

Auswertungsbericht Röntgenkontrastmittel



Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Bericht Nr. 187



Im Rahmen der Strategie für die Verringerung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Siedlungs- und Industrieabwässern werden für 10 Stoffgruppen Auswertungsberichte ausgearbeitet, deren Ziel es ist, die wissenschaftlichen und technischen Fakten prägnant zusammenzufassen und bestehende Wissenslücken aufzuzeigen. Die Auswertungsberichte stellen ebenfalls ein breites Spektrum möglicher Maßnahmen von der Quelle (z.B. Zulassung von Stoffen, Einschränkung der Anwendung) bis hin zu technischen Maßnahmen an zentralen Kläranlagen (z.B. Einführung einer weiteren Klärstufe) vor. Im Kapitel Fazit der Auswertungsberichte werden die effizientesten Maßnahmen, die im Rahmen einer Gesamtstrategie der IKSR weiter geprüft werden sollen aufgeführt. Diese Maßnahmen sind noch keine IKSR-Empfehlungen an die Mitgliedstaaten. Die IKSR wird die in diesem Kapitel gelisteten Maßnahmen im Rahmen eines Syntheseberichtes der Gesamtheit der Maßnahmen synoptisch zusammen führen, um eventuelle Synergieeffekte der Maßnahmen (Wirkung der Maßnahmen auf verschiedene Stoffgruppen) bei der abschließenden Bewertung berücksichtigen zu können. Auf der Basis der abschließenden Bewertung der Gesamtheit der Maßnahmen wird sie Maßnahmenempfehlungen für die Mitgliedsstaaten festlegen.

Impressum

Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Koblenz
Postfach 20 02 53, D 56002 Koblenz
Telefon +49-(0)261-94252-0, Fax +49-(0)261-94252-52
E-mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN 3-935324-52-9

© IKSR-CIPR-ICBR 2010

Auswertungsbericht

Röntgenkontrastmittel

1. Einleitung

Röntgenkontrastmittel (RKM) werden diagnostisch eingesetzt, da sie die Röntgenstrahlen stärker als normales Weichteilgewebe absorbieren; die mit RKM behandelten Gewebe werden auf diese Weise sichtbar gemacht. Nach der Anwendung werden sie weitgehend unverändert ausgeschieden und können daher ins Abwasser gelangen.

Betrachtet werden hier ausschließlich jodierte Röntgenkontrastmittel (IRKM). Seit Jahren ist bekannt, dass IRKM mittlerweile in allen Teilen der aquatischen Umwelt nachgewiesen werden können¹.

Zu anderen Röntgenkontrastmitteln liegen im Vergleich dazu bislang wesentlich weniger Ergebnisse vor². Von den IRKM am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen in Gewässern festzustellen sind die Stoffe Amidotrizoesäure/Diatrizoat, Iopromid, Iopamidol, Iomeprol, die hier deshalb als Indikatorsubstanzen verwendet werden.

Die in 2001 in Deutschland verkauften Mengen lagen zwischen 42.000 kg/Jahr (Iopamidol) und 83.000 kg/Jahr (Iomeprol), was umgerechnet einer Menge von ca. 0,5 bis 1,0 Gramm pro Kopf der Bevölkerung entspricht; aktuellere Zahlen zu Iopromid zeigen eine deutliche Steigerung.

Hinsichtlich der Eintragspfade ist zwischen den mittels Injektion (durch Spritzen)/Infusion verabreichten und durch den Urin ausgeschiedenen RKM (z. B. Iomeprol, Iopromid, Iopamidol) einerseits und den oral (zum Einnehmen) oder rektal (Rektallösung) verabreichten RKM (Amidotrizoesäure, Ioxitalaminsäure), die über den Darmtrakt ausgeschieden werden, zu unterscheiden. Bei den für die Magen-Darm-Diagnostik eingesetzten Mitteln (Amidotrizoesäure/Diatrizoat, Ioxitalaminsäure) handelt es sich um ionische jodhaltige Kontrastmittel. Intravaskulär (in die Venen und Arterien) werden in Deutschland seit 2000 ausschließlich die nichtionischen jodhaltigen Kontrastmittel (Iopromid, Iopamidol, Iomeprol) injiziert. Chemisch unterscheiden sie sich vor allem in den Seitenketten und in ihren physiko-chemischen Eigenschaften (Osmolalität, Viskosität, Hydrophilie).

Aufgrund des hohen und tendenziell steigenden Verbrauchs, ihrer Löslichkeit, Polarität und Stabilität überrascht es nicht, dass diese Stoffe in Oberflächengewässern, im Grundwasser (z. B. Uferfiltrat, angereichertes Grundwasser) und teilweise auch im Trinkwasser nachgewiesen werden können. Aufgrund dieser Tatsache ist es angebracht, der Gruppe der Röntgenkontrastmittel im Rahmen einer Beurteilung der Wasserqualität Aufmerksamkeit zu widmen. Im Unterschied zu therapeutisch (heilend) eingesetzten Arzneimitteln werden sie jedoch als biologisch inaktive Stoffe entwickelt. Entsprechend wird bislang auch ihre ökotoxikologische (giftig für das Ökosystem) Wirksamkeit als gering eingeschätzt. Ihr häufiges und zunehmendes Vorkommen im Trinkwasser wird aus Sicht der Trinkwasserversorgung dennoch mit Unbehagen wahrgenommen. Mit den vorhandenen Verfahren lassen sie sich i. d. R. nicht bzw. nicht vollständig entfernen. Zudem ist bekannt, dass unter bestimmten Umweltbedingungen, z. B. während der biologischen Abwasserbehandlung, der Uferfiltration sowie durch Ozonbehandlung eine große Anzahl jodierter organischer Transformationsprodukte (Umwandlungsprodukte) entstehen, deren Eigenschaften und Toxizität (Giftigkeit) bisher nicht bewertet werden können. Beispielsweise wurden bisher insgesamt 46 allein durch mikrobiologische Umsetzungen entstandene Transformationsprodukte identifiziert.

¹ (Ternes & Hirsch, 2000; Putschew & Jekel, 2006, Putschew et al., 2007).

² So werden z.B. bei der Magnetresonanztomografie Chelate auf Basis des toxischen Gadolinium-Ions eingesetzt. Hier wären ebenfalls nähere Untersuchungen zum Vorkommen im Wasserkreislauf und zur Umweltwirkung wünschenswert.

2. Problemanalyse

Jodierte Röntgenkontrastmittel werden in Oberflächengewässern kontinuierlich in Konzentrationen von 2- bis 3-stelligen Nanogramm (ng) bis zu einigen Mikrogramm (μg) pro Liter nachgewiesen. Im Rhein nehmen die Konzentrationen im Fließverlauf vom Oberrhein bis zur Mündung kontinuierlich zu. Bei Basel liegen die mittleren Konzentrationen bei den meisten IRKM noch unter $0,1 \mu\text{g/l}$. Am Niederrhein und Deltarhein liegen die Konzentrationen meist zwischen $0,2$ und $0,5 \mu\text{g/l}$. Maximal wurden im Rhein Konzentrationen bis $1,3 \mu\text{g/l}$ festgestellt. An Zuflüssen zum Rhein (in Deutschland z.B. Emscher, Lippe, Ruhr, Sieg) sind z. T. noch höhere Konzentrationen festzustellen (je nach Stoff: Maximalwerte bis zu 10 bzw. bis zu $30 \mu\text{g/l}$).

Von den dreizehn im Stoffdatenblatt erfassten IRKM werden die vier oben genannten Stoffe im Hauptstrom des Rheins und in seinen Nebenflüssen in vergleichsweise hohen Konzentrationen vorgefunden. Da sie außerdem zwei unterschiedliche Anwendungsgebiete abdecken, sind sie als Indikatorsubstanzen (Substanzen, die stellvertretend für die gesamte Stoffgruppe sind) geeignet.

Die höchsten Konzentrationen finden sich

- in denjenigen Zuflüssen des Rheins, die einen hohen Anteil an (biologisch) gereinigtem kommunalem Abwasser, bzw. eine hohe Bevölkerungsdichte aufweisen; eine erhöhte Krankenhausdichte im Einzugsgebiet sowie ein erhöhtes Durchschnittsalter in der Bevölkerung, wie z.B. im Ruhr-/Emschergebiet, können sich hierbei verstärkend auswirken:
- in denjenigen Zuflüssen des Rheins bzw. Gewässerabschnitten, an denen sich Produktionsbetriebe befinden:
- im Deltarhein.

Folgende Aussagen können in Bezug auf die Wasserqualität gemacht werden:

- IRKM werden im Rohwasser von Trinkwasserwerken gefunden und häufig auch im Trinkwasser nachgewiesen. Dies gilt insbesondere für den Niederrhein und Deltarhein sowie für einige Zuflüsse zum Rhein. Da die Stoffe sehr polar sind, werden sie weder bei der Uferfiltration, noch mittels Aktivkohlefiltration adsorbiert. Durch biologische Abbauprozesse sowie durch Ozonung (Behandlung mit Ozon, einem starken Oxidationsmittel) kann die Konzentration teilweise verringert werden. Nachweislich entstehen dabei jedoch zahlreiche jodierte organische Transformationsprodukte, die ihrerseits im Trinkwasser nachweisbar sind.
- Die mittleren Konzentrationen einiger IRKM, die in den Gewässern des Rheineinzugsgebiets nachgewiesen wurden, liegen z. T. deutlich über dem Zielwert der IAWR von $0,1 \mu\text{g/l}$ bzw. über dem trinkwasserhygienischen Zielwert des deutschen Umweltbundesamtes³. Auch der gesundheitliche Orientierungswert (GOW) des Umweltbundesamtes (UBA, 2008) für IRKM in Höhe von $1,0 \mu\text{g/l}$ wird teilweise überschritten⁴. Die IRKM-Mengen, die über den Trinkwasserpfad aufgenommen werden können, liegen allerdings deutlich unter den für diagnostische Zwecke verabreichten Dosen.

³ Die vom UBA angegebene Spannweite des trinkwasserhygienischen Zielwertes für IRKM ($\leq 0,1$ bis $< 1,0 \mu\text{g/l}$) wird dadurch erklärt, dass dieser, etwa hinsichtlich der Möglichkeit des Entstehens toxikologisch relevanter Transformationsprodukte aus der oxidativen Trinkwasseraufbereitung, unterschiedlich und aus Vorsorgegründen niedriger als der $\text{GOW}_4 = 1,0 \mu\text{g/l}$ vorzugeben wäre (UBA, 2008).

⁴ Der GOW gilt als Vorsorgewert für RKM in Trinkwasser und Trinkwasserressourcen bzw. in Gewässern, aus denen Rohwasser für die Trinkwasserversorgung gewonnen wird. Dabei handelt es sich um einen allgemeinen Vorsorgewert für nachweislich nicht gentoxische Stoffe, bei denen Daten zur oralen Toxizität, zur Immuntoxizität und zum Keimzellen schädigenden Potenzial nicht zu einem niedrigeren Wert als $1 \mu\text{g/l}$ führen (GOW_4) (vgl. UBA, 2003). Als solcher gilt er auch für Komponenten von Summen gleichzeitig ähnlich wirkender Stoffe.

- Nach Angaben des deutschen UBA liegen keine ökotoxikologisch relevanten Informationen vor, um Umweltqualitätsnormen daraus ableiten zu können. Daher sind für IRKM weder Umweltqualitätsnormen (UQN), noch Vorschläge für UQN vorhanden.
- Die Stoffe sind nachweislich nicht genotoxisch (giftig für das Erbgut) und zeigen nachweislich kein neurotoxisches (giftig für die Nerven) oder Keimzellen schädigendes Potenzial.
- Subchronische und chronische (lebenslange) Tierversuche fehlen bislang für alle IRKM und es können auch (noch) keine lebenslang duldbaren Aufnahmemengen berechnet werden.

Die hier betrachteten Röntgenkontrastmittel werden verbreitet im Rheineinzugsgebiet nachgewiesen. Aufgrund des Auftretens dieser Stoffe sowie von Mischungen, die diese und weitere Stoffe sowie Transformationsprodukte enthalten, können nicht erwünschte Effekte und chronische bzw. subchronische Wirkungen auftreten, die im Vorfeld – z. B. im Rahmen des Zulassungsverfahrens - nicht aufgezeigt werden können. Insbesondere wird im Niederrhein und Deltarhein sowie an einigen Zuflüssen die Produktion von Trinkwasser mittels Direktentnahme, Uferfiltration oder künstlicher Grundwasseranreicherung erschwert und die Auswahl weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen (z. B. Ozonung) vor Unsicherheiten gestellt. Im Sinne der Verbesserung der Gewässerqualität sowie zur Einhaltung des Verschlechterungsverbotes gemäß EU-WRRL (Art. 4, Abs. 1 und Art. 7, Abs. 3) sind kosteneffiziente Maßnahmen erforderlich, damit die Belastung der Gewässer mit IRKM nicht weiter ansteigt, bzw. um eine Verringerung der jetzigen Konzentrationen zu erzielen.

