

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Reduzierung der Gewässerbelastungen mit Rückständen von Arzneistoffen in ausgewählten Pilotgebieten („ReAs“)

Ist-Analyse, Bewertung und
Priorisierung von Reduktions-
maßnahmen, Konzepte

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Dr.-Ing. Felix Tettenborn

Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand

unter Mitarbeit von

Lara Wöhler

Yannis Geiger

Dr.-Ing. Jutta Niederste-Hollenberg

September 2017



ReAs

Reduzierung der Gewässerbelastungen
mit Rückständen von Arzneistoffen in
ausgewählten Pilotgebieten

Inhalt

1	Hintergrund	1
2	Zielsetzung	3
3	Struktur und Vorgehensweise	4
4	Voranalyse	6
4.1	Derzeitiger Kenntnisstand	6
4.2	Abschätzung der Relevanz von „Hot-Spots“ bei Arzneistoffeinträgen am Beispiel Baden-Württemberg	8
4.2.1	Abschätzung ungünstiger Größenverhältnisse.....	11
4.2.2	Abschätzung möglicher Belastungen	14
4.2.3	Zwischenfazit zur Abschätzung der Relevanz von Hot-Spots bei Arzneistoffeinträgen	20
4.3	Arzneistoffauswahl für Detailbetrachtungen	24
5	Bestandsaufnahme Pilotstandorte	28
5.1	Kurzbeschreibung der ReAs-Fallbeispiele	28
5.1.1	Klinik Löwenstein	28
5.1.2	Psychiatrisches Zentrum Nordbaden, Wiesloch	30
5.1.3	Schloss Waldleiningen.....	35
5.2	Arzneistoffverbrauch an den drei Pilotstandorten.....	37
5.2.1	Arzneistoffverbrauch der Klinik Löwenstein.....	37
5.2.2	Arzneistoffverbrauch des PZN Wiesloch	39
5.2.3	Arzneistoffverbrauch der Klinik Schloss Waldleiningen	41
5.2.4	Spezifische Jahresverbrauchsmengen im Vergleich	42
5.2.5	Veränderungen der Wirkstoffverbrauchsmengen über die Zeit	45
5.3	Darstellung der Stoffströme	46
5.4	Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten der Kläranlagen	52
5.4.1	Arzneistoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf von Kläranlagen	52
5.4.2	Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten für den Standort Löwenstein	53

5.4.3	Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten für den Standort Wiesloch.....	54
5.4.4	Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten für den Standort Waldleiningen.....	55
5.5	Szenarienbasierte Abschätzung der Arzneistoffemissionen durch Regenüberläufe am Standort Wiesloch.....	62
6	Exemplarische Hotspot-Datenerhebung	65
6.1	Vorgehen.....	65
6.2	Ergebnisse.....	66
7	Handlungsmöglichkeiten zur Emissionsminderung	74
7.1	Handlungsebenen und Bewertungskriterien.....	74
7.2	Maßnahmenoptionen: Beschreibung und Anwendbarkeit an den Pilotstandorten.....	76
7.2.1	Dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem	77
7.2.1.1	Schulung des Fachpersonals.....	78
7.2.1.2	Informationen für Patienten.....	79
7.2.1.3	Reduktion der Medikation	80
7.2.1.4	Nicht medikamentöse Behandlungsformen fördern.....	81
7.2.1.5	Verwendung alternativer Wirkstoffe	82
7.2.2	Technische dezentrale Maßnahmen: Sammlung und Erfassung	83
7.2.2.1	Abwasserteilstromerfassung	83
7.2.2.1.1	Vakuumtoilette	83
7.2.2.1.2	Urinbeutel	85
7.2.2.1.3	Hightech-Nachttopf Rollac 1.0	86
7.2.2.2	Sachgemäße Entsorgung nicht verabreichter Arzneimittel.....	88
7.2.3	Technische dezentrale Maßnahmen: Behandlung	89
7.2.3.1	Membranverfahren	90
7.2.3.2	Aktivkohle	92
7.2.3.3	Ozonung.....	93
7.2.3.4	Erweiterte Oxidation mit H ₂ O ₂ und UV-Bestrahlung	93
7.2.3.5	Pharmafilter	94
7.2.3.6	Dänisches Konzept (Demonstrationsstandort Harlev)	96
7.2.3.7	Bewachsener Bodenfilter	98

7.2.4	Übergeordnete Maßnahmen	100
7.2.4.1	Problemsensibilisierung in der Bevölkerung.....	100
7.2.4.2	Umweltklassifikationssystem.....	102
7.2.5	Nachgeschaltete Maßnahmen	103
7.3	Zusammenfassung der Maßnahmenoptionen	105
8	Bewertung und Priorisierung von Maßnahmen	109
9	Ableitung angepasster Gesamtkonzepte für die Pilotstandorte.....	114
10	Zusammenfassung	119
11	Literaturverzeichnis	125
12	Anhang	138
	Inhalt des Anhangs	138
12.1	Detailergebnisse zur Voranalysen.....	139
12.2	Stoffauswahl	154
12.3	Wasserverbrauch in Gesundheitseinrichtungen	156
12.4	Regenentlastung im Einzugsgebiet der Verbandskläranlage Wiesloch – Niederschlagsdaten.....	157
12.5	Untersuchte Arzneistoffe des ReAs-Projektes	163
12.6	Arzneistoffe, die nicht näher untersucht wurden.....	165
12.7	Zulaufkonzentrationen des KomS Messprogramms 2015 sowie Daten des ReAs-Messprogramms	170
12.8	Jahresverbrauchsmengen im Vergleich	172
12.9	Annahmen für Maßnahmenbewertung	173
12.10	Forschungsbericht SWECO	177
12.11	Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg, Ergebnisse der Kläranlagenbeprobung innerhalb von ReAs.....	178

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verteilung der betrachteten Gesundheitseinrichtungen in Baden-Württemberg.....	9
Abbildung 2:	Einwohnerspezifische Fallzahlen von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser) über Einwohnerzahlen der betreffenden Kommunen	10
Abbildung 3:	Einwohnerspezifische Bettenzahlen von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser und Reha-Einrichtungen) über Einwohnerzahlen der betreffenden Kommunen	10
Abbildung 4:	Verteilung des Verhältnisses „Fälle zu Einwohner“ von Krankenhäusern über die Standorte, absteigend sortiert	12
Abbildung 5:	Verteilung des Verhältnisses „Betten zu Einwohner“ von Krankenhäusern und Reha-Einrichtungen über die Standorte, absteigend sortiert	13
Abbildung 6:	Verteilung von Krankenhäusern und Vorsorge- bzw. Rehabilitationseinrichtungen in Baden-Württemberg	21
Abbildung 7:	Summe der Betten von Krankenhäusern und Vorsorge- bzw. Rehabilitationseinrichtungen pro Einwohner pro Einzugsgebiet in Baden-Württemberg.....	22
Abbildung 8:	Kommunen mit einem geschätzten hohen Anteil von Gesundheitseinrichtungen an der Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac	23
Abbildung 9:	Geografische Lage der Stadt Löwenstein in Baden-Württemberg	29
Abbildung 10:	Geografische Lage der Stadt Wiesloch in Nordbaden.....	30
Abbildung 11:	Karte des PZN (PZN o. J.)	31
Abbildung 12:	Geographische Lage der Gemeinde Mudau in Baden-Württemberg	35
Abbildung 13:	Summen der verabreichten Einzeldosen von ca. 600 Wirksubstanzen in den Jahren 2014 und 2015*	38
Abbildung 14:	Boxplots der monatlichen Abgabemengen ausgewählter Wirkstoffe an die Klinik Löwenstein für das Jahr 2015	48

Abbildung 15:	Stoffstromdarstellung für Metoprolol, Gabapentin, Clarithromycin sowie Diclofenac am Standort Löwenstein für das Jahr 2015.....	49
Abbildung 16:	Stoffstromdarstellung für Metoprolol, Gabapentin, Clarithromycin sowie Diclofenac am Standort Wiesloch für das Jahr 2015.....	50
Abbildung 17:	Stoffstromdarstellung für Metoprolol, Gabapentin, Clarithromycin sowie Diclofenac am Standort Waldleiningen für das Jahr 2016.....	51
Abbildung 18:	Boxplots der Zulaufdaten der Spurenstoffanalyse aus der Bestandaufnahme von KomS (2016) sowie Zulaufkonzentrationen der 3 Pilotstandorte.....	57
Abbildung 19:	Vergleich bilanzierter und gemessene Kläranlagenzulaufkonzentrationen für den Standort Löwenstein	58
Abbildung 20:	Vergleich bilanzierter und gemessener Kläranlagenablaufkonzentrationen für den Standort Löwenstein	59
Abbildung 21:	Vergleich bilanzierter Arzneistoffkonzentrationen im Abwasser des PZN mit gemessenen Konzentrationen im Kläranlagenzulauf und -ablauf der Verbandskläranlage Wiesloch.....	60
Abbildung 22:	Vergleich bilanzierter und gemessener Zulaufkonzentrationen für den Standort Waldleiningen.....	61
Abbildung 23:	Vergleich bilanzierter und gemessener Kläranlagenablaufkonzentrationen für den Standort Waldleiningen.....	61
Abbildung 24:	Literaturwerte zu Kläranlagenablaufkonzentrationen sowie PNEC-Werte, Stoffe sortiert nach PNEC.....	70
Abbildung 25:	Kläranlagenablaufkonzentrationen an ausgewählten Standorten; Stoffe sortiert nach PNEC.....	71
Abbildung 26:	ReAs- Zulaufkonzentrationen als Punktwerte im Vergleich zur Bestandaufnahme von KomS (2016) (Boxplots).....	72
Abbildung 27:	Vergleich von Zulaufkonzentrationen der Bestandaufnahme von KomS (2016) (linke Boxen) und den Zulaufkonzentrationen des ReAs-Messprogramms (rechte Boxen)	73

Abbildung 28:	Handlungsebenen von Maßnahmen zur Emissionsminderung (Hillenbrand et al. 2014a)	75
Abbildung 29:	Die mobile wasserlose Toilette Rollac 1.0 (LIFTAC o. J.).....	87
Abbildung 30:	Außenansicht der Abwasserreinigungsanlage Pharmafilter (Pharmafilter 2015)	95
Abbildung 31:	Aufbau der Krankenhauskläranlage am Standort Harlev, Dänemark (Krarup et al. o. J.).....	97
Abbildung 32:	Jährliche Niederschlagsverteilung von 1994 bis 2015.....	158
Abbildung 33:	Niederschlagssummen für den Standort Wiesloch	159
Abbildung 34:	Skizze der Eintragungssituation der für die Abwasserableitung vom PZN relevanten RÜB.....	160

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standorte, die im ReAs Vorhaben betrachtet wurden.....	4
Tabelle 2:	Standorte von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser) mit hohem Verhältnis „Fälle zu Einwohner“	12
Tabelle 3:	Standorte von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser und Reha-Einrichtungen) mit hohem Verhältnis „Betten zu Einwohner“	13
Tabelle 4:	Standorte mit einem geschätzten hohen Anteil von Krankenhäusern an der Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac und Sulfamethoxazol	17
Tabelle 5:	Standorte mit geschätzten Überschreitungen von PNEC/2 bei MQ durch Diclofenac-Einträge von Kommunen und Krankenhäuser	18
Tabelle 6:	Standorte mit geschätzten Überschreitungen von PNEC bei MNQ durch Diclofenac-Einträge von Kommunen und Krankenhäuser	19
Tabelle 7:	Standorte mit hohen PEC/PNEC-Verhältnissen bei MNQ durch Sulfamethoxazol-Einträge von Kommunen und Krankenhäuser	19
Tabelle 8:	Arzneistoffauswahl für die weitergehenden Betrachtungen	25
Tabelle 9:	Anteilige Abgabe von Arzneistoffen über den Einzelhandel und Gesundheitseinrichtungen in Deutschland sowie der daraus abgeleitete jährliche Verbrauch pro Einwohner und pro Bett (Verbrauchsdaten: IMS Health)	27
Tabelle 10:	Überlaufvolumina des RÜB W3 für die Jahre 2014 und 2015	33
Tabelle 11:	Überlaufhäufigkeiten und -volumina des RÜB N2 für die Jahre 2014 und 2015.....	33
Tabelle 12:	Jährliche Niederschläge von 1995 bis 2015.....	34
Tabelle 13:	Verabreichungszahl der kleinsten nichtteilbaren Einheiten verschiedener Wirkstoffe für die Jahre 2014 und 2015	37
Tabelle 14:	Verabreichte Wirkstoffmengen umweltrelevanter Arzneistoffe gem. Kapitel 4.3 - Klinik Löwenstein für die Jahre 2014 und 2015.....	38

Tabelle 15:	Verabreichte Wirkstoffmengen umweltrelevanter Arzneistoffe gem. Kapitel 4.3 - PZN Wiesloch für das Jahr 2015	40
Tabelle 16:	Verabreichte Wirkstoffmengen umweltrelevanter Arzneistoffe gem. Kapitel 4.3 - Klinik Schloss Waldleiningen für das Jahr 2015.....	41
Tabelle 17:	Wirkstoffe am Standort Waldleiningen, die nicht in die weiteren Betrachtungen eingeflossen sind.....	42
Tabelle 18:	Spezifische Jahresverbrauchsmengen pro Bett an den drei Pilotstandorten im Vergleich zum Bundesdurchschnitt und zu Literaturwerten.	43
Tabelle 19:	Entlastungsfrachten aus dem RÜB W3 für unterschiedliche Arzneistoffe in den vier betrachteten Szenarien	63
Tabelle 20:	Konzentrationen unterschiedlicher Arzneistoffe im entlasteten Abwasser aus dem RÜB W3 in den vier betrachteten Szenarien	63
Tabelle 21:	Beprobte Standorte mit angeschlossenen Gesundheitseinrichtungen	65
Tabelle 22:	Spurenstoffkonzentrationen (Mittelwert, Minima, Maxima) im Zu- und Ablauf von 13 ausgewählten Standorten	66
Tabelle 23:	Zulaufkonzentrationen und spezifische Emissionsfaktoren (EFspez) für Spurenstoffe im Zulauf des Spurenstoffinventars Baden-Württemberg 2014 und des ReAs-Messprogramms	69
Tabelle 24:	(Spezifische) Jahreskosten vorhandener Anlagen zur Spurenstoffelimination in Krankenhäusern nach Seidel et al. (2013)	90
Tabelle 25:	Zusammenfassung der Maßnahmenoptionen für nicht technische sowie technische Maßnahmen.....	107
Tabelle 26:	Kostenvergleich dezentrale Maßnahmen am PZN und Ausbau der Verbandskläranlage Wiesloch mit einer vierten Reinigungsstufe	111
Tabelle 27:	Maßnahmenwirkungen für Stoffe, die am Standort Löwenstein den PNEC überschreiten	113
Tabelle 28:	Maßnahmenwirkungen für Stoffe, die im Ablauf PZN den PNEC überschreiten	113

Tabelle 29:	Abschätzung von Gesundheitseinrichtungsinduziertem PEC/PNEC im Vorfluter bei MQ.....	140
Tabelle 30:	Abschätzung von Gesundheitseinrichtungsinduziertem PEC/PNEC im Vorfluter bei MNQ	141
Tabelle 31:	Anteil von Krankenhäusern an Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac bei MQ	144
Tabelle 32:	Auszug (Anteil KH> 10% bzw. PEC/PNEC > 0,1) - Anteil von Krankenhäusern an Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac bei MQ	147
Tabelle 33:	Anteil von Krankenhäusern an Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac bei MNQ.....	149
Tabelle 34:	Auszug (Anteil KH> 10% bzw. PEC/PNEC > 0,1) - Anteil von Krankenhäusern an Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac bei MNQ.....	152
Tabelle 35:	Ausgewählte Arzneistoffe im SAUBER+-Projekt.....	154
Tabelle 36:	Parameter und Annahmen für die Abschätzung von Einträgen über RÜB.....	161
Tabelle 37:	Untersuchte Arzneistoffe innerhalb des ReAs-Projektes	163
Tabelle 38:	Arzneistoffe mit Einsatz am Standort Wiesloch, die im Rahmen von ReAs nicht näher untersucht wurden	165
Tabelle 39:	Auswahl von Arzneistoffen mit Einsatz am Standort Löwenstein, die im Rahmen von ReAs nicht näher untersucht wurden	167
Tabelle 40:	Zulaufkonzentrationen des KomS Messprogramms 2015, sowie Daten des ReAs-Messprogramms	171
Tabelle 41:	Vergleich von Jahresverbrauchsmengen pro Bett zwischen Literaturangaben und ReAs-Standorten.....	172

Abkürzungsverzeichnis

AHW	Abwasser- und Hochwasserschutzverband Wiesloch
AK	Aktivkohle(behandlung)
AM	Arzneimittel
AS	Arzneistoffe
ATC	Anatomical Therapeutic Chemical Classification; international anerkanntes Klassifikationssystem der WHO für Arzneistoffe
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
DKTIG	Deutsche Krankenhaus TrustCenter und Informationsverarbeitung GmbH
DOC	Dissolved organic carbon; gelöster organisch gebundener Kohlenstoff
DSADS	Projekt „Den Spurenstoffen auf der Spur“
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
E2	Estradiol (natürliches Hormon); auch: 17-beta-Östradiol
EE2	Ethinylestradiol (synthetisches Hormon); auch: 17-alpha-Ethinylöstradiol
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
EW	Einwohner (Maß für Ausbaugröße von Kläranlagen)
GAK	Granulierte Aktivkohle
GE	Gesundheitseinrichtung
KA	Kläranlage
KH	Krankenhaus
KomS	Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW
MBR	Membranbioreaktor
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MQ	Mittlerer Abfluss
MVZ	medizinische Versorgungszentren
N	Stickstoff

NF	Nanofiltration
NRW	Nordrhein-Westfalen
O³	Ozon, Ozonierungsverfahren
P	Phosphor
PAK	Pulveraktivkohle
PBT	Persistenz, Bioakkumulation, Toxizität
PEC	Predicted environmental concentration; abgeschätzte Umweltkonzentration
PEC-PNEC-Ratio	Verhältnis der prognostizierten Umweltkonzentration zur Maximalkonzentration, welche keine Auswirkungen auf Flora und Fauna hat
PNEC	Predicted no effect concentration; Konzentrationen, bei denen noch keine nachteilige Auswirkung auf die Umwelt erwartet wird
PILLS	EU-Projekt: "Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources"
pH	pH-Wert; Maß für die Stärke einer Säure/Base
PZN	Psychatisches Zentrum Nordbaden
ReAs	Reduzierung der Gewässerbelastungen mit Rückständen von Arzneistoffen in ausgewählten Pilotgebieten
RiSKWa	Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf
RKM	Röntgenkontrastmittel
RP-KA	Regierungspräsidium Karlsruhe
RÜB	Regenüberlaufbecken
SAUBER+	Verbundprojekt: „Innovative Konzepte und Technologien für die Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens“
UBA	Umweltbundesamt
UFT	Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien
UO	Umkehrosmose
UQN	Umweltqualitätsnorm
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Danksagung

Unser Dank geht an das Regierungspräsidium Karlsruhe und das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die inhaltliche Begleitung und die Projektförderung.

Weiter danken wir

- der Klinik Löwenstein, insb. in Person von Herrn Kaiser,
- dem Psychiatrischen Zentrum Nordbaden in Wiesloch, insb. in Person von Herrn Janson sowie
- der Psychosomatischen Reha-Klinik Schloß Waldleiningen, insb. in Person von Prinz zu Leiningen

für die wertvolle Unterstützung des Projektes.

Die Machbarkeitsanalyse der dezentralen Behandlung der Krankenhausabwässer zur Mikroschadstoffelimination wurde von der Sweco GmbH in Person von Dr. Antakyali, Dr. Herbst, Frau Scharrenbach und Frau Boekelso durchgeführt.

Die Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg wurde vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe-BW in Person von Herrn Rau und Dr. Metzger durchgeführt.

