Kurzfassung des Abschlussberichts
zum Forschungsvorhaben

„Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren“

AZ IV-7 - 042 600 001C

Vergabenummer 08/058.1

Teilprojekt 3 (TP 3):

Analyse der Eliminationsmöglichkeiten von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW

gerichtet an das

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Arge „Elimination von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW“, Teilprojekt 3

Bochum, den 31.12.2013

MedEcon Ruhr GmbH

Uwe Seidel

Projektpartner und Impressum

MedEcon Ruhr GmbH
Projektsteuerung: Dipl.-Geol. Uwe Seidel
Universitätsstraße 142, D-44799 Bochum
Tel.: +49 234 97836 -20, FAX: +49 234 97836 -14
E-Mail: seidel@medeconruhr.de, www.medeconruhr.de

Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)
Projektleitung: Dr. Jochen Türk
Bliersheimer Straße 58-60, 47229 Duisburg
Tel.: +49 2065 418 -179, FAX: +49 2065 418 -211
E-Mail: tuerk@iuta.de, www.iuta.de

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik **UMSICHT**
Projektleitung: Dipl.-Ing. Bettina Sayder
Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen
Tel.: +49 208 8598-1403, Fax.: +49 208 859812-90
E-Mail. bettina.sayder@umsicht.fraunhofer.de, www.umsicht.fraunhofer.de

Institut für Wasserforschung GmbH
Projektleitung: Dipl.-Ing. Ninette Zullei-Seibert
Zum Kellerbach 46, 58239 Schwerte
Telefon: +49 2304 9575 -350´, Telefax: +49 2304 9575 -220
E-Mail: Ninette.Zullei-Seibert@wwu-labor.de, www.wwu-labor.de,www.ifw-dortmund.de

Grontmij GmbH
Ressort Umwelt und Unternehmensberatung
Projektleitung: Dr.-Ing. Heinrich Herbst
Graeffstraße 5, 50823 Köln
Tel.: +49 221 57402 -744, Fax: +49 221 57402 -748
E-Mail: heinrich.herbst@grontmij.de, www.grontmij.de

Zitiervorschlag:

Seidel, U., Ante, S., Börgers, A., Herbst, H., Matheja, A., Remmler, F., Sayder, B., Türk, J. (2013): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Analyse der Eliminationsmöglichkeiten von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW (TP 3)“, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), AZ IV-7 - 042 600 001C, Vergabenummer 08/0581.

Fachliche Begleitung:

LANUV NRW

Informationen / Kontakt:

Der Bericht kann beim MKULNV unter poststelle@mkulnv.nrw.de angefragt werden.
Ansprechpartner MKULNV: viktor.mertsch@mkulnv.nrw.de

Danksagung:

Wir danken der Krankenhausgesellschaft Nordrhein-Westfalen e.V. (KGNW) und dem Arbeitskreis Umweltschutz im Krankenhaus in Nordrhein-Westfalen für die Unterstützung bei der Bewerbung des Projektes.

Frau Christa McArdell und Frau Beate Escher danken wir für die Bereitstellung von Ausscheidungsraten der Arzneimittelwirkstoffe, PNEC-Werten und weiteren Daten aus Erhebungen in der Schweiz.

Herrn Ulf Nielsen wird für die Bereitstellung der in Dänemark diskutierten Grenzwerte für Krankenhausabwasser gedankt.

Bei den Mitarbeitenden der Kliniken, die aktiv teilgenommen haben, bedanken wir uns für die Zusendung und Bereitstellung der Daten und die Zusammenarbeit im Rahmen der Monitoring-Studie.

Inhaltsverzeichnis

Projektpartner und Impressum 2
1 Zusammenfassung 5
2 Einleitung 9
3 Charakterisierung der Ausgangssituation 10
4 Typische Eintragsszenarien 12
5 Erfassung und Bewertung von organisatorischen und technischen Maßnahmen 16
6 Monitoring von Krankenhausemissionen, Fracht- und Risikoabschätzung 20
7 Kostenbewertung und Nutzenpotenziale 22
8 Schlussfolgerungen 26

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung	Einheit
AOP	Advanced Oxidation Process (Ozon und kombinierte oxidative Verfahren)	-
ATC	Anatomisch-Therapeutisch-Chemische Gesichtspunkte	-
B	Bevölkerungsdichte	-
DDD	Defined Daily Dose (festgelegte Tagesdosis)	-
ELWAS	Elektronisches Wasserinformationssystem	-
G	Größenklasse der Krankenhäuser	-
GK	Größenklasse der Kläranlagen	-
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung	-
IT NRW	Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen	-
KGNW	Krankenhausgesellschaft Nordrhein-Westfalen e. V	-
LC-MS/MS	Flüssigchromatographie mit Tandemmassenspektrometrie	-
MBR	Membranbioreaktor	-
MEC	measured environmental concentration	[µg/L]
MGEPA	Ministerium für Gesundheit, Emanzipation, Pflege und Alter des Landes Nordrhein-Westfalen	-
OTC	Over-the-Counter (rezeptfreier Verkauf)	-
PAK	Pulveraktivkohle	-
PEC	predicted environmental concentration	[µg/L] / [mg/L]
PNEC	predicted no-effect concentration	[µg/L] / [mg/L]
SGB	Sozialgesetzbuch	-
TS	Typenstandort	-
UO	Umkehrosmose	-

1 Zusammenfassung

Im Teilprojekt 3 **„Analyse der Eliminationsmöglichkeiten von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW“** der Ausschreibung „Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren“ des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen sind organisatorische und technische Maßnahmen zur Reduktion des Arzneimitteleintrags aus den Kliniken NRW in den Wasserkreislauf erfasst und bewertet worden. Die Erfassung des „Status quo“ erfolgte unter anderem durch eine breit aufgestellte Umfrage in den 410 betrachteten Krankenhäusern. Im Rahmen der Umfrage wurden ebenfalls die Entwässerungssituation und der spezifische Arzneimittelverbrauch der Krankenhäuser abgefragt. Zusätzlich ist eine Mess- und Monitoringkampagne an 19 Krankenhäusern sowie einem Zulauf einer Kläranlage zur Erfassung der Arzneimittelbelastung der entsprechenden Abwässer durchgeführt worden

Als zentrales Ergebnis des Projektes zeigte sich, dass insbesondere die Umsetzung vieler **organisatorischer Maßnahmen** den Austrag von Arzneimittelwirkstoffen aus den Krankenhäusern erheblich reduzieren kann. Eine Befragung in ausgewählten Krankenhäusern ergab, dass viele dieser Maßnahmen in den Kliniken bereits etabliert sind. Vor diesem Hintergrund wird der Maßnahme „**Verminderung von Medikamentenabfällen“** von den Krankenhäusern stärker als zuvor eine hohe Priorität zugeordnet, da dies unmittelbar Einfluss auf die Entsorgungskosten hat. So sollen Altarzneimittel oder (flüssige) Arzneimittelreste mittels Geliermittel über den Hausmüll entsorgt werden. Diese Art der Entsorgung ist in Deutschland zu favorisieren, da nahezu 100% des Hausmülls verbrannt werden. Eine Entsorgung von Arzneimitteln mittels des Wasserpfades ist generell nicht sinnvoll. Im Handlungsfeld „**Emissionsmanagement in der Siedlungswasserwirtschaft**“ werden Maßnahmen zu Wassersparmaßnahmen, empfohlen und weitestgehend in den Krankenhäusern umgesetzt. Durch die Sammlung von Urin können bis zu 100% der Arzneimittelwirkstoffe (z. B. iodierte Röntgenkontrastmittel) aus dem Wasserkreislauf entfernt werden.

Zur Elimination von Arzneimitteleinträgen aus dem Abwasser von Krankenhäusern sind eine Reihe **technischer Maßnahmen** bekannt. Sie reichen von lokalen Maßnahmen über Teilstrom- bzw. Vollstrombehandlungen in Krankenhäusern bis zu Erweiterungen und Ertüchtigungen bestehender Kläranlagen. Sie umfassen eine Vielzahl verschiedener Aufbereitungs- bzw. Eliminiationsprozesse. Zu den betrachteten **dezentralen** Verfahren gehören die **Sammlung von Patientenausscheidungen im Krankenhaus**, eine veränderte **Toilettentechnik** und die Behandlung von Teil- oder Vollströmen mit Technologien der erweiterten Abwasserbehandlung beispielsweise mittels Oxidation (Ozonung) oder Adsorption mittels Einsatz von Pulveraktivkohle. Die **Mitbehandlung von Krankenhausabwasser in**

kommunalen Kläranlagen mit einer weitergehenden Abwasserbehandlung als zentrale Reinigungsoption ist in den meisten Fällen in NRW die sinnvollste Maßnahme.