3. Analyse der Eintragspfade

Im Unterschied zu den meisten therapeutisch eingesetzten Arzneistoffen erfolgt die Applikation (Verabreichung) praktisch nur in Kliniken und Röntgenpraxen und ihre Ausscheidung erfolgt binnen weniger Stunden (maximal 24 Stunden) nach Applikation. Dadurch eröffnen sich, zumindest, was den Bereich der Patienten betrifft, die zumindest noch einige (wenige) Stunden nach der Untersuchung in der Klinik bzw. in der Röntgenpraxis verbleiben, andere Möglichkeiten zur Reduzierung (Verringerung) bzw. Vermeidung ihrer Einträge in den Wasserkreislauf als bei therapeutisch eingesetzten Pharmaka.

Insgesamt gelangen IRKM meist unmittelbar nach ihrer Anwendung über das Abwasser aus Kliniken, Röntgenpraxen und Haushaltungen in das kommunale Abwasser. Ein kleiner Prozentsatz (ca. 1-3 %) des kommunalen Abwassers gelangt über Mischwasserüberläufe bei Regenwetter direkt in die Oberflächengewässer. Auch Abwasser aus Haushaltungen, die nicht an die kommunale Kanalisation angeschlossen sind (ca. 1-2 %), gelangt direkt in die Oberflächengewässer. Aber über 95 % des kommunalen Abwassers erreichen die Kläranlagen. Das Ausmaß der Eliminierung (Entfernung) in der heutigen Kläranlage mittels biologischer Behandlung ist i. d. R. gering (~8%; vgl. Untersuchungen an einer Kläranlage der Berliner Wasserbetriebe, 2005, 2006) bzw. unterschiedlich⁵. Infolgedessen werden IRKM im Auslauf kommunaler Kläranlagen in Konzentrationen zwischen 0,02 und 165 µg/l nachgewiesen, bei

⁵ Im Pilotversuch Lausanne (BAFU 2010, noch nicht veröffentlicht) wurden mittlere Eliminations- (bzw. Umwandlungs-)raten für die verschiedenen IRKM von 20-40% ermittelt (Tabelle 1 in Anlage I). Die „Eliminationsraten“ für Iopromid, Iopamidol, Iohexol und Iomeprol sind aber abhängig vom Schlammalter (Ternes, mdl.). Für Amidotrizoesäure/Diatrizoat haben Ternes et al. – unabhängig vom Schlammalter – in keiner Kläranlage eine Entfernung oder Umwandlung beobachtet. Im Gegensatz dazu wurde in der Versuchsanlage in Regensdorf (EAWAG/BAFU, 2009) gerade für Amidotrizoesäure/Diatrizoat eine biologische Eliminationsrate von ~40 % (+/- 39%) ermittelt, während bei den anderen IRKM (vermutlich aufgrund eines niedrigen Schlammalters) gar keine biologische Eliminationsrate bestimmt werden konnte. Grundsätzlich bleibt anzumerken, dass der biologische Abbau immer zu stabilen Produkten führt, die ihrerseits grundwasser- und trinkwassergängig sind bzw. ihrerseits problematisch sein können.

Kläranlagen mit erhöhtem Anteil Klinikabwasser in Konzentrationen zwischen 0,5 und >100 µg/l (ISA/RWTH Aachen, IWW Mülheim, 2008; EAWAG/BAFU, 2009).

In einer neueren, vergleichenden Untersuchung des LANUV NRW (11/2010, nicht veröffentlicht) wurden im Ablauf einer kleineren Kläranlage, die keine Abwässer aus Kliniken aufbereitet, nachweisbare (hohe) Konzentrationen von Iopamidol (3,8 µg/l), Iopromid (0,35 µg/l) und Iomeprol (2,6 µg/l) ermittelt. Bei geringer Verdünnung können die Konzentrationen in Abwässern aus Kläranlagen zu hohen Konzentrationen in kleinen Flüssen führen. Beispielsweise waren im hessischen Winkelbach bis zu 100 µg/l Amidotrizoesäure/Diatrizoat gemessen⁶.

Einträge durch industrielle Direkteinleitungen (Produktionsbetriebe) sind für die verschiedenen Substanzen und je nach Abwasserbehandlungsmaßnahmen der Betriebe unterschiedlich. In Nordrhein-Westfalen (NRW) wurde der Anteil der Frachten aus industriellen Direkteinleitungen bei Iopromid für das Jahr 2005 auf maximal bis zu ca. 10% geschätzt (LANUV-Daten; Bezugsjahr 2005); bei den anderen untersuchten IRKM waren die Anteile aus Direkteinleitungen unerheblich. Insgesamt wird aktuell von einem Anteil unter 10% ausgegangen.

Demzufolge können die kommunalen Kläranlagen als Haupteintragspfad in die Oberflächengewässer identifiziert werden. Als Emissionsquellen sind vor allem Krankenhäuser und Röntgenpraxen und, in Einzelfällen, Produktionsbetriebe (Indirekt- oder Direkteinleiter) von Bedeutung.

Der über Haushaltungen abgegebene Anteil ist aufgrund der geringen Verweilzeit im menschlichen Körper abhängig von der Aufenthaltszeit der Patienten in der Klinik.

Kommunale Kläranlagen mit einem überdurchschnittlichen Anteil an Krankenhausabwasser zeigen infolgedessen im Abwasser überdurchschnittlich hohe Konzentrationen und Frachten von IRKM (vgl. ISA/RWTH Aachen, IWW Mülheim, 2008). Eine vergleichbar enge Korrelation (Wechselbeziehung) zwischen angeschlossener Einwohnerzahl und emittierter Fracht wie bei zahlreichen therapeutisch eingesetzten Humanarzneistoffen kann daher nicht angenommen werden. Dies ist u. A. für Modellabschätzungen und zur Bewertung und ggf. Priorisierung von Maßnahmen zu berücksichtigen.

4. Mögliche Maßnahmen

Zur Minimierung der Einträge der Röntgenkontrastmittel können emissionsreduzierende Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen getroffen werden:

- Maßnahmen an der Quelle;
- Information der Öffentlichkeit und der Fachkreise
- Dezentrale Maßnahmen
- Zentrale Maßnahmen bei kommunalen Kläranlagen;
- Überarbeitung von Messprogrammen und Bewertungssystemen.

Im Folgenden werden die potenziellen Maßnahmen näher präzisiert

Maßnahmen an der Quelle

- Senkung der Gewässerbelastungen durch Maßnahmen der Hersteller (pharmazeutische Industrie):
 - erweiterte Umweltverträglichkeitsprüfungen bei der Zulassung
 - verbindliche weitergehende Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit durch den Hersteller auch nach der Markteinführung (Pharmakovigilanz): z.B. Untersuchungen zur chronischen/subchronischen Wirkung auf aquatische Organismen, zu Transformationsprodukten, zum Verhalten bei der Trinkwassergewinnung und –aufbereitung;

⁶ Ternes and Hirsch, 2000

- Entwicklung biologisch besser abbaubarer Röntgenkontrastmittel durch die Hersteller
- Einsatz der vorhandenen Möglichkeiten zur Wertstoffrückgewinnung (Verbrennung unter Rückgewinnung des Jods), z. B., durch getrennte Erfassung des Abwassers, Aufkonzentrierung und Verbrennung der Nebenprodukte. Die Nebenprodukte werden in einem Drehrohrofen unter Rückgewinnung des Jods verbrannt. Das Verfahren ist bei der Fa. Bayer-Schering (Bergkamen) bereits im Einsatz und daher auch für andere Betriebe ggf. sofort verfügbar. Wegen des hohen bzw. steigenden Handelspreises von Jod ist die Rückgewinnung von Jod (für die Hersteller) derzeit rentabel. Wegen des insgesamt vergleichsweise niedrigen Anteils der aus industriellen Direkteinleitungen stammenden Gewässerbelastungen mit RKM ist die Gesamtwirkung von Maßnahmen bei industriellen Direkteinleitungen nur als mittel bis gering einzustufen (<1-10%).
- Anwendung spezieller Abwasserbehandlungsmaßnahmen (z. B. für Abwasserteilströme; Urin/Sammelkonzentrate): Literaturangaben zufolge ist eine erfolgreiche Behandlung von z. B. iopromidhaltigem Urin mittels reduktiver Dehalogenierung (Abspaltung von Jod) mit Eisen möglich; im Vergleich zur Ozonung entstehen keine jodierten organischen Transformationsprodukte (-> Mineralisation) (Putschew et al., 2007).

Information der Öffentlichkeit und der Fachkreise

Die Öffentlichkeit und Fachkreise, insbesondere Universitäten, die pharmazeutische Industrie und das Personal der Institutionen des Gesundheitswesens - Ärzte, Apotheker, Pflegepersonal, aber auch Patienten - sollen über die Umweltrelevanz der Röntgenkontrastmittel und Einflüsse auf die Trinkwasseraufbereitung aufmerksam gemacht werden (ProduktHinweise) und über die Möglichkeiten zur Wertstoffrückgewinnung und umweltfreundlichen Entsorgung bzw. Sammlung und Aufbereitung der Abwässer aufgeklärt werden.

Dezentrale Maßnahmen

Als Maßnahmen bei den direkt einleitenden Betrieben sowie als dezentrale Maßnahmen in Krankenhäusern und Röntgenpraxen kommen verschiedene Lösungen in Betracht. Nachfolgende Verfahren sind bereits erprobt (pilothaft oder in vergleichbaren Anwendungen) und könnten daher relativ kurzfristig, und „in der Fläche“ mit hoher Wirksamkeit für das Rheineinzugsgebiet eingesetzt werden:

In den Kliniken/Röntgenpraxen:

Da RKM bereits innerhalb von weniger als 24 Stunden nach ihrer Applikation vom Patienten nahezu vollständig ausgeschieden werden, bietet sich zur Senkung der RKM-Mengen im kommunalen Abwasser die getrennte Erfassung des gesammelten Urins an.

- Maßnahmen in den Kliniken/Röntgenpraxen:
 - Getrennte Abwasserbehandlung oder Behandlung von Abwasserteilströmen (ebenfalls reduktive Dehalogenierung geeignet) oder Einrichtung von Urinsammelstellen für den Urin behandelter Patienten und getrennte Urinsammlung in den Toiletten und Aufkonzentrierung des Urins (mittels Nanofiltration) in den Kliniken. (Dazu ist entsprechende Aufklärung der Patienten erforderlich, um die Akzeptanz und Nutzung der ausgewiesenen Toiletten bzw. des Urinsammelsystems zu erzielen; die Akzeptanz (Annahme) bei den Ärzten, beim Klinikpersonal und bei den Patienten erwies sich als gut (Berliner Wasserbetriebe, 2006).
 - Zusätzlich ist die Einrichtung von Rücknahmesystemen bzw. von zentralen Sammelstellen für Urinkonzentrate zu empfehlen (s. u.). Das Konzentrat kann unter Rückgewinnung des Jods z.B. beim Hersteller verbrannt werden.
 - Einrichtung von Verbrennungstoiletten, um auch die über den Darmtrakt ausgeschiedenen RKM unschädlich entsorgen zu können (s. u.);

- Urinsammelbeutel können sowohl als Maßnahme in Kliniken, als auch als „Maßnahme beim Patienten“ eingesetzt werden. Dadurch könnten auch die ambulanten Patienten erfasst werden (BAFU 2009).

Für die Beseitigung der beiden zur Kontrastierung des Magen-Darm-Traktes eingesetzten IRKM (Amidotrizoesäure/Diatrizoat, Ioxitalaminsäure) sowie zur Beseitigung der über den Urin ausgeschiedenen IRKM:

- Dazu existiert ein Verfahren, das sich einer sog. „elektrischen Verbrennungstoilette“ bedient. Diese Geräte, die alle menschlichen Ausscheidungen vollständig und unschädlich beseitigen, sind in Skandinavien sehr weit verbreitet. Dort werden sie aus Umweltschutzgründen in entfernt liegenden Häusern, auch Ferienhäusern, die nicht an die Kanalisation angeschlossen sind, eingesetzt. In Röntgenpraxen bzw. Röntgenabteilungen von Kliniken könnten sie ebenfalls Anwendung finden.
- Die Maßnahme ist sofort verfügbar und es ist eine vollständige unschädliche Entsorgung der IRKM-haltigen Ausscheidungen möglich
- Energiebedarf: 1,0 – 2,0 kWh pro Toilettenbenutzung (Herstellerangabe; Fritidstoa: förbränningsoaletter; www.fritidstoa.se).
- Bisherige Verwendung: speziell in Norwegen, dort in den meisten alleinstehenden Häusern und Freizeit-/Fischerhütten entlang der Fjorde verbreitet.