1 Hintergrund

Arzneistoffe und ihre Rückstände wurden in den letzten Jahren verstärkt in unterschiedlichen Umweltmedien nachgewiesen und tragen wesentlich zur Belastung der Gewässer mit Spuren- bzw. Mikroschadstoffen bei. Gründe hierfür sind verbesserte Analysemethoden, teilweise aber auch steigende Verbrauchsmengen¹. Belastungen in Oberflächengewässern und im Grundwasser sind inzwischen im Rahmen vieler Untersuchungsprogramme dokumentiert² und unterschiedliche Maßnahmen zur Verringerung dieser Belastungen werden auf verschiedenen Ebenen diskutiert. Auf europäischer Ebene wird bspw. in Richtlinie 2013/39/EG³ festgestellt, dass die Kontamination des Wassers und des Bodens mit Arzneimittelrückständen „ein zunehmend auftretendes Umweltproblem“ darstellt und dass die Kommission „möglichst innerhalb von zwei Jahren ab dem 13. September 2013 einen strategischen Ansatz gegen die Verschmutzung von Gewässern durch pharmazeutische Stoffe“ entwickelt. Nach dieser Richtlinie wird zudem auf EU-Ebene eine „Beobachtungsliste“ von Stoffen erstellt, „die nach verfügbaren Informationen ein erhebliches Risiko für bzw. durch die aquatische Umwelt auf Unionsebene darstellen und für die keine ausreichenden Überwachungsdaten vorliegen“. In dieser Liste, die mit Beschluss 2015/495 vom 20. März 2015 verabschiedet wurde, sind u. a. die Arzneistoffe Diclofenac, 17-beta-Östradiol (E2) und 17-alpha-Ethinylöstradiol (EE2) aufgeführt.

Vor dem Hintergrund der bestehenden Belastungen der Gewässer in Deutschland mit Arzneimittelrückständen und Spurenstoffen gibt es in einigen Bundesländern insbesondere bei Gewässern, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, bereits seit einigen Jahren Anstrengungen, diese Belastungen zu reduzieren (z. B. Programm „Reine Ruhr“ in Nordrhein-Westfalen oder Maßnahmen an besonders empfindlichen Gewässern und zum Schutz der Trinkwassergewinnung in Baden-Württemberg).

Um Emissionen von Arzneistoffen in die Gewässer zu verringern, stehen neben den **zentralen nachgeschalteten Maßnahmen** (Einführung einer 4. Reinigungsstufe bei

-
- 1 Vgl. beispielhaft Zunahme der Verbrauchsmengen von gängigen Arzneistoffen nach IMS Health IMS (2015) zwischen 2002 und 2013: Amoxicillin (+ 42 %), Azithromycin (+ 93 %), Clarithromycin (+ 72 %), Metoprolol (+ 53 %), lomeprol (Faktor 2,4), Naproxen (Faktor 2,7), Ibuprofen (Faktor 3), Gabapentin (Faktor 4,2)
 - 2 U. a.: Bergmann, A.; Fohrmann, R.; Weber, F.-A. (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. Hg. v. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 66/2011).
Ternes, T.; Keller M. (2013): Ergebnisse der Auswertungsberichte der IKSR Ausgangssituation und Befunde im Einzugsgebiet der FGG-Rhein. Bundesanstalt für Gewässerkunde. In: Workshop „Positionierung der FGG Rhein zum Thema Mikroverunreinigungen“.
 - 3 Änderung von WRRL (Wasserrahmenrichtlinie) und UQN-Richtlinie (Umweltqualitätsnormen)

kommunalen Kläranlagen) sowohl **quellenorientierte Maßnahmen** (bei der Stoffentwicklung, bei der Verschreibung von Arzneimitteln, bei der Anwendung und der Entsorgung) als auch **dezentrale Maßnahmen** zur Erfassung und Behandlung von Abwässern aus Einrichtungen mit hohen Frachten (z. B. Kliniken, Arztpraxen, Altenheime) zur Verfügung.

Hinsichtlich der Vorgehensweise auf lokaler bzw. regionaler Ebene erscheint es vor dem Hintergrund der verschiedenen möglichen Ansatzpunkte sowie ihrer unterschiedlichen Wirkungen und Kosten notwendig, die im Einzelfall möglichen Maßnahmen sowie deren möglichen Verknüpfungen genauer zu untersuchen und zu einem sinnvollen, ausreichend effektiven und effizienten Gesamtkonzept zu integrieren.

2 Zielsetzung

Zielsetzung des Projektes „ReAs“ (Reduzierung der Gewässerbelastungen mit Rückständen von Arzneistoffen in ausgewählten Pilotgebieten) ist die Entwicklung sinnvoller Gesamtkonzepte zur Reduzierung der Einträge von Arzneistoffen in die Gewässer. Der Fokus liegt dabei auf Einzugsgebieten mit signifikant großen Gesundheitseinrichtungen im Gebiet. Grundlage für die Untersuchungen bilden:

- Abschätzungen der Relevanz von Gesundheitseinrichtungen beim Eintrag von Arzneistoffen in die Gewässer anhand des Verhältnisses Größe der Einrichtungen zu Größe der zugehörigen Gemeinden/Kommunen.
- Eine Bestandsaufnahme zu Spurenstoffen des KomS (2016), in der 40 Kläranlagen auf Spurenstoffe hin untersucht worden sind. Für diese Anlagen liegen jeweils Konzentrationen für 19 Arzneistoffe vor. Teil der Bestandsaufnahme waren die Kläranlagen der Pilotstandorte Löwenstein und Wiesloch. Für diese beiden sowie fünf weitere Standorte liegen zusätzlich detailliertere Informationen zu weiteren Stoffen vor.
- Untersuchungen von sechs weiteren Kläranlagen, mit relevanten Gesundheitseinrichtungen im Einzugsgebiet, wobei sich eine dieser Kläranlagen an dem Pilotstandort Waldleiningen befindet.
- Die Emissionssituation in drei konkreten Anwendungsfällen, in denen die Gesundheitseinrichtungen in die Untersuchungen einbezogen sind:
 1. Einzugsgebiet der Verbandskläranlage Wiesloch, in dem sich das Psychiatrische Zentrum Nordbaden (PZN) befindet,
 2. Klinik Löwenstein, die als Direkteinleiter ihr Abwasser nach biologischer Behandlung in ein Gewässer einleitet, sowie
 3. Reha-Klinik Schloss Waldleiningen, die ebenfalls über eine eigene Kläranlage verfügt und das gereinigte Abwasser direkt in den Vorfluter einleitet.

Für die Anwendungsfälle erfolgt eine Bilanzierung der Arzneistoffeinträge, um die möglichen Emissionsminderungsmaßnahmen zu konkretisieren und integrierte Gesamtkonzepte zu erarbeiten. Dabei werden, soweit sinnvoll und notwendig, sowohl quellenorientierte als auch dezentrale bzw. nachgeschaltete Maßnahmen einbezogen. Die Gesamtkonzepte wurden den beteiligten Akteuren soweit möglich vorgestellt und mit diesen diskutiert.

3 Struktur und Vorgehensweise

Im Rahmen einer **Voranalyse** erfolgt zunächst eine Abschätzung der Relevanz von „Hot-Spots“⁴ bei Arzneistoffeinträgen anhand der Größe der Gesundheitseinrichtungen in Form von Bettzahlen und der dazugehörigen Kommunen in Form von Einwohnerzahlen (Kapitel 4) für Baden-Württemberg. Die abgeschätzte Relevanz der Hot-Spots wird mit Hilfe gemessener Zu- und Ablaufkonzentrationen von ausgewählten Kläranlagen überprüft (Kapitel 6). Hierzu wurden zum einen Datensätze von sieben Standorten mit verhältnismäßig großen Gesundheitseinrichtungen im Einzugsgebiet aus der Bestandsaufnahme Baden-Württemberg von KomS (2016) verwendet, darunter zwei der ReAs-Pilotstandorte (Details s. Kapitel 5.4, Fußnote 16). Sechs weitere Standorte mit verhältnismäßig großen Gesundheitseinrichtungen im Einzugsgebiet wurden im Rahmen des Vorhabens zusätzlich beprobt, darunter ein ReAs-Pilotstandort (Details s. Kapitel 5.4, Fußnote 17). Eine Übersicht über die im ReAs-Vorhaben betrachteten Standorte gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Standorte, die im ReAs Vorhaben betrachtet wurden

Standort	Fokus im ReAs-Vorhaben	Quelle Analysedaten
Löwenstein	ReAs- Pilotstandort und Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Wiesloch	ReAs- Pilotstandort und Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Waldleiningen	ReAs- Pilotstandort und Hot-Spot Relevanzabschätzung	Beprobung im ReAs-Vorhaben
Mutlangen	Hot-Spot Relevanzabschätzung	Beprobung im ReAs-Vorhaben
Bad Rappenau	Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Buchen	Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Emmend. Köndringen	Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Kleinsteinbach	Hot-Spot Relevanzabschätzung	Beprobung im ReAs-Vorhaben
Leudelsbach	Hot-Spot Relevanzabschätzung	Beprobung im ReAs-Vorhaben
Lörrach Bandlegrund	Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Offenburg	Hot-Spot Relevanzabschätzung	Beprobung im ReAs-Vorhaben
Rottweil	Hot-Spot Relevanzabschätzung	KomS (2016)
Waldshut	Hot-Spot Relevanzabschätzung	Beprobung im ReAs-Vorhaben

⁴ Als Hot-Spots werden im Rahmen dieser Untersuchung Standorte mit Belastungsschwerpunkten von Arzneistoffen in der Umwelt betrachtet.

Für die drei ausgewählten Anwendungsfälle Wiesloch, Löwenstein und Waldleiningen erfolgen eine **Bestandsaufnahme** hinsichtlich der jeweiligen Emissionssituation der Gewässer mit Arzneistoff-Rückständen sowie eine Bilanzierung der Arzneistoffeintragungssituation auf Basis von erhobenen Arzneistoffverbrauchsdaten. Die bilanzierten Eintragungsmengen werden mit gemessenen Zu- und Ablaufkonzentrationen der zugehörigen Kläranlagen verglichen (Kapitel 5).

Aufbauend auf der Bestandsaufnahme werden die möglichen **Emissionsminderungsmaßnahmen** beschrieben und hinsichtlich Effektivität (Minderungspotenzial der Maßnahmen) und Effizienz (Kosten-Wirksamkeit) bewertet (Kapitel 7).

Hierauf basierend erfolgt eine Ableitung möglicher, auf die ausgewählten Anwendungsfälle angepasster Gesamtkonzepte (Kapitel 9) mit einer Bewertung und Priorisierung der Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen (Kapitel 8). Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen wird unter Einbindung der relevanten lokalen Akteure betrachtet. Als Ergebnis werden **integrierte Konzepte** zur Emissionsminderung zusammengestellt und bewertet.

4 Voranalyse

4.1 Derzeitiger Kenntnisstand

In Deutschland gab es 2013 rund 2.000 Krankenhäuser (2002: 2.220) mit insgesamt etwas über 500.000 Betten. In diesem Jahr wurden ca. 19 Millionen Patienten (Fallzahl) während einer durchschnittlichen Verweildauer von 7,5 Tagen behandelt (DESTATIS 2013a). In DESTATIS (2013b) werden für 2013 u. a. 1.218 Fachabteilungen für Innere Medizin, 767 psychiatrische Fachabteilungen und 272 Fachabteilungen für Strahlentherapie und Nuklearmedizin aufgeführt. Hinzu kommen andere medizinische Einrichtungen, wie Arztpraxen, Dialysezentren und Einrichtungen für Labormedizin.

Die Standorte der Gesundheitseinrichtungen können sich in sensiblen Bereichen befinden, bspw. im Einzugsgebiet von Gewässern, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Im Vorhaben „Elimination von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW“, Teilprojekt 3, wurden entsprechend für NRW 202 Krankenhäuser (davon 13 Tageskliniken) ermittelt, die sich über die angeschlossenen Kläranlagen in einem Umkreis von bis zu 15 km im Einzugsgebiet oberhalb von Trinkwassergewinnungsanlagen befinden (Seidel et al. 2013).

Der überwiegende Teil der Krankenhäuser leitet das Abwasser in die öffentliche Kanalisation ein (Mauer 2011; DWA-M775 2010). Die Zusammensetzung von Krankenhausabwasser ist in den allermeisten Fällen in Bezug auf die Standardparameter der Siedlungswasserwirtschaft (CSB, N, P, pH etc.) mit kommunalem Abwasser vergleichbar. Abwasserteilströme, die ggf. vor einer Einleitung behandelt werden müssen, können aus medizintypischen (z. B. Infektionsstation, Nuklearmedizinische Station, Dialyse, Zahnbehandlung) oder aus nichtmedizintypischen Anfallstellen (z. B. Küche, Wäscherei, Röntgenfilmentwicklung) stammen (DWA-M775 2010). Hinsichtlich der Belastung mit Arzneimittelrückständen zeigt sich in den Arbeiten von Mauer (2011) ein uneinheitliches Bild. Der Anteil von Gesundheitseinrichtungen an der Gesamtfracht wird entsprechend verschiedenen Erhebungen auf bis zu 20 Prozent geschätzt (Feldmann 2005; Schuster et al. 2008; Kümmerer, K. 2008; DWA-M775 2010; PILLS 2012; Seidel et al. 2013). Insbesondere bei den „einrichtungsspezifischen Stoffen“, bspw. bestimmte Antibiotika- und Röntgenkontrastmittel, liegen die Konzentrationen im Krankenhausabwasser teilweise deutlich (laut Mauer (2011): Faktor 10 bis 100) über denen im kommunalen Abwasser. Laut einer dänischen Studie von Nielsen (2014) liegt der Anteil von Zytostatika, der über Krankenhäuser stationär abgegeben wird, bei 16 Prozent, von Arzneistoffen aus dem Bereich der Hormontherapie bei 42 Prozent und bei Antibiotika bei 26 Prozent. Der Anteil, der an ambulant zu behandelnde Patienten abgegeben wird, liegt bei 16 (Zytostatika), 42 (Arzneistoffe zur Hormontherapie) und 2 Prozent (Antibiotika). Im Rahmen einer Betrachtung der Verbrauchswerte über zehn Jahre von gängigen Arzneistoffen durch Hillenbrand et al. (2016) zeigten sich auf Basis von Daten von IMS Health (2015) bei den Antibiotika Clarithromycin, Erythromycin und Sulfa-

methoxazol im Mittel Anteile von 12 bis 14 Prozent, die über Gesundheitseinrichtungen abgegeben werden, zum Teil mit leicht steigenden Tendenzen (bspw. Clarithromycin und Erythromycin). Bei Amoxicillin 8 Prozent, bei Carbamezepin, Gabapentin und Ibuprofen je 4 Prozent und bei Diclofenac ein Anteil von 3 Prozent über Gesundheitseinrichtungen. Bei den Röntgenkontrastmitteln, wie Iomeprol, liegt der Anteil, der über Gesundheitseinrichtungen abgegeben wird, bei 100 Prozent. Grundsätzlich ist die Einstufung von Kliniken als eine „Punktquelle“ des Eintrages von Arzneimitteln in kommunale Abwässer unbestritten (DWA-M775 2010).

Im Rahmen des SAUBER+ -Vorhabens⁵ wurde die Bedeutung von bestimmten Gesundheitseinrichtungen (psychiatrische Fachklinik, Pflege- und Betreuungsheim, Klinik mit orthopädischem Schwerpunkt, Klinik mit chirurgischem Schwerpunkt sowie Klinik mit onkologischem Schwerpunkt) für den Eintrag von Arzneimittelrückständen in die Umwelt untersucht und das Risikopotenzial, das von den Emissionen von 52 ausgewählten Substanzen (s. Anhang 12.1, Tabelle 35) ausgeht, bewertet. Hierbei standen Gesundheitseinrichtungen mit besonderem Schwerpunkt im Vordergrund, da allgemeine Krankenhäuser bereits im Fokus vorheriger Studien waren (siehe z.B. Beier et al. 2011; Kümmerer, K. 2001; McArdell et al. 2011; PILLS 2012; Schuster et al. 2008; Verlicchi et al. 2010; Verlicchi et al. 2015). Es zeigte sich, dass sich bei Psychiatrien, Pflegeheimen und allgemeinen Krankenhäusern im Vergleich zu Privathaushalten bei „einrichtungstypischen Mitteln“ (Krankenhäuser: Clomethiazol (Sedativum); Pflegeheime: Moclobemid und Quetiapin (Neurologika)) höhere Eintragungspotenziale ergeben (Herrmann et al. 2015). Bei einer regionalen Betrachtung spielen demnach die bilanzierten Einrichtungen „eine eher untergeordnete Rolle“. Lediglich „krankenhaustypische Wirkstoffe, wie das zur Infektionsprophylaxe bei Operationen verwendete Cefuroxim“, sowie Clomethiazol und Acetazolamid zeigten danach bzgl. der betrachteten Stoffe relevante Eintragungspotenziale (Herrmann et al. 2015). Zusätzlich können in Regionen mit überdurchschnittlich großen oder vielen Einrichtungen die Emissionen von einrichtungsspezifischen Substanzen höher sein als die von Haushalten. Nach Herrmann et al. (2015) kann es insbesondere bei der Betrachtung von Einzugsgebietsgrößen kleiner 75.000 Einwohner mit einer hohen Dichte an Gesundheitseinrichtungen zu höheren Emissionen aus Gesundheitseinrichtungen als aus den Privathaushalten kommen.

⁵ Verbundprojekt im Rahmen der BMBF-RiSKWa-Fördermaßnahme „Innovative Konzepte und Technologien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens“; <http://sauberplus.de/>.

4.2 Abschätzung der Relevanz von „Hot-Spots“ bei Arzneistoffeinträgen am Beispiel Baden-Württemberg

Die Einträge von Gesundheitseinrichtungen und die Relevanz einzelner Standorte sind von verschiedenen Randbedingungen abhängig, darunter Größe der Einrichtung, fachliche Ausrichtung, Zusammensetzung der eingesetzten Arzneistoffe, Patientenaufkommen, Anteil von stationären zu ambulanten Patienten, Abwassermengen. Aufgrund der unzureichenden Datenlage zu diesen Detailinformationen wird die Abschätzung der Relevanz einzelner Standorte mittels eines vereinfachten Ansatzes unter Verwendung der Fall- bzw. Bettenzahlen durchgeführt. Anhand von Durchschnittsverbräuchen pro Bett wurde die Belastung der Vorfluter durch ausgewählte Hot-Spots abgeschätzt.