Neben der Beschreibung und Bewertung der organisatorischen und technischen Maßnahmen ist auf Grundlage der erhobenen Daten eine **Erarbeitung typischer Eintragsszenarien** und eine **thematische Clusterbildung** erfolgt.

Als **Haupteintragsquelle** konnte die Ausscheidung der Arzneimittelwirkstoffe und der dazu gehörigen Metaboliten mittels **Urin** identifiziert werden. Weitere mögliche Eintragswege sind die nicht fachgerechte Entsorgung oder Entsorgung der flüssigen Arzneimittelreste über die Toilette und der Eintrag durch Steckbeckenspüler.

Zur thematischen Clusterung der Krankenhäuser in NRW erfolgte zunächst eine Clusterung anhand der räumlichen Lage und der Bevölkerungsdichte B mit der Einteilung in B I, Agglomerationsraum, B II, verstädterter Bereich und B III, ländlicher Bereich. Eine weitere zentrale Clusterung erfolgte anhand der Krankenhausgröße über die Bettenzahl. Danach wurden die Krankenhäuser in vier Größenklassen unterteilt: G I: > 600 Betten (groß), G II: 301-600 Betten, G III: 101-300 Betten und G IV: < 101 Betten (klein). Die nächste Clusterung erfolgte anhand der trinkwassergewässerbezogenen Auswertung. Dabei sind die Krankenhäuser mit einer **Entfernung von 2 km und einer Entfernung von bis zu 15 km im Einzugsgebiet oberhalb von Trinkwassergewinnungsanlagen** betrachtet worden. Im 15 km Umfeld sind für NRW insgesamt 202 Krankenhäuser (davon 13 Tageskliniken) ermittelt worden, die sich emissionsseitig über die angeschlossenen Kläranlagen im Vorfeld relevanter Gewässer befinden. Als räumliche Schwerpunkte können für die Kombination - Oberflächenwasser nutzende Wassergewinnungsanlage mit Kläranlage und Krankenhaus im 15 km Vorfeld – in NRW die **Rheinschiene**, das **Gewässereinzugsgebiet der Ruhr** und im Norden das *Einzugsgebiet der Ems und Hase* ausgemacht werden. Die regionalspezifische Betrachtung der in den einzelnen drei räumlichen Clustern Rhein, Ruhr und Ems betroffenen Wassergewinnungsanlagen zeigt, dass bei Maßnahmen zur Spurenstoffelimination an den Kläranlagen der Größenklassen IV und V die Emissionen von 178 Krankenhäusern mit insgesamt 58.939 Betten erfasst werden.

Eine **Clusterung anhand des Arzneimittelverbrauches** war nicht möglich, da die Arzneimittelstatistiken nicht die erforderliche Datenqualität aufwiesen. Des Weiteren konnten die Arzneimittelwirkstoffe aufgrund der Strukturen der Krankenhäuser nicht einzelnen Fachabteilungen zugeordnet werden. Die Auswertung der Arzneimittelstatistiken führte jedoch dazu, dass eine Stoffliste von insgesamt 114 Arzneimittelwirkstoffen einer **Risikobetrachtung** zugeführt werden konnte.

In diese Risikobetrachtung sind die berechneten Arzneimittelverbräuche, die Entwässerungssituation der einzelnen Kliniken, die Ausscheidungsraten des unveränderten Wirkstoffes und Wirkschwellenkonzentrationen eingeflossen.

Anhand der erarbeiteten Clusterung sind 13 unterschiedliche **Typenstandorte mit Ansätzen für eine Behandlung des Krankenhausabwassers** herausgearbeitet worden. **Typenstandort 2** kennzeichnet den ländlichen Bereich. Hier kann im Einzelfall eine separate Behandlung des Krankenhausabwassers sinnvoll sein. **Typenstandort 4** beinhaltet große Kliniken**.** Die Abwägung einer zentralen oder dezentralen Behandlung bedarf hier einer Einzelfallprüfung. Der **Typenstandort 13** kennzeichnet **Kliniken in Wasserschutzzonen.** Hier sollte besondere Sorgfalt im Zusammenhang mit dem Kanalnetz walten, z. B. im Hinblick auf Leckagen. Für die **Typenstandorte 1, 3 und 5– 12** erscheint unter wirtschaftlichen und gewässerökologischen Gesichtspunkten in den meisten Fällen eher eine zentrale Behandlung der Krankenhausabwässer in Kläranlagen sinnvoll.

Zur Erfassung der Arzneimittelbelastung der Krankenhausabwässer wurde in ausgewählten Kliniken eine **Monitoringkampagne** auf ausgewählte Arzneimittel der Gruppen Antibiotika, Psychopharmaka, Röntgenkontrastmittel und Schmerzmittel durchgeführt. Anhand dieser Kampagne konnten Frachtberechnungen für NRW abgeschätzt und eine Risikoabschätzung durchgeführt werden. Die **Konzentrationen** der untersuchten Arzneimittel lagen allesamt in den bereits aus anderen Projekten bekannten Größenordnungen. Auffällig war, dass insbesondere die Verwendung der Röntgenkontrastmittel einer gewissen Varianz unterliegt. Die geringen Konzentrationen im Abwasser mancher Kliniken deuten auf die Verwendung anderer nicht untersuchter iodierten Röntgenkontrastmittels als Iomeprol (zum Beispiel Iopromid oder Iopamidol) hin.

Anhand der in der Mess-und Monitoringstudie ermittelten realen Abwasserkonzentrationen sind für die untersuchten Krankenhäuser **Frachtberechnungen** durchgeführt worden. Der exemplarische Frachtvergleich eines Klinikabwassers und des korrespondierenden Kläranlagenzulaufs zeigt am Beispiel der Antibiotika Azithromycin und Clarithromycin, dass die Anteile bei 13 bzw. 18 % der Gesamtfracht am Kläranlagenzulauf betragen können.

Das Krankenhaus hat hierbei einen Abwasseranteil an der Kläranlage von nur 0,2 %. Die Frachtberechnungen zeigen, dass die eingetragene Fracht durch die Krankenhäuser relevanter wird, je kleiner die korrespondierende Kläranlage ist. Insbesondere bei kleinen Kläranlagen sollte eine detaillierte Betrachtung des einleitenden Krankenhauses vorgenommen werden, da die Frachteinträge an speziellen, dem Krankenhaus zu zuordnenden Medikamenten hier relevant sein können.

Eine **Risikobetrachtung** wurde anhand der ermittelten Daten durchgeführt. Die berechnete Expositionsabschätzung ist dabei eine Möglichkeit, die Umweltbelastung durch eingetragene

Arzneimittel zu klassifizieren und abzuschätzen. Liegen diese Abschätzungen über den Schwellenkonzentrationen, kann von einem Risiko des unbehandelten Kläranlagenablaufs für die aquatische Umwelt ausgegangen werden. Die berechneten Konzentrationen der Risikoabschätzung stimmen in der Größenordnung gut mit den tatsächlich ermittelten Konzentrationen des Monitorings überein. Als Ergebnis der Risikoabschätzung ist festzuhalten, dass Krankenhausabwässer ein hohes Risikopotential aufweisen können und dass große Krankenhäuser nicht zwangsläufig das höchste Risikopotential besitzen.

Die **Kostenbewertungen** ergaben eine Reihenfolge der Maßnahmen auf Grundlage der Bewertungskriterien für alle vier Krankenhausgrößenklassen von „teuer“ nach „günstig“ geordnet: **Vollstrombehandlung > Urinsammlung > Kläranlage.**

Zusammenfassend kann derzeit eine Umsetzung einiger organisatorischer Maßnahmen für alle Kliniken in NRW empfohlen werden. Damit organisatorische Strategien belastbar bewertet und eingeführt werden können, ist jedoch zunächst zu klären, welche Arzneimittel bzw. Wirkstoffe in welchen Mengen in der Klinik verabreicht werden. Die Erfahrungen aus der Datenerhebung und die Auswertung der von den Kliniken übermittelten Datensätzen lassen die Schlussfolgerung zu, dass das Arzneimittelcontrolling in den die Kliniken versorgenden Apotheken noch stärker gemäß einheitlicher Standards und möglichst EDV-gestützt zu betreiben ist. Die Benennung der verwendeten Arzneimittel ist nach Möglichkeit einheitlich nach der Roten Liste® vorzunehmen. Die Umsetzung von technischen Maßnahmen kann für Krankenhäuser aus den Typenstandorten 2, 4 und 13 sinnvoll sein. Durch den Ausbau der Kläranlagen der Größenklassen IV und V mit geeigneten Behandlungsverfahren zur Elimination von Arzneimittelwirkstoffen (4. Reinigungsstufe), kann ein großer Teil der Krankenhausabwässer behandelt werden. Dabei würden auch die Emissionen der Krankenhäuser erfasst, die sich von ihrer räumlichen Lage her in Trinkwasserschutzgebieten befinden.