Für Krankenhäuser ist das System bisher wohl neu (DWA, in Bearbeitung). Die bisherige Anwendung spricht für die Einfachheit und Akzeptanz des Systems und der Energieverbrauch wird, gemessen an der Einsparung für die Aufarbeitung des Abwassers, als mäßig bis gering eingeschätzt. (Auch hier ist allerdings anzumerken, dass sowohl die erzielbare Wirkung, als auch die Wirtschaftlichkeit im Einzelfall davon abhängen, ob bzw. wie lange die Patienten üblicherweise nach der Diagnose in der Klinik bzw. in der Röntgenpraxis verbleiben und welche Anpassungsmaßnahmen (organisatorischer Ablauf, ggf. Umbaumaßnahmen) im Einzelfall erforderlich sind.)

bei der Zubereitung (Krankenhausapotheke) sowie bei bzw. nach der Applikation:

- Vermeidung von Restmengen bzw. getrennte Entsorgung der Restmengen bei der Zubereitung bzw. Applikation. Dazu ist entsprechende Aufklärung der Ärzte, des pharmazeutischen, medizinischen, technischen und Pflegepersonals erforderlich.

Damit verbundene Maßnahmen der Rheinanaliegerstaaten (oder z. B. pro Bundesland):

- Einrichtung von zentralen Sammelstellen pro Rheinanaliegerstaat (oder z. B. pro Bundesland) mit Primärharn-Sammeltank, Nanofiltrationsanlage zur Aufkonzentrierung und Sammeltank für das jodhaltige Konzentrat.
- Das jodhaltige Konzentrat kann wie o. a. unter Rückgewinnung des Jods als Wertstoff verbrannt werden (dadurch entstehen für die Entsorgung keine bzw. sehr geringe Kosten).

Die Maßnahme ist für die mittels Injektion/Infusion verabreichten IRKM wirksam, die über den Urin ausgeschieden werden, nicht jedoch für die über den Magen-Darm-Trakt ausgeschiedenen IRKM (Amidotrizoesäure/Diatrizoat, Ioxitalaminsäure). Für erstere wird die erreichbare Wirkung als hoch eingeschätzt (>50%); der Zeitbedarf wäre gering (<5 Jahre) und die Wirtschaftlichkeit (aufgrund der Möglichkeit zur Rückgewinnung) gut. Es ist jedoch anzumerken, dass sowohl die erzielbare Wirkung, als auch die Wirtschaftlichkeit im Einzelfall davon abhängen, wie lange die Patienten üblicherweise nach der Diagnose in der Klinik bzw. in der Röntgenpraxis verbleiben und welche Anpassungsmaßnahmen (organisatorischer Ablauf, ggf. Umbaumaßnahmen) im Einzelfall erforderlich sind.

Verfahren zur Behandlung von Sammelkonzentraten (beim Hersteller / zentral / im Krankenhaus):

Zur Behandlung von Abwasserteilströmen (z. B. von Urin, Sammelkonzentraten) ist wie o. a. eine Mineralisation der IRKM mittels reduktiver Dehalogenierung (Abspaltung von Jod) mit elementarem Eisen möglich. Literaturangaben zufolge entstehen dabei im Vergleich zur Ozonung (und anderen Verfahren) keine jodierten organischen

Transformationsprodukte und der erzielte bzw. erzielbare Eliminationsgrad ist hoch (>90%; vgl. Putschew et al., 2007). Weiter wurde das Verfahren zur Rückgewinnung des Jods bereits erfolgreich eingesetzt (Berliner Wasserbetriebe, 2006). Möglich ist außerdem eine Behandlung von Abwasserteilströmen zur Entfernung von IRKM mittels Nanofiltration (Siebverfahren, das Teilchen im Bereich von 10 bis 1 milliardstel Meter zurückhält) oder Umkehrosmose.

Dezentrale Verfahren zur gezielten Behandlung von Klinikabwässern:

Im Pilotprojekt Kreiskrankenhaus Waldbröl (RWTH 2009) wurde eine vergleichende Bewertung der weitergehenden Abwasserreinigungsstufen hinsichtlich ihrer Eliminationsleistung für Ozonung (1,02 mg O₃/ mg DOC) und Aktivkohlefiltration (AF) durchgeführt. Für Diatrizoat konnte mittels AF eine mittlere Elimination von rd. 75 % und für Iopamidol von rd. 82 % erzielt werden. Mittels Ozonung wurde bei Iopamidol eine mittlere „Elimination“ (hier: Abbau/Umwandlung) in Höhe von rd. 60 % ermittelt, bei Diatrizoat konnte keine Elimination bestimmt werden (Zulaufkonzentration teilweise niedriger als Ablaufkonzentration).

Im Kantonskrankenhaus Liestal (BAFU 2009) wurde mittels Variantenvergleich untersucht, wie Mikroverunreinigungen des Kantonskrankenhauses Liestal möglichst effizient eliminiert werden können. Als Vertreter für die IRKM wurde dabei die Substanz Iobitridol bestimmt. Untersucht wurden:

1. Maßnahmen an der Kläranlage mittels
 - a) Ozonung und
 - b) Pulveraktivkohle;
2. eine separate Kläranlage für das Kantonskrankenhaus Liestal;
3. Ausrüstung des Kantonkrankenhauses Liestal mit Vakuumtoiletten und Verbrennung des Vakuumtoiletenschlammes oder Abfallverbrennungsanlage;
4. Maßnahmen auf der Patientenebene mittels Urinsammelbeutel.

Dabei konnte gezeigt werden, dass für IRKM die Maßnahme auf Patientenebene am besten abschneidet. Sowohl bezüglich eliminierbarer Fracht als auch bezüglich Kosten-Nutzen-Verhältnis erwies sich diese Maßnahme den anderen Varianten überlegen. Die Maßnahmen beim Krankenhaus – separate Krankenhaus-Kläranlage oder Ausrüstung des Krankenhauses mit Vakuumtoiletten – haben ein Kosten-Nutzen-Verhältnis in der Größenordnung der Maßnahmen auf der Ebene der kommunalen Kläranlagen. Im Vergleich zur „Maßnahme auf Patientenebene“ (Urinsammelbeutel) haben sie den Nachteil, dass sie die ambulant abgegebenen IRKM nicht abdecken.

Zentrale Maßnahmen bei kommunalen Kläranlagen

Obwohl die IRKM i. d. R. zum weitaus überwiegenden Teil (~90%) über kommunale Kläranlagen in die Gewässer eingetragen werden, ist je nach Röntgenkontrastmitteln durch weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen bei (ausgewählten) Kläranlagen (z. B. Ozonung, Aktivkohle) eine unterschiedliche, insgesamt aber keine zufriedenstellende Reduzierung möglich. Die möglichen dezentralen Maßnahmen und Maßnahmen an der Quelle könnten jedoch durch weitergehende zentrale Maßnahmen ergänzt werden. Die rund 3.200 Kläranlagen im Einzugsgebiet des Rheins haben eine Ausbaugröße von insgesamt mindestens 98 Millionen Einwohnergleichwerten. 191 dieser Kläranlagen (d. h. 6% aller Kläranlagen) verfügen über eine Ausbaugröße von über 100.000 Einwohnergleichwerten. Diese Kläranlagen verfügen aber über mehr als die Hälfte der gesamten Klärkapazität (54%) im Einzugsgebiet des Rheins⁷. Mit einem Ausbau dieser 191 Kläranlagen mit den erwähnten weitergehenden Aufbereitungsverfahren könnten die

⁷ Bericht an die Europäische Kommission über die Ergebnisse der Bestandsaufnahme nach Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Artikel 15 (2), 1. Anstrich) - Teil A = übergeordneter Teil) Stand: 18.03.05, Koordinierungskomitee Rhein 2005 (CC 02-05d rev. 18.03.05).

Einträge von organischen Mikroverunreinigungen aus der Siedlungswasserwirtschaft um mindestens 30% reduziert werden.

Die Einträge der Röntgenkontrastmittel könnten dabei je nach Art des Aufbereitungsverfahrens (Aktivkohle, Ozonung oder Kombination beider Verfahren) mit substanzspezifisch unterschiedlichem Wirkungsgrad nur teilweise gesenkt werden, was im günstigsten Fall zu einer Reduzierung der IRKM-Frachten im Rheineinzugsgebiet um <10 bis maximal ~30% beitragen könnte; aktuellen Ergebnissen aus einem Pilotversuch in Lausanne zufolge (siehe Tabelle 1 in Anlage I) wären es 10-14 %. Dabei ist zu berücksichtigen, dass man im Falle der Ozonung aufgrund der Entstehung von Transformationsprodukten nicht von einer Elimination sprechen kann (s. o.); da IRKM sehr polar sind, ist bei Aktivkohle eine Reduzierung nur mit frischer Aktivkohle möglich (somit kaum wirtschaftlich). Weiter ist zu berücksichtigen, dass sich die emittierten Frachten der IRKM nicht linear zu den Einwohnergleichwerten verhalten, da die IRKM nur teilweise über Haushaltungen, überwiegend jedoch über Krankenhausabwässer eingetragen werden. Daher müsste für eine effizientere Senkung des Eintrags der IRKM die Auswahl der Kläranlagen unter Berücksichtigung der Krankenhausabwässer modifiziert (umgestaltet) werden.

Die stoffliche Belastung des Nieder- und Deltarheins mit organischen Spurenstoffen könnte dadurch zwar insgesamt reduziert werden. Der für RKM geltende IAWR-Zielwert von 0,1 µg/l, bzw. der trinkwasserhygienische Zielwert des deutschen Umweltbundesamtes für RKM, demzufolge auch Transformationsprodukte und additive Wirkungen bei Substanzgemischen mit ähnlicher Wirkung berücksichtigt werden sollen, könnte im Rhein und seinen Zuflüssen dadurch jedoch nicht erreicht bzw. eingehalten werden. Speziell für RKM sind letztlich nur Maßnahmen an der Quelle, beim Patienten bzw. dezentrale Maßnahmen eine sinnvolle Lösung.

Allerdings wäre auch mit Blick auf die RKM durch zentrale Maßnahmen an Kläranlagen ein insgesamt verbesserter Schutz der Trinkwassergewinnung entlang des Rhein-Hauptstroms, insbesondere am Niederrhein und im Rheindelta sowie an einigen Rheinzufüssen durchaus möglich. Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit muss der gleichzeitige Nutzen für andere Stoffe/Stoffgruppen (z. B. für andere Humanarzneimittel, Biozide, etc.) mitberücksichtigt werden.

Zur Wirkung und hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit liegen bereits Ergebnisse aus Pilotversuchen mit verschiedenen weitergehenden Abwasserbehandlungsverfahren bei kommunalen Kläranlagen und bei einer Krankenhauskläranlage vor (siehe Anlage I). Diese Ergebnisse können bei der Identifizierung der effizientesten erforderlichen Maßnahmen (vgl. Kap.5) bereits Berücksichtigung finden.

Überarbeitung von Messprogrammen und Bewertungssystemen

Aus der Analyse der verfügbaren Informationen ergeben sich folgende Hinweise bezüglich der Gestaltung von Messprogrammen und der Weiterentwicklung von Bewertungssystemen:

1. Verbindliche Qualitätskriterien für die Beurteilung des ökologischen/chemischen Zustandes sowie zum Schutz von Trinkwasserressourcen sind nicht verfügbar. Wenn erforderlich, sollten diese auf geeigneter institutioneller Ebene abgeleitet werden.
2. Bei der Beurteilung des ökologischen und chemischen Zustands der Gewässer im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie durch EU-Mitgliedstaaten sowie im Rahmen der schweizerischen Gewässerschutzgesetzgebung werden die hier genannten Stoffe bisher nicht betrachtet.
3. Die Datenlage (Messdaten und Kenntnisse über Wirkungszusammenhänge) zu den hier näher genannten IRKM ist bereits zufriedenstellend. Dass ist jedoch nicht der Fall für Information über chronische/subchronische Wirkung dieser Stoffe sowie zu deren Metaboliten.

4. Zu anderen (auch nicht-jodierten) RKM liegen bisher keine repräsentativen Messdaten vor und es fehlt eine systematische Abschätzung der verabreichten und emittierten Mengen, der Umweltrelevanz und Toxizität.
5. Allgemein könnten folgende Elemente bei einer Überarbeitung der Bewertungssysteme Berücksichtigung finden:
 - Beurteilung der Umweltrelevanz der jeweiligen Stoffe/Stoffgruppen durch Stoffbilanzierungen, einfache Modellabschätzungen, Entwicklung und Berücksichtigung der Informationen aus Einleiterkatastern (hier: Kliniken, Röntgen-/Arztpraxen, Hersteller), eventuelle Hinweise aus Zulassungsverfahren (EMA), Verkaufszahlen bzw. Verbrauchsmengen; vergleichbare Methoden wie⁸.
 - Beurteilung der Umweltrelevanz durch Bewertung bzw. Klassifizierung der Stoffeigenschaften, z.B. Struktur-Aktivitätsbeziehungen
 - Ergebnisse neuer analytischer Methoden aus dem Forschungsbereich⁹.

5. Fazit

Zusammenfassung der effizientesten Maßnahmen, die weiter ausgearbeitet und geprüft werden sollen.