Abbildung 1: Verteilung der betrachteten Gesundheitseinrichtungen in Baden-Württemberg

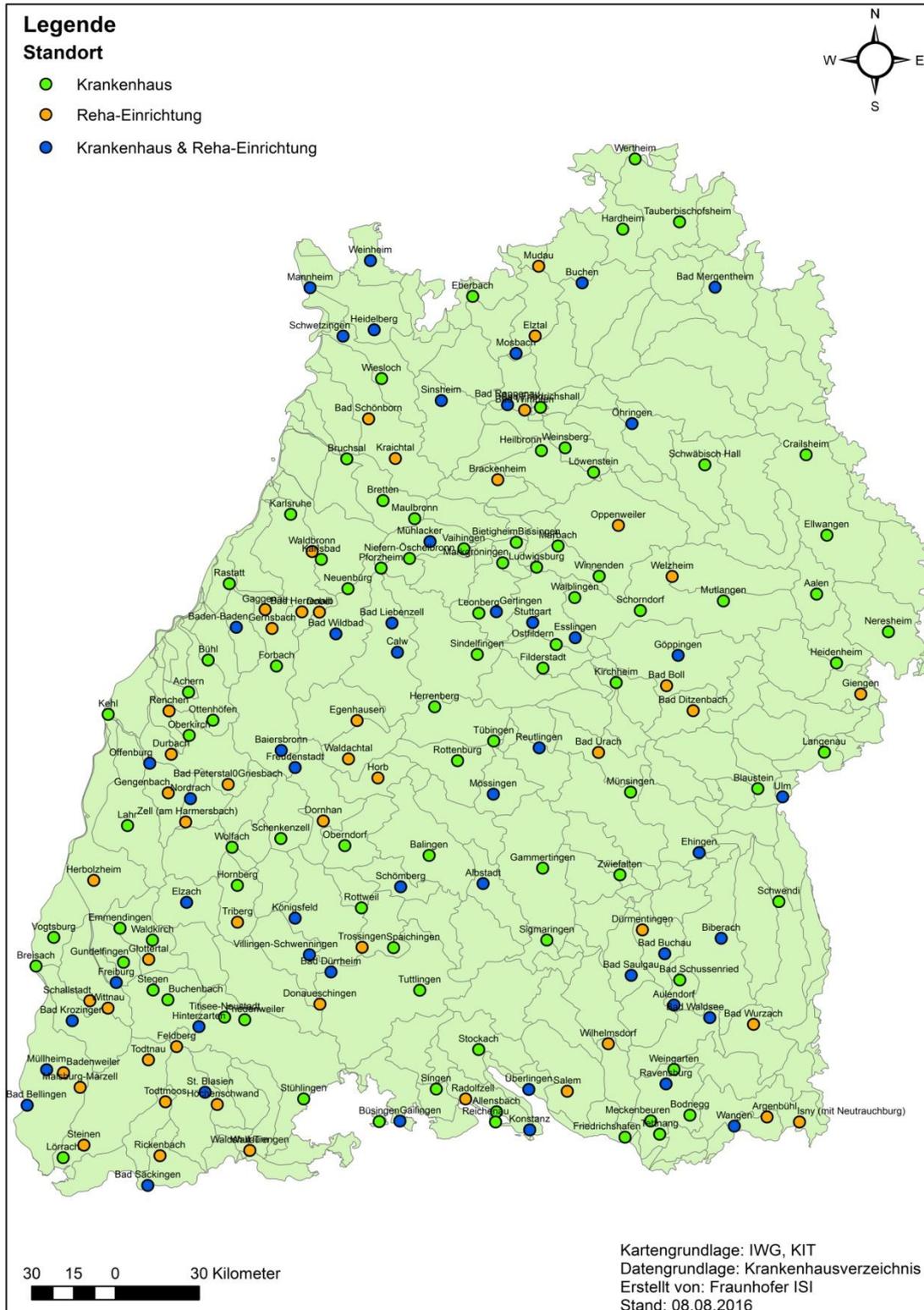


Abbildung 2: Einwohnerspezifische Fallzahlen von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser) über Einwohnerzahlen der betreffenden Kommunen

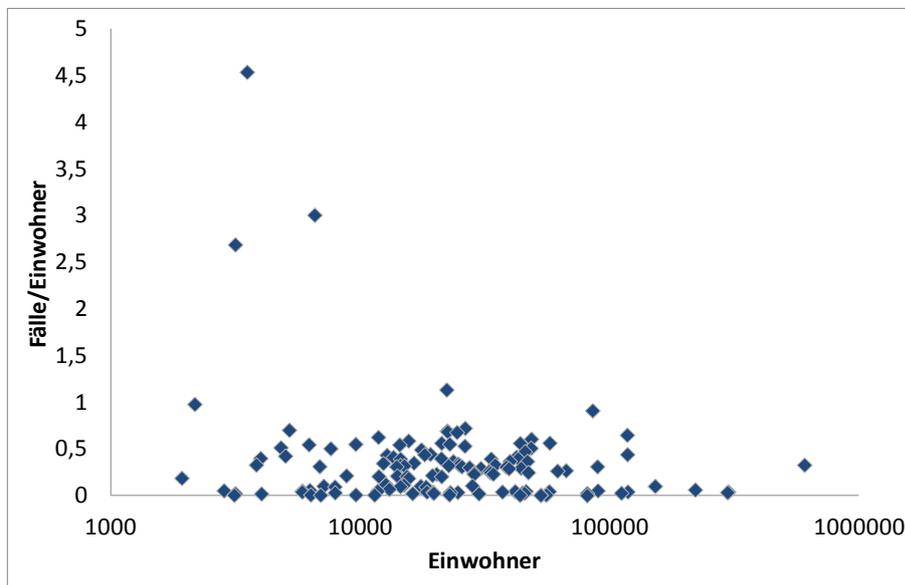
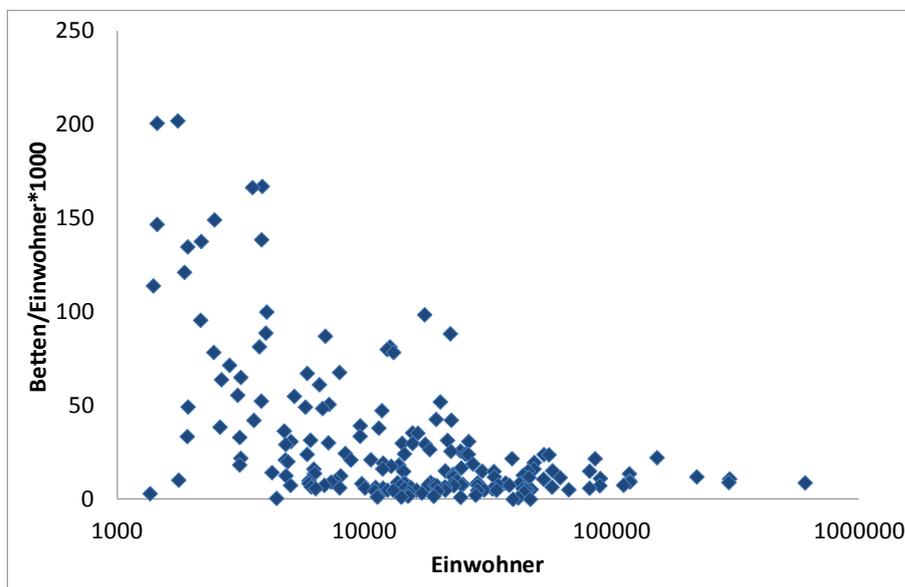


Abbildung 3: Einwohnerspezifische Bettenzahlen von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser und Reha-Einrichtungen) über Einwohnerzahlen der betreffenden Kommunen



Je nach Einrichtung unterscheidet sich das Verhältnis von Fallzahlen zu Bettenzahl. Bei sehr großen Krankenhäusern (vgl. kliniken.de, die sieben größten Einrichtungen in Deutschland) liegt das Verhältnis bei rund 40 Fällen pro Bett und Jahr. Bei einer Be-

trachtung aller Gesundheitseinrichtungen in Baden-Württemberg (Krankenhäuser plus Reha-Einrichtungen) auf Ebene einer Kommune, liegt das Verhältnis entsprechend der vorliegenden Datensätze mit Angaben zu allen Bereichen im Mittel knapp unter 20 Fällen pro Bett; das Maximum liegt bei rund 80 Fällen pro Bett. Bei einem hohen Fall- zu Betten-Verhältnis kommen bspw. Effekte wie eine hohe Anzahl an Akutbehandlungen bzw. ein hoher Anteil an ambulanten Patienten zum Tragen. Bei einem niedrigen Fall- zu Betten-Verhältnis ist von längeren stationären Aufenthalten auszugehen.

Die Verteilung der Gesundheitseinrichtungen in Baden-Württemberg ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Fallzahlen der Gesundheitseinrichtungen liegen in der Regel deutlich unterhalb der Einwohnerzahlen der Kommunen innerhalb eines Kläranlageneinzugsgebietes. In Einzelfällen, insbesondere bei kleinen Kommunen, in denen große Krankenhäuser liegen, können die Fallzahlen die Einwohnerzahlen übersteigen (Abbildung 2). Insbesondere in kleineren Kommunen ist davon auszugehen, dass verhältnismäßig große Gesundheitseinrichtungen für einen relevanten Anteil an der Gesamtabwasser- menge der Kommune bzw. für einen hohen Anteil der eingeleiteten Arzneistofffrachten verantwortlich sein können (Abbildung 3). Inwieweit über ambulante Patienten ein Arzneimittelaustrag aus Gesundheitseinrichtungen und somit der Eintrag von Arzneistoffen über das Haushaltsabwasser aus dem privaten Bereich erfolgt, wurde nicht berücksichtigt. Bei den Standorten mit einem hohen Verhältnis von Fallzahlen in Gesundheitseinrichtungen zu Einwohnerzahlen dominieren die folgenden sieben Abteilungen:

- Innere Medizin (inkl. Hämatologie, Onkologie, etc.),
- Orthopädie,
- Neurologie,
- Psychiatrie,
- Psychotherapie,
- Pneumologie und
- Kardiologie.

4.2.1 Abschätzung ungünstiger Größenverhältnisse

Für eine erste Abschätzung der Relevanz einzelner Standorte wurden für Baden-Württemberg im Rahmen eines vereinfachenden Ansatzes zur Abschätzung die folgenden Parameter miteinander verschnitten:

- Größe von Gesundheitseinrichtungen (Fall- u. Bettenzahlen von Krankenhäusern nach DKTIG (2015a)),
- Bettenzahlen für Krankenhäuser, Vorsorge- sowie Reha-Einrichtungen nach DESTATIS (2014)),
- Größe der zugehörigen Gemeinden (entsprechend DESTATIS (2015)) und
- Größen der Kläranlagen sowie die Durchflüsse der betreffenden Vorfluter (entsprechend RP KA (2015a)).

Hierauf basierend wurden Standorte mit einem hohen Verhältnis von Fallzahlen zu Einwohnern (Abbildung 4 und Tabelle 2) und von Bettenzahlen zu Einwohnern (Abbildung 5 und Tabelle 3) ermittelt. Aus Abbildung 4 und Abbildung 5 wird ersichtlich,

dass die Anzahl von Standorten mit einem ungünstigen Fallzahl zu Einwohner Verhältnis bzw. mit einem ungünstigen Bettenzahl zu Einwohner Verhältnis verhältnismäßig gering ist. Die Extremwerte weichen aber deutlich von einem mittleren Verhältnis ab, was auf Standorte hinweist, bei denen zu erwarten ist, dass ein verhältnismäßig großer Anteil der Gesamtbelastungen über die Gesundheitseinrichtungen eingetragen wird.

Abbildung 4: Verteilung des Verhältnisses „Fälle zu Einwohner“ von Krankenhäusern über die Standorte, absteigend sortiert

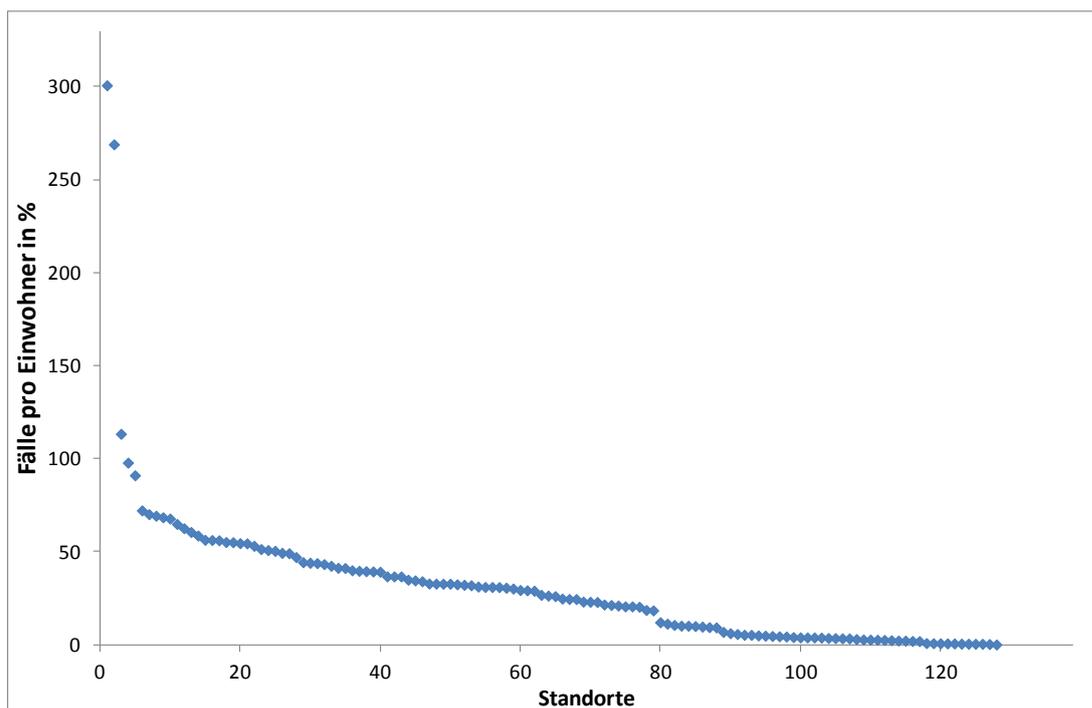


Tabelle 2: Standorte von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser) mit hohem Verhältnis „Fälle zu Einwohner“

Standort	Einwohnerzahl	Anzahl KH	Anzahl RHV	Anzahl Einrichtungen Gesamt	Betten Gesamt	Fälle Gesamt	Fälle pro Einwohner in %
Mutlangen	6.549	1	0	1	401	19.696	301%
Löwenstein	3.148	1	0	1	205	8.468	269%
Bad Mergentheim	22.173	5	11	16	1.961	25.127	113%
Zwiefalten	2.164	1	0	1	207	2.117	98%
Tübingen	85.383	4	0	4	1.851	77.728	91%
...							

KH: Krankenhaus

RHV: Vorsorge- sowie Reha-Einrichtungen

Abbildung 5: Verteilung des Verhältnisses „Betten zu Einwohner“ von Krankenhäusern und Reha-Einrichtungen über die Standorte, absteigend sortiert

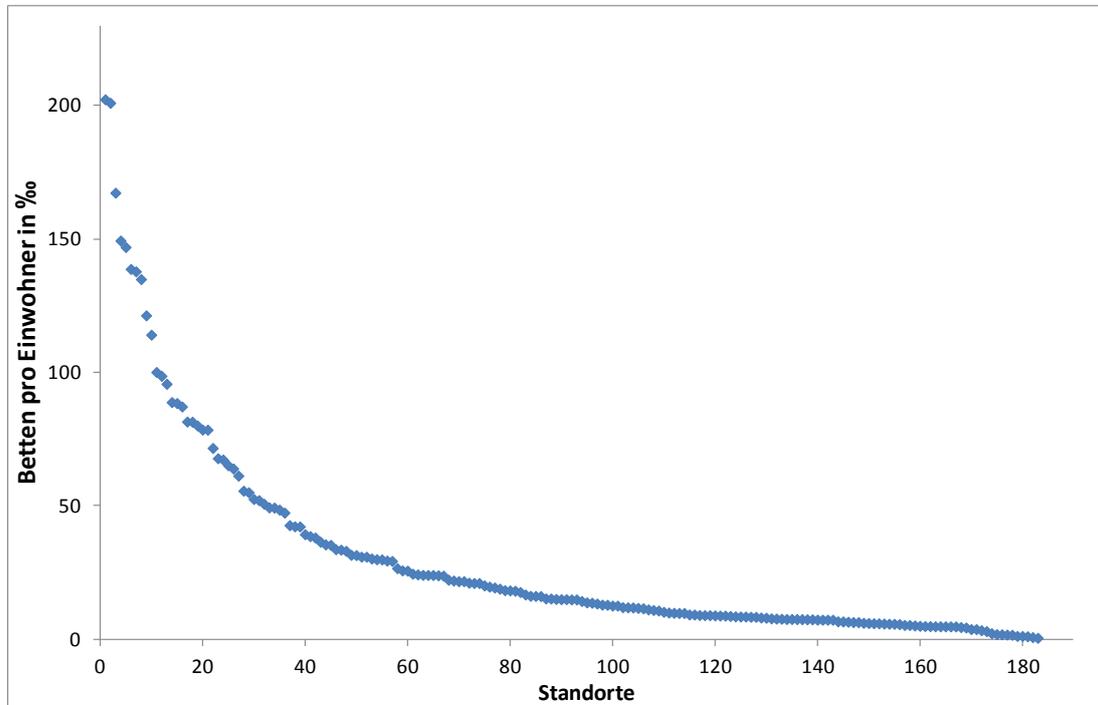


Tabelle 3: Standorte von Gesundheitseinrichtungen (Krankenhäuser und Reha-Einrichtungen) mit hohem Verhältnis „Betten zu Einwohner“

Standort	Einwohnerzahl	Anzahl KH	Anzahl RHV	Anzahl Einrichtungen Gesamt	Anzahl Betten KH	Anzahl Betten RHV	Anzahl Betten Gesamt	Betten/ Einwohner in ‰
Feldberg	1.750	0	2	2	-	354	354	202
Malsburg-Marzell	1.443	0	2	2	-	290	290	201
Badenweiler	3.844	0	6	6	-	643	643	167
Höchenschwand	2.464	0	2	2	-	368	368	149
Oppenweiler	1.443	0	1	1	-	212	212	147
St. Blasien	3.821	1	5	6	60	470	530	139
Dobel	2.177	0	1	1	-	300	300	138
Nordrach	1.920	1	2	3	34	225	259	135
Todtmoos	1.863	0	1	1	-	226	226	121
Wittnau	1.394	0	1	1	-	159	159	114

Bad Buchau	4.007	1	1	2	30	371	401	100
Bad Krozingen	17.448	4	7	11	414	1.307	1.721	99
Zwiefalten	2.164	1	0	1	207	-	207	96
Bad Bellingen	3.975	1	3	4	49	304	353	89
Bad Mergentheim	22.173	5	11	16	723	1.238	1.961	88
Allensbach	6.919	1	1	2	95	508	603	87
Durbach	3.742	0	1	1	-	305	305	82
Bad Dürrenheim	12.634	2	5	7	174	855	1.029	81
Bad Schönborn	12.306	0	5	5	-	985	985	80
Hinterzarten	2.446	1	1	2	40	152	192	78
...								

KH: Krankenhaus

RHV: Vorsorge- sowie Reha-Einrichtungen

4.2.2 Abschätzung möglicher Belastungen

Für rund 50 Einrichtungen mit einem ungünstigen Verhältnis Fall-/Bettzahl zu Einwohnern der umliegenden Kommunen wurden entsprechend Informationen vom RP KA (2015b) Kläranlagen mit Angaben zu Ausbaugröße in EW, Jahresabwassermenge nach Wasserrechtsbescheid (Bemessungswassermenge) und Vorfluter mit Angaben zum mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) und mittlerem Abfluss (MQ) in m³ zugeordnet.

Anhand von mittleren Arzneistoffverbrauchswerten pro Bett, basierend auf Feldmann (2005), Mauer (2011) und IMS Health (2015), sowie Ausscheidungs- und Abbauraten wurden Umweltkonzentrationen im Vorfluter (PEC⁶) abgeschätzt und mit PNEC⁷ ins Verhältnis gesetzt.

Die durch die Gesundheitseinrichtungen induzierten PEC der aufgrund ihrer Umweltrelevanz und weit verbreiteten Anwendung beispielhaft ausgewählten Arzneistoffe Diclofenac und Sulfamethoxazol werden wie folgt berechnet:

$$M_{VPB} * n_B * c * r_{au} * (1 - r_{red_KA}) / Q$$

⁶ PEC: „predicted environmental concentration“; abgeschätzte Umweltkonzentration

⁷ PNEC: „predicted no-effect concentration“; Konzentrationen, bei denen noch keine nachteilige Auswirkung auf die Umwelt erwartet wird

Hierbei wurden folgende Annahmen getroffen:

		Diclofenac	Sulfamethoxazol	Einheit
n_B	Anzahl Betten			
M_{vpB}	Verbrauch pro Bett und Jahr	4,148	7,376	g / B / a
c	Compliance ⁸ Faktor	0,95	0,95	
	Minimale Ausscheidungsrate	0,01	0,1	
r_{au}	Maximale Ausscheidungsrate	0,15	0,3	
r_{red_KA}	Minimale Eliminationsrate	0,2	0,3	
	Maximale Eliminationsrate	0,5	0,9	

Zu berücksichtigen ist, dass die realen Verbrauchswerte pro Bett bei den Einrichtungen stark variieren können. Reha-Einrichtungen wurden im Rahmen der kumulierten Betrachtung nicht berücksichtigt, da bzgl. der spezifischen Verbrauchsmengen keine ausreichend belastbaren Daten vorliegen. Sofern sowohl Krankenhauseinrichtungen und Reha-Einrichtungen am gleichen Ort vorhanden sind, ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Gesamteinträge durch die Gesundheitseinrichtungen entsprechend höher ausfallen als im Folgenden dargestellt.

Die Zuordnung der Krankenhausstandorte zu den kommunalen Kläranlagen und den entsprechenden Vorflutern berücksichtigt keine Sonderfälle (bspw. eigene Kläranlage der Gesundheitseinrichtung wie am Standort Löwenstein).

Da für alle Standorte mit einem durchschnittlichen Arzneistoffverbrauch gerechnet wurde, ergibt sich für Stoffe mit einem eher breiten Einsatz (bspw. Schmerzmittel und bestimmte Antibiotika), ein ähnliches Belastungsbild. Bei einrichtungsspezifischeren Stoffen (bspw. Zytostatika, bestimmte Psychopharmaka, Neuroleptika oder Stoffe zur Infektionsprophylaxe) ist, entsprechend der fachlichen Ausrichtung der Einsatzorte, mit weiteren bzw. anderen Belastungsschwerpunkten zu rechnen.