Dennoch kann eine dezentrale Behandlung kleiner, begrenzter Teilströme, welche auch bei einer Ertüchtigung der Kläranlagen der Größenklassen IV und V nicht ausreichend eliminiert werden kann (zum Beispiel iodierte Röntgenkontrastmittel), ökologisch sinnvoll sein.

2 Einleitung

Arzneimittel bzw. Arzneimittelrückstände sind mittlerweile in nahezu allen von Kläranlagen beeinflussten Gewässern nachweisbar. Die Substanzen gelangen auf verschiedenen Wegen in Oberflächengewässer und können dort neben der Gewässerökologie auch Gewässernutzungen wie Baden oder eine Trinkwasseraufbereitung beeinträchtigen. Haupteintragspfade sind kommunale Kläranlagen, die mit der üblicherweise eingesetzten Technik nicht in der Lage sind, die aus Industrieeinleitern, Krankenhäusern, spezifischen Einrichtungen der Gesundheitsversorgung und Privathaushalten emittierten Spurenstoffe zu eliminieren.

Der Anteil der Krankenhäuser am Gesamteintrag in kommunale Abwässer wird kontrovers diskutiert. Aktuelle Erhebungen gehen im Hinblick auf die Gesamtfracht von einem Anteil von bis zu 20% aus. In Deutschland setzt sich der Arzneimittelmarkt im Wesentlichen aus den Teilmärkten Apothekermarkt, gesetzlicher Krankenversicherungsmarkt (GKV-Markt, Verschreibungen), Krankenhausmarkt und Over-the-Counter-Markt (OTC-Markt) zusammen. Während aus den Teilmärkten Apothekermarkt, GKV-Markt und OTC-Markt über das Patientenverhalten diffuse Einträge in die kommunalen Abwässer entstehen, resultieren aus dem Klinikmarkt definierte Punktquellen.

Eine Einstufung von Kliniken als eine Punktquelle für den Eintrag von Arzneimitteln in kommunale Abwässer ist unbestritten. Diese Punktquellen stehen teilweise substanzspezifisch in Wechselwirkungen mit diffusen Einträgen aus den Privathaushalten, da Patienten mit Vormedikationen, oft unabhängig von der Behandlung im Krankenhaus, behandelt werden. Zur Diskussion stehen die möglichen Ansatzpunkte und deren technische Wirksamkeit für Maßnahmen zur Elimination oder zur Verringerung des Eintrages von Arzneimitteln bzw. Arzneimittelrückständen an der jeweiligen „Punktquelle Krankenhaus“ oder zentral an den die Krankenhausabwässer aufnehmenden Kläranlagen. Die Wechselwirkung mit den diffusen Einträgen ist dabei zu beachten.

Pilotprojekte, wie das vom MKULNV finanzierte Forschungsvorhaben „Untersuchungen zur separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser mit Membrantechnik und weitergehenden Verfahren“ am Kreiskrankenhaus Waldbröl weisen z. B. darauf hin, dass hier technische Maßnahmen entsprechend wirksam sein können.

Im Teilprojekt „Analyse der Eliminationsmöglichkeiten von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW“ ist untersucht worden, welche organisatorischen und technischen Möglichkeiten geeignet sind, den Eintrag von Arzneimitteln bzw. Arzneimittelrückständen aus Krankenhäusern in Nordrhein-Westfalen in den Wasserkreislauf kostengünstig und wirksam zu vermindern bzw. zu verhindern.

3 Charakterisierung der Ausgangssituation

Innerhalb des Projektes sind 410 Kliniken in die Betrachtung einbezogen worden. Grundlage für die Aus- und Bewertung waren

- die Krankenhausdatenbank des Ministeriums für Gesundheit, Emanzipation, Pflege und Alter (MGEPA, Stand: 2008),
- das deutsche Krankenhausverzeichnis und die
- Qualitätsberichte der Krankenhäuser 2008 gemäß § 137 Abs. 3 Nr. 4 SGB V.

Die erfassten Daten wurden verifiziert, korrigiert und die im Hinblick auf eine Fragebogenaktion für das Projekt relevanten Ansprechpartner identifiziert. Die Kliniken wurden schriftlich über das Projekt informiert und in Zusammenarbeit mit der Krankenhausgesellschaft Nordrhein-Westfalen e.V. (KGNW) für eine Mitwirkung an einer Fragebogenaktion und an einer Messkampagne interessiert. Mit der Fragebogenaktion sollten klinikspezifische Daten zur Emissions- und Entwässerungssituation sowie zum Arzneimittelbereich erhoben worden. Erst eine mehrfache Ansprache aller Kliniken und z. T. individuelle Gespräche führten zu einem ausreichenden Rücklauf an ausgefüllten bzw. teilausgefüllten Fragebögen und einer ausreichenden Anzahl von Kliniken, die sich bereit erklärten an einer Messkampagne teil zunehmen.

Die im Projektverlauf ermittelten Informationen wurden zentral erfasst und ausgewertet. In Absprache mit dem LANUV NRW wurde dabei ein Format gewählt, das eine Einbindung ausgewählter Daten in das bereits vorhandene ELWAS-WEB Datenbankmodell ermöglicht (www.elwasweb.nrw.de). Die Einbindung der Daten in das ELWAS-WEB Datenbankmodell erfolgt seitens des Landesbetriebs Information und Technik NRW (IT NRW). Dargestellt werden im ELWAS-WEB aber nur die Informationen, die öffentlich über die Qualitätsberichte der Krankenhäuser (Gemeinsamer Bundesausschuss, 2008) zugänglich sind, da für die per Fragebogen erhobenen Daten den Krankenhäusern Anonymität zu gesichert wurde. Die Erhebung der Daten zur Emissions- und Entwässerungssituation erfolgte per Fragebogenerhebung und in individueller Ansprache. Aus den Rückläufen (Quote rd. 12 %) lagen insgesamt Daten von 68 Einrichtungen vor. Diese wurden als repräsentativ für die Kliniksituation in NRW angesehen (Bettenzahl zwischen 42 und 1.016 Betten, Fallzahlen zwischen 272 bis 38.031 Fälle).

Im Rahmen der Umfrage konnten nur 33 der befragten Krankenhäuser den Abwasseranfall benennen. Um eine Relation des Abwasseranfalls zur Größe des Krankenhauses herstellen zu können, wurde für eine Größenklassifizierung der Krankenhäuser die folgende Differenzierung festgelegt und für die weiteren Auswertungen weiter verwendet: G I: > 600 Betten, G II: 301-600 Betten, G III: 101-300 Betten und G IV: < 101 Betten.

Im Mittel ergab sich für Krankenhäuser > 600 Betten ein mittlerer Abwasseranfall von 432 L/(Bett*d) und für Krankenhäuser ≤ 600 Betten ein Wert von 296 L/(Bett*d). Die ermittelten Werte reihen sich damit im unteren Bereich vorliegender Literaturangaben ein. Eine Erklärung für die niedrigen Werte könnte z. B. sein, dass in den Einrichtungen vereinzelt bereits Wassersparmaßnahmen ergriffen wurden.

Ein weiteres Ergebnis der Fragebogenerhebung und einer weitergehenden telefonischen Abfrage zur Entwässerungssituation ist die Identifizierung der Kläranlagen, in welche die 410 Krankenhäuser ihr Abwasser einleiten. Dabei handelt es sich um 189 der 645 in NRW vorhandenen kommunalen Kläranlagen. Diese 189 Kläranlagen behandeln insgesamt ca. 2.080 Mio. m³ kommunales Abwasser pro Jahr (NIKLAS-KOM, 2009). Der Anteil des Krankenhausabwassers mit rd. 21 Mio. m³/a an der Jahresabwassermenge dieser Kläranlagen in NRW beträgt somit rund 1 %.