- **Maßnahmen an der Quelle** bei der Produktzulassung und Herstellung zur Reduktion der Belastung der Gewässer durch erweiterte Umweltverträglichkeitsprüfung (vor und nach Zulassung) von diagnostisch eingesetzten Arzneimitteln, einschließlich ihrer Metabolite und Transformationsprodukte; Anreizsysteme zur Entwicklung umweltverträglicher Alternativprodukte
- **Information der Öffentlichkeit und der Fachkreise** über die Umweltrelevanz und die Auswirkungen von Röntgenkontrastmitteln im Rheineinzugsgebiet für die Trinkwasserproduktion; Kennzeichnungspflicht für RKM, bei denen gewässer- oder trinkwasserrelevante Wirkungen festgestellt wurden oder zu erwarten sind; Informationen über die vorhandenen Möglichkeiten zur fachgerechten Anwendung, Entsorgung, Reinigung, Rückführung und Rückgewinnung; insbesondere für IRKM konnten vielversprechende Optionen aufgezeigt werden.
- **Dezentrale Maßnahmen:** Behandlung von Abwasser oder Abwasserteilströmen in Produktionsbetrieben oder Institutionen des Gesundheitswesens, die direkt in Oberflächengewässer einleiten oder indirekt über Kläranlagen einen erheblichen Anteil an der Fracht in der Kläranlage haben. Bei den IRKM wird nach den vorliegenden Ergebnissen ein hoher Anteil in Kliniken und Röntgenpraxen emittiert (im Einzelfall aber in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit der Patienten), bzw. kann innerhalb der nächsten Stunden nach der Anwendung gezielt gesammelt und getrennt behandelt werden. Daher haben bei den IRKM Maßnahmen an der Quelle und dezentrale Maßnahmen sowie „Maßnahmen beim Patienten“ eine besondere Priorität. Für IRKM konnten wirksame, in einigen Fällen bereits erprobte und wirtschaftliche Optionen aufgezeigt werden (nach vorliegender Ersteinschätzung, aufgrund der Möglichkeiten zur Rückgewinnung des Jods). Die Umsetzung der effizientesten erforderlichen Maßnahmen könnte durch Anreizsysteme oder durch das Formulieren emissionsseitiger Mindestanforderungen von den Staaten im Rheineinzugsgebiet gesteuert werden.
- **Zentrale Maßnahmen:** Für IRKM wird die mögliche Reduzierung je nach Substanz und eingesetztem Verfahren als wenig zielführend, höchstens auf <10 bis maximal 30% (bezogen auf die heutige Eintragssituation) geschätzt. Die Erfahrungen von Anlagen, in denen weitergehende Reinigungsverfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen (zum Beispiel Ozonung, Aktivkohle)

⁸ wie z.B. Ort et al. (2009); Keller et al. (2007); Reemstma et al. (2006)

⁹ Singer, H., Huntscha, S., Hollender, J., Mazacek, J. 2008.

eingesetzt werden, sollen zusammengetragen und ausgewertet werden, um für zukünftige Entscheidungen nutzbar zu sein.

- **Anpassung von Messprogrammen:** Für Metabolite der hier genannten RKM sowie für andere (auch nicht jodierte) RKM liegen bisher nur wenige repräsentative Daten vor.
- **Anpassung von Bewertungssystemen:** Die Wissensbasis zur Bewertung der Wirkungen der hier genannten RKM ist gut, das gilt nicht für Metabolite und andere RKM. Die RKM sind bisher nicht in der Gesetzgebung berücksichtigt. Die Entwicklung von Bewertungssystemen sollte auf geeigneter institutioneller Ebene erfolgen.

Vergleich unterschiedlicher Abwasserbehandlungsverfahren an Kläranlagen

Zu Abbau/Umwandlung der Röntgenkontrastmittel im Abwasser mittels Ozonung finden sich unterschiedliche Resultate. Für das Röntgenkontrastmittel Diatrizoat, das Salz der Amidotrizoesäure, wurde eine „Elimination“ von 13 % erzielt (TERNES ET AL., 2003). In einer anderen Studie konnte ein Gesamtabbaugrad von nur 10 % festgestellt werden (FAHLENKAMP ET AL., 2006). Die nichtionischen RKM zeigten hier jedoch eine wesentlich bessere Eliminierbarkeit (Iopromid: 97 %, Iopamidol: 50-60 %, Iomeprol: 60 %) (FAHLENKAMP ET AL., 2006); Ternes et al. fanden dagegen nur eine Elimination von 0-36% an (TERNES ET AL., 2003).

Für den Einsatz granulierter Aktivkohle im Abwasser wurde im Poseidon-Projekt für die Röntgenkontrastmittel Iopromid und Iopamidol eine Elimination von 50-90 % festgestellt (TERNES ET AL., 2004); bei Diatrizoat wurde hier nur eine Eliminationsleistung von 10-50 % erzielt. Auch im Rahmen halbtechnischer Untersuchungen in einer Kläranlage mit Aktivkohleadsorptionsstufe, bestehend aus einem Kontaktreaktor und einem Sedimentationsbecken, zeigten sich deutliche Unterschiede: Die nicht-ionischen Röntgenkontrastmittel Iomeprol, Iopromid und Iohexol wurden zu rund 70 % eliminiert, Iopamidol konnte nur zu knapp 50 % entfernt werden und die ionische Amidotrizoesäure zeigte mit rund 10 % eine sehr schlechte Eliminierbarkeit (METZGER ET AL., 2005, 2007 und 2007a, in: ISA/RWTH Aachen & IWW Mülheim, 2008).

In einem aktuell noch nicht publizierten Pilotversuch (BAFU, Pilotversuch STEP Vidy Lausanne 2010) wurden die mittleren Eliminationsraten von biologischer Behandlung, Ozonung und Pulveraktivkohle für verschiedene IRKM ermittelt und führten zu folgenden Resultaten: (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ergebnisse aus dem Pilotversuch STEP

	Elimination Biologie*		Elimination Ozonung*		Elimination Pulveraktivkohle	
	Mittelwert	STABW	Mittelwert	STABW	Mittelwert	STABW
Diatrizoat und Iothalminsäure**	24%	22%	18%	16%	15%	12%
Iohexol	42%	24%	42%	15%	48%	27%
Iomeprol	28%	24%	44%	13%	50%	25%
Iopamidol	20%	15%	42%	15%	44%	26%
Iopromid	30%	28%	38%	19%	43%	30%

* Dies ist keine wirkliche Elimination sondern lediglich eine Umwandlung der IRKM

** Summe von Diatrizoat und Iothalminsäure, da in dieser Studie analytisch nicht unterscheidbar.

Außer bei der Verwendung von frischer Pulveraktivkohle, bei der eine „echte“ Elimination möglich ist, entstehen in den verschiedenen Abwasserbehandlungsverfahren (biologische Reinigung, Membranverfahren, AF, Ozonung) stets stabile jodorganische Transformationsprodukte (vgl. Kormos et al., 2010), die ihrerseits grundwasser-/trinkwassergängig oder anderweitig problematisch sein können. Dies ist bei der Bewertung der Ergebnisse ebenfalls zu berücksichtigen.

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verfahren

Kosten-/Nutzenanalysen zur Entfernung von IRKM (und anderen Stoffen) mit unterschiedlichen weitergehenden Behandlungsverfahren an verschiedenen Kläranlagen (Krankenhauskläranlage Marienhospital Gelsenkirchen, kommunale Kläranlage Bad Sassendorf, KA Schwerte, KA Hünxe; Kreiskrankenhaus Waldbröl) werden derzeit in NRW durchgeführt (Mertsch, 2009, Teichgräber 2009). Die Ergebnisse dieser Studien können für zukünftige Entscheidungen ebenfalls herangezogen werden.

Literaturangaben

BAFU (2009): Kantonsspital Liestal - Abwasserkonzept bezüglich organischer Spurenstoffe.

BAFU 2009. <http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/06387/index.html?lang=de>

BAFU, Pilotversuch STEP Vidy Lausanne 2010 (noch nicht veröffentlicht).

Berliner Wasserbetriebe (2005-2006): Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern; Abschlussbericht Projektphase 1 – April 2005; Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern - Phase 2: Praktische Durchführung Abschlussbericht Mai 2006. Kompetenzzentrum Wasser, Berlin.

Berliner Wasserbetriebe (2006): Leitfaden für die Sammlung von Urin von Patienten in Krankenhäusern die mit jodorganischen Röntgenkontrastmitteln radiologisch untersucht wurden. Kompetenzzentrum Wasser, Berlin.

DWA (in Bearbeitung): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Merkblatt DWA M-775: Abwasser aus Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen Arbeitsblatt DWA-A 790.
<http://www.dwa.de/dwa/shop/shop.nsf/shopRessource?openform&linkid=bearbeitung&navindex=080000>

EAWAG / BAFU (2009): Ozonung von gereinigtem Abwasser - Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf. EAWAG / BAFU 2009.

FAHLENKAMP, H.; NÖTHER, T.; NOWOTNY, N. (2007): Spurenstoffelimination im Ablauf kommunaler Kläranlagen – Ansätze, Reaktionsgrundlagen, Wirkungen, Kosten. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 54, Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum, für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, ISSN 0178-0980

Fritidstoa: Herstellerangaben zur Verbrennungstoilette „Cinderella“; Fritidstoa förbränningsoaletter. Web: www.fritidstoa.se

Institut für Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen (2009): Pilotprojekt Kreiskrankenhaus Waldbröl. Eliminierung von Spurenstoffen aus Krankenhausabwässern mit Membrantechnik und weitergehenden Behandlungsverfahren.
<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussberichtpilotprojektw.pdf>

Keller et al. (2007). Environmental Pollution. 148;

Kormos JL, Schulz M, Kohler H-P, Ternes T (2010): Biotransformation of Selected Iodinated X-ray Contrast Media and Characterization of Microbial Transformation Pathways. Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 4998-5007

Mertsch V. (2009): Mikroschadstoffe in der Umwelt – Maßnahmen an der Quelle. MUNLV 2009. Internetpräsentation:
http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/pdf/fachkolloquium/fk_10_mertsch.pdf

Ort et al. (2009). Environmental Science and Technology 43(9)

Putschew, A., Miehe U., Tellez A. s. & M. Jekel (2007): Ozonation and reductive deiodination of iopromide to reduce the environmental burden of iodinated X-ray contrast media. Water Sci Technol., Vol 56, No 11. pp 159-165.

Reemstma et al. (2006) Environmental Science and Technology 40(17)

RWTH/ISA Aachen & IWW Mülheim (2008): Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunale Kläranlagen – Güte- und Kostenbetrachtungen; Forschungsvorhaben des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) RWTH Aachen und des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wasserforschung gGmbH (IWW) gefördert durch das MUNLV NRW; 2008. Web: http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abschlussbericht_ruhr.pdf

Singer, H., Huntscha, S., Hollender, J., Mazacek, J. 2008. Multikomponenten-Screening für den Rhein bei Basel. Bericht der Eawag, Dübendorf, Schweiz

Stieber, M., Putschew A. & M. Jekel (2008): Reductive dehalogenation of iopromide by zero-valent iron. Water Science & Technology. WST 57.12. 2008

Teichgräber B. (2009): Maßnahmen zum Aufbau technologischer Kompetenz Spurenstoffe. Internetpräsentation des EG/LV beim Institut zur Förderung der Wassergüte- und Wassermengenwirtschaft e.F., IfWW. Internet: http://www.ifww-nrw.de/dl/FK20090505_07.pdf

TERNES, T. A.; STÜBER, J.; HERMANN, N.; MCDOWELL, D.; RIED, A.; KAMPMANN, M.; TEISER, B. (2003): Ozonation: A tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater. Water Research, Vol. 37/8, April 2003, Pages 1976-1982

TERNES, T. A.; JANEX-HABIBI, M.-L.; KNACKER, T.; KREUZINGER, N.; SIEGRIST, H. (2004): Assessment of Technologies for the Removal of Pharamceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse. (Poseidon), Contract No. EVK1-CT-2000-00047, Report, August 2004

Ternes, T. A., Bonerz M, Herrmann N, Teiser B, Andersen HR (2006): Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany (2007): An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances. Chemosphere 66 (2007) 894-904

Ternes, T. A.; Hirsch, R. Occurrence and behaviour of iodinated contrast media in the aquatic environment, Environ. Sci. Technol. 34, 2741 – 2748 (2000)

UBA (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht; Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt; Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 46:S. 249-251; 2003

UBA (2008): Öffentliche Trinkwasserversorgung – Bewertung organischer Mikroverunreinigungen, Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt, Schreiben vom 14.03.2008 an das MUNLV NRW

Stoffdatenblatt Röntgenkontrastmittel

Das Stoffdatenblatt ist wie folgt gegliedert:

1. Allgemeine Stoffdaten
2. Grundschemata zur Stoffflussanalyse
3. Emission (Produktion und Verwendung)
4. Immission (gemessene Konzentrationen und Frachten, berechnete Frachten)
5. Bewertungskriterien (Qualitätskriterien)
6. Strategieansatz (potenzielle Verminderungsmaßnahmen)