Standorte mit relevanten Einträgen allein aus Gesundheitseinrichtungen am Beispiel Diclofenac und Sulfamethoxazol (abhängig von der Größe des Vorfluters)

An fünf (Diclofenac) bzw. vier (Sulfamethoxazol) Standorten kann es entsprechend der Abschätzung zu Belastungen im Vorfluter bei mittlerem Abfluss (MQ) im Bereich von mehr als 10 Prozent einer PNEC allein durch Einträge aus den Krankenhauseinrichtungen kommen:

- Löwenstein,
- Offenburg,
- Emmendingen,

⁸ Anwendung entsprechend Verschreibung

- Waldshut-Tiengen und
- Markgröningen (bei MQ: bei Diclofenac; bei MNQ: Diclofenac und Sulfamethoxazol).

Zusätzlich zu den fünf Standorten kann es an acht (Diclofenac) bzw. 4 (Sulfamethoxazol) weiteren Standorten mit Krankenhäusern zu Belastungen im Vorfluter bei mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) im Bereich von mehr als 10 Prozent einer PNEC allein aufgrund von Einträgen aus den Krankenhauseinrichtungen kommen:

- Rottweil,
- Hinterzarten,
- Buchen (bei Diclofenac),
- Bad Rappenau (bei Diclofenac),
- Mutlangen,
- Bad Waldsee (bei Diclofenac),
- Schömberg (bei Diclofenac) und
- Karlsbad (bei Diclofenac).

An acht Standorten mit Reha-Einrichtungen kann es entsprechend der Abschätzungen für Diclofenac bei einem MQ im Vorfluter zu Belastungen allein aus den Reha-Einrichtungen im Bereich von mehr als 10 Prozent einer PNEC kommen. (Sulfamethoxazol wurde aufgrund fehlender spezifischer Verbrauchswerte nicht betrachtet):

- Höchenschwand,
- Feldberg,
- Bad Rappenau,
- Bad Waldsee,
- Malsburg-Marzell,
- Schömberg,
- Bad Schönborn und
- Buchen.

Zusätzliche Standorte mit Reha-Einrichtungen, die bei einem MNQ im Vorfluter entsprechend der Abschätzungen für Diclofenac zu Belastungen allein aus den Reha-Einrichtungen im Bereich von mehr als 10 Prozent einer PNEC führen können, sind (Sulfamethoxazol wurde aufgrund fehlender spezifischer Verbrauchswerte nicht betrachtet):

- Durbach,
- Hinterzarten,
- Bad Buchau,
- St. Blasien,
- Todtmoos,
- Isny (mit Neutrauchburg),
- Bad Mergentheim und
- Königsfeld.

Zu der Vorfluterbelastung durch die Gesundheitseinrichtungen kommen in der Regel Oberliegerbelastungen und sonstige Einträge in das kommunale Netz, die das PEC/PNEC-Verhältnis zusätzlich verschlechtern.

Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse findet sich im Anhang 12.1, Tabelle 29 und Tabelle 30.

Arzneistoffeinträge von Gesundheitseinrichtungen und Kommunen am Beispiel Diclofenac und Sulfamethoxazol

Basierend auf mittleren spezifischen Verbrauchsmengen pro Einwohner und pro Krankenhausbett wurden anhand der Beispielstoffe Diclofenac und Sulfamethoxazol entsprechend Einwohner- und Bettenzahl pro Kommune die Anteile von Gesundheitseinrichtungen und der Bevölkerung abgeschätzt. Ergänzend zu den oben aufgeführten Annahmen liegen der Abschätzung folgende Werte zugrunde:

		Diclofenac	Sulfamethoxazol	Einheit
M_{VPB}	Verbrauch pro Einwohner und Jahr	1,0013	0,2658	g / E / a
c_{Dic}	Compliance Faktor min	0,7	0,7	

Basierend auf der Abschätzung beträgt der Anteil von Krankeneinträgen an der Gesamtbelastung an mehreren Standorten bei Diclofenac zum Teil deutlich über 10 Prozent und bei Sulfamethoxazol zum Teil deutlich über 40 Prozent (Tabelle 4, Abbildung 8).

Tabelle 4: Standorte mit einem geschätzten hohen Anteil von Krankenhäusern an der Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac und Sulfamethoxazol

Standort	Anteil Krankenhaus an Gesamtbelastung	
	Diclofenac	Sulfamethoxazol
Zwiefalten	32 %	76 %
Löwenstein	24 %	68 %
Mutlangen	23 %	67 %
Reichenau	21 %	64 %
Calw	17 %	57 %
Sigmaringen	15 %	54 %
Bad Mergentheim	14 %	52 %
Emmendingen	13 %	50 %
Karlsbad	13 %	50 %
Rottweil	11 %	46 %
Bad Krozingen	10 %	44 %
Tübingen	10 %	42 %

Hieraus ergeben sich bei MQ an elf Standorten Überschreitungen von PNEC/2 durch die Diclofenac-Einträge von Kommunen und Krankenhäusern (Tabelle 5), bei Sulfamethoxazol sind es aufgrund des höheren PNEC und des geringeren einwohnerspezifischen Verbrauchs Überschreitungen an zwei Standorten.

Bei MNQ ergeben sich entsprechend der Abschätzungen an 16 Standorten PNEC-Überschreitungen durch Diclofenac-Einträge (Tabelle 6), bei Sulfamethoxazol ergeben sich an zwei Standorten PNEC-Überschreitungen, an 14 weiteren Standorten liegen die PEC im Bereich von mehr als 10 Prozent der PNEC (Tabelle 7).

Die Ergebnisse sind Abschätzungen, die von mittleren Verhältnissen ausgehen. Entsprechend können in allen Fällen die tatsächlichen Belastungssituationen aufgrund lokaler Bedingungen hiervon nach oben und nach unten abweichen. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse findet sich im Anhang 12.1, Tabelle 31 bis Tabelle 34.

Basierend auf den Abschätzungen möglicher Belastungen erfolgt die Auswahl von zu beprobenden Kläranlagen bei eintragsrelevanten Standorten im Wesentlichen auf der Zusammenstellung von Standorten, bei denen die Gesundheitseinrichtungen den Abschätzungen zu Folge einen erheblichen Anteil an der Gesamtbelastung beitragen und bei denen es insb. bei MNQ im Vorfluter entsprechend der Abschätzungen zu relevanten Belastungen durch Arzneistoffe kommen kann (Details s. Kapitel 5.4, Fußnote 17). Standorte mit Reha-Einrichtungen wurden für die Auswahl der Vorschläge zur Beprobung nicht berücksichtigt, da die Datenbasis für die Abschätzung nicht ausreichend valide erscheint.

Tabelle 5: Standorte mit geschätzten Überschreitungen von PNEC/2 bei MQ durch Diclofenac-Einträge von Kommunen und Krankenhäuser

Standort	PEC/PNEC	Anteil Gesundheitseinrichtung an Gesamtbelastung
Waldshut-Tiengen	4,883	6%
Offenburg	3,644	7%
Löwenstein	2,861	kA
Markgröningen	2,126	7%
Emmendingen	2,057	13%
Bad Waldsee	1,947	3%
Bad Rappenau	1,589	3%
Buchen	1,342	5%
Lahr	0,896	6%
Schwetzingen	0,542	6%
Schömburg	0,510	4%

Tabelle 6: Standorte mit geschätzten Überschreitungen von PNEC bei MNQ durch Diclofenac-Einträge von Kommunen und Krankenhäuser

Standort	PEC/PNEC	Anteil Gesundheitseinrichtung an Gesamtbelastung
Löwenstein	11,92	
Waldshut-Tiengen	9,91	6%
Lahr	7,81	6%
Offenburg	5,97	7%
Bad Rappenau	4,78	3%
Emmendingen	4,43	13%
Bad Waldsee	4,08	3%
Schwetzingen	4,03	6%
Schömberg	3,62	4%
Markgröningen	3,18	7%
Mutlangen	3,02	23%
Buchen	2,97	5%
Hinterzarten	2,31	7%
Rottweil	1,89	11%
Karlsbad	1,03	13%
St. Blasien	1,01	7%

Tabelle 7: Standorte mit hohen PEC/PNEC-Verhältnissen bei MNQ durch Sulfamethoxazol-Einträge von Kommunen und Krankenhäuser

Standort	PEC/PNEC	Anteil Gesundheitseinrichtung an Gesamtbelastung
Löwenstein	2,24	68%
Waldshut-Tiengen	1,02	28%
Lahr	0,82	30%
Offenburg	0,65	32%
Emmendingen	0,61	50%
Mutlangen	0,55	67%
Bad Rappenau	0,44	18%
Schwetzingen	0,43	31%
Bad Waldsee	0,38	19%
Markgröningen	0,35	33%
Schömberg	0,35	21%
Buchen	0,30	27%
Hinterzarten	0,26	35%
Rottweil	0,24	46%

4.2.3 Zwischenfazit zur Abschätzung der Relevanz von Hot-Spots bei Arzneistoffeinträgen

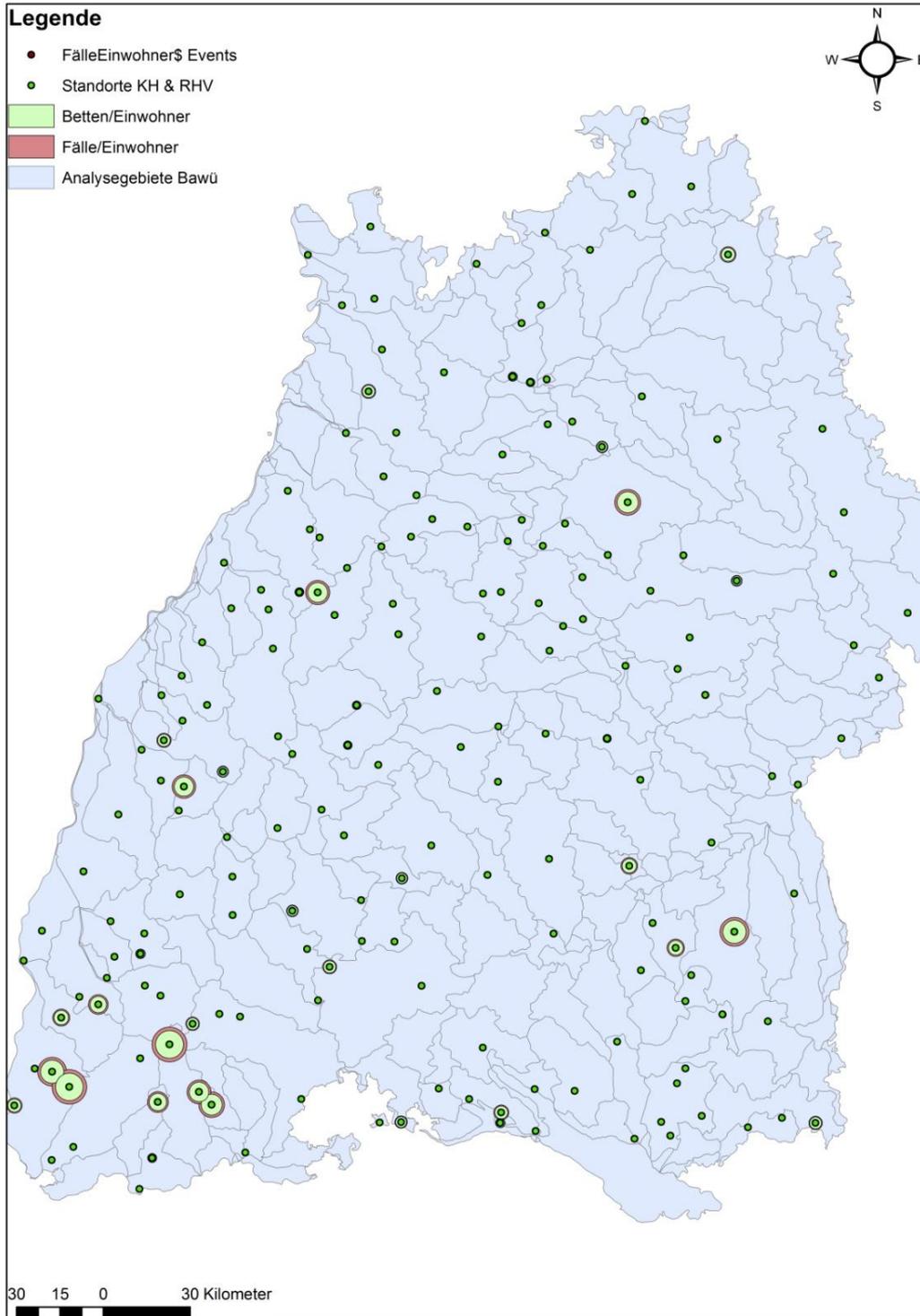
Die Einträge von Gesundheitseinrichtungen und die Relevanz einzelner Standorte sind von verschiedenen Randbedingungen abhängig und unterscheiden sich von Standort zu Standort stark. Die Anzahl von Standorten mit einem verhältnismäßig großen Einfluss der Gesundheitseinrichtungen (anhand von Fall- bzw. Bettenzahlen zu Einwohnerzahlen) an der Gesamtbelastung ist gering, die Extremwerte weichen aber deutlich von einem mittleren Verhältnis ab, so dass hier möglicherweise ein großer Anteil der Gesamtbelastungen über die Gesundheitseinrichtungen eingetragen wird.

Für rund 50 Einrichtungen mit einem ungünstigen Verhältnis Fall-/Bettenzahl zu Einwohnern der umliegenden Kommunen wurden die Belastungen bei mittleren Niedrigwasserabfluss und mittlerem Abfluss anhand der breit eingesetzten Beispielstoffe Diclofenac und Sulfamethoxazol, die eine hohe Umweltrelevanz besitzen, abgeschätzt. Eine Abschätzung für weitere Stoffe ergab ein vergleichbares Belastungsbild.

Entsprechend der Abschätzung kommt es an mehreren Standorten (Diclofenac: 5 bei MQ und 13 bei MNQ; Sulfamethoxazol: 4 bei MQ und 8 bei MNQ) zu Belastungen im Gewässer im Bereich von mehr als 10 Prozent einer PNEC allein durch Einträge aus den Krankenhauseinrichtungen. Zu der Belastung durch die Gesundheitseinrichtungen kommen i. d. R. Oberliegerbelastungen und sonstige Einträge in das kommunale Netz, die das PEC/PNEC-Verhältnis zusätzlich verschlechtern. Insbesondere an kleinen Gewässern können so kritische Umweltbelastungen ($PEC/PNEC > 1$) entstehen. Um diese weiter abzuschätzen, wurden zusätzlich die Einträge von Einwohnern anhand von spezifischen Verbrauchsmengen abgeschätzt. Hieraus ergeben sich für Diclofenac an 16 Standorten PNEC-Überschreitungen bei mittlerem Niedrigwasserabfluss (Sulfamethoxazol: 2 Standorte $> PNEC$ und 14 Standorte $> PNEC/10$) und an elf Standorten Überschreitungen von $PNEC/2$ bei mittlerem Abfluss im Vorfluter durch Diclofenac-Einträge von Kommunen und Krankenhäusern. Bei Sulfamethoxazol sind es aufgrund des höheren PNEC und des geringeren einwohnerspezifischen Verbrauchs Überschreitungen an zwei Standorte. Gleichzeitig liegt der Anteil an der Gesamtbelastung, der über Krankenhäuser eingetragen wird, hier zwischen 20 und 70 Prozent. Reha-Einrichtungen wurden aufgrund der Datenbasis für die Abschätzung nur eingeschränkt berücksichtigt. Die tatsächlichen Belastungssituationen können aufgrund lokaler Bedingungen von den Abschätzungen abweichen.

Die Ergebnisse der Abschätzung lassen sich auf Arzneistoffe mit einem breiten Einsatz, bspw. weitere Antibiotika übertragen. Bei einrichtungsspezifischeren Stoffen ist, entsprechend der fachlichen Ausrichtung der Einsatzorte, mit weiteren bzw. anderen Belastungsschwerpunkten zu rechnen. Für Einzelfallbetrachtungen sind daher die Substanzen entsprechend der Ausrichtung der Einrichtung auszuwählen.

Abbildung 6: Verteilung von Krankenhäusern und Vorsorge- bzw. Rehabilitationseinrichtungen in Baden-Württemberg



Hinweis: Überlagerungen von mehreren Einrichtungen pro Standort sind nicht explizit kenntlich gemacht.

Abbildung 7: Summe der Betten von Krankenhäusern und Vorsorge- bzw. Rehabilitationseinrichtungen pro Einwohner pro Einzugsgebiet in Baden-Württemberg