Die Auswertung der Angaben zu den in den Krankenhäusern verwendeten Arzneimitteln stellte sich als deutlich schwieriger als erwartet heraus. Insgesamt haben 54 Krankenhäuser bzw. Standorte Informationen zum Arzneimittelverbrauch bzw. Arzneimittelstatistiken übermittelt. Davon waren lediglich 2 Rücksendungen im benötigten Datenformat. Im weiteren Projektverlauf wurden aus den verwendbaren Datensätzen (n = 5) die 150 mengenmäßig am häufigsten verwendeten Arzneimittelwirkstoffe herausgefiltert. Toxikologisch offensichtlich irrelevante Substanzen (wie z. B. Glucose und Wasser für Injektionszwecke) wurden ausgeschlossen. Nach Abgleich dieser fünf Datensätze untereinander und mit bereits aus der Literatur bekannten Substanzlisten ergab sich eine Anzahl von 114 Wirkstoffen auf welche die übrigen übermittelten Arzneimittelstatistiken hin abgeglichen wurden. Im Ergebnis konnte für die einzelnen Krankenhäuser der Messkampagne (s. Kap. 6) die Gesamtmenge des jeweiligen Wirkstoffverbrauchs pro Jahr berechnet werden.

In einer Literaturrecherche wurden zudem für die 114 Wirkstoffe an Hand der Hauptapplikationswege die Ausscheidungsraten über den Urin und Faeces zusammengestellt. Konnten keine Ausscheidungsraten aus der Literatur ermittelt werden, wurde von einem „worst-case-Szenario“ ausgegangen und die renale Elimination auf 100% gesetzt.

Unter Einbeziehung des Wirkstoffverbrauchs, der Ausscheidungsraten sowie des Abwasseranfalls des jeweiligen Krankenhauses wurden dann für die Krankenhäuser der Messkampagne wirkstoffspezifische Frachtberechnungen innerhalb einer Risikoabschätzung durchgeführt (s. Kap. 6).

4 Typische Eintragsszenarien

Um Behandlungsansätze für Krankenhausabwässer entwickeln und bewerten zu können, wurden zunächst auf der Grundlage der erhobenen Daten die Krankenhäuser typisiert und thematische Cluster gebildet sowie die typische Eintragsszenarien erarbeitet. Hierbei erfolgte zunächst eine Typisierung anhand der räumlichen Lage und der Bevölkerungsdichte mit einer Einteilung in Agglomerationsräume, verstädterte und ländliche Bereiche. Von den 410 untersuchten Kliniken entsprechen 285 dem Typ Agglomerationsraum, 106 dem Typ verstädterter und 19 dem Typ ländlicher Bereich. Eine weitere Clusterung erfolgte anhand einer Differenzierung der Krankenhausgröße über die Bettenzahl. Kleine und große Krankenhäuser bilden in Summe ca. 20 % aller Krankenhäuser in NRW. 80 % der Krankenhäuser haben eine mittlere Größe mit einer Bettenanzahl von 101 bis 600 Betten.

Für eine weitere Clusterung der Krankenhäuser in NRW wurden für gewässerbezogene Auswertungen zusätzlich auf Datenquellen zu Wassergewinnungsanlagen in NRW, Kläranlagen in NRW, Angaben aus „Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung, 15. Auflage“ sowie eigene Erhebungen zurückgegriffen. Im Hinblick auf das stoffliche Emissionsverhalten der Krankenhäuser wurde dabei speziell die Entwässerungssituation der Krankenhausabwässer im Zusammenhang mit oberflächenwasserbeeinflussten Trinkwasser-gewinnungsanlagen betrachtet.

Insgesamt entwässern 88 Krankenhäuser mit 29.120 Krankenhausbetten in 31 der 53 Kläranlagen oberhalb (bis zu 10 km) von Wassergewinnungsanlagen mit Oberflächen-wasserbezug nach MKULNV (2012, 15. Auflage), wobei die Krankenhäuser den Kläranlagen der Größenklassen (GK) IV und V zu zuordnen sind (Kläranlagengröße nach Einwohnerwerten (EW): GK IV 10.001-100.000 EW; GK V > 100.000 EW). Innerhalb dieses Betrachtungsansatzes würden bei einer Ertüchtigung zur Spurenstoffverminderung der 31 Kläranlagen der Größenklassen IV und V von den insgesamt 53 Kläranlagen oberhalb von Trinkwassergewinnungsanlagen gemäß MKULNV (2012, 15. Auflage) 100 % der angeschlossenen Krankenhäuser und der zugehörigen Krankenhausbetten erfasst werden. Eine Ertüchtigung der nur 16 Kläranlagen der Größenklasse V würde 77 % der angeschlossenen Krankenhäuser sowie 83,5 % der zugehörigen Krankenhausbetten abdecken.

Für NRW wurden insgesamt 202 Krankenhäuser ermittelt, die sich emissionsseitig über die angeschlossenen Kläranlagen im Vorfeld relevanter, zur Trinkwassergewinnung genutzter Gewässer befinden. Diese 202 Krankenhäuser verfügen in der Summe über 59.664 Krankenhausbetten und verteilen sich entsprechend ihrer angegebenen Bettenzahl in der Mehrzahl auf die mittleren Krankenhaus-Größenklassen G II und G III mit einer Bettenanzahl von 100 bis 600. Als räumliche Schwerpunkte können für eine Kombination - Oberflächenwasser nutzende Wassergewinnungsanlage mit Kläranlage und Krankenhaus im

15 km Vorfeld – in NRW die Rheinschiene, das Gewässereinzugsgebiet der Ruhr und im Norden das Einzugsgebiet der Ems und Hase mit insgesamt 80 betroffenen Wassergewinnungsanlagen ausgemacht werden. Die regionalspezifische Betrachtung der in den einzelnen drei räumlichen Clustern Rhein, Ruhr und Ems betroffenen Wassergewinnungsanlagen zeigt, dass bei Maßnahmen zur Spurenstoffelimination an den Kläranlagen der Größenklassen IV und V die Emissionen von 178 angeschlossenen Krankenhäusern mit insgesamt 58.939 Betten erfasst werden. Dabei würden auch die Emissionen der Krankenhäuser erfasst werden, die von ihrer räumlichen Lage sich in Trinkwasserschutzgebieten (Zone III, IIIA, IIIB) befinden (Cluster Rhein: 22 Krankenhäuser; Cluster Ruhr: 6 Krankenhäuser; Cluster Ems: 3 Krankenhäuser).

Eine Clusterung anhand des Arzneimittelverbrauches war nicht durchführbar. Neben einer zu geringen Rücklaufquote zeigten die aus der Befragung zusammengestellten Arzneimittelstatistiken nicht die erforderliche Datenqualität. Auch eine Zuordnung der verwendeten Arzneimittel zu den Wirkorten bzw. Wirkmechanismen über die bereits seit Jahren etablierte Form der Klassifizierung nach anatomisch-therapeutisch-chemischen Gesichtspunkten (ATC-Code) konnte nicht erfolgreich durchgeführt werden, da der größte Teil der Arzneimittel nicht nur einem Organ oder System zugeordnet werden kann.

Als typische Eintragsszenarien konnten die Ausscheidung über den Urin und die Ausscheidung über Faeces betrachtet werden. Dabei ist deutlich erkennbar, dass die Ausscheidung über den Urin den Hauptausscheidungsweg für die meisten Arzneimittelwirkstoffe darstellt. Ein weiterer Eintragspfad stellt die Säuberung der Bettpfannen in sogenannten Steckbeckenspülern dar. Angaben zu den genauen Konzentrationen der Wirkstoffe im Abfluss der Steckbeckenspüler liegen bisher jedoch nicht vor. Der Eintrag von Wäschereien ist nur noch untergeordnet bis nicht mehr vorhanden. In vielen Krankenhäusern sind Fremdfirmen oder Zusammenschlüsse der einzelnen Krankenhäuser als Wäscherei beschäftigt, so dass in diesen Fällen die Abwässer nicht mehr im Krankenhaus anfallen. Ein Eintrag durch nicht fachgerechte Entsorgung von Arzneimitteln lässt sich nicht quantifizieren.

Aus den erhobenen Daten und Auswertungen konnten 13 unterschiedliche Typenstandorte abgeleitet und definiert werden (s. Tab. 1). Für diese Typenstandorte wurden unterschiedliche Ansätze zur Behandlung des anfallenden Abwassers entwickelt.