Röntgenkontrastmittel

1. Allgemeine Stoffdaten

Tabelle 1: Allgemeine Stoffdaten

Stoffname	CAS Nr.	Handelsname (Beispiele)	Verwendung	Quellennachweis
Amidotrizoesäure -Na -Meglumin	117-96-4 737-31-5 131-49-7	Gastrografin, Gastrolux, Peritrast, Urolux [Schering]	Zum Einnehmen / Rektallösung Mit Datum vom 30. September 2000 hat das BfArM die Zulaassung der ioni-schen, stark hypertonen Kontrastmittel Diatrizoat (= Amidotrizoat) und Ioxitalamat für die intravasale Applikation widerrufen.	“Rote Liste 2007” und Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) Bescheid vom 27. Juni 2000BfArM (s.u.)
Iopamidol	60166-93-0 62883-00-5	Iopathek, Solustrast, Unilux [Altana / Nycomed]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007”
Iopromid	73334-07-3	Ultravist [Schering]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007”
Iobitridol	136949-58-1	Xenetix [Guerbet]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007”
Iohexol	66108-95-0	Accupaque, Omnipaque [GE Healthcare Buchler]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007”
Iomeprol	78649-41-9	Imeron [Altana / Nycomed]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007”
Ioxitalaminsäure	28179-44-4	Telebrix [Guerbet]	Zum Einnehmen / Rektallösung (<u>nicht</u> parenteral) Mit Datum vom 30. September 2000 hat	“Rote Liste 2007” und Bundesinstitut für

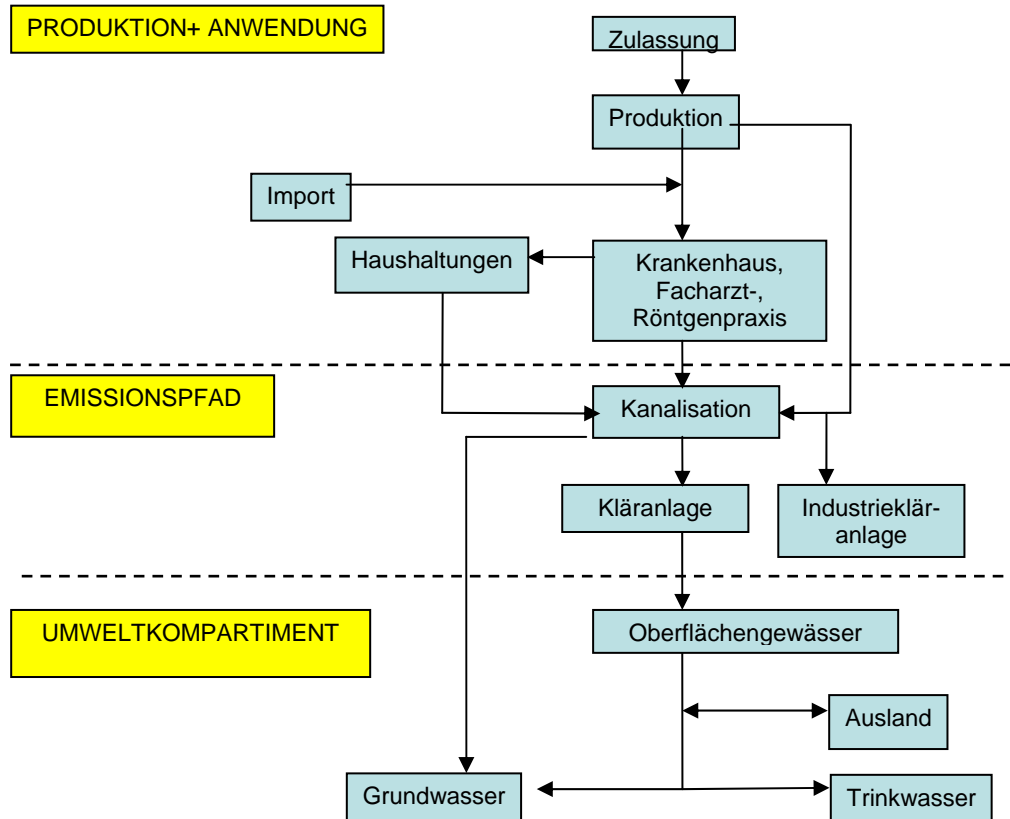
Stoffname	CAS Nr.	Handelsname (Beispiele)	Verwendung	Quellennachweis
			das BfArM die Zulaassung der ioni-schen, stark hypertonen Kontrastmittel Diatrizoat (= Amidotrizoat) und Ioxitalamat für die intravasale Applikation widerrufen.	Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) Bescheid vom 27. Juni 2000
Iodixanol	92339-11-2	Visipaque [GE Healthcare Buchler]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007“
Iosarcol	97702-82-4	Melitrast [Köhler]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007“
Iotrolan	79770-24-4	Isovist [Schering]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007“
Iotroxinsäure	51022-74-3	Biliscopin [Schering]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007“
Ioxaglinsäure	59017-64-0	Hexabrix [Guerbet]	Injektion / Infusion	“Rote Liste 2007“
Iopansäure	96-83-3			Merck-Index

Fett: als Leitsubstanzen ausgewählte Stoffe (vgl. Auswertebereich).

“Rote Liste“ [=“Arzneimittelverzeichnis für Deutschland (einschließlich EU-Zulassungen)“
Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) Bescheid vom 27. Juni 2000

2. Grundschemata zur Stoffflussanalyse

Diagramm 2.1: Stoffflussanalyse Röntgenkontrastmittel



3. Emission (Produktion und Anwendung)

Diagramm 3.1: Diagramm der Eintragspfade (Die wichtigsten Eintragspfade sind rot markiert)

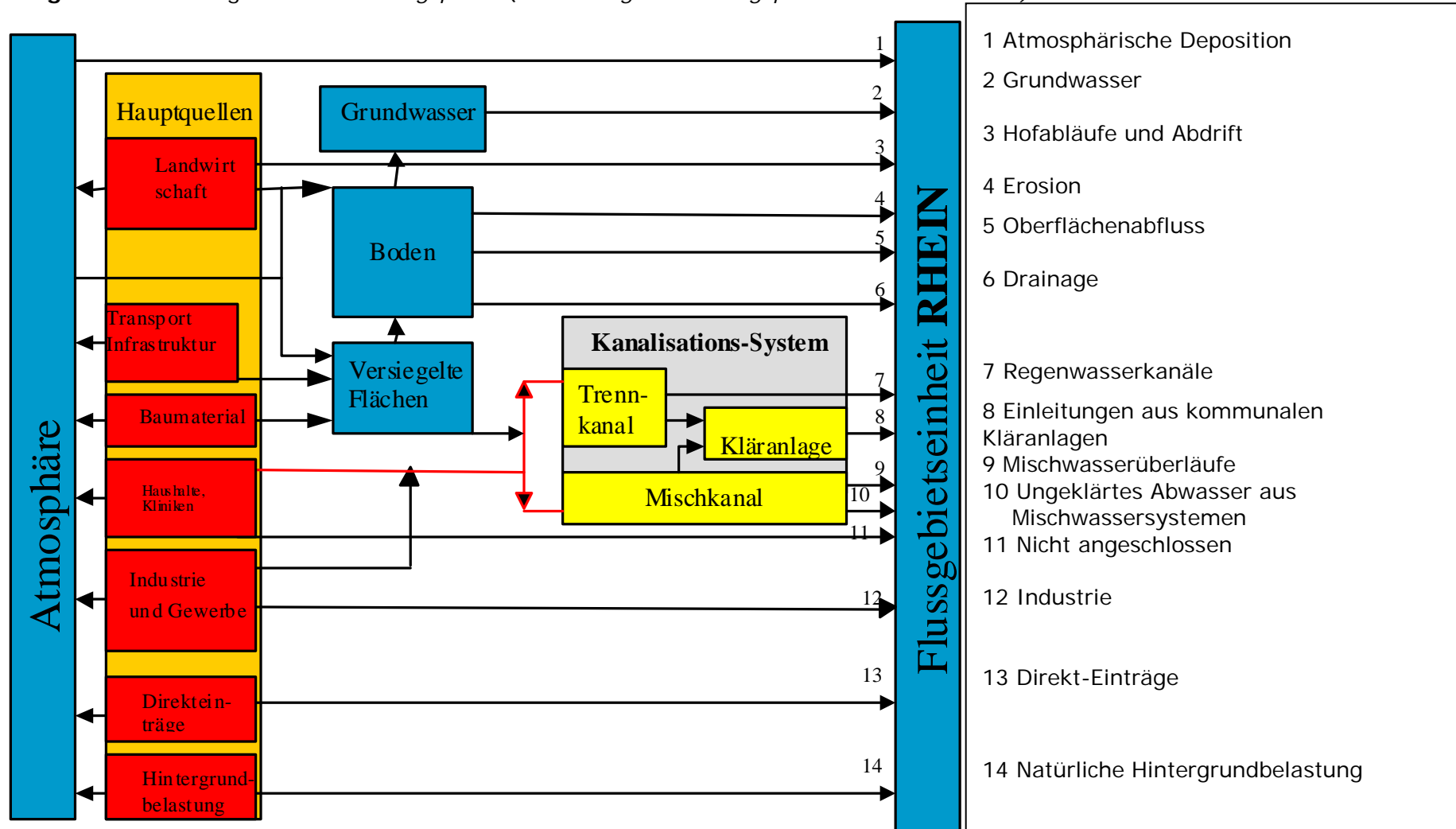


Tabelle 3.1: Im Rheineinzugsgebiet produzierte Mengen

Stoffname	A	CH	D	F	L	NL	Summe	Quellennachweis
Produzierte Mengen (in kg/Jahr)								
Im Rheineinzugsgebiet werden RKM an verschiedenen Standorten produziert (vgl. „produzierende Betriebe“ in dieser Tabelle). Produktionsmengenangaben liegen nicht vor.								
Verkaufte Mengen (in kg/Jahr)								
Amidotrizoesäure		n.a	Jahr 1999: 54.285 kg; Jahr 2001: 60.686,8 kg, davon 98% an Kliniken, der Rest an Apotheken					CH: 1) D: 2)
lobitridol		Jahr 2000: 2320 kg, davon 100% an Kliniken						CH: 1)
		Jahr 2004: 3806 kg, davon 100% an Kliniken						CH: 1)
Iohexol		Jahr 2000: 815 kg, davon 0,3% an Kliniken	Jahr 1999: 8053 kg					CH: 1) D: 2)
		Jahr 2004: 4620 kg, davon 100% an Kliniken						CH: 1)
Iomeprol		Jahr 2000: 154 kg, davon 100% an Kliniken	Jahr 1999: 33.123 kg; Jahr 2001: 83.377 kg, davon 100% an Kliniken					CH: 1) D: 2)
		Jahr 2004: 1650 kg, davon 100% an Kliniken						CH: 1)
Iopamidol		Jahr 2000: 4240 kg, davon 100% an Kliniken	Jahr 1999: 28.709 kg, Jahr 2001: 42.994 kg (>97% davon in Kliniken eingesetzt)					CH: 1) D: 2)
		Jahr 2004: 2740 kg, davon 100% an Kliniken						
Iopromid		Jahr 2000: 4540 kg, davon 100% an Kliniken	Jahr 1999: 64.934 kg; Jahr 2001: 64.055,5 kg, davon 99,6% an Kliniken, der Rest an Apotheken					CH: 1) D: 2)
		Jahr 2004: 6933 kg, davon 100% an Kliniken*						

Stoffname	A	CH	D	F	L	NL	Summe	Quellennachweis
Ioxitalaminsäure		Jahr 2000: 3370 kg, davon 99% an Kliniken	Jahr 1999: 8895 kg					CH: 1) D: 2)
		Jahr 2004: 3630 kg, davon 99,5% an Kliniken						
Ioversol			Jahr 1999: 43.581 kg					D: 2)
Iopentol			Jahr 1999: 6239 kg					D: 2)
Anzahl der produzierenden Betriebe								
Amidotrizoesäure			1 (Bayer-Schering, in Bergkamen)					LANUV NRW
Iomeprol	x (Nycomed)		2 (Altana / Nycomed in Konstanz und Unterschleißheim)					Rote Liste
Iopamidol	x (Nycomed)		3 (Schering, Altana / Nycomed)					Rote Liste
Iopromid			1 (Bayer-Schering, in Bergkamen)					LANUV NRW
Iobitridol			1 (Guerbet GmbH, in Sulzbach i. Ts.)					Rote Liste
Ioxitalaminsäure			1 (Guerbet GmbH, in Sulzbach i. Ts.)					Rote Liste
Ioxaglinsäure			1 (Guerbet GmbH, in Sulzbach i. Ts.)					Rote Liste
Iodixanol			1 (GE Healthcare Buchler GmbH & Co.KG)					Rote Liste
Iohexol			1 (GE Healthcare Buchler GmbH & Co.KG)					Rote Liste

Literaturangaben:

- 1) IMS Health (2005). Verkaufszahlen von Pharmazeutika in der Schweiz 2000 und 2004.
- 2) BLAC (2003). Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz (UMK) am 19./20. November 2003 in Hamburg. (Hrsg. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Gesundheit im Auftrag des BLAC).
- 3) Dtl.: Lt. Abschlussbericht „Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern“ der Berliner Wasserbetriebe (Berlin, im April 2005) werden RKM bei Röntgenuntersuchungen in Krankenhäusern und in niedergelassenen Praxen (Fachärzte, Röntgenpraxen) jeweils zu 50% verabreicht.