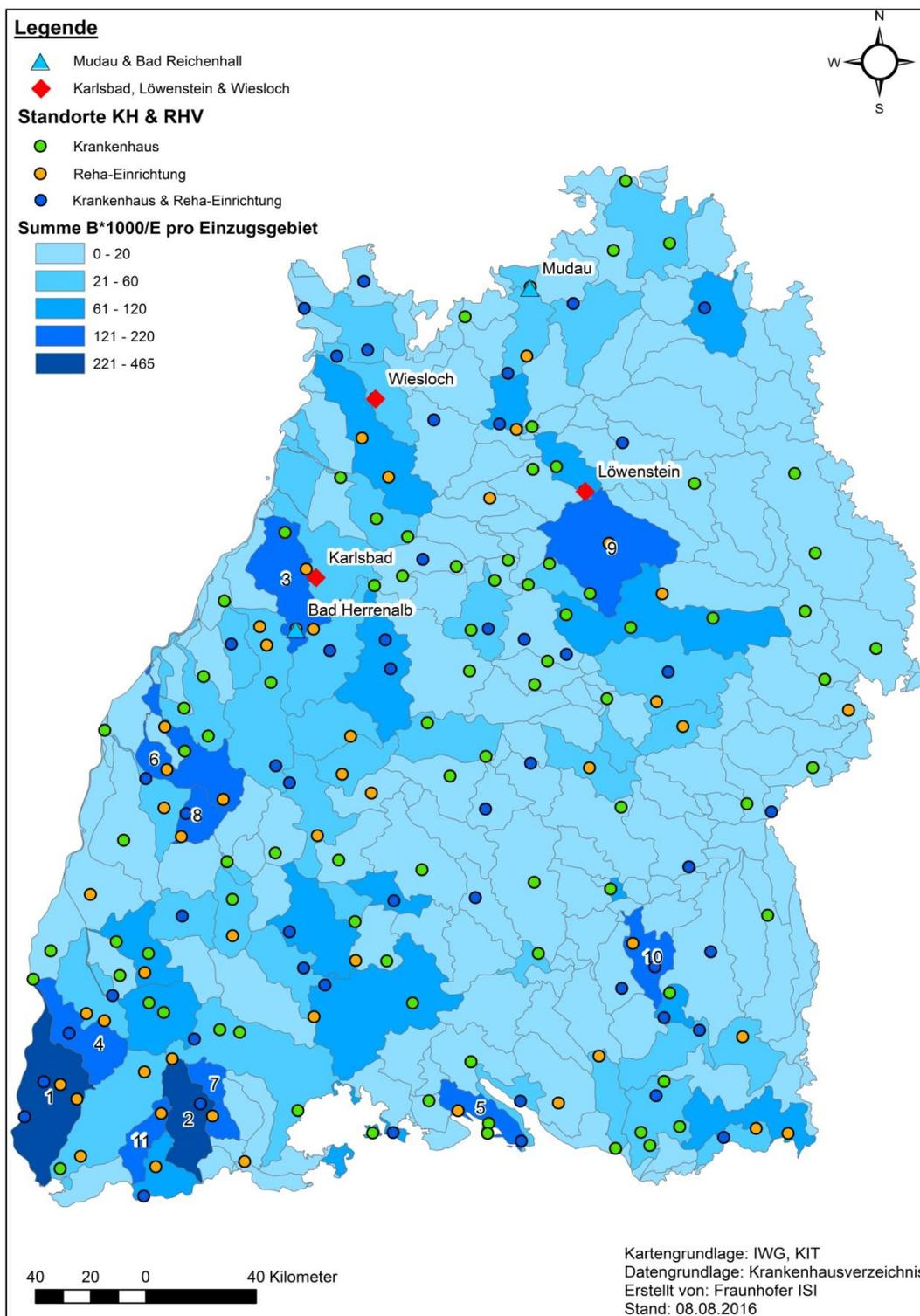
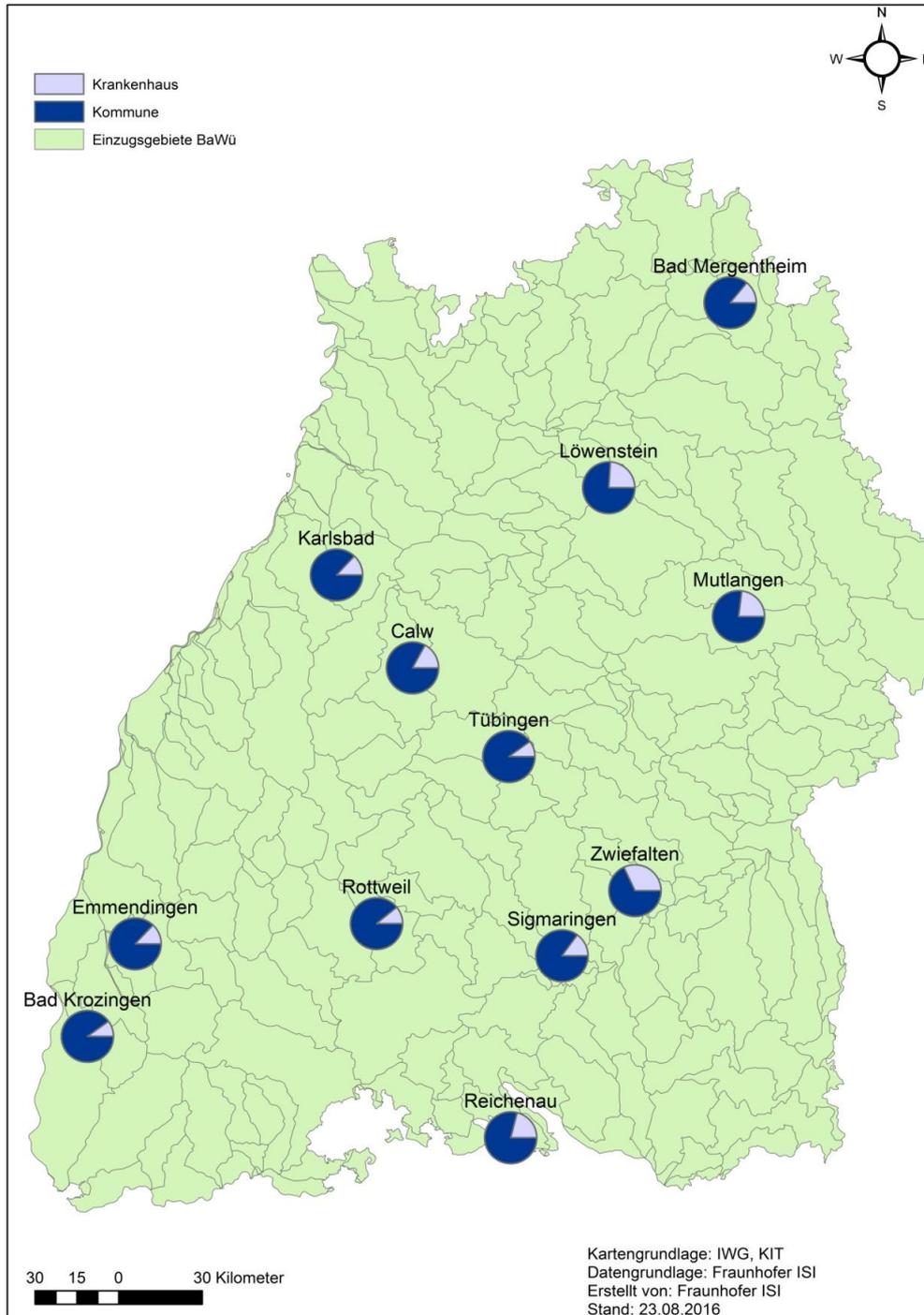


Abbildung 8: Kommunen mit einem geschätzten hohen Anteil von Gesundheitseinrichtungen an der Gesamtbelastung am Beispiel Diclofenac



Hinweis: Abgeschätzt wurden die Abwasserfrachten für Diclofenac der Einwohner der betrachteten Kommunen sowie der jeweiligen Gesundheitseinrichtungen

4.3 Arzneistoffauswahl für Detailbetrachtungen

Grundsätzlich ist das verfügbare Arzneistoffspektrum für ambulante und für stationäre Behandlung identisch. Aufgrund der unterschiedlichen Bedarfe gibt es jedoch krankenhausspezifische Arzneistoffe, die je nach Struktur des Einzugsgebietes hauptsächlich in stationären Gesundheitseinrichtungen eingesetzt werden. Dazu gehören die Röntgenkontrastmittel (RKM) und ein Teil der Zytostatika. Auf regionaler Ebene können je nach Größe und Ausrichtung der vorhandenen Gesundheitseinrichtungen bestimmte krankenhausspezifische Wirkstoffe verstärkt vorkommen (Mauer 2011).

Arzneistoffeinträge aus Gesundheitseinrichtungen in die aquatische Umwelt waren bereits Bestandteil verschiedener Studien (vgl. Feldmann 2005; Schuster et al. 2008; Kümmerer, K. 2008; PILLS 2012; Seidel et al. 2013; Pinnekamp et al. 2015b). Die jeweilige Auswahl der Arzneistoffe erfolgt in den verschiedenen Projekten nach unterschiedlichen Kriterien. So achtet Feldmann (2005) beispielsweise darauf, in welchen Mengen die Stoffe verabreicht werden sowie auf die Berücksichtigung verschiedener Antibiotikagruppen. Auch Mauer (2011) bezieht die verabreichte Menge in seine Wirkstoffauswahl ein. Außerdem werden hier Arzneistoffe u. a. aufgrund ihrer Persistenz sowie ökotoxikologischen Relevanz ausgewählt. Im SAUBER+ -Projekt wurden für die untersuchte psychiatrische Fachklinik und das Pflege- und Betreuungsheim charakteristische Stoffe ausgewählt, die zudem Leitsubstanz einer Gruppe des ATC-Codes⁹ sind. Zusätzlich musste der Stoff in mindestens einer der untersuchten Einrichtungen mit einer Menge von 1 kg oder mehr verabreicht werden (Pinnekamp et al. 2015b).

Die Auswahl der Arzneistoffe, die im Rahmen dieses Vorhabens näher betrachtet werden, basiert vor allem auf der Bewertung der Umweltrelevanz von Bergmann et al. (2011) und dem schwedischen Umweltklassifikationssystem *fass.se*: Arzneistoffe, die im schwedischen Umweltklassifikationssystem mit einem mäßigen oder hohen Risiko eingestuft wurden, wurden in die weiteren Betrachtungen mit einbezogen. Diese Risikoeinstufung fand auf Grundlage der PEC-PNEC-Ratio¹⁰ statt (Stockholm County Council 2014a). Bei Bergmann et al. (2011) wurden neben dem ökotoxikologischen Wirkpotenzial zusätzlich auch das Vorkommen der Stoffe in der aquatischen Umwelt, basierend auf Messdaten, sowie die Verkaufsmengen in Deutschland berücksichtigt. Damit wurde die Umweltrelevanz von Wirkstoffen priorisiert.

⁹ ATC (Anatomical Therapeutic Chemical Classification) ist ein international anerkanntes Klassifikationssystem der WHO für Arzneistoffe.

¹⁰ Die PEC-PNEC-Ratio ist das Verhältnis der prognostizierten Umweltkonzentration (Predicted Environmental Concentration, PEC) zur Maximalkonzentration, welche keine Auswirkungen auf Flora und Fauna hat (Predicted No Effect Concentration, PNEC). Die Auswirkungen auf Flora und Fauna werden mittels genormter Toxizitätstests bestimmt.

Die aus den beiden genannten Quellen generierte Stoffauswahl wurde um zusätzliche Stoffe ergänzt, die im Rahmen der Bestandsaufnahme des KomS an der Klinik Löwenstein analysiert wurden und frühzeitig vorlagen.

Somit ergeben sich für die weitergehenden Untersuchungen der Hot-Spot-Analyse die in Tabelle 8 dargestellten 54 ausgewählten Wirkstoffe.

Tabelle 8: Arzneistoffauswahl für die weitergehenden Betrachtungen

Arzneistoffe	(Wirk-)Stoffgruppe
17-a-Ethinylestradiol	Hormon
17-β-Estradiol	Hormon
Amidotrizoesäure	Röntgenkontrastmittel
Amoxicillin	Antibiotikum
Atenolol	Betablocker
Azithromycin	Antibiotikum
Benzoylperoxid	Aknemittel
Bezafibrat	Fibrat
Bisoprolol	Betablocker
Carbamazepin	Antiepileptikum
Chloramphenicol	Antibiotikum
Chlortetracyclin	Antibiotikum
Ciprofloxacin	Antibiotikum
Clarithromycin	Antibiotikum
Cyclophosphamid	Zytostatikum
Diclofenac	Antirheumatikum
Doxycyclin	Antibiotikum
Erythromycin	Antibiotikum
Estron	Hormon
Gabapentin	Antiepileptikum
Ibuprofen	Antirheumatikum
Iohexol	Röntgenkontrastmittel
Iomerol	Röntgenkontrastmittel
Iopromid	Röntgenkontrastmittel
Irbesartan	AT1-Antagonisten
Mestranol	Hormon
Metamizol-Natrium	Analgetikum/Antirheumatikum
Metformin	Antidiabetikum
Metoprolol	Betablocker
Mycophenolsäure	Antibiotikum

Naproxen	Antirheumatikum
Norethisteron	Hormon
Oxazepam	Benzodiazepin
Oxytetracyclin	Antibiotikum
Paracetamol	Analgetikum
Permethrin	Antiparasitäres Mittel
Phenazon	Analgetikum
Primidon	Antiepileptikum
Propranolol	Betablocker
Roxithromycin	Antibiotikum
Salbutamol	β ₂ -Sympathomimetikum
Sertralin	Antidepressivum
Sotalol	Betablocker
Sulfadimethoxin	Antibiotikum
Sulfadimidin	Antibiotikum
Sulfamethoxazol	Antibiotikum
Tetracyclin	Antibiotikum
Tiamulin	Antibiotikum
Venlafaxin	Antidepressivum

Zu berücksichtigen ist, dass die ausgewählten Stoffe sowohl in Gesundheitseinrichtungen als auch im privaten Haushaltsbereich verwendet werden und keine explizit gesundheitseinrichtungsspezifischen Stoffe darstellen. Während ein Teil der Antibiotika (Clarithromycin, Erythromycin und Sulfamethoxazol) nach IMS Health (2015) mit bis zu 17 Prozent des bundesweiten Gesamtverbrauchs in Gesundheitseinrichtungen eingesetzt wird, liegt der Anteil bei anderen Antibiotika (Amoxicillin, Azithromycin, etc.) bei 1 bis 5 Prozent (Tabelle 9). Typische gesundheitseinrichtungsspezifische Stoffe sind dagegen bspw. Röntgenkontrastmittel.

Für Substanzen, die im Rahmen des ReAs-Vorhabens nicht weiter betrachtet wurden, kann eine Umweltrelevanz nicht ausgeschlossen werden. Hierzu gehören bspw. Neuroleptika wie Chlorpromazin, Clozapin oder Quetiapin, die in der Literatur bislang wenig thematisiert und im Rahmen der Bestandsaufnahme von KomS (2016) nicht erfasst wurden, die aber zum Teil in größeren Mengen in psychiatrischen/psychosomatischen Einrichtungen, wie bspw. dem PZN in Wiesloch eingesetzt werden (PZN 2017a).

Tabelle 9: Anteilige Abgabe von Arzneistoffen über den Einzelhandel und Gesundheitseinrichtungen in Deutschland sowie der daraus abgeleitete jährliche Verbrauch pro Einwohner und pro Bett (Verbrauchsdaten: IMS Health)

Wirkstoff	Verbrauch 2013 in kg	Anteil Verbrauch Einzelhandel 2013	Anteil Verbrauch Gesundheitseinrichtungen 2013	Verbrauch pro Einwohner in g	Verbrauch pro Bett in g
AMOXICILLIN	147.870,5	95%	5%	1,75	13,67
AZITHROMYCIN	5.134,6	99%	1%	0,06	0,13
CARBAMAZEPINE	48.865,3	97%	3%	0,59	2,83
CLARITHROMYCIN	13.666,0	83%	17%	0,14	4,67
DICLOFENAC	82.950,4	97%	3%	1,00	4,15
ERYTHROMYCIN	7.302,2	83%	17%	0,08	2,44
ESTRADIOL	400,2	100%	0%	0,0049	0,0013
ETHINYLESTRADIOL	45,5	100%	0%	0,0006	0,0002
GABAPENTIN	87.381,8	97%	3%	1,05	5,54
IBUPROFEN	1.080.776,5	95%	5%	12,71	107,70
IOMEPROL	242.577,5	0%	100%	0,00	484,50
METOPROLOL	156.598,1	98%	2%	1,90	5,85
NAPROXEN	22.718,6	99%	1%	0,28	0,35
SULFAMETHOXAZOLE	25.168,3	85%	15%	0,27	7,38

5 Bestandsaufnahme Pilotstandorte

In der Bestandsaufnahme werden die Fallbeispiele kurz beschrieben, ihre Arzneimittel-einträge bilanziert und mit Analyseergebnissen aus den Kläranlagen abgeglichen.

Als Fallbeispiele wurden die folgenden Gesundheitseinrichtungen ausgewählt:

- Klinik Löwenstein
- Psychiatrisches Zentrum Nordbaden (PZN), Wiesloch
- Schloss Waldleiningen

5.1 Kurzbeschreibung der ReAs-Fallbeispiele

5.1.1 Klinik Löwenstein

Historie

Die Klinik Löwenstein wurde 1960 als Sanatorium für Tuberkulosekranke gegründet. Aufgrund des Rückgangs der Tuberkulose in Deutschland wurde der Standort in den 1970er Jahren zum Fachkrankenhaus für Lungen- und Bronchialheilkunde umstrukturiert; in den 1980er Jahren entwickelte sich hieraus ein Zentrum für Pneumologie, Thorax- und Gefäßchirurgie.

Geografische Lage

Der Klinikstandort befindet sich auf dem Stadtgebiet von Löwenstein, einer baden-württembergischen Stadt, etwa 20 km südöstlich von Heilbronn. Die Fläche der Stadt beträgt 2.364 ha, wovon 1.378 ha Waldfläche sind. Ende 2015 verzeichnete die Gemeinde 3.215 Einwohner und somit eine Einwohnerdichte von 1,35 Einwohner pro Hektar (Stadt Löwenstein 2015b).

Die Stadt Löwenstein leitet ihr Abwasser in die Kläranlage Hirtweiler ein (Stadt Löwenstein 2015a), das Klinikabwasser wird jedoch aufgrund geografischer Gegebenheiten separat erfasst und in einer eigenen Kläranlage behandelt.

Abbildung 9: Geografische Lage der Stadt Löwenstein in Baden-Württemberg



Quelle: Rosenzweig (2007)

Standortbeschreibung der Einrichtung

Die Klinik bietet insgesamt 205 Betten, die Gesamtzahl der Fälle im Jahr 2015 betrug 7.970 (DKTIG 2016).

Die Klinik Löwenstein besteht aus fünf Abteilungen:

- Pneumologie,
- Onkologie,
- Thorax- und Gefäßchirurgie,
- Anästhesie u. Schmerzmedizin sowie
- Röntgen u. interventionelle Radiologie.

Zum Klinikgelände gehören außerdem ein Pflegeheim mit 50 Plätzen sowie Schwesternwohnheime und Wohngebäude für Angestellte und Gäste (Dürr o. J.; SLK o. J.).

Seit 2007 ist die Klinik Löwenstein zu 100 Prozent Tochtergesellschaft der SLK Kliniken Heilbronn GmbH (SLK o. J.).

Aufgrund der geographischen Lage der Klinik, ist die Klinik nicht mit der Abwasserentsorgung der Gemeinde Löwenstein verbunden, sondern besitzt eine eigene Kläranlage mit biologischer Reinigung sowie einer UV-Bestrahlung als zusätzliche Reinigungsstufe. Nach dieser Aufbereitung leitet die Klinik das Abwasser in den Bach Erlensklänge ein (Rau und Metzger 2016).

Die Dimensionierung der Klinikkläranlage ist auf 1.200 Einwohner ausgelegt. Der mittlere Durchfluss beträgt 15 l/s, der mittlere CSB im Ablauf der Anlage 48,3 mg/l (Rau und Metzger 2016).

5.1.2 Psychiatrisches Zentrum Nordbaden, Wiesloch

Historie

Das Psychiatrische Zentrum Nordbaden (PZN) wurde 1905 als "Großherzoglich Badische Heil- und Pflegeanstalt bei Wiesloch" gegründet (PZN o. J.).

Geografische Lage

Das PZN befindet sich in Wiesloch, Nordbaden. Die Stadt Wiesloch liegt etwa 15 Kilometer südlich von Heidelberg (Abbildung 10) und zählte Ende 2014 26.039 Einwohner (Stadt Wiesloch 2016). Das Gemeindegebiet umfasst eine Fläche von 3.026 ha (Hochstetter et al. 2015). Somit ergibt sich eine Bevölkerungsdichte von 8,6 E/ha. Im Jahr 2010 wurden von der Gesamtfläche 1.300 ha landwirtschaftlich genutzt (Hochstetter et al. 2015).

Standortbeschreibung der Einrichtung

Das Gelände des Psychiatrischen Zentrums Nordbaden in Wiesloch ist rund 100 ha groß. Zum PZN gehören neben dem Standort Wiesloch noch die Außenstellen Bruchsal, Schwetzingen, Mosbach und Weinheim, die im Rahmen des Vorhabens jedoch nicht betrachtet werden.

Abbildung 10: Geografische Lage der Stadt Wiesloch in Nordbaden



Quelle: Hagar66 (2013)

Abbildung 11: Karte des PZN (PZN o. J.)



Das Spektrum der Fachbereiche umfasst

- Allgemeinpsychiatrie,
- Psychotherapie,
- Psychosomatik,
- forensische Psychiatrie,
- Suchttherapie sowie
- Gerontopsychiatrie (Psychiatrien Zentrum Nordbaden o. J.).

die jeweils über

- stationäre Angebote,
- Tageskliniken,
- Ambulanzen / PIA,
- Wohn- und Pflegeheime,
- Werkstätten,
- medizinische Versorgungszentren (MVZ) und
- sonstige Einrichtungen

verfügen. Eine Übersicht über die Gebäude des PZN gibt Abbildung 11.

Das PZN Wiesloch verfügt über 742 Betten (DKTIG 2015b). Die Angaben seitens PZN weichen hiervon mit 1.087 Betten ab (Janson 2016a). Hinzu kommen Wohn- und Pflegeheime sowie die weiteren oben aufgeführten Einrichtungen.

Das Abwasser der Klinik wird an drei verschiedenen Stellen in das Netz der kommunalen Mischwasserkanalisation eingeleitet und zusammen mit dem restlichen kommunalen

len Abwasser in der Verbandskläranlage Wiesloch, mit einer Bemessungsgröße von 110.000 EW, behandelt. Die Kläranlage ist für einen mittleren Abfluss von 860 Liter pro Sekunde ausgelegt. Die mittlere Jahresabwassermenge der Jahre 2011 bis 2014 betrug 7.074.211 m³ (Rau und Metzger 2016).

Neben der Stadt Wiesloch leiten weitere vier Gemeinden ihre Abwässer in diese Kläranlage ein. Das gereinigte Wasser wird in den Leimbach eingeleitet (AHW o. J.).

Regentlastung im Einzugsgebiet der Verbandskläranlage Wiesloch

Im Einzugsgebiet der Verbandskläranlage Wiesloch befinden sich insgesamt 40 Regenüberlaufbecken (RÜB) für Starkregenereignisse, von denen sich zwei im Unterlauf des PZN befinden: eins unterhalb des Klinikgeländes (RÜB W3 mit einem Fassungsvermögen von 1.200 m³), das andere direkt vor dem Zulauf der Kläranlage (RÜB N2 mit einem Fassungsvermögen von 3.632 m³) (AHW o. J.; Rhein-Neckar-Kreis Landratsamt 1996). Beide RÜB entlasten die Überlaufvolumina in den Leimbach und können als Mischwasserentlastung ein relevanter Eintragspfad für Schadstoffe, u.a. Arzneimittelrückstände, sein.