Für die Typenstandorte 1, 3 und 5 – 12 erscheint eine separate Behandlung der Krankenhausabwässer in den meisten Fällen als nicht sinnvoll. Liegen aber spezielle Randbedingungen vor, wie z. B. beim Kreiskrankenhaus Waldbröl, kann eine vor-Ort Behandlung in Betracht gezogen werden. Der Typenstandort 2 kennzeichnet den ländlichen Bereich. Hier kann im Einzelfall eine separate Behandlung des Krankenhausabwassers sinnvoll sein, z. B. bei spezialisierten Kliniken. Diese Option sollte mit den Kosten für den entsprechenden Ausbau der kommunalen Kläranlage verglichen werden.

Der Typenstandort 4 kennzeichnet große Kliniken. Die Abwägung einer zentralen oder dezentralen Behandlung bedarf hier in Abhängigkeit der lokalen Randbedingungen einer Einzelfallprüfung.

Der Typenstandort 13 kennzeichnet Kliniken in einer Wasserschutzzone. Hier sollte besondere Aufmerksamkeit dem Kanalnetz gelten. Undichtigkeiten im Kanalnetz sowie bei den Hausanschlussleitungen können besonders in diesen Bereichen zu unerwünschten Einträgen von Arzneimittelwirkstoffen in Boden und Grundwasser führen und somit im Einzugsbereich vorhandene Trinkwassergewinnungsanlagen beeinträchtigen. Für Krankenhäuser in Wasserschutzzonen können daher auch Einzelfallprüfungen zur separaten Abwasserbehandlung vor Ort in Erwägung gezogen werden.

Tabelle 1: Unterteilung der Typenstandorte (TS) nach Clustern mit möglichen Behandlungsansätzen für das Gesamtabwasser der Krankenhäuser.

TS	Typisierung	Cluster	Beschreibung	Behandlungsansatz
1	Größe der Klinik und Bevölkerungsdichte	B I und B II	Agglomerationsraum und verstädterter Bereich	Behandlung in kommunaler Kläranlage
2		B III	Ländlicher Bereich	ggf. separate Behandlung vor Ort sinnvoll
3		G II bis G IV	Kleine bis mittlere Kliniken	Behandlung in kommunaler Kläranlage
4		G I	Große Kliniken	Behandlung in kommunaler Kläranlage / Einzelfallprüfung
5	Trinkwasser-einzugsgebiet	n TR	Nicht trinkwasserrelevant	Behandlung in kommunaler Kläranlage
6		TR	Trinkwasserrelevant	Behandlung in kommunaler Kläranlage
7	Gewässer-einzugsgebiet	Rhein	Radius Krankenhaus Kläranlage bis 2 km	Behandlung in kommunaler Kläranlage
8		Rhein	Radius Krankenhaus Kläranlage bis 15 km	Behandlung in kommunaler Kläranlage
9		Ems	Radius Krankenhaus Kläranlage bis 2 km	Behandlung in kommunaler Kläranlage
10		Ems	Radius Krankenhaus Kläranlage bis 15 km	Behandlung in kommunaler Kläranlage
11		Ruhr	Radius Krankenhaus Kläranlage bis 2 km	Behandlung in kommunaler Kläranlage
12		Ruhr	Radius Krankenhaus Kläranlage bis 15 km	Behandlung in kommunaler Kläranlage
13	Wasser-schutz-zone	Wasser-schutzzone	Lage der Klinik innerhalb von Wasserschutzzonen	Einzelfallprüfung ratsam

Bei einer Ertüchtigung aller Kläranlagen der Größenklassen IV und V in NRW würden die Emissionen aller Krankenhäuser in Trinkwasserschutzgebieten erfasst werden. Werden die Kläranlagen nicht ertüchtigt, ist eine Einzelfallprüfung zu möglichen dezentralen Maßnahmen in Erwägung zu ziehen.

Unabhängig von den dargestellten Typenstandorten und möglichen Behandlungsansätzen, ist eine separate Sammlung und Behandlung besonders schwer aus dem Abwasser zu entfernender Substanzen, wie zum Beispiel iodierte Röntgenkontrastmittel, zu empfehlen. So können erhebliche Frachten reduziert oder sogar ganz vermieden werden. Bei entsprechenden Randbedingungen kann dies auch auf besonders umweltgefährdende Arzneimittelwirkstoffe wie z. B. Antibiotika oder Zytostatika ausgeweitet werden.

In vielen Fällen ist die Möglichkeit einer Behandlung hochbelasteter Teilströme durch die vorgegebenen Krankenhausstrukturen nicht umsetzbar. Es bestehen oftmals keine Möglichkeiten zur Abkopplung dieser Ströme. In Neubauten sollte aber generell diese Möglichkeit eingeplant werden, da die Behandlung dieser Teilströme zu deutlich effektiveren und in vielen Fällen auch kostengünstigeren Verfahren führt. Auch die Abkopplung von Regenwasser soll in Neubauten umgesetzt werden. Der Anteil an Fremdwasser und die damit verbundene Verdünnung des Abwassers wird so unterbunden.

5 Erfassung und Bewertung von organisatorischen und technischen Maßnahmen

Krankenhäuser verfügen im Regelfall nicht über eine eigene Abwasserbehandlung, so dass das Abwasser, und somit die Arzneimittelfracht, über das Kanalnetz in die jeweilige kommunale Kläranlage geleitet wird. Organisatorische Maßnahmen in mehreren Handlungsfeldern können den Eintrag von Arzneimitteln bzw. Arzneimittelrückständen aus Krankenhäusern wie auch aus anderen medizinischen Einrichtungen und Privathaushalten in den Wasserkreislauf vermindern bzw. z. T. ganz unterbinden.

Im Handlungsfeld „Arzneimittelentwicklung“ stehen die Kopplung von Umweltverträglichkeit und der Arzneimittelzulassung und die Entwicklung von nicht wassergefährdenden Arzneimitteln („grüne“ Arzneimittel) im Vordergrund. Das Handlungsfeld „Umgang mit Arzneimitteln“ adressiert die Senkung des Arzneimittelverbrauches im Umweltziel Gewässerschutz durch die Entwicklung und Schärfung eines entsprechenden Problembewusstseins. Neben der Aufklärung und Schulung von Patienten spielt hier vor allem die Ausbildung von Ärzten und Apothekern hinsichtlich der Umweltwirkungen der Arzneimittelwirkstoffe und der nachhaltigen Pharmazie eine Rolle. Hiermit verbunden ist die Einführung von Umweltqualitätssiegeln für Arzneimittel. Schulungsmaßnahmen können auch zu einer Verringerung der Dosierung der einzelnen Wirkstoffe und Änderung von

Verschreibungspraktiken führen. Die Anerkennung und Umsetzung von nicht medikamentösen Behandlungstechniken kann zu einer generellen Senkung des Arzneimittelverbrauches führen. Für Antibiotika wird das Reduktionspotential des Verbrauchs in Deutschland durch eine Beschränkung der Verschreibung auf die tatsächliche Indikation auf ca. 50% geschätzt. Die Verminderung von Medikamentenabfällen kann unter anderem durch eine verbesserte Kostentransparenz, die Einführung von variablen Packungsgrößen und einheitlicher Entsorgungsstandards erreicht werden. Insbesondere in Deutschland ist die generelle Entsorgung über den Hausmüll als unproblematisch anzusehen, da nahezu 100% des Mülls in Deutschland verbrannt werden. Die zentrale Sammlung von Arzneimitteln, z. B. in Apotheken, ist denkbar, wurde jedoch in Deutschland aus Kostengründen bereits in 2009 eingestellt. Eine bundes- und nach Möglichkeit EU-weit einheitliche und verbindliche Entsorgungspraxis für Altarzneimittel ist deshalb ausdrücklich erwünscht. Im Handlungsfeld „Emissionsmanagement in der Siedlungswasserwirtschaft“ werden Maßnahmen zur Urinsammlung, Wassereinsparmaßnahmen, die Trennung von Regen- und Schmutzwasser sowie das Zwischenspeichern von bestimmten Wässern und mögliche Separierung von Abwasserteilströmen und Teilstrombehandlung genannt. Die Trennung von Regen- und Schmutzwasser kann zwar Krankenhaus-Emissionen nicht verringern, jedoch können Verdünnungseffekte vermieden werden, die die Effizienz möglicher technischer Maßnahmen einschränken könnten.