Tabelle 3.2: Im Rheineinzugsgebiet verwendete Mengen

Stoffname	A	CH	D	F	L	NL	Summe	Quellennachweis
National verwendete Mengen pro Kopf der Bevölkerung (in mg/Jahr)								
Iopamidol		398						1) 2)
Verwendete Mengen pro Kopf der Bevölkerung im Rheineinzugsgebiet (in kg/Jahr)								

Literaturangaben:

- 1) Schulte-Oehlmann, U, Oehlmann J, Püttmann W (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 168–179
http://www.startproject.de/downloads/UWSF_Schulte_Oehlmann_et_al_0807.pdf
- 2) BAFU (2009). M. Schärer, M. Keusen, BAFU; C. Abbeglen, C. Götz, H. Singer, Eawag. Stoffflüsse Bodensee: Anwendung eines einfachen Stoffflussmodells. Bundesamt für Umwelt BAFU. 24.2.2009.

Tabelle 3.4: Messdaten ($\mu\text{g/l}$) für die Eintragspfade (oder prozentuale Anteile der einzelnen Eintragspfade siehe Tabelle 3.5)

Amidotrizoensäure							
Eintragspfad	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Atmosphärische Deposition (1)							
Grundwasser (2)							
Hofabläufe und Abdrift (3)							
Erosion (4)							
Oberflächenabfluss (5)							
Drainage (6)							
Regenwasserkanäle (7)							
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	9	1	0,220	0,485	0,980	3,5	1)
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	29	14	0,05	0,1	0,23	1,2	2) 3) 4)
Mischwasserüberläufe (9)							
Ungeklärtes Abwasser aus Mischwassersystemen (10)	21	7	0,1	0,28	0,46	2,3	2) 3) 4)
Nicht angeschlossen (11)							
Direkteinleitungen aus Industrie (12)	2	0	18	50	50	82	5)
Direkteinträge (13)							
Natürliche Hintergrundbelastung (14)							

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Iopamidol							
Eintragungspfad	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Atmosphärische Deposition (1)							
Grundwasser (2)							
Hofabläufe und Abdrift (3)							
Erosion (4)							
Oberflächenabfluss (5)							
Drainage (6)							
Regenwasserkanäle (7)							
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	29	29	0,05	0,05	0,05	0,05	2) 3) 4)
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	12	0	0,017	0,12	0,355	1,8	1)
Mischwasserüberläufe (9)							
Ungeklärtes Abwasser aus Mischwassersystemen (10)	21	21	0,1	0,1	0,1	0,1	2) 3) 4)
Nicht angeschlossen (11)							
Direkteinleitungen aus Industrie (12)	2	0	0,58	3,14	3,14	5,7	5)
Direkteinträge (13)							
Natürliche Hintergrundbelastung (14)							

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Iopromid							
Eintragungspfad	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Atmosphärische Deposition (1)							
Grundwasser (2)							
Hofabläufe und Abdrift (3)							
Erosion (4)							
Oberflächenabfluss (5)							
Drainage (6)							
Regenwasserkanäle (7)							
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	29	22	0,05	0,05	1,8	23	2) 3) 4)
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	10	0	0,12	0,835	1,33	4,2	1)
Mischwasserüberläufe (9)							
Ungeklärtes Abwasser aus Mischwassersystemen (10)	21	14	0,1	0,1	9,5	76	2) 3) 4)
Nicht angeschlossen (11)							
Direkteinleitungen aus Industrie (12)	2	0	630	635	635	640	5)
Direkteinträge (13)							
Natürliche Hintergrundbelastung (14)							

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Eintragungspfad	Iomeprol						Quellennachweis
	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	
Atmosphärische Deposition (1)							
Grundwasser (2)							
Hofabläufe und Abdrift (3)							
Erosion (4)							
Oberflächenabfluss (5)							
Drainage (6)							
Regenwasserkanäle (7)							
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)							
Mischwasserüberläufe (9)							
Ungeklärtes Abwasser aus Mischwassersystemen (10)							
Nicht angeschlossen (11)							
Direkteinleitungen aus Industrie (12)	2	2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5)
Direkteinträge (13)							
Natürliche Hintergrundbelastung (14)							

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Literaturangabe:

- 1) Micropoll Datenbank BAFU (2009). Datenbank des Bundesamts für Umwelt (Schweiz) mit Monitoringdaten aus der ganzen Schweiz.
- 2) Schrap, S.M., G.B.J. Rijs, M.A. Beek, J.F.N. Maaskant, J. Staeb, G. Stroomberg, J. Tiesnitsch (2003). Humane en veterinaire geneesmiddelen in Nederlands oppervlaktewater en afvalwater. RIZA-rapport 2003.023.
- 3) AquaSense (2008). KRW- en E-PRTR-stoffen in influent en effluent van rwzi's. Rapport en factsheets. Stowa-rapport 2009-30.
- 4) STOWA (2009). Verg(h)ulde Pillen Eindrapport. Deel B Case studies. Stowa-rapport 2009-06.
- 5) LANUV Daten (2005). Datenbank des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Tabelle 3.5: Prozentuale Anteile [bzw. Frachten] der einzelnen Eintragspfade

Eintragspfad	Amidotrizoensäure	Iopamidol	Iopromid	Iomeprol	Stoffname 5	Quellennachweis
Atmosphärische Deposition (1)	0 %	0 %	0 %	0 %		
Grundwasser (2)	10 %	10 %	10 %	10 %		2)
Hofabläufe und Abdrift (3)	0 %	0 %	0 %	0 %		
Erosion (4)	0 %	0 %	0 %	0 %		
Oberflächenabfluss (5)	0 %	0 %	0 %	0 %		
Drainage (6)	0 %	0 %	0 %	0 %		
Regenwasserkanäle (7)	0 %	0 %	0 %	0 %		
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	88,9%	90 %	79,5 %	90 %		
	Haupteintrag erfolgt über die Kanalisation. Andere Quellen sind vernachlässigbar (aber: diffuser Eintrag in das Grundwasser aus Kanalisation ~ 10%; (Ca. 8% können in einer kommunalen Kläranlage, Berlin, entfernt werden → Klärschlamm.)					2)
Mischwasserüberläufe (9)						
Ungeklärtes Abwasser aus Mischwassersystemen (10)						
Nicht angeschlossen (11)						
Direkteinleitungen aus Industrie (12)	1,1 % (NRW: 63 kg/Jahr ~1%)	<0,1% (NRW: 4,4 kg/Jahr)	<10,5 % (NRW: 486 kg/Jahr ~10,5%)	0 % oder k.A. (NRW 0 kg/Jahr)		LANUV Daten (2005)
Direkteinträge (13)						
Natürliche Hintergrundbelastung (14)	0 %	0 %	0 %	0 %		

Literaturangabe:

- 1) Pineau, C.; Heinzmann, B.; Schwarz, R.-J.; Wiemann, M. und Schulz, C.: Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Phase 1: Machbarkeitsstudie des Kompetenzzentrum Wasser Berlin, April 2005
- 2) Schulte-Oehlmann, U, Oehlmann J, Püttmann W (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 168–179
http://www.startproject.de/downloads/UWSF_Schulte_Oehlmann_et_al_0807.pdf

4. Immission (gemessene Konzentrationen und Frachten, berechnete Frachten)

4.1 Konzentrationsmessdaten

Tabelle 4.1.1: Konzentrationsdaten aus dem Rhein und seinen wichtigsten Nebenflüssen (µg/l)

Amidotrizoensäure								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Basel		CH	?	?		0,027	0,085	2) (2002-2004)
Bodensee, Konstanz		CH/D	18	16	<0,01	<0,01	0,02	3)
Koblenz	590,3	D	38	1	<0,005	0,172	0,470	5) (2005-2008)
WKSt Süd/Bad Honnef	640,00	D	13	0	0,100	0,198	0,360	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	D	12	0	0,110	0,260	0,440	4) (2008)
Bimmen	864,96	D	13	0	0,130	0,256	0,450	4) (2008)
Lobith		NL	56	0	0,01	0,208	0,61	RIWA (2001-2008)
Nebenflüsse								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	3	0,01	0,09	0,39	RIWA (2001-2008)
Emscher (Mündung)	0,046	D	13	0	1,9	3,046	4,50	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	D	13	0	0,08	0,38	0,660	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	D	15	0	0,230	0,788	1,30	4) (2005-2008)
Ruhr	14,33	D	13	0	0,058	0,556	1,50	4) (2008)

Amidotrizoesäure								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
(Mülheim-Kahlenberg)								
Sieg (Menden)	8,72	D	13	1	<0,025	0,262	0,580	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	D	13	0	0,092	0,658	1,30	4) (2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	63	0	0,01	0,202	0,84	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	3	0,01	0,194	1,2	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Iopamidol								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Basel		CH	37	0		0,170	0,590	2) (2002-2004)
Bodensee, Konstanz		CH/D	18	1	0,01	0,027	0,056	3)
Koblenz	590,3	D	53	0	0,099	0,233	0,494	5) (2005-2008)
WKSt Süd/Bad Honnef	640,00	D	13	0	0,110	0,232	0,460	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	D	12	0	0,120	0,428	1,300	4) (2008)
Bimmen	864,96	D	13	0	0,100	0,343	0,820	4) (2008)
Lobith		NL	57	0	0,01	0,23	0,58	6) (2001-2008)

Iopamidol								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Nebenflüsse								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	5	0,01	0,11	0,5	6) (2001-2008)
Emscher (Mündung)	0,046	D	13	0	2,50	4,99	10,00	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	D	13	0	0,094	0,409	0,990	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	D	15	0	0,240	0,854	1,40	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	D	13	0	0,120	0,590	1,80	4) (2008)
Sieg (Menden)	8,72	D	13	0	0,200	0,898	2,00	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	D	13	1	<0,025	0,585	1,60	4) (2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	0	0,01	0,205	0,47	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	4	0,01	0,142	0,38	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Iopromid								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Basel		CH	37	0		0,067	0,140	2) (2002-2004)

Iopromid								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Bodensee, Konstanz		CH/D	18	10	<0,01	<0,01	0,018	3)
Koblenz	590,3	D	53	0	0,036	0,134	0,428	5) (2005-2008)
WKSt Süd/Bad Honnef	640,00	D	13	1	<0,025	0,127	0,200	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	D	12	0	0,055	0,140	0,320	4) (2008)
Bimmen	864,96	D	13	0	0,057	0,181	0,290	4) (2008)
Lobith		NL	56	2	0,01	0,195	0,56	6) (2001-2008)
Nebenflüsse								
Andijk (IJsselmeer)		NL	70	4	0,01	0,069	0,18	6) (2001-2008)
Emscher (Mündung)	0,046	D	13	0	1,60	2,35	3,70	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	D	13	11	<0,025	0,032	0,079	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	D	15	0	0,250	6,424	30,0	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	D	13	0	0,050	0,164	0,330	4) (2008)
Sieg (Menden)	8,72	D	13	8	<0,025	0,045	0,100	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	D	13	12	<0,025	0,030	0,086	4) (2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	62	0	0,01	0,175	0,6	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	3	0,01	0,208	0,67	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Iohexol								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Basel		CH	?			0,022	0,061	2) (2002-2004)
Bodensee, Konstanz		CH/D	18	13	<0,01	<0,01	0,026	3)
Koblenz	590,3	D	53	0	0,015	0,096	0,297	5) (2005-2008)
Lobith		NL	57	2	<0,01	0,087	0,23	6) (2001-2008)
Nebenflüsse								
Andijk (Ijsselmeer)		NL	70	13	<0,01	0,035	0,13	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	0	<0,01	0,072	0,24	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	5	<0,01	0,06	0,17	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Iomeprol								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Basel		CH	?			0,064	0,210	2) (2002-2004)
Bodensee, Konstanz		CH/D	18	3	<0,01	0,025	0,053	IGKB (TZW)
Koblenz	590,3	D	53	0	0,102	0,280	0,647	5) (2005-2008)
WKSt Süd/Bad Honnef	640,00	D	13	0	0,140	0,265	0,430	4) (2008)
Düsseldorf-Flehe	732,33	D	12	0	0,130	0,329	0,700	4) (2008)
Bimmen	864,96	D	13	0	0,180	0,372	1,00	4) (2008)

Iomeprol								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Lobith		NL	57	0	<0,01	0,2	0,68	6) (2001-2008)
Nebenflüsse								
Emscher (Mündung)	0,046	D	13	0	5,50	11,75	22,00	4) (2008)
Erft (Eppinghoven)	5,43	D	13	5	<0,025	0,101	0,290	4) (2008)
Lippe (Wesel)	3,74	D	15	0	0,300	0,727	2,00	4) (2005-2008)
Ruhr (Mülheim-Kahlenberg)	14,33	D	13	0	0,250	0,809	1,90	4) (2008)
Sieg (Menden)	8,72	D	13	4	<0,025	0,122	0,260	4) (2008)
Wupper (Opladen)	5,39	D	13	0	0,056	1,292	9,00	4) (2008)
Andijk (Ijsselmeer)		NL	70	1	<0,01	0,109	0,4	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	60	0	<0,01	0,223	0,97	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	43	4	<0,01	0,263	0,8	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Ioxaglinsäure								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Bodensee, Konstanz		CH/D	18	15	<0,01	<0,01	0,015	3)
Lobith		NL	57	57	<0,01	<0,01	<0,01	6) (2001-2008)