Abschätzung der entlasteten Wassermengen

Die Gesamtfläche des PZN beträgt 187.509 m². Die abflusswirksame Fläche, von der das Niederschlagswasser in die Mischwasserkanalisation eingeleitet wird, umfasst 117.576 m² (PZN 2014). Im Jahr 2015 betrug der gesamte Niederschlag in Wiesloch 538,4 l/m² (DWD 2016). Hieraus ergibt sich für das Jahr 2015 ein Gebietsabfluss von 63.303 m³ von dem Gelände des PZN in die Mischwasserkanalisation. Die Abwassermenge des PZN betrug im Jahr 2015 82.434 m³¹¹ (Janson 2016b). Folglich wurden in diesem Jahr insgesamt 145.737 m³ Wasser in die Mischwasserkanalisation am PZN eingeleitet.

Bezüglich der Überlaufereignisse der RÜB im Unterlauf des PZN liegen für die Jahre 2014 sowie 2015 Daten vor. Die monatlichen Entlastungsvolumina des RÜB W3 werden in Tabelle 10 dargestellt.

In Tabelle 11 sind die Überlaufereignisse des RÜB N2 in Form von Überlaufhäufigkeit sowie -volumen ohne Angabe von einzelnen Überlaufereignissen dargestellt.

11 Für die Jahresabwassermenge wurde die Wasserverbrauchsmenge des PZN für das Jahr 2015 verwendet. Für das in der Gärtnerei verbrauchte Wasser wurde angenommen, dass aufgrund von Bewässerung lediglich 50 Prozent als Abwassermenge anfallen. Weiterhin wurde einfachheitshalber die Annahme getroffen, dass weder Verluste noch Fremdwasser anfallen.

Tabelle 10: Überlaufvolumina des RÜB W3 für die Jahre 2014 und 2015

Monat	Überlaufvolumen 2014 in m ³	Überlaufvolumen 2015 in m ³
Januar	-	-
Februar	-	960
März	-	-
April	-	-
Mai	-	-
Juni	-	521
Juli	-	-
August	8.760	-
September	-	520
Oktober	-	-
November	-	-
Dezember	-	-
Summe	8.760	2.001

Tabelle 11: Überlaufhäufigkeiten und -volumina des RÜB N2 für die Jahre 2014 und 2015

Monat	2014		2015	
	Überlauf- häufigkeit in Tagen	Überlauf- volumen in m ³	Überlauf- häufigkeit in Tagen	Überlauf- volumen in m ³
Januar	1	810	2	3.822
Februar	-	-	-	-
März	k. A.	30	-	-
April	1	916	-	-
Mai	2	1.965	1	657
Juni	-	-	3	1.418
Juli	3	3.940	-	-
August	3	4.878	-	-
September	2	6.682	k. A.	181
Oktober	2	1.511	1	1.062
November	1	2.189	1	1.576
Dezember	-	-	1	330
Summe	15	22.921	9	6.971

Um eine Bewertung der Überlaufereignisse der Jahre 2014 und 2015 hinsichtlich ihrer Repräsentanz vornehmen zu können, werden die Tageswerte der Niederschlagsreihen

von 1995 bis 2015 betrachtet. Die Daten stammen vom Deutschen Wetterdienst (DWD 2016). Für die Jahre 1996 und 1997 lagen unvollständige Datenreihen vor, weshalb diese Jahre von der Betrachtung ausgenommen wurden. Für die übrigen Jahre wurden der Jahresniederschlag und ein Mittelwert aller Jahre berechnet. Der durchschnittliche jährliche Niederschlag in der betrachteten Zeitspanne beträgt 686 mm. Die Jahre 1995 und 2002 waren niederschlagsreiche Jahre. In diesen Jahren war neben einer hohen Summe des gesamten Niederschlags eine Anzahl von über 30 Tagen mit mehr als 10 mm Niederschlag zu verzeichnen. Ein weiteres Spitzenjahr in Bezug auf den Gesamtniederschlag ist mit 846 mm das Jahr 2010. Der Jahresniederschlag in 2014 liegt mit 699 mm knapp über und in 2015 mit 538 mm deutlich unter diesem Durchschnitt. Eine Übersicht aller Jahre befindet sich in Tabelle 12. Eine detailliertere Übersicht der Niederschlagsereignisse von 1994 bis 2015 mit verschiedenen Quantilen sowie der Anzahl an Tagen mit einem bestimmten Niederschlagsvolumen findet sich im Anhang 12.4. Aus den Niederschlagsdaten ist nicht ersichtlich, wie groß der Anteil von Schneeschmelze bei einer zeitlich differenzierten Betrachtung der anfallenden Niederschlagsmengen ist.

Eine szenarienbasierte Betrachtung von Arzneistoffemissionen durch Regenüberläufe am Standort Wiesloch erfolgt in Kapitel 5.5 anhand der Daten für die beiden Jahre 2014 und 2015, für die Daten von Überlaufereignissen vorlagen. Im niederschlagsreicheren Jahr 2014 lag sowohl die Häufigkeit als auch das Überlaufvolumen bei beiden RÜB höher als in 2013. Eine direkte Korrelation der Jahressumme der Niederschläge mit Überlaufvolumina und -häufigkeit ist insbesondere aufgrund der Verteilung der Niederschlagsereignisse über das Jahr und aufgrund lokal unterschiedlicher Rückhaltekapazitäten jedoch nicht möglich. Insgesamt ist jedoch das Überlaufvolumina im Vergleich zur Jahresabwassermenge (ca. 7 Mio m³), das auf der Kläranlage behandelt wird, deutlich kleiner, der Anteil liegt bei unter 0,5%.

Tabelle 12: Jährliche Niederschläge von 1995 bis 2015

Jahr	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Niederschlag in mm	855	811	745	801	794	865	529	615	653	719
Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Ø
Niederschlag in mm	714	683	745	846	572	624	789	699	538	686

5.1.3 Schloss Waldleiningen

Historie

Die 1808 erbaute Klinik Schloss Waldleiningen wurde im Zweiten Weltkrieg zum Lazarett umfunktioniert und war bis dahin als Jagdschloss verwendet worden. Seit 1956 ist die Klinik als Krankenhaus anerkannt und zählt ein eigenes Labor zur Ausstattung. Schon damals wurden Patienten mit psychosomatischen Erkrankungen und neurotischen Störungen therapiert. Die Klinik befindet sich bis heute in privater Hand und wird regelmäßig modernisiert (Klinik Schloss Waldleiningen o. J.).

Geografische Lage

Die Klinik liegt im Nordwesten der Gemeinde Mudau im Neckar-Odenwald Kreis in Baden-Württemberg. Etwa 2 km entfernt befindet sich das Dreiländereck von Baden-Württemberg, Bayern und Hessen.

Die Klinik liegt in relativer Einzellage in einem Tal im Odenwald. 2,5 km talabwärts findet sich ein kleiner Aussiedlerhof mit drei größeren Wohngebäuden namens Ernsttal. Hier befindet sich der Teufelsbach, welcher nach Norden fließt.

Abbildung 12: Geographische Lage der Gemeinde Mudau in Baden-Württemberg



Quelle: Hagar66 (2010)

Standortbeschreibung der Einrichtung

Die Klinik verfügt über 102 Betten in Einzelzimmern und Fachpersonal mit folgenden Fachrichtungen:

- Psychiatrie und Psychotherapie
- Psychotherapeutische Medizin

- Innere Medizin
- Allgemeinmedizin
- Sozialmedizin
- Psychotherapie
- Naturheilverfahren
- Akupunktur
- Fachkunde Suchtmedizin
- Fachkunde im Strahlenschutz (Notfalldiagnostik) (Klinik Schloss Waldleiningen o. J.).

Die Kläranlage, die im wesentlichen das Abwasser der Klinik reinigt, ist für einen mittleren Abfluss von zehn Liter pro Sekunde und einer Ausbaugröße von 300 E ausgelegt. Die Jahresabwassermenge im Jahr 2016 betrug 12.439 m³ (Rau und Metzger 2016).

5.2 Arzneistoffverbrauch an den drei Pilotstandorten

5.2.1 Arzneistoffverbrauch der Klinik Löwenstein

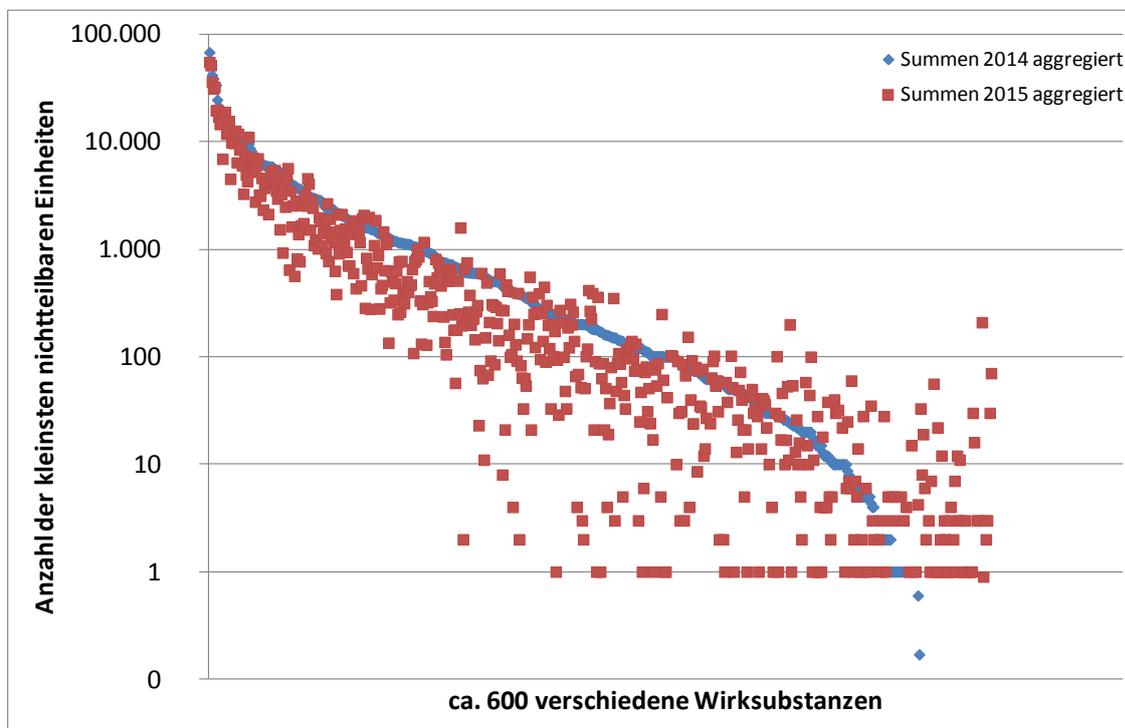
Übermittelt wurde für die Jahre 2014 und 2015 eine Liste mit Angaben zur Mengenabgabe in Form der kleinsten nichtteilbaren Einheiten (bspw. Einzeltabletten, Fläschchen, Gebinde) von 1.274 Präparaten, über die rund 600 Wirkstoffe verabreicht werden, darunter auch Vitaminpräparate, Kochsalzlösung und Mineralien. Die Daten für 2015 wurden auf Basis eines Verbrauchs über 10 Monate auf das gesamte Jahr 2015 extrapoliert. Die Maximalzahl an Einzeldosen liegt bei über 50.000 pro Jahr. In Tabelle 13 sind beispielhaft die Stoffe mit einer hohen Verabreichungszahl an Einzeldosen in den Jahren 2014 und 2015 aufgeführt.

Tabelle 13: Verabreichungszahl der kleinsten nichtteilbaren Einheiten verschiedener Wirkstoffe für die Jahre 2014 und 2015

Wirkstoff	Anzahl der kleinsten nichtteilbaren Einheit - 2014	Anzahl der kleinsten nichtteilbaren Einheit - 2015
Metamizol-Natrium	53.061	51.465
Ibuprofen	24.593	19.760
Metoprolol	19.397	16.467
Morphin	10.600	6.005
Diclofenac	10.382	3.275
Paracetamol	7.070	5.240
Gabapentin	6.202	2.324
Metformin	6.029	3.716

Arzneistoffe mit einer sehr großen Anzahl an Verabreichungen pro Jahr unterscheiden sich über die beiden Jahre 2014 und 2015 nur geringfügig. Bei einer geringen bzw. mittleren Anzahl an Verabreichungen pro Jahr kommt es bei verschiedenen Präparaten zwischen den beiden Jahren zu größeren Abweichungen (Abbildung 13).

Abbildung 13: Summen der verabreichten Einzeldosen von ca. 600 Wirksubstanzen in den Jahren 2014 und 2015*



* Die Summen der verabreichten Einzeldosen (als Anzahl der kleinsten nicht teilbaren Einheiten) wurden für die rund 600 Wirkstoffe in absteigender Reihenfolge auf der X-Achse aufgeführt (blaue Punkte). Zusätzlich werden die Summen der verabreichten Einzeldosen der jeweiligen Wirkstoffe für das Jahr 2015 dargestellt (rote Punkte). Sofern blaue und rote Punkte auf einer Höhe liegen, ist die Anzahl der verabreichten Einzeldosen des jeweiligen Wirkstoffs für das Jahr 2014 und 2015 in einem ähnlichen Bereich. Bei Differenzen wurden im Jahr 2015 entsprechend mehr oder weniger Einzeldosen des jeweiligen Wirkstoffs verabreicht.

Für 31 der in Kapitel 4.3 ausgewählten 54 Wirkstoffe (Kapitel 4.3) liegen Rohdaten aus Löwenstein vor. Für diese Stoffe wurden die Jahresverbrauchsmengen ermittelt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Verabreichte Wirkstoffmengen umweltrelevanter Arzneistoffe gem. Kapitel 4.3 - Klinik Löwenstein für die Jahre 2014 und 2015

Wirkstoff	Verbrauchsmenge 2014 in g	Verbrauchsmenge 2015 nach HR* in g
Metamizol-Natrium	53.783	54.960
Ibuprofen	10.258	9.827
Metformin	5.208	3.787
Paracetamol	4.060	3.553
Gabapentin	1.986	756
Clarithromycin	1.680	2.143

Sulfamethoxazol	1.367	762
Metoprolol	1.212	1.181
Ciprofloxacin	716	1.102
Diclofenac-Natrium	705	254
Roxithromycin	673	226
Diclofenac	429	348
Carbamazepin	325	75
Salbutamol	223	171
Erythromycin	210	241
Erythromycinlactobionat	210	241
Amoxicillin	178	432
Mycophenolsäure	176	30
Irbesartan	114	42
Hydrochlorothiazid	105	93
Primidon	88	44
Venlafaxin	84	51
Cyclophosphamid	83	117
Doxycyclin	76	15
Atenolol	65,1	8,1
Azithromycin	52,5	27,3
Acetylsalicylsäure	30,0	2,4
Bisoprolol	23,6	34,5
Propranolol	15,1	21,6
Oxazepam	10,6	9,2
Sotalol	1,6	9,6
Bezafibrat	0	1,4

*HR: Hochrechnung/Extrapolation der Verbrauchsmengen von Januar bis Oktober auf das gesamte Jahr

5.2.2 Arzneistoffverbrauch des PZN Wiesloch

Für den Standort Wiesloch wurden Verbrauchsdaten von 60 Wirkstoffen vom PZN übermittelt. Von diesen stimmen 16 mit den in Kapitel 4.3 ausgewählten Wirkstoffe überein, so dass die entsprechenden Verbrauchsmengen für das Jahr 2015 (Tabelle 15) für die weitere Betrachtung verwendet wurden. Für sieben weitere Stoffe der ReAs-Stoffauswahl konnte auf Basis der Angaben der Krankenhausapotheke für 2015 ein Verbrauch ausgeschlossen werden.

Tabelle 15: Verabreichte Wirkstoffmengen umweltrelevanter Arzneistoffe gem. Kapitel 4.3 - PZN Wiesloch für das Jahr 2015

Wirkstoff	Verbrauchsmenge 2015 in g
Metformin	35.714
Ibuprofen	28.640
Metamizol	17.795
Carbamazepin	5.140
Amoxicillin	4.795
Venlafaxin	4.569
Paracetamol	4.543
Metoprolol	1.978
Gabapentin	1.890
Sertralin	1.583
Primidon	1.225
Sulfamethoxazol	816
Diclofenac	471
Clarithromycin	105
Naproxen	60
Oxazepam	24
Amidotrizoesäure	0
Azithromycin	0
Cyclophosphamid	0
Erythromycin	0
Iohexol	0
Iomeprol	0
Iopromid	0

Zu den Wirkstoffen, die in der weiteren Betrachtung des ReAs-Vorhabens nicht berücksichtigt wurden, gehören

- das Abführmittel Macrogol (Verbrauch im Jahr 2015: 426 kg),
- das Antiepileptika, Antidepressiva Valproinsäure (67 kg),
- das Psychopharmaka/Psycholeptika Quetiapin (17,5 kg),
- das Psychopharmaka/Psycholeptika Clozapin (14 kg) und
- das Neuroleptikum Amisulprid (9 kg).

Ein Teil dieser Stoffe (Clozapin; Pipamperon, Verbrauchsmenge 2015: 2,3 kg; Olanzapin: 1 kg; Perazin: 0,55 kg; Haloperidol: 0,33 kg; Risperidon: 0,13 kg) wurde im Rahmen einer Dissertation (Bähr 2009) im Vorfluter der dem PZN nachgeordneten Kläranlage, dem Leimbach, nachgewiesen. Aufgrund der geringen Konzentrationen wurden die Funde seitens Bähr (2009) als ökotoxikologisch unbedenklich eingestuft.

Nähere Angaben zu Arzneistoffen mit Einsatz am Standort Wiesloch, die im Rahmen von ReAs nicht weiter betrachtet wurden, finden sich im Anhang 12.6

5.2.3 Arzneistoffverbrauch der Klinik Schloss Waldleiningen

Von der zuständigen Krankenhausapotheke wurde eine Liste aller im Zeitraum vom 01.12.2015 bis zum 01.12.2016 an die Klinik Waldleiningen veräußerten Medikamente übermittelt. Dieser Datensatz umfasst 407 Präparate mit den jeweiligen Abgabemengen. Über die Präparate werden insgesamt 211 Wirkstoffe verabreicht, zu denen u. a. auch Vitamine, Mineralien oder pflanzliche Extrakte zählen. Über die Abgabemengen der Präparate wurden die verabreichten Mengen jedes Wirkstoffs ermittelt.

Von den 211 Wirkstoffen stimmen 16 mit den in Kapitel 4.3 ausgewählten 54 Wirkstoffen überein. Für diese wurden die in Tabelle 16 dargestellten Jahresverbrauchsmengen ermittelt.

Tabelle 16: Verabreichte Wirkstoffmengen umweltrelevanter Arzneistoffe gem. Kapitel 4.3 - Klinik Schloss Waldleiningen für das Jahr 2015

Wirkstoff	Verbrauchsmenge 2015 in g
Metamizol	288,01
Metformin	140,40
Paracetamol	128,40
Venlafaxin	67,50
Sulfamethoxazol	64,00
Diclofenac	46,24
Gabapentin	30,00
Metoprolol	25,29
Amoxicillin	20,00
Doxycyclin	20,00
Ibuprofen	17,42
Sertralin	10,00
Phenazon	1,50
Hydrochlorothiazid	0,70
Oxazepam	0,20
Bisoprolol	0,06

Verabreichte Wirkstoffe, die nicht in die weiteren Betrachtungen eingeflossen sind, sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Wirkstoffe am Standort Waldleiningen, die nicht in die weiteren Betrachtungen eingeflossen sind

Wirkstoff	Stoffgruppe	Verabreichte Menge in g
Magaldrat	Antazidum	240
Acetylsalicylsäure	Antirheumatikum	220
Acetylcystein	Hustenlöser	180
Magnesium hydroxid	Antazidum und Abführmittel	160
Paracetamol	Analgetikum	128
Mirtazapin	Antidepressivum	109
Pentoxifyllin	Rheologikum	80
Methocarbamol	Muskelrelaxans	75

5.2.4 Spezifische Jahresverbrauchsmengen im Vergleich

Im Folgenden werden exemplarisch für Wirkstoffe, zu denen entsprechende Informationen verwendet werden konnten, Jahresverbrauchsmengen pro Bett an den Pilotstandorten mit dem bundesdeutschen Durchschnitt verglichen. Die Vergleichswerte für diese ausgewählten, nicht explizit Gesundheitseinrichtungsspezifischen Wirkstoffe werden in Tabelle 18 dargestellt. Betrachtet werden alle Wirkstoffe, die an den Standorten eine Teilmenge der ausgewählten 54 umweltrelevanten Arzneistoffe (vgl. Kapitel 4.3) bilden und der Daten von IMS-Health aus Hillenbrand et al. (2016), die zur Berechnung eines bundesdeutschen Verbrauchsdurchschnitts pro Bett für das Jahr 2013 verwendet wurden, bilden. Für Krankenhausbetten in Deutschland wurde entsprechend DESTATIS (2017) für das Jahr 2013 eine Anzahl von 500.671 zugrunde gelegt. Die Daten für die Standorte Klinik Löwenstein und PZN Wiesloch stammen aus dem Jahr 2015; für die Klinik Schloss Waldleiningen stehen Verbrauchsmengen aus dem Jahr 2016 zur Verfügung. Der Jahresverbrauch am jeweiligen Pilotstandorte wird auf die entsprechende Anzahl der Klinikbetten bezogen.