Eine Berliner Studie zur Urinsammlung bei der Ausscheidung von iodierten Röntgenkontrastmitteln hat zu dem Ergebnis geführt, dass die Röntgenkontrastmittel dadurch vollkommen aus dem Wasserkreislauf entfernt werden können. 72 % der befragten Patienten gaben dabei eine gute Akzeptanz der Sammlung des Patientenurins an. Ein weiteres Beispiel ist die Möglichkeit, aufkonzentrierten kontrastmittelhaltigen Patientenurin in einem Drehrohrofen zu verbrennen.

Interviews in ausgewählten Kliniken haben gezeigt, dass viele organisatorische Maßnahmen der verschiedenen Handlungsfelder bereits etabliert sind. Zu den häufigsten Maßnahmen zählen: sinnvolle Vorratshaltung (Schrankversorgung), einheitliche Entsorgung (meist geregelt über die Apotheke: Restmüllverbrennung), Umsetzung von nicht-medikamentösen, generell gesundheitsfördernden Therapieformen (Blutegel, Maden, Massage, Akupunktur, Atmungstherapie, usw.) sowie Wassersparmaßnahmen. Vereinzelt werden folgende Maßnahmen bereits durchgeführt: Schulungen zum Thema Entsorgung, Sammlung der benutzten Urinbeutel und Entsorgung über den Hausmüll, Entsorgung von flüssigen Arzneimittelresten unter Verwendung von Geliermitteln sowie die Trennung von Regenwasser und Schmutzwasser.

Viele der Maßnahmen sind zum Teil nicht mit großen Kosten verbunden und können durch einfache Maßnahmen der Umstrukturierung durchgeführt werden (zu Kostenansätzen s. Kap.

7). Andere Maßnahmen benötigen die Zusammenarbeit von Politik und Gesellschaft wie zum Beispiel die Entwicklung weniger wassergefährdender Wirkstoffe.

Zur Verminderung bzw. Elimination von Einträgen sind auch eine Reihe technischer Maßnahmen bekannt (s. Abb. 1). Sie reichen von lokalen Maßnahmen, über Teilstrom- bzw. Vollstrombehandlungen in Krankenhäusern bis zu Erweiterungen und Ertüchtigungen bestehender Kläranlagen, und umfassen eine Vielzahl verschiedener Aufbereitungs- bzw. Eliminationsprozesse.

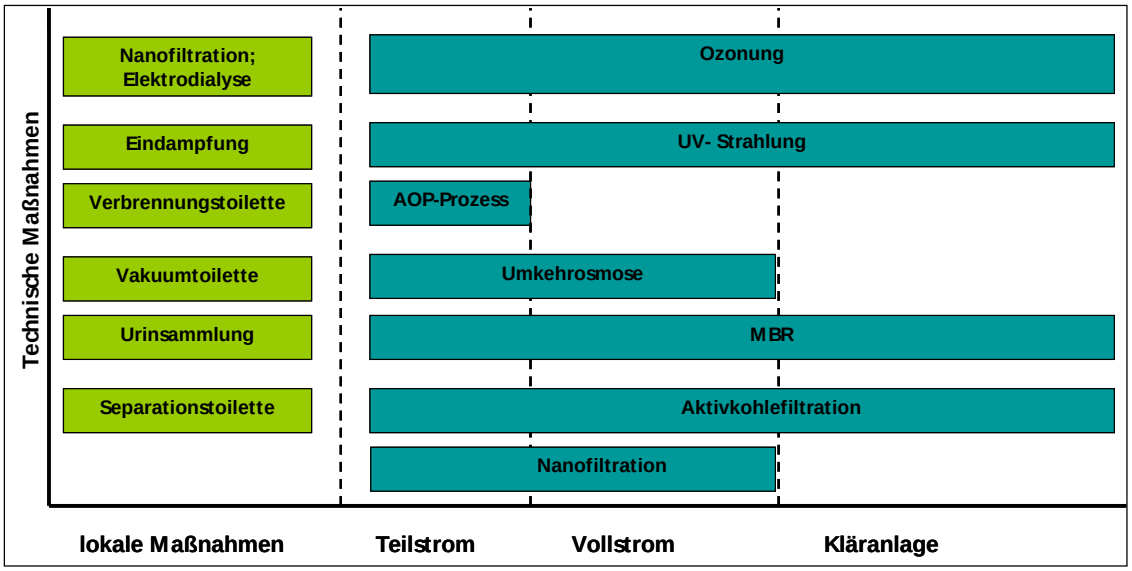

Abbildung 1: Darstellung der verschiedenen technischen Maßnahmen im Krankenhaus und an der Kläranlage.

Der Stand des Wissens bzw. der Maßstab einzelner bisher angewendeter technischer Maßnahmen (Labor-, Technikums- oder großtechnischer Maßstab) ist hierbei allerdings sehr unterschiedlich, was die Kostenbetrachtungen deutlich erschwert. Zu den betrachteten dezentralen Verfahren gehören die Sammlung von Patientenausscheidungen im Krankenhaus, eine veränderte Toilettentechnik (Separationstoiletten, Vakuumtoiletten, Verbrennungstoiletten), die Aufkonzentrierung von Urinfraktionen (Eindampfung, Nanofiltration, Elektrodialyse), die Teilstrombehandlung von Krankenhausabwasser (Ozonierung, UV/H_2O_2, Umkehrosmose, Nanofiltration, anaerober Membran-Bioreaktor) und die Vollstrombehandlung mit vorgenannten Technologien bzw. Kombinationen verschiedener Technologien.

Die Mitbehandlung von Krankenhausabwasser in kommunalen Kläranlagen mit einer speziellen Behandlungsstufe als zentrale Reinigungsoption ist ebenfalls denkbar. Als zusätzlich mögliche Verfahren sind integrierte Ansätze (Membranbelebungsverfahren (MBR) oder Pulveraktivkohlezugabe in das Belebungsbecken) und nachgeschaltete Ansätze (Mikro- und Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose, Aktivkohlefiltration, Pulveraktivkohledosierung (nachgeschaltet) sowie Ozonung) zu nennen. Entsprechende Kostenbewertungen sind Kap. 7 zu entnehmen.

6 Monitoring von Krankenhausemissionen, Fracht- und Risikoabschätzung

In einer innerhalb des Vorhabens durchgeführten Mess- und Monitoringstudie wurde über einen Zeitraum von einer Woche das Abwasser von insgesamt 19 Kliniken, die sich auch an der Fragebogenerhebung beteiligt hatten, in Form von Tagesmischproben untersucht. Zusätzlich wurde eine Abwasserbehandlungsanlage einer Klinik sowie der Zulauf einer korrespondierenden Kläranlage beprobt. Für das Analyseprogramm wurden 12 Substanzen (Leitsubstanzen) aus drei verschiedenen Arzneimittelgruppen (aufgeteilt nach Analysegruppen „Pharmaka“ (Azithromycin, Sulfamethoxazol, Ciprofloxacin, Diclofenac, Ibuprofen, Paracetamol, Tramadol, Venlafaxin), „Psychopharmaka“ (Melperon und Olanzapin) und „Röntgenkontrastmittel“ (Amidotrizoesäure und Iomeprol) ausgewählt. Die Analytik erfolgte mittels Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS). Alle ausgewählten Substanzen haben eine hohe Ausscheidungsrate und es ist bekannt, dass diese in großen Mengen in Krankenhäusern eingesetzt werden. Des Weiteren konnte eine umwelttoxikologische Relevanz für einige dieser Substanzen abgeleitet werden.

Die Konzentrationen der untersuchten Arzneimittel lagen allesamt in den bereits aus anderen Untersuchungen bekannten Größenordnungen. Auffällig ist, dass insbesondere die Verwendung der Röntgenkontrastmittel einer gewissen Varianz unterliegt. Die geringen Konzentrationen im Abwasser von manchen Kliniken deuten auf die Verwendung eines anderen iodierten Röntgenkontrastmittels als Iomeprol (zum Beispiel Iopromid oder Iopamidol) hin. Das Kontrastmittel Amidotrizoesäure ist in deutlich geringeren Konzentrationen (Mittelwert 411 µg/L) im Krankenhausabwasser als das Kontrastmittel Iomeprol (Mittelwert 3.748 µg/L) nachweisbar. Die großen injizierten Mengen iodhaltiger Kontrastmittel zur Darstellung von Harnwegen, Nieren, Venen, Arterien oder anderen Organen führen in der Regel auch bei ambulanter Röntgendiagnostik zu einer Ausscheidung im Krankenhaus. Erwartungsgemäße hohe Belastungen der Abwässer sind auch durch die Schmerzmittel Ibuprofen und Paracetamol nachgewiesen worden.