Ioxaglinsäure								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Nebenflüsse								
Andijk (Ijsselmeer)		NL	70	70	<0,01	<0,01	<0,01	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	62	<0,01	<0,01	0,073	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	46	<0,01	<0,01	<0,01	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Ioxitalaminsäure								
Name der Messstelle	Km	Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Rhein								
Basel		CH	33 (Messungen >BG)	?		0,025	0,058	2) (2002-2004)
Lobith		NL	57	3	<0,01	0,027	0,049	6) (2001-2008)
Nebenflüsse								
Andijk (Ijsselmeer)		NL	70	33	<0,01	0,011	0,067	6) (2001-2008)
Nieuwegein (Lekkanaal)		NL	64	6	<0,01	0,023	0,093	6) (2001-2008)
Nieuwersluis (Amsterdam-Rijnkanaal)		NL	46	5	<0,01	0,051	0,23	6) (2001-2008)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Literaturangaben:

- 1) Micropoll Datenbank BAFU (2009). Datenbank des Bundesamts für Umwelt (Schweiz) mit Monitoringdaten aus der ganzen Schweiz.
- 2) TZW Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (2006). Vorkommen und Bewertung von Arzneimittelrückständen in Rhein und Main. Veröffentlichungen aus dem TZW, Band 29. Untersuchungen im Zeitraum 2002-2004.
- 3) IGKB (TZW). Messreihen im Bodensee.
- 4) LANUV Daten (Untersuchungszeitraum). Datenbank des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Stand: 08/2009.
- 5) BfG Daten (Untersuchungszeitraum)
- 6) RIWA (2001-2008). Jaarrapporten. De Rijn' in de jaren 2001 t/m 2008. RIWA

Tabelle 4.1.2: Übersicht über Konzentrationsdaten aus sonstigen Oberflächengewässern ($\mu\text{g/l}$)

Amidotrizoensäure							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
CH	11	0	0,01	0,054	0,275	1,5	1)
Iopamidol							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
CH	14	3	0,011	0,030	0,400	3,5	1)
Iopromid							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
CH	23	4	0,01	0,052	0,266	3,7	1)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Literaturangaben:

1) Micropoll Datenbank BAFU (2009). Datenbank des Bundesamts für Umwelt (Schweiz) mit Monitoringdaten aus der ganzen Schweiz.

Tabelle 4.1.3 Konzentrationsdaten für Grund- und Trinkwasser ($\mu\text{g/l}$)

Amidotrizoensäure							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Grundwasser							
Trinkwasser (Uferfiltrat bzw. angereichertes Grundwasser)							
D	31	10	<0,01	0,025	0,069	0,6	1)
Trinkwasser (Wasserhahn)							
NL	12	1	0,010			0,083	Mons et al (2003)
Iopamidol							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Grundwasser							
Trinkwasser (Uferfiltrat bzw. angereichertes Grundwasser)							
D	31	11	<0,01	0,025	0,065	0,67	1)
Trinkwasser (Wasserhahn)							
NL	51	42	0,010			0,069	Mons et al (2003) Versteegh et al (2007)

Iopromid							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Grundwasser							
Trinkwasser (Uferfiltrat bzw. angereichertes Grundwasser)							
D	31	26	<0,01	0,005	0,014	0,05	1)
Trinkwasser (Wasserhahn)							
NL	54	52	0,025			0,036	Mons et al (2003) Versteegh et al (2007)

Iohexol							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Grundwasser							
Trinkwasser (Uferfiltrat bzw. angereichertes Grundwasser)							
D	31	31	<0,01	<BG	<BG	<0,05	1)
Trinkwasser (Wasserhahn)							

Iomeprol							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Grundwasser							
Trinkwasser (Uferfiltrat bzw. angereichertes Grundwasser)							
D	31	28	<0,01	<0,01	0,014	0,05	1)
Trinkwasser (Wasserhahn)							

Iopansäure							
Rheinanliegerstaat	Anzahl Messungen	Anzahl < BG	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Quellennachweis
Grundwasser							
Trinkwasser (Uferfiltrat bzw. angereichertes Grundwasser)							
D	10	10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1)
Trinkwasser (Wasserhahn)							

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

Literaturangaben:

1) AWWR (2006): Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr. Messdaten der Wasserwerke an der Ruhr im Zeitraum 2003-2006.

4.2 Frachten

Tabelle 4.2.1. Im Rhein (und Zuflüssen 1. Ordnung) gemessene Frachten (kg/Jahr) ¹⁾

Gemessene Frachten								
Name der Messstelle	Km	Rhein-an-lieger-staat	Anzahl Messun-gen	Anzahl < BG	Abfluss (Mittelwer t in m3/s)	Referenz-jahre	Fracht (t/Jahr)	Quellen-nachweis
Amidotrizoesäure								
Rhein (WKSt Süd/Bad Honnef)	639,997	D	13	0	2042,3	2008	11,5	2) (2008)
Rhein (Düsseldorf-Flehe)	732,33	D	12	0	1920,0	2008	15	2) (2008)
Rhein (Bimmen)	864,96	D	13	0	2284,6	2008	17	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	13	0	202,9	2008	3	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	3	0	43,8	2005-2006	0,8	2) (2005-2006)
Iomeprol								
Rhein (WKSt Süd/Bad Honnef)	639,997	D	13	0	2042,3	2008	16	2) (2008)
Rhein (Düsseldorf-Flehe)	732,33	D	12	0	1920,0	2008	20	2) (2008)
Rhein (Bimmen)	864,96	D	13	0	2284,6	2008	26	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	13	0	202,9	2008	5	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	3	0	43,8	2005-2006	0,6	2) (2005-2006)
Iopamidol								
Rhein (WKSt Süd/Bad Honnef)	639,997	D	13	0	2042,3	2008	14	2) (2008)
Rhein (Düsseldorf-Flehe)	732,33	D	12	0	1920,0	2008	23	2) (2008)

Gemessene Frachten								
Name der Messstelle	Km	Rhein-an-lieger-staat	Anzahl Messun-gen	Anzahl < BG	Abfluss (Mittelwer t in m3/s)	Referenz-jahre	Fracht (t/Jahr)	Quellen-nachweis
Rhein (Bimmen)	864,96	D	13	0	2284,6	2008	24	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	13	0	202,9	2008	4	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	3	0	43,8	2005-2006	1,2	2) (2005-2006)
Iopromid								
Rhein (WKSt Süd/Bad Honnef)	639,997	D	13	1	2042,3	2008	8	2) (2008)
Rhein (Düsseldorf-Flehe)	732,33	D	12	0	1920,0	2008	8	2) (2008)
Rhein (Bimmen)	864,96	D	13	0	2284,6	2008	13	2) (2008)
Ruhr (Mülheim Kahlenberg)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	13	0	202,9	2008	1	2) (2008)
Lippe (Wesel)	Nebenfluss Rhein 1. Ordnung	D	3	0	43,8	2005-2006	4,5	2) (2005-2006)

Legende: BG = Bestimmungsgrenze

¹⁾ Bei der Frachtab-schätzung wurde der Mittelwert der einzelnen Transporte aus gemessener Konzentration x mittleren gemessenen Tagsabfluss auf 364 Tage hochgerechnet. Konzentrationen < BG wurden mit 0 berücksichtigt.

Literaturangaben:

2) LANUV Daten (Untersuchungsjahr). Datenbank des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Stand: 08/2009.

5. Bewertungskriterien (Qualitätskriterien)

Tabelle 5.1: Existierende nationale und internationale Qualitätskriterien (in µg/l)

Stoffname	Qualitätskriterien										Quellennachweis	
	UQN	IKSR-Zielvorgabe	Nationale Werte							IAWR-Werte		Sonstige (bezogen auf die Trinkwasser-gewinnung)
			A	CH	D	F	L	NL				
Iodierte RKM (nicht spezifiziert)	Nicht vhd.									0,1	GOW: ≤0,1 → <1,0	1), 2) (UBA, 2008) 3) IAWR (2007) 4) MUNLV (2009)
Amidotrizoesäure	Nicht vhd.									0,1	≤0,1 → <1,0	
Iopromid	Nicht vhd.									0,1	≤0,1 → <1,0	
Iopamidol	Nicht vhd.									0,1	≤0,1 → <1,0	
Iomeprol	Nicht vhd.									0,1	≤0,1 → <1,0	

Legende: UQN = **U**mwelt**q**ualitäts**n**ormen der EU-Mitgliedstaaten (gemäß EU-WRRL)
IAWR = **I**nternationale **A**rbeitsgemeinschaft der **W**asserwerke im **R**heineinzugsgebiet.
GOW = **G**esundheitlicher **O**rientierung**w**ert: Vorsorgewert für die lebenslange, tägliche Trinkwasseraufnahme.

Die Schreibweise „≤0,1 → <1,0“ ist gemäß 2) UBA, 2008, wie folgt zu verstehen:

„Nach Ausräumung des Verdachtes auf Chromosomenschädigung, dem Fehlen eines erkennbaren neurotoxischen oder immuntoxischen Potenzials, aber eben auch dem Fehlen subchronischer und chronischer Tierversuche für alle RKM, gilt gemäß unserer Empfehlung (UBA, 2003) ein *Gesundheitlicher Orientierungswert von GOW = 1 µg/l pro RKM als Vorsorgewert*. Als solcher gilt er auch für Komponenten von Summen gleichzeitig ähnlich wirkender Stoffe als Einzelstoffwert. Rein *toxikologisch abgeleitete, lebenslang gesundheitlich duldbare Leitwerte LW* sind für RKM nicht verfügbar. Ein *trinkwasserhygienischer Zielwert* wäre, etwa hinsichtlich der Möglichkeit des Entstehens toxikologisch relevanter Transformationsprodukte aus der oxidativen Trinkwasseraufbereitung, unter fallweiser Konkretisierung von § 6(3) TrinkwV 2001 auch unterschiedlich niedriger als der o.g. GOW vorzugeben.“

Literaturangaben:

- 1) Bewertung des Vorkommens von Röntgenkontrastmitteln im Trinkwasser / Schreiben des Umweltbundesamtes vom 14.03.08 an das Umweltministerium NRW, zit. in: MUNLV (2009).
- 2) UBA (2008). Schreiben des Umweltbundesamtes an das Umweltministerium Nordrhein-Westfalen (14/03/2008). Toxikologische und trinkwasserhygienische Bewertung trinkwasserrelevanter Kontaminanten der Ruhr (nicht veröffentlicht**); zitiert in: http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/zwischenbericht_reine_ruhr.pdf).
- 3) IAWR (2007). Position der IAWR und IAWD zu organischen Spurenstoffen in den Gewässern. Köln, 28.03.2007. http://www.iawr.org/docs/publikation_sonstige/070329_Spurenstoffe_IAWR_IAWD2.pdf
- 4) MUNLV (2009). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Erster Zwischenbericht des Programms „Reine Ruhr“, Strategie zur Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität. http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/zwischenbericht_reine_ruhr.pdf

Tabelle 5.2: Bestandsaufnahme der Toxizitätsdaten

Stoff	NOEC chronisch (g/L)	NOEC akut (g/L)	Spezies	Endpunkt	Effekt- Konzentration	AF	PNEC chronisch (mg/L)	PNEC akut (mg/L)	Quellennachweis
Iopamidol			(s.u.)			100	>10 mg/L		1)
			Vibrio fisheri	Inhibition der Lichtemission	EC _{50/30 min} : >10.0 g/L				1)
			Pseudomonas putida	Wachstumshemmung	EC _{10/16h} : >10.0 g/L				1)
			Scenedesmus subspicatus	Wachstumshemmung	EC _{50/72h} : >10.0 g/L				1)
			Daphnia magna	Immobilisierung	EC _{50/24h} : >10.0 g/L				1)
	≥1.0 g/L		Daphnia magna	Reproduktion (Chronische Giftigkeit)	EC _{50/22d} : >1.0 g/L				1)
			Danio rerio	Mortalität	LC _{50/96h} : >10.0 g/L				1)
			Leuciscus idus	Mortalität	LC _{50/48h} : >10.0 g/L				1)

Legende: NOEC = **N**o **o**bserved **e**ffect **c**oncentration
 AF = **A**ssessment **f**actor
 PNEC = **P**redicted **n**o **e**ffect **c**oncentration

Literaturangaben:

- 1) T. Steger-Hartmann, R. Länge and H. Schweinfurth (2002). Environmental Risk Assessment for the Widely Used Iodinated X-Ray Contrast Agent Iopromide (Ultravist). Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 42, Issue 3, March 1999, Pages 274-281.
- 2) The Merck Index; Thirteenth Ed. (2001)