Darüber hinaus wurden die für die Pilotstandorte ermittelten Jahresverbrauchsmengen pro Bett mit Literaturangaben verglichen. So wurden bei Feldmann (2005) Angaben für das Bundeswehrkrankenhaus Berlin mit 300 Betten sowie die Summe verschiedener Kliniken mit insgesamt 2.059¹² Betten gemacht. Mauer (2011) stellt in seiner Arbeit Verbrauchsangaben des Krankenhauses Waldbröl dar, welches über 375 Betten verfügt. Hierbei werden vor allem die Stoffe Clarithromycin, Sulfamethoxazol,

¹² Die 2.059 Betten befinden sich in vier Kliniken, deren gesamter Arzneistoffverbrauch analysiert wurde: Charité (1.079 Betten), St.Hedwigs-Krankenhaus (357 Betten), DRK-Klinik (260 Betten) und das Jüdische Krankenhaus (363 Betten).

Carbamazepin, Diclofenac und Ibuprofen und näher betrachtet. Eine Auflistung der verwendeten Literaturangaben befindet sich im Anhang 12.8.

Beim Vergleich der so ermittelten Werte fällt auf, dass die Literaturwerte überwiegend im Bereich des berechneten bundesdeutschen Durchschnitts liegen. Lediglich bei Ibuprofen liegen die Angaben der Literaturstellen bei rund 20 Prozent des berechneten bundesdeutschen Durchschnitts.

Tabelle 18: Spezifische Jahresverbrauchsmengen pro Bett an den drei Pilotstandorten im Vergleich zum Bundesdurchschnitt und zu Literaturwerten.

Wirkstoff	Jahresverbrauch in g/Bett				
	Bundesdeutscher Durchschnitt (2013) (DESTATIS 2017; IMS Health 2015)	Durchschnitt Literatur, vgl. Tabelle 41	Löwenstein (2015)	Wiesloch (2015)	Waldleiningen (2016)
Amoxicillin	13,67	nb	2,11	4,41	0,20
Azithromycin	0,13	nb	0,13	0,00	0,00
Clarithromycin	4,67	3,35	10,45	0,10	0,00
Erythromycin	2,44	nb	1,18	0,00	0,00
Sulfamethoxazol	7,38	9,67	3,72	0,75	0,63
Metoprolol	5,85	nb	5,76	1,82	0,25
Carbamazepin	2,83	4,51	0,37	4,73	0,00
Gabapentin	5,54	nb	3,69	1,74	0,29
Diclofenac	4,15	6,71	2,85	0,43	0,45
Ibuprofen	107,70	21,05	47,94	26,35	0,17
Naproxen	0,35	nb	0,01	0,06	0,00

nb: nicht berücksichtigt

kA: keine Angaben

Bei einer genaueren Betrachtung der Jahresverbrauchsdaten der Pilotstandorte zeigen sich z.T. deutliche Abweichungen von den Literatur- bzw. Durchschnittswerten:

- Beim Vergleich mit den spezifischen Verbrauchsmengen der Pilotstandorte zeigt sich, dass bei dem Antiepileptikum Carbamazepin der spezifische Verbrauch pro Bett in Löwenstein um rund eine Größenordnung niedriger liegt als bei den Vergleichswerten aus der Literatur und dem bundesdeutschen Durchschnitt. In Wiesloch liegt der spezifische Verbrauch im Bereich der Vergleichswerte, für Waldleiningen liegt der spezifische Verbrauch an Carbamazepin bei Null.
- Bei dem Antibiotikum Clarithromycin liegt der spezifische Verbrauch pro Bett in Löwenstein deutlich über den Vergleichswerten (bis zu Faktor 3 darüber), in Wiesloch

deutlich unter den Vergleichswerten (Faktor 30 darunter). Für Waldleiningen liegt der spezifische Verbrauch an Clarithromycin bei Null.

- Bei Erythromycin liegt der spezifische Verbrauch pro Bett in Löwenstein im Bereich der beiden aufgeführten Vergleichswerte, in Wiesloch und Waldleiningen liegt der spezifische Verbrauch an Erythromycin bei Null.
- Bei Sulfamethoxazol liegt der spezifische Verbrauch pro Bett in Löwenstein etwas unter den Vergleichswerten, in Wiesloch und Waldleiningen um mehr als eine Größenordnung darunter.
- Bei dem Antirheumatikum Diclofenac liegt der spezifische Verbrauch pro Bett in Löwenstein rund bei der Hälfte der Vergleichswerte, in Wiesloch und Waldleiningen um mehr als eine Größenordnung darunter.
- Bei Ibuprofen ist der spezifische Verbrauch pro Bett in Löwenstein rund doppelt so hoch wie die Vergleichswerte aus der Literatur und bei rund der Hälfte des berechneten bundesdeutschen Durchschnitt, in Wiesloch liegt der spezifische Verbrauch im Bereich der Vergleichswerte der Literatur und in Waldleiningen um mehr als zwei Größenordnung darunter.

Zwischenfazit hinsichtlich spezifischer Verbrauchsmengen

In Löwenstein zeigt sich ein gemischtes Bild. Die Verbrauchsmenge von Clarithromycin liegt über dem deutschen Durchschnitt, die von Azithromycin und Metoprolol liegen auf demselben Niveau. Pro Bett werden von den Stoffen Diclofenac, Erythromycin, Gabapentin, Ibuprofen und Sulfamethoxazol zwischen 45 und 70 Prozent der Menge des deutschen Durchschnitts verbraucht; bei Amoxicillin, Carbamazepin sowie Naproxen sind es weniger als 15 Prozent.

Die Verbräuche pro Krankenhausbett liegen am Standort Waldleiningen für jeden der betrachteten Wirkstoffe deutlich unter dem deutschen Durchschnitt. Die verbrauchten Wirkstoffmengen pro Bett sind mindestens 90 Prozent geringer als dieser. Dies kann daran liegen, dass die Klinik Schloss Waldleiningen verstärkt nichtmedikamentöse Therapieformen und Naturheilverfahren einsetzt.

Auch in Wiesloch sind die Verbrauchsmengen pro Bett, mit Ausnahme von Carbamazepin, deutlich geringer als im Bundesdurchschnitt, was auf die fachliche Ausrichtung zurückzuführen ist, die nicht ausreichend über die Schnittmenge der gewählten Arzneistoffe abgedeckt ist.

Bei der Betrachtung dieser nicht explizit Gesundheitseinrichtungsspezifischen Wirkstoffe zeigt sich, dass die spezifischen Verbrauchsmengen pro Bett der Pilotstandorte überwiegend im Bereich der bundesweiten Durchschnittswerte und der Vergleichswerte aus der Literatur oder sogar deutlich darunter liegen. Es ist jedoch zu erwarten, dass standortspezifische Wirkstoffe je nach Betrachtungsort in deutlich höherem Maße verwendet werden, als im bundesdeutschen Durchschnitt (vgl. Kapitel 5.4).

5.2.5 Veränderungen der Wirkstoffverbrauchsmengen über die Zeit

Jahreszeitliche Schwankungen von Arzneimittelverabreichungen durch saisonbedingte Krankheitsausbrüche werden in der Literatur thematisiert. So berichtet Feldmann (2005) von einem erhöhten Diclofenac-Einsatz in den Wintermonaten aufgrund von rheumatischen Erkrankungen, die durch kaltes und feuchtes Wetter begünstigt werden. In einer Untersuchung eines Oberflächengewässers, welches als Vorfluter für Kläranlagenabwässer dient, haben Christoffels et al. (2016) zum Zeitpunkt einer Grippewelle Antibiotikamengen von über 17 mg/s¹³ nachgewiesen. In anderen Untersuchungszeiträumen lag die nachgewiesene Menge stets unter 0,5 mg/s (Christoffels et al. 2016). Aufgrund dieser möglichen Schwankungen wurden die Abgabemengen der ausgewählten Wirkstoffe für den Standort Löwenstein einer monatsgenauen Analyse unterzogen.

Laut Informationen der Krankenhausapotheke SLK-Kliniken Heilbronn GmbH wird die Klinik Löwenstein in der Regel drei Mal wöchentlich beliefert und verfügt über einen Grundstock an Arzneimitteln, die regelmäßig verabreicht werden. Dieser wird nach dem Arzneimittelverbrauch wieder aufgefüllt.

Aus Abbildung 14 wird ersichtlich, dass es für einige Wirkstoffe kaum monatliche Schwankungen bei der Größenordnung der Abgabemenge gibt, z. B. Ibuprofen. Für andere Stoffe, z. B. Gabapentin, lässt sich ein deutlicher Unterschied feststellen. Bei einer Betrachtung der Monatsabfolge ließen sich jedoch keine saisonbedingten Tendenzen in der Verabreichungsmenge feststellen. Entsprechende Tendenzen wurden auch für weitere Stoffgruppen überprüft, z. B. für die Antibiotika. Auch hier konnten keine saisonbedingten Korrelationen festgestellt werden.

Laut Krankenhausapotheke kann eine nicht auftretende Korrelation von saisonabhängigen Vergabemengen an der speziellen Klinikausrichtung für Lungenerkrankungen liegen, die im gesamten Jahresverlauf behandelt werden. Allerdings könnten Verabreichungsspeaks von Antiallergika während der Pollensaison oder von Grippeimpfstoffen an den Tagen, an denen Personal und Patienten gegen Grippe geimpft werden, auftreten. Diese Wirkstoffe wurden jedoch innerhalb des ReAs-Projektes nicht näher betrachtet.

Über die Jahre gibt es zum Teil stärkere Veränderungen der Verbrauchsmengen. So nahm bspw. der Verbrauch von Carbamazepin aufgrund von Alternativen mit geringeren Nebenwirkungen über die Zeit ab. Bei den Antibiotika ging bspw. am Standort

¹³ Die Vergleichswerte werden als Frachten in mg/s angegeben, die an einem bestimmten Ort gemessen wurden. Im Gegensatz zu Konzentrationen unterliegen Frachten keinen Verdünnungseffekten durch z. B. veränderte Wasserstände am Messpunkt.

Wiesloch der Verbrauch von Sulfamethoxazol und Ciprofloxacin in den letzten Jahren zurück, während der Verbrauch von Clarithromycin anstieg.

5.3 Darstellung der Stoffströme

Für die Pilotstandorte wurden Stoffflussdiagramme für vier exemplarisch ausgewählte Arzneistoffe erstellt: Diclofenac, Clarithromycin, Gabapentin und Metoprolol (Abbildung 15 bis Abbildung 17). Diese Wirkstoffe stehen stellvertretend für die vier Stoffgruppen Analgetika, Antibiotika, Antiepileptika sowie Betablocker und werden in der Fachliteratur als umweltrelevant angesehen. Sie sind jedoch keine Gesundheitseinrichtungsspezifischen Stoffe. Für die Abgabemengen wurden die Jahresverbrauchsdaten der betrachteten Gesundheitseinrichtungen verwendet, während die Angaben der eingeleiteten Mengen auf einer Extrapolation der gemessenen Fracht (Konzentrationen 72-Std.-Mischproben multipliziert mit Abwassermenge) am Kläranlagenzulauf sowie -ablauf beruhen. Es ist zu berücksichtigen, dass sich die Ergebnisse der 72-Std.-Mischprobe keinen Durchschnittswert darstellen, sondern Momentaufnahmen sind. Die Stärke der Pfeile im Stoffflussdiagramm ist proportional zu der Menge an Arzneistofffrachten, die sie repräsentieren. Grau gestrichelte Pfade repräsentieren Stoffflüsse, die nicht quantifiziert wurden.

In Löwenstein (Abbildung 15) werden die vier für die Darstellung im Stoffflussdiagramm ausgewählten Stoffe in relativ großen Mengen verabreicht sowie in verhältnismäßig hohen Konzentrationen im Kläranlagenablauf nachgewiesen. Die absoluten Mengen von Diclofenac und Clarithromycin werden aufgrund des Abbaus im Körper als auch in der Klinikkläranlage im Verlauf des Stoffflusses geringer. Die Fracht von Gabapentin und Metoprolol ist an der Kläranlage höher als die Abgabemenge der Apotheke, was auf bereits vorhandene Medikationen von Patienten zurückzuführen ist, die diese Wirkstoffe unabhängig von ihrem Klinikaufenthalt einnehmen. Ebenso unbekannt, wie der Eintrag durch Patienten mit bereits vorhandener Medikation ist der Austrag von Arzneistoffen, die über die Klinikapotheke verabreicht werden, über ambulante Patienten, sowie die Anteile von sachgemäßer und unsachgemäßer Entsorgung und von möglichen Leckagen aus dem Abwassersystem. Da das Abwassernetz der Klinik Löwenstein aufgrund der geografischen Gegebenheiten verhältnismäßig klein ist, ist anzunehmen, dass nur geringe Arzneistofffrachten über diesen Pfad in die Umwelt gelangen. Für andere Standorte kann der Eintrag über Leckagen des Abwassersystems relevant sein. Ein genauerer Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit den Analysedaten für den Standort Löwenstein findet sich in Kapitel 5.4.2.

Am Standort PZN Wiesloch (Abbildung 16) werden in der Verbandskläranlage Wiesloch AHW neben dem Klinikabwasser noch kommunale Abwässer in der Kläranlage gereinigt. Die Gesamtverabreichungsmengen von Metoprolol sowie Gabapentin sind am PZN im Vergleich zu Löwenstein höher. Die am PZN verabreichten Arzneistoffmengen der ausgewählten Substanzen sind wesentlich geringer, als die ermittelten Frachten im Kläranlagenzulauf, was auf Frachten aus dem häuslichen Abwasser

stammt¹⁴ zurückzuführen ist. Diclofenac, Gabapentin, Clarithromycin sowie Metoprolol sind Wirkstoffe, die zu einem Großteil auch ambulant verabreicht werden. Berücksichtigt man das Verhältnis der Abwassermenge des PZN zu der Gesamtabwassermenge, das auf der Kläranlage behandelt wird, liegen die Reduktionen für Diclofenac und Clarithromycin in einem vergleichbaren Rahmen wie am Standort Löwenstein. Der Input von Gabapentin und Metoprolol über bereits vorhandene Medikationen von Patienten, die diese Wirkstoffe unabhängig von ihrem Klinikaufenthalt einnehmen, der bei Löwenstein zu einem höheren Eintrag in die Kläranlage führt, wird in Wiesloch über die Gesamtfracht, die die Kläranlage erreicht, relativiert, so dass er nach Berücksichtigung des Abwasserverhältnisses nicht mehr erkennbar ist. Mögliche Einträge über Regenüberlaufbecken im Abwassersystem werden in Kapitel 5.5 näher diskutiert. Sie bewegen sich bei einem Regenüberlaufbecken, das dem Klinikum direkt nachgeschaltet ist, jedoch im einstelligen Grammbereich. Bei einem zentralen Regenüberlaufbecken, das direkt vor der Kläranlage liegt, können die Einträge jedoch erheblich höher ausfallen. Eine genauere Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit den Analysedaten für den Standort Wiesloch findet sich in Kapitel 5.4.3.

Die Gesamtverabreichungsmengen der vier betrachteten Stoffe sind am Standort Waldleininge deutlich niedriger als in Löwenstein und Wiesloch. Bei Diclofenac und Clarithromycin liegt die Reduktion von abgegebener Menge der Krankenhausapotheke zu Kläranlagenzulauf in einer vergleichbaren Größenordnung wie in Löwenstein. Der Effekt von zusätzlichen Einträgen durch Patienten mit bereits vorhandener Medikation von Patienten, der zu einer Zunahme der Fracht auf der Kläranlage führt, zeigt sich bei dem Wirkstoff Gabapentin. Eine genauere Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit den Analysedaten für den Standort Waldleiningen findet sich in Kapitel 5.4.4.

¹⁴ Der Wasserverbrauch des PZN liegt bei 82.400 m³. Die jährlich behandelte Abwassermenge der Verbandskläranlage Wiesloch beträgt 8.011.293 m³. Demzufolge beträgt der Abwasseranteil des PZN rund 1 % am Gesamtabwasser.

Abbildung 14: Boxplots der monatlichen Abgabemengen ausgewählter Wirkstoffe an die Klinik Löwenstein für das Jahr 2015

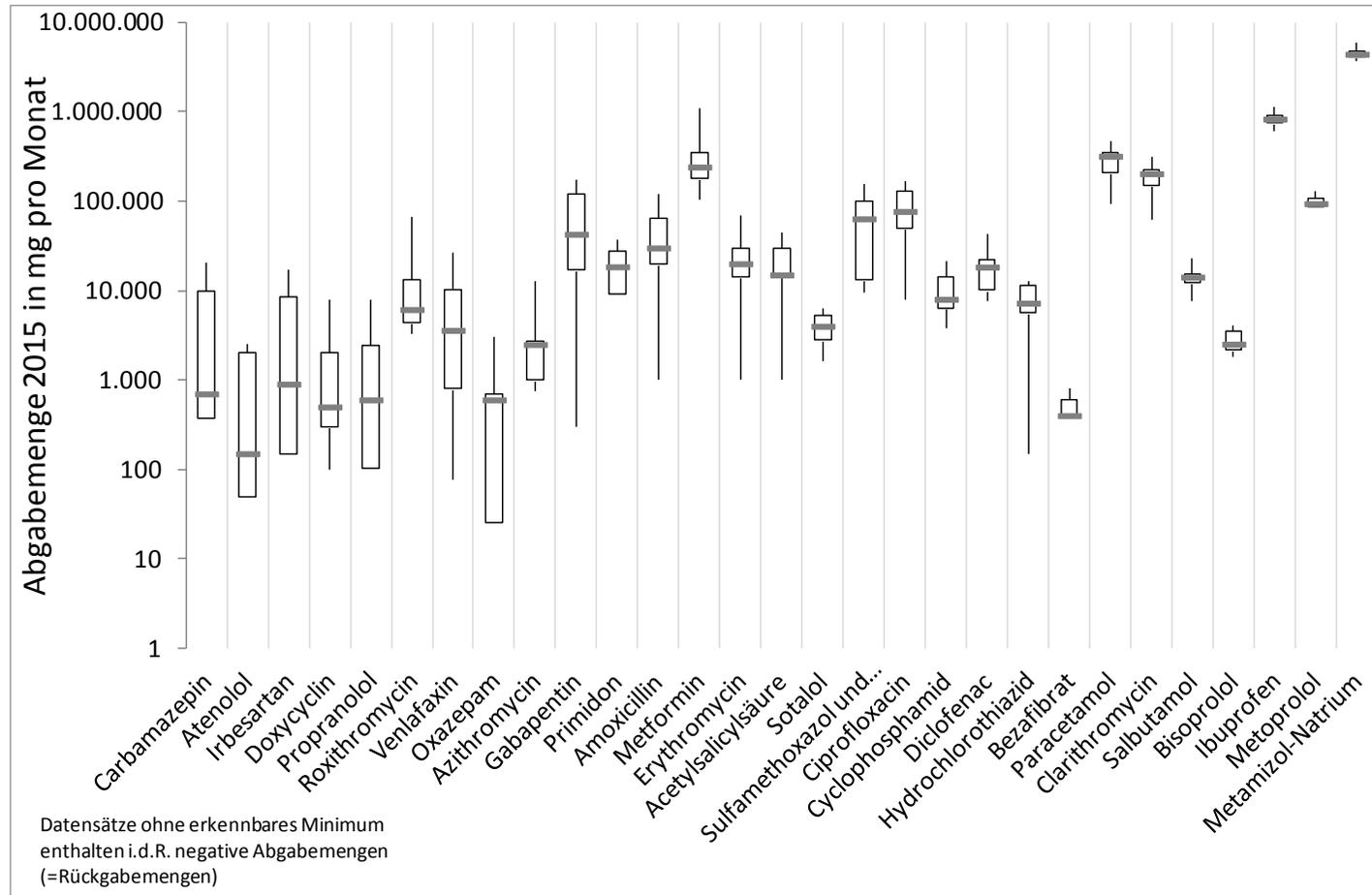


Abbildung 15: Stoffstromdarstellung für Metoprolol, Gabapentin, Clarithromycin sowie Diclofenac am Standort Löwenstein für das Jahr 2015