Anhand der ermittelten realen Abwasserkonzentrationen wurden für die untersuchten Krankenhäuser Frachtberechnungen durchgeführt. Dazu wurden die Jahres-Abwassermengen einberechnet, um Jahresfrachten der 12 Arzneimittelwirkstoffe abzuschätzen. Der exemplarische Vergleich von Frachten in Klinikabwässern und Frachten im zugehörigen Kläranlagenzulauf zeigt am Beispiel der Antibiotika Azithromycin und Clarithromycin, dass die Anteile dieser Substanzen aus einem Krankenhaus bei 13 bzw. 18 % an der Gesamtfracht dieser beiden Arzneimittelwirkstoffe am Kläranlagenzulauf liegen können. Das Krankenhaus hat hierbei einen Abwasseranteil an der Kläranlage von 0,2 %.

Die Frachtberechnungen weisen auch darauf hin, dass die eingetragene Fracht durch die Krankenhäuser relevanter wird, je kleiner die Kläranlage ist, in die das Krankenhaus einleitet.

Insbesondere bei kleinen Kläranlagen sollte daher eine detaillierte Betrachtung des einleitenden Krankenhauses vorgenommen werden, da dort die Frachteinträge an speziellen, dem Krankenhaus zuzuordnenden Medikamenten relevant sein können.

Ein Vergleich mit derzeit in Dänemark diskutierten Grenzwerten für eine Direkteinleitung von Stoffen aus Krankenhausabwässern zeigt, dass dort auch acht Substanzen betrachtet werden, die in der Messkampagne ebenfalls untersucht wurden: Azithromycin, Ciprofloxacin, Diclofenac, Ibuprofen, Olanzapin, Paracetamol, Sulfamethoxazol und Tramadol.

Eine Gegenüberstellung zeigt, dass die für Dänemark in der Diskussion befindlichen Direkteinleiter-Grenzwerte für Krankenhausabwässer, über einem z. B. nach GOW-Konzept anzusetzenden allgemeinen Vorsorgewert von 0,1 µg/L liegen (mit Ausnahmen für das Antibiotikum Ciprofloxacin und das Analgetikum Diclofenac) und in den meisten Kliniken in Deutschland nicht eingehalten werden können.

Für eine Risikobewertung von in Krankenhäusern verabreichten und im Abwasser auftretenden Arzneimitteln wurden vergleichend zwei Ansätze gegenübergestellt. Zum einen wurden für die untersuchten Arzneimittel im Krankenhausabwasser zu erwartende Konzentrationen in der Umwelt für die Krankenhäuser der Messkampagne anhand von Verbrauchsmengen aus Datensätzen berechnet. Diese beziehen sich auf die oral, rektal und parenteral verabreichten Wirkstoffmengen pro Jahr und Krankenhaus. Die berechnete Expositionsabschätzung ist eine Möglichkeit, die Umweltbelastung durch eingetragene Arzneimittel zu klassifizieren und abzuschätzen. Eine solche Risikoabschätzung über einen Risikoquotienten wird durch das Verhältnis aus PEC-(predicted environmental concentration) und PNEC-Wert (predicted no effect concentration) ermittelt. Die PNEC-Werte sind Schwellenwerte für Umwelteffekte, die aus Ökotoxizitätswerten bestimmt werden. Zum anderen wurden zur Risikobewertung die in der Messkampagne ermittelten tatsächlichen Arzneimittelkonzentrationen als MEC-Werte (measured environmental concentration) den PNEC-Werten gegenübergestellt. Sind die berechneten oder ermittelten Konzentrationen größer als die PNEC, wird der Risikoquotient >1 und es liegt ein potentielles ökotoxikologisches Risiko für die aquatische Umwelt vor.

Die berechneten PEC-Werte stimmen mit den gemessenen Konzentrationen in ihren Größenordnungen gut überein. Dabei liegen die abgeschätzten Umweltexpositionen anhand der PEC-Werte stets über den gemessenen Konzentrationen, also der tatsächlichen Umweltexposition.

Als Ergebnis der Risikoabschätzung ist festzuhalten, dass Krankenhausabwässer ein hohes Risikopotential für die aquatische Umwelt aufweisen können. Die Ergebnisse der Risikoabschätzung zeigen, dass besonders die Wirkstoffe Ciprofloxacin, Ceftazidim und Amiodaron einen hohen Anteil an der Gesamtsumme der Risikoquotienten haben. Dies liegt

an den sehr niedrigen PNEC-Werten für diese Wirkstoffe. Die Ergebnisse zeigen auch, dass Krankenhäuser mit einer hohen Bettenzahl nicht zwangsläufig auch hohe Risikoquotienten aufweisen.

Die in der Literatur dargestellten PNEC-Werte sind für einige Substanzen teilweise sehr unterschiedlich und führen daher zu stark schwankenden Risikoquotienten. Ebenso liegen für einen Großteil der sogenannten Altarzneimittel, für deren Zulassung noch keine Umweltrisikobewertung notwendig war, keine ökotoxikologischen Daten vor. Dies zeigt das Erfordernis einer weiteren Ermittlung ökotoxikologischer Daten und einer einheitlichen und zugänglichen Datenbank für diese Daten.

Die Ergebnisse der durchgeführten Risikoabschätzung belegen, dass unter Beachtung der Herkunft und Qualität der Daten die dargestellte Vorgehensweise für eine stoffbezogene orientierende Risikoabschätzung von Krankenhausabflüssen bis hin zum Kläranlagenablauf geeignet ist und in dieser Form durchgeführt werden kann.

7 Kostenbewertung und Nutzenpotenziale

Die Kostenbewertungen und die Diskussion von Nutzenpotenzialen ergeben bei den organisatorischen Maßnahmen aufgrund unzureichender Daten nur Abschätzungen und keine belastbaren Ergebnisse.

Bei den technischen Maßnahmen wurden die einzelnen Eliminationsverfahren auf der Grundlage von einzelnen Modellkrankenhäusern, die den jeweiligen Krankenhaus-größenklassen der vorgenommenen Krankenhausgrößen-Differenzierung (G I bis G IV) zugeordnet werden können, verglichen. Bei allen vier Modellkrankenhäusern der vier Krankenhausgrößenklassen erwies sich die Entsorgung über ein Vakuumtoilettennetz aufgrund der erheblichen Investitionskosten als teuerste Variante. Im Vergleich hierzu ist eine stoffliche getrennte Entsorgung über Separationstoiletten kostengünstiger und liegt im Falle des kleinen Krankenhauses sogar unterhalb der Kosten für eine Vollstrombehandlung. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht zu den Jahreskosten für die einzelnen betrachteten Maßnahmen in den vier Modellkrankenhäusern. Erfahrungswerte für die Urinsammlung und deren Kosten liegen z. B. aus Berlin vor.

Dies ist allerdings nicht für die entsprechenden Aufkonzentrierungsverfahren mittels Eindampfung, Elektrodialyse oder Nanofiltration der Fall. Diese technischen Möglichkeiten wurden bisher nur im Labor untersucht, weshalb die Ergebnisse bei der Übertragung und Extrapolation auf die hier vorgenommene Typisierung nur stark eingeschränkt gültig sind.

Tabelle 2: Berechnete Jahreskosten für unterschiedliche Behandlungsmöglichkeiten 8 EK: Entsorgungs- bzw. Aufbereitungskostenanteil für Teilströme, Konzentrate oder Sammelströme).

Modellkrankenhaus	**„groß“ (G I)**	**„mittel 1“ (G II)**	**„mittel 2“ (G III)**	**„klein“ (G IV)**	**Kostenbasis**
Abwasser [m^3/a]	110.000	45.400	15.400	9.000	-
Patienten pro Jahr	28.500	13.000	5.800	2.000	-
	Kosten [€/a]	**Kosten [€/a]**	**Kosten [€/a]**	**Kosten [€/a]**	
Urinsammlung und Eindampfung	290.700	132.600	59.200	20.400	ohne EK
Urinsammlung und Elektrodialyse	286.400	130.700	58.300	20.100	ohne EK
Urinsammlung und Nanofiltration	285.300	130.100	58.100	20.000	ohne EK
Urinsammlung	285.000	130.000	58.000	20.000	ohne EK
Separationstoilette	712.500	325.000	145.000	50.000	inkl. EK
Vakuumtoilette	1.966.500	897.000	400.200	138.000	ohne EK
Teilstrombehandlung aus einer Station (AOP/O_3)	35.400	34.500	18.000	11.600	ohne EK
Teilstrombehandlung aus einer Station (UO)	8.800	10.600	3.600	2.100	ohne EK
Vollstrombehandlung (MBR+O_3+PAK)	328.000	176.000	97.000	62.000	ohne EK

Für 31 der 53 kommunalen Kläranlagen in NRW nach MKULNV (2012), die im Einzugsgebiet oberhalb von Trinkwassergewinnungsanlagen liegen, die auf abwasserbeeinflusste Oberflächenwässer zurückgreifen, und für die im Einzugsgebiet der Kläranlagen liegenden 88 Krankenhäuser wurden vergleichend Kostenabschätzungen für zentrale Behandlungsmaßnahmen an Kläranlagen und dezentrale Vollstrombehandlungen in den Krankenhäusern durchgeführt.