6. Strategieansatz (potenzielle Verminderungsmaßnahmen)

Tabelle 6.1: Potenzielle Maßnahmen an der Quelle

Maßnahme	Wirkung/Be- wertung der Maßnahme	Betroffene In- dikator- substanzen	Zeitbedarf			Quellen- nachweis
			<5 Jahre	>5 bis <10 Jahre	>10 Jahre	
Beim Hersteller: Rückgewinnung des Jods durch getrennte Erfassung und Verbrennung der Nebenprodukte aus der Herstellung von jodierten RKM (Verfahren der Fa. Bayer-Schering, Bergkamen)	Niedrig bis mittel	Amidotrizoesäure, Iopamidol, Iomeprol, Iopromid	x			1) (2007)
Da RKM bereits innerhalb von 24 Stunden nach ihrer Applikation vom Patienten nahezu vollständig ausgeschieden werden, bietet sich die getrennte Erfassung des gesammelten Urins an. Maßnahme: Einrichtung einer zentralen Sammelstelle pro Bundesland mit Primärharn-Sammeltank, Nanofiltrationsanlage zur Aufkonzentrierung und Sammel-tank für das jodhaltige Konzentrat. Das Jodhaltige Konzentrat kann unter Rückgewinnung des Jods als Wertstoff verbrannt werden (dadurch entstehen für die Entsorgung keine bzw. sehr geringe Kosten). Die Akzeptanz bei den Ärzten, beim Klinikpersonal und bei den Patienten erwies sich als gut.	hoch	Alle mittels Injektion verabreichten und durch den Urin ausgeschiedenen RKM: Iopamidol, Iomeprol, Iopromid, Iobitridol, Iohexol, Iomeprol, etc. (nicht: Amidotrizoesäure, Ioxitalaminsäure)	x			1) (2007) 2) (2005)
Für die Beseitigung der beiden zur Kontrastierung des Magen-Darm-Traktes eingesetzten RKM (Amidotrizoesäure, Ioxitalaminsäure), sowie zur Beseitigung der über den Urin ausgeschiedenen RKM: Dazu existiert ein Verfahren, das sich einer sog. „elektrischen Verbrennungstoilette“ bedient. Diese Geräte, die alle menschlichen Ausscheidungen vollständig und unschädlich beseitigen, sind in Skandinavien sehr weit verbreitet.	hoch	Alle RKM (über den Darm ausgeschiedene RKM + harngängige RKM)	x			4) (in press); 5) (2009)

Tabelle 6.2: Potenzielle Möglichkeiten zur Reduzierung des Eintrages für die verschiedenen Eintragspfade

Eintragspfad	Relevanz	Maßnahme	Wirkung/Bewertung der Maßnahme	Eliminierte Indikatorsubstanzen	Zeitbedarf			Quellenachweis
					< 5 Jahre	>5 bis <10 Jahre	> 10 Jahre	
Atmosphärische Deposition (1)	0							
Grundwasser (2)	1	Undichtigkeiten im Kanalnetz beseitigen	Gering bis mittel (im Mittel ca.10%)	Amidotrizoe-säure, Iopamidol, Iomeprol, Iopromid		x	x	3)
Hofabläufe und Abdrift (3)	0							
Erosion (4)	0							
Oberflächenabfluss (5)	0							
Drainage (6)	0							
Regenwasserkanäle (7)	0							
Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen (8)	3	Da RKM bereits innerhalb von 24 Stunden nach ihrer Applikation vom Patienten nahezu vollständig ausgeschieden werden, bietet sich die getrennte Erfassung des gesammelten Urins an. Maßnahme: Einrichtung einer zentralen Sammelstelle pro Bundesland mit Primärharn-Sammeltank, Nanofiltrationsanlage zur Aufkonzentrierung und Sammel-tank für das jodhaltige Konzentrat. Das Jodhaltige Konzentration kann unter Rückgewinnung des Jods als Wertstoff verbrannt werden (dadurch entstehen für die Entsorgung keine bzw. sehr geringe Kosten). Die Akzeptanz bei den Ärzten, beim Klinik-personal und bei den	hoch	Amidotrizoe-säure, Iopamidol, Iomeprol, Iopromid	x			1) 2)

Eintragspfad	Relevanz	Maßnahme	Wirkung/Beurteilung der Maßnahme	Eliminierte Indikatorsubstanzen	Zeitbedarf			Quellenachweis
		<p>Patienten erwies sich als gut.</p> <p>Weitere Verfahren: Einsatz von Urinsammelbeuteln Einsatz von Verbrennungstoiletten in Röntgenpraxen und Kliniken (s.o.) Das Verfahren der reduktiven Dehalogenierung mit elementarem Eisen zur Rückgewinnung wurde in Berlin bereits erfolgreich eingesetzt.</p>						
Mischwasserüberläufe (9)	1							
Ungeklärtes Abwasser aus Mischwassersystemen (10)	1							
Nicht angeschlossen (11)	1	Erhöhung des Anschlussgrades	gering			x	x	
Direkteinleitungen aus Industrie (12)	1	Verbrennung der Nebenprodukte aus der Herstellung von jodierten RKM in einem Drehrohrofen unter Rückgewinnung des Jods (Verfahren der Fa. Bayer-Schering, Bergkamen)	<p>Wegen des hohen bzw. steigenden Handelspreises von Jod ist die Rückgewinnung von Iod derzeit rentabel.</p> <p>Aufgrund des insgesamt vergleichsweise niedrigen Anteiles der aus Direkteinleitungen stammenden Gewässerbelastung ist die Gesamtwirkung nur als mittel bis gering einzustufen (<1-10%).</p>	Amidotrizoesäure, Iopamidol, Iomeprol, Iopromid	x			1) 2007
Direkteinträge (13)	0							

Eintragspfad	Relevanz	Maßnahme	Wirkung/Bewertung der Maßnahme	Eliminierte Indikatorsubstanzen	Zeitbedarf			Quellenachweis
Natürliche Hintergrundbelastung (14)	0							

Legende:

Relevanz des Eintragspfades

0 = nicht von Bedeutung

1 = von geringer Bedeutung (Eintrag < 10 %)

2 = von mittlerer Bedeutung (Eintrag > 10 bis < 50%)

3 = von großer Bedeutung (Eintrag > 50 %)

Literaturangaben:

- 1) LANUV (2007). Jodierte Röntgenkontrastmittel. Nicht veröffentlichter Bericht des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen vom 29.10.2007 an das MUNLV.
- 2) Pineau, C.; Heinzmann, B.; Schwarz, R.-J.; Wiemann, M. und Schulz, C.: Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Phase 1: Machbarkeitsstudie des Kompetenzzentrum Wasser Berlin, April 2005
- 3) Schulte-Oehlmann, U, Oehlmann J, Püttmann W (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 168–179
http://www.startproject.de/downloads/UWSF_Schulte_Oehlmann_et_al_0807.pdf
- 4) DWA-Merkblatt M-775 (Krankenhausabwasser) (in press.)
- 5) Tagungsband des Indirekteinleiterseminars beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft (BEW). Essen, 2009.
- 6) BAFU (2009): Kantonsspital Liestal - Abwasserkonzept bezüglich organischer Spurenstoffe. BAFU 2009.
<http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/06387/index.html?lang=de>

Tabelle 6.3: Für die allgemeine Strategie der IKSR zu verwendenden Elemente

Maßnahme	Zeitbedarf		
	< 5 Jahre	> 5 bis < 10 Jahre	> 10 Jahre
Wertstoffrückgewinnung (Iod) als Maßnahme an der Quelle	x		
Einsatz von elektrischen Verbrennungstoiletten in Röntgenpraxen und Kliniken (Maßnahme ist sofort verfügbar und es ist eine vollständige unschädliche Entsorgung möglich): - <u>Energiebedarf</u> : 1,0 – 2,0 kWh pro Toilettenbenutzung (Herstellerangabe). - <u>Bisherige Verwendung</u> : speziell in Norwegen, dort in den meisten einzelstehenden Häusern und Freizeit-/Fischerhütten entlang der Fjorde verbreitet. - <u>Für Krankenhäuser</u> ist das System bisher wohl neu. Der Vorschlag wurde im DWA-Arbeitskreis IG-2.14 zur Überarbeitung des Merkblattes M-775 "Krankenhausabwasser" diskutiert. Die bisherige Anwendung spricht für die Einfachheit des Systems und der Energieverbrauch wurde, gemessen an der Einsparung für die Aufarbeitung des Abwassers als mäßig bis gering eingeschätzt.	x		
Maßnahme auf Patientenebene: <u>Einsatz von Urinsammelbeuteln</u> : In BAFU (2009) zeigte ein Variantenvergleich, dass für RKM die Maßnahme auf Patientenebene am besten abschneidet. Sowohl bezüglich eliminierbarer Fracht als auch bezüglich Kosten-Nutzen-Verhältnis ist diese Maßnahme den zentralen (konventionelle Kläranlage) und separaten Abwasserreinigungsverfahren im Spital (Ozonung, Pulveraktivkohle) überlegen.	x		
<u>Maßnahmen im Krankenhaus</u> (separate Kläranlage: Ozonung, Pulveraktivkohle oder Ausrüstung des Spitals mit Vakuuntoiletten): haben im Vergleich zu der o.g. Maßnahme auf Patientenebene den Nachteil, dass sie die ambulant abgegebenen RKM nicht abdecken.		x	

ANHANG

Vergleich möglicher Verfahren zur Beseitigung von jodierten Röntgenkontrastmitteln (i RKM) in Patientenurin und Krankenhausabwasser:

Verfahren	Geräte / Apparate	Verbrauchsmaterialien	Energieaufwand für	Vorteile	Nachteile
Ozonung ⁽¹⁾	Ozongenerator, Pumpe	Reinsauerstoff	Ozonerzeugung, Begasung	Etabliertes Verfahren zur Abwasserbehandlung	Es entstehen nur uncharakterisierte jodorganische Fragmente, nicht abbaubar aber möglicherweise gefährlich! Wirkung durch anderes organisches Material vermindert.
Verbrennung (Drehrohrofen) ⁽²⁾	Nanofiltrationsanlage oder Verdampfer	keine	Aufkonzentrieren mit Nanofiltration oder Eindampfen, Transport	Rückgewinnung von Jod, 100% Beseitigung der iRKM, kein belastetes Abwasser	Sammeln, Aufkonzentrieren und Transport zur Verbrennung erforderlich
Reduktive Dehalogenierung ⁽³⁾ mit elementarem Eisen	Reaktionssäule, Pumpe, pH-Stat, (evtl. Vorfilter)	Eisenwatte (mit großer Oberfläche), Säure	Rührer (pH-Einstellung), Pumpe	Sehr einfaches, nicht aufwändiges Verfahren, preisgünstig, echte Deiodierung (I)	Nur ca. 80% Jodfreisetzung; 20% uncharakterisierte Metabolite ins Abwasser
Ag(111)-katalysierte Dehalogenierung ⁽⁴⁾	Hochvakuum-Verdampfer/-Reaktionsbehälter, Ag(111)-beschichteter Reaktor	Ag(111)-Beschichtung, Argon für Regeneration	Hochvakuum-Verdampfung	???	Neues Verfahren, nicht etabliert, nur für Jodalkane beschrieben
Photochemischer / photolytischer Abbau ⁽⁵⁾	Lichtquelle (UV-Lampe), Bestrahlungskammer	ggf. TiO ₂ -Katalysator + Reinsauerstoff	UV-Lampe, Pumpe	Etabliertes Verfahren zur Abwasserbehandlung; die Wirkung wird evtl. durch anderes organisches Material verbessert.	Nur geringe Jodidfreisetzung, viele uncharakterisierte Metabolite ins Abwasser; (evtl. mit UV von ca. 250 nm besser?)

Verfahren	Investitions- kosten	Betriebs- kosten	Abwasser-/Abfall- Anfall	Wirtschaftlichkeit	Umweltwirkung (= Nutzen)	Eignung für dezentralen Ein- satz	Innovation
Ozonung	+	++	+++	+	-	+++	-
Verbrennung (Drehrohrofen)	++	++	-	++(+)	+++	-	++
Reduktive Dehalo- genierung mit elementarem Eisen	+ / -	-	+(+)	+(+)	++	+++	+++
Ag(111)-katalysierte Dehalogenierung	+++	+++	++	-	-	-	-
Photochemischer / photolytischer Abbau	++(+)	++	++(+)	+	+	+++	(+)

+++ = sehr hoch; **++** = hoch; **+** = mäßig; **-** = gering;

Literaturangabe:

⁽¹⁾ = T. Ternes, BfG

⁽²⁾ = Bayer-Schering, Bergkamen, (Dr. Bennemann)

⁽³⁾ = Stieber, M., Putschew, A. & Jekel, M. (2008) Reductive dehalogenation of iopromide by zero-valent iron; *Water Science & Technology* **57**(12), 1969-1975

⁽⁴⁾ = Buelow, M.T. & Gellman, A.J. (2001) The transition state for metal-catalyzed dehalogenation: C-I bond cleavage on Ag(111); *J.Am.Chem.Soc.* **123**,1440-1448

⁽⁵⁾ = Doll, T.E. (2004) Dissertation Universität Karlsruhe: Photochemischer und photokatalytischer Abbau von Carbamazepin, Clofibrinsäure, Iomeprol und Iopromid.