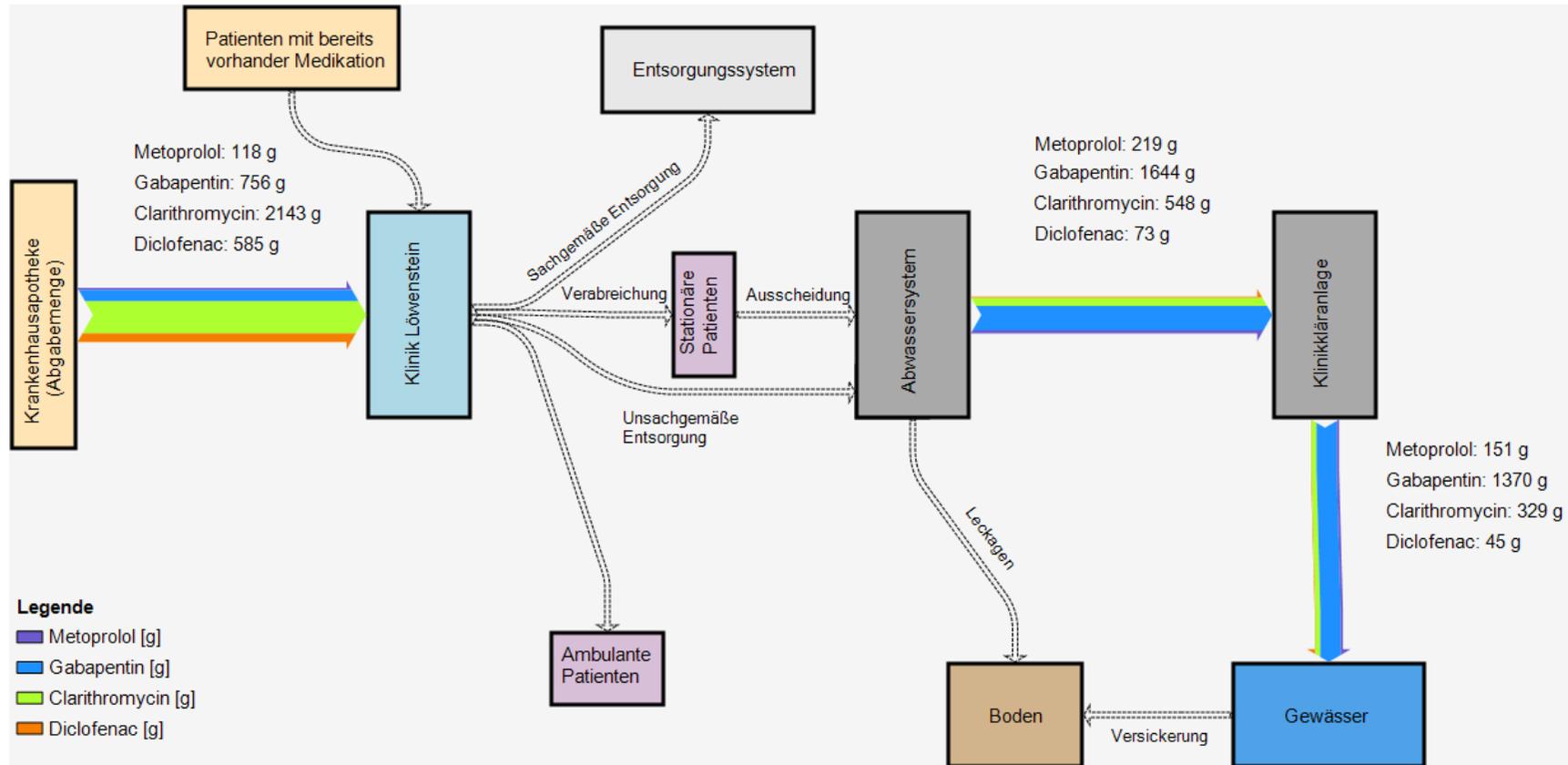


Abbildung 16: Stoffstromdarstellung für Metoprolol, Gabapentin, Clarithromycin sowie Diclofenac am Standort Wiesloch für das Jahr 2015

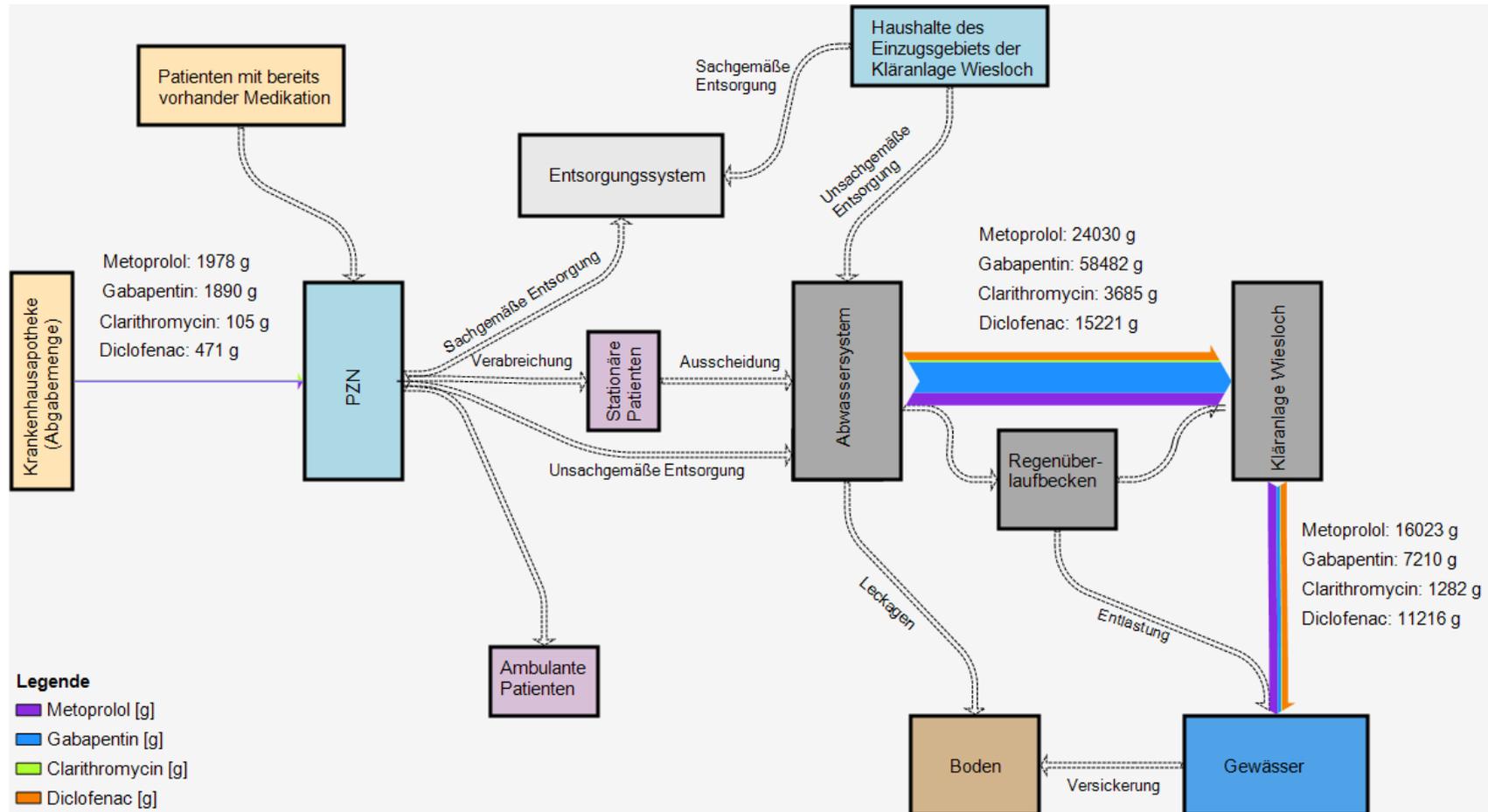
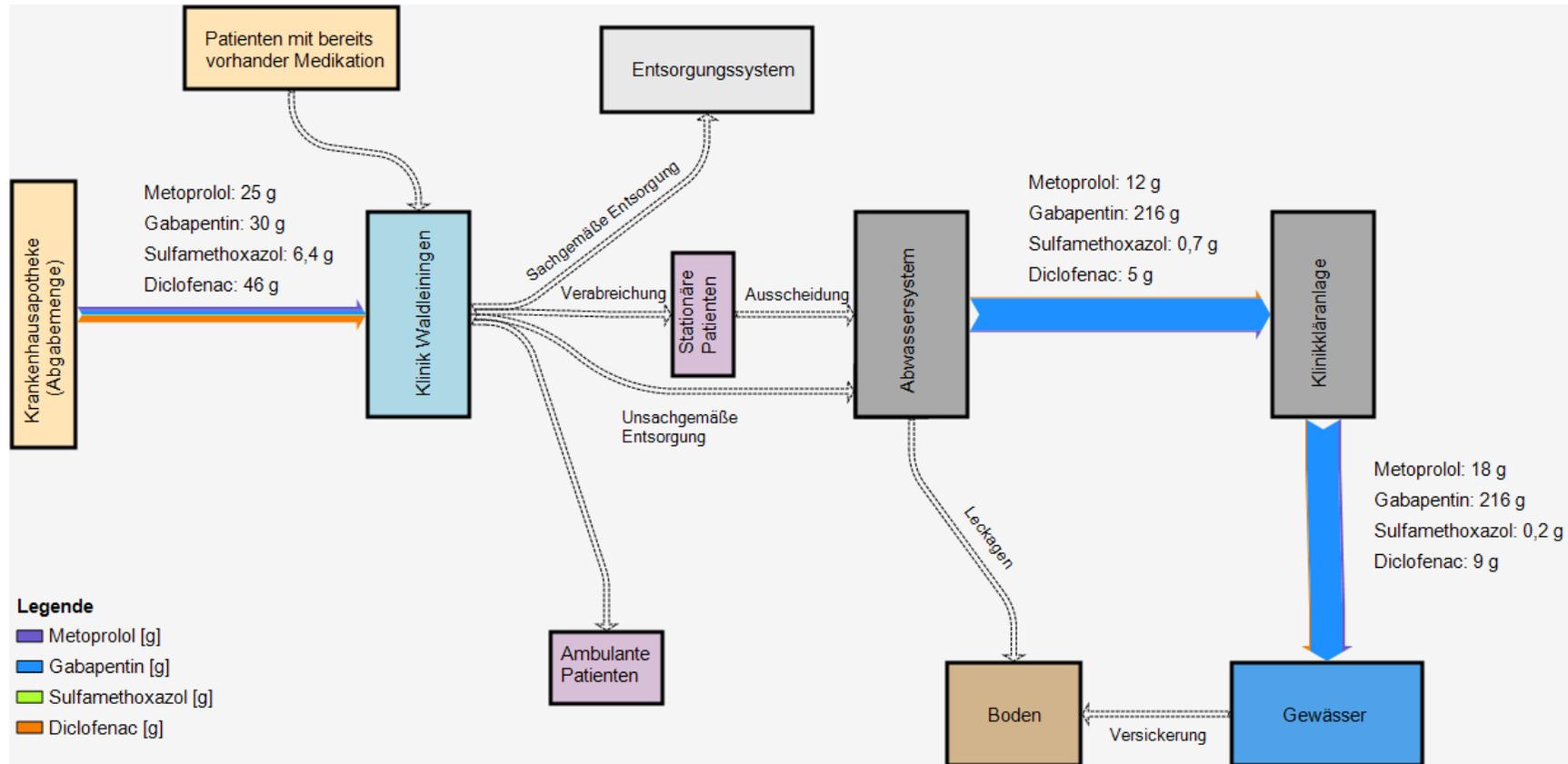


Abbildung 17: Stoffstromdarstellung für Metoprolol, Gabapentin, Clarithromycin sowie Diclofenac am Standort Waldleiningen für das Jahr 2016



5.4 Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten der Kläranlagen

5.4.1 Arzneistoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf von Kläranlagen

In der Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg, die 2015/2016 vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg durchgeführt wurde, wurden Arzneistoffkonzentrationen¹⁵ an 40 Kläranlagenzuläufen in Baden-Württemberg ermittelt. Diese sind in Abbildung 18 mittels einzelner Boxplots dargestellt. Aus dieser Bestandsaufnahme liegen Analysedaten für sieben Standorte vor, denen verhältnismäßig große Gesundheitseinrichtungen im Einzugsgebiet der Kläranlage zugeordnet werden konnten¹⁶. Im Rahmen von ReAs wurden außerdem sechs weitere baden-württembergische Kläranlagen¹⁷ beprobt.

Bei einem Vergleich der Zulaufkonzentrationen aller Kläranlagen zeigt sich, dass die Zulaufkonzentrationen in Löwenstein bei 11 von 19 Wirkstoffen zum Teil deutlich oberhalb des oberen Quartils der Gesamtmessungen der Kläranlagen liegen, in sechs Fällen stellen sie den Maximalwert dar (Metoprolol, Sulfamethoxazol, Gabapentin, Clarithromycin, Ciprofloxacin, Iohexol). In vier Fällen liegen sie unterhalb des unteren Quartils (Ibuprofen, Diclofenac, Metformin, Azithromycin). In Wiesloch liegen 11 von 19 Wirkstoffen oberhalb des Medians, sechs davon oberhalb des oberen Quartils (Metoprolol, Sulfamethoxazol, Azithromycin, Ciprofloxacin, Dihydroxycarbamazepin¹⁸, Iohexol) (vgl. Abbildung 18). In Waldleiningen liegen drei Wirkstoffe oberhalb des Medians und des oberen Quartils: Gabapentin, Ciprofloxacin und Dihydroxycarbamazepin.

¹⁵ Es wurden u. a. Konzentrationen folgender Arzneistoffe gemessen: Ibuprofen, Metoprolol, Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Gabapentin, Metformin, Guanylharnstoff, Erythromycin A, Dehydrato-Erythromycin A, Clarithromycin, Azithromycin, Ciprofloxacin, 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin, Amidotrizoesäure, Iohexol, lomeprol, Iopromid und Iopamidol.

¹⁶ Für Emmendingen Köndringen, Bad Rappenau, Rottweil, Buchen und Lörrach Bändlegrund sowie für die beiden Pilotstandorte Löwenstein und Wisloch lagen bereits Ergebnisse aus der Bestandsaufnahme BW 2015 von KomS vor.

¹⁷ Es fanden Beprobungen an den Kläranlagen Leudelsbach, Mutlangen, Kleinsteinbach, Waldshut und Offenburg sowie an dem Pilotstandort Waldleiningen statt. Die ermittelten Zulaufkonzentrationen dieser Standorte sind in Abbildung 18 ebenfalls kenntlich gemacht.

¹⁸ 10,11-Dihydro-10-hydroxycarbamazepin: Metabolit von Oxcarbazepin und die eigentlich wirksame Substanz

Bei einer Betrachtung der PNEC-Werte nach Bergmann et al. (2011), die stoffspezifisch nach ihrer Größe in Abbildung 25 abgebildet sind, zeigt sich, dass es bei acht Substanzen zu Einträgen oberhalb der PNEC kommt. Acht davon bei Löwenstein (Estradiol, Ciprofloxacin, Diclofenac, Clarithromycin, Erythromycin A¹⁹, Primidon, Sulfamethoxazol, Metoprolol), fünf davon in Wiesloch (Estradiol, Ciprofloxacin, Diclofenac, Primidon, Sulfamethoxazol). In Waldleiningen ergibt sich lediglich bei Diclofenac eine PNEC-Überschreitung, die jedoch unterhalb der anderen Standorte liegt. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund, dass der spezifische Diclofenac-Verbrauch pro Bett in Waldleiningen bei lediglich 11 Prozent des bundesweiten Durchschnitts liegt, ein Hinweis, dass Diclofenac nahezu überall im Vergleich zum PNEC in hohen Konzentrationen vorliegt. Bei Metformin ist der gemessene Wert in Waldleiningen im Vergleich zu den anderen Standorten am höchsten und liegt im Bereich des PNEC.

5.4.2 Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten für den Standort Löwenstein

Auf Basis der Jahresverbrauchsmengen wurden die Stoffeinträge in das Abwasser und in das Gewässer bilanziert. Hierbei wurden u. a. Ausscheidungsraten und Abbauraten aus der Literatur berücksichtigt. Abbildung 19 stellt den Vergleich von bilanzierten und gemessenen Kläranlagenzulaufkonzentrationen dar. Für die bilanzierten Angaben wurde die Jahresverbrauchsmenge der Arzneistoffe über die Krankenhausapotheke für das Jahr 2015 sowie Literaturwerte²⁰ für Ausscheidungsraten berücksichtigt. Bereits vorhandene Medikationen von Patienten, die diese Wirkstoffe unabhängig von ihrem Klinikaufenthalt einnehmen, sind nicht erfasst. Die gemessene Zulaufkonzentration basiert auf einer 72-Stunden-Trockenwetter-Mischprobe.

In Abbildung 20 ist ein Vergleich bilanzierter und gemessener Kläranlagenablaufkonzentrationen dargestellt. Dabei werden zwei unterschiedliche Bilanzierungsansätze angewendet: Die in der Grafik in grün dargestellten Konzentrationen basieren auf den bilanzierten Zuläufen (aus Abbildung 19), die in blau gekennzeichneten Konzentrationen wurden auf Grundlage der gemessenen Zulaufwerte bilanziert. Beide Bilanzierun-

19 Erythromycin A: Hauptkomponenten von Erythromycin

20 Als Ausscheidungsrate gilt der Anteil der verabreichten Substanz, der unverändert vom Körper ausgeschieden wird. Die Werte dieser Ausscheidungsraten wurden mit Hilfe von drei Veröffentlichungen (Kümmerer, K. et al. 2011; Mauer 2011; Moffat et al. 2011) generiert. Bei mehrfachen Angaben zu einem Wirkstoff wurde der Mittelwert gebildet.

gen fanden unter Einbezug von Literaturwerten für Eliminationsraten²¹ der verschiedenen Stoffe in Kläranlagen statt. Die gemessenen Ablaufkonzentrationen stammen ebenfalls aus einer 72-Stunden-Trockenwetter-Mischprobe.

Überwiegend liegen die bilanzierten Werte und die gemessenen Werte in einer ähnlichen Größenordnung. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den bilanzierten Einträgen um einen Jahresdurchschnitt handelt, der lediglich die über die Krankenhausapotheke verabreichten Mengen berücksichtigt, während die gemessenen Werte auf einer 72-Stunden-Trockenwetter-Mischprobe basieren, bei der auch bereits vorhandene Medikationen von Patienten, die diese Wirkstoffe unabhängig von ihrem Klinikaufenthalt einnehmen, berücksichtigt sind. Hierzu gehören bspw. dauerhaft einzunehmende Psychopharmaka wie Venlafaxin, Oxazepam, Carbamazepin, aber auch der Lipidsenker Bezafibrat, der Betablocker Atenolol oder Primidon zur antikonvulsiven Dauerbehandlung. Aufgrund der unterschiedlichen Zeiträume werden zudem saisonale Schwankungen beim Verbrauch unterschiedlich erfasst.

Bei den Röntgenkontrastmitteln am Standort Löwenstein wurden im Abwasser zum Teil sehr hohe Konzentrationen gemessen (insbesondere Iohexol (über 600 Mal höher als bei kommunalen Kläranlagen), aber auch Iomeprol und Iopromid). In den Daten der SLK-Kliniken-Apotheke sind jedoch lediglich