Bei den Kläranlagen wurden die Verfahren zur Spurenstoffelimination so gewählt, dass Kläranlagen mit einer vorhandenen Filtrationsstufe mit einer Adsorptionsstufe und Kläranlagen ohne Filtrationsstufe mit einer Ozonierung ausgestattet werden. Bei den dezentralen

Maßnahmen einer Vollstrombehandlung an den betroffenen Krankenhäusern wurde zur Spurenstoffelimination ein kombiniertes Verfahren „MBR+O_3+PAK“ betrachtet. Dabei wurden für die betroffenen Krankenhäuser Bettenzahlen entsprechend den Krankenhaus-Größenklassen G III “mittel 2“ und G II „mittel 1“ in Ansatz gebracht.

Tabelle 3 zeigt für den zentralen und dezentralen Ansatz die ermittelten Investitionskosten und die spezifischen Jahreskosten.

Tabelle 3: Vergleich der Kosten für zentrale und dezentrale Behandlungsansätze zur Spurenstoffelimination an 31 Kläranlagen und an den 88 Krankenhäusern im Einzugsbereich der 31 Kläranlagen (IK: Investitionskosten / JK: spezifische Jahreskosten / PAK: Pulveraktivkohle / O_3: Ozonierung)

	ZENTRAL **- Kläranlagen -**				**DEZENTRAL** **- Krankenhäuser -**		
Kläranlagen-Größenklasse	Anzahl	gewählt	Σ IK [Mio. €]	JK [€/m³ behandeltes Abwasser]	Anzahl (Betten-anzahl)	Σ IK [Mio. €]	JK [€/m³ behandeltes KH-Abwasser]
GK IV	15	2 x PAK: 13 x O_3:	5,7 23,8 Σ 29,5	0,12 0,07	20 (4.814)	19,8	7,80
GK V	16	8 x PAK: 8 x O_3:	72,1 28,0 Σ100,1	0,09 0,04	68 (24.306)	88,4	5,80

Der Kostenvergleich ergibt, dass der Bau von dezentralen Anlagen in den Krankenhäusern hinsichtlich der spezifischen Jahreskosten bezogen auf die jeweils behandelten Abwassermengen wesentlich kostenintensiver ist. Die Ausstattung der 31 Kläranlagen mit einer entsprechenden Eliminationsstufe ergibt spezifische Jahreskosten zwischen 0,04 bis 0,12 €/m³, während der Bau und der Betrieb der dezentralen Anlagen zu spezifischen Jahreskosten von 5,80 bis 7,80 €/m³ führt. Zentrale Behandlungsansätze an den Kläranlagen erscheinen hinsichtlich einer Verminderung des Eintrags von Arzneimitteln ökonomisch zielführender zu sein, zudem auch der Eintragspfad über Haushalte erfasst wird.

Eine Reihenfolge der Maßnahmen auf Grundlage der Bewertungskriterien ergibt sich demnach unter den oben beschriebenen Einschränkungen für alle vier Krankenhausgrößenklassen von „teuer“ nach „günstig“ geordnet wie folgt:

Vollstrombehandlung > Urinsammlung > Kläranlage.

Für „große“ Krankenhäuser und solche der Kategorie „mittel 1“ lässt sich diese Reihenfolge um die Maßnahme Teilstrombehandlung nach unten erweitern. Bei Krankenhäusern der Kategorie „mittel 2“ und „klein“ fällt die Teilstrombehandlung hinter die Kosten für eine Aufbereitung auf der kommunalen Kläranlage zurück, was sich durch die verhältnismäßig kleinen Volumenströme zur Teilstromaufbereitung und spezifisch höhere Aufbereitungskosten erklären lässt. Für diese Kategorien kann es sinnvoller sein, eine Vollstrombehandlung vorzusehen. Je kleiner das Krankenhaus, desto geringer werden die Kostenunterschiede zwischen den unterschiedlichen Eliminationsprozessen.

Betrachtungen der Effektivität der Maßnahmen ergeben jedoch eine abgewandelte Abfolge:

Urinsammlung / Teilstrombehandlung > Vollstrombehandlung > Kläranlage.

8 Schlussfolgerungen

Als Gesamtfazit sind aus den Projektergebnissen folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

- **Organisatorische Maßnahmen** sind als präventive Maßnahmen besonders wirksam zur Vermeidung oder Verminderung von arzneimittelspezifischen Emissionen aus den Krankenhäusern in das Abwasser. Eine Schlüsselfunktion mit direktem Klinikbezug nimmt hier unter anderen die Aufklärung und Schulung von Ärzten, medizinischem Personal und Patienten ein.
- Die **Sammlung und getrennte Entsorgung von mit Röntgenkontrastmitteln belastetem Patientenurin** ist als effektive Maßnahme zur Reduzierung des Spurenstoffeintrages ratsam.
- Das Arzneimittelcontrolling der die Kliniken versorgenden Apotheken kann **stärker gemäß einheitlicher Standards** (Benennung einheitlich nach der Roten Liste®, Angabe der Wirkstoffe in [mg] oder in Tagesdosen (DDD - Defined Daily Dose) und möglichst EDV-gestützt erfolgen.
- Einheitliche, aktuelle und zugängliche Datenbanken für ökotoxikologische Daten zu Arzneimittelwirkstoffen und Stoffgemischen sind erforderlich.
- **Technische Maßnahmen** sind nach Möglichkeit unter Berücksichtigung der Merkmale der definierten 13 Typenstandorte auszuwählen.
- **Besondere Sorgfalt im Hinblick auf die Dichtigkeit des Kanalnetzes** sollte nach Möglichkeit bei Kliniken des Typenstandorts 13 (Lage in Wasserschutzzonen) walten.
- Eine **Einzelfallprüfung im Hinblick auf eine dezentrale Abwasserbehandlung** ist insbesondere für die Kliniken des **Typenstandort 13** (Lage in Wasserschutzzonen), des **Typenstandort 2** (Kliniken im ländlichen Bereich mit einer Bevölkerungsdichte von < 150 Einwohner/km²) **und Typenstandort 4** (große Kliniken mit mehr als 600 Betten) in Erwägung zu ziehen.
- Eine **zentrale Reinigung der Abwässer in einer kommunalen Kläranlage** ist in der Regel eine wirtschaftlich und gesamtökologisch sinnvolle Lösung für Kliniken der Typenstandorte 1, 3 und 5 bis 12.
- Eine **Einzelfallprüfung** kann wegen des ökotoxikologische Potentials und der Persistenz der in das Abwasser eingetragenen Krankenhausarzneimittel auch bei Kliniken der Typenstandorte 1, 3 und 5 bis 12 unter Berücksichtigung spezifischer Randbedingungen erforderlich sein. Ein Beispiel hierfür ist die Emission des krankenhaustypischen Antibiotikums Azithromycin.

- Unter Berücksichtigung der **entstehenden Kosten** sind auf der Basis der Untersuchungsergebnisse technische Maßnahmen wie folgt zu bewerten (von „teuer“ zu „günstig“): **Vollstrombehandlung > Urinsammlung > Kläranlage**.
- Unter Berücksichtigung der Effektivität ergibt sich folgende Abstufung: **Urinsammlung/Teilstrombehandlung > Vollstrombehandlung > Kläranlage.**
- Eine stoffbezogene, orientierende **Risikobewertung** von in Krankenhäusern verabreichten und im Abwasser auftretenden Arzneimitteln kann auf der Grundlage von Verbrauchsmengen angemessen genau berechnet werden. In der Regel liegen die Berechnungen über gemessenen Werten. Eine Unterschätzung des Risikos ist somit auf der Basis der Untersuchungsergebnisse in der Regel nicht zu erwarten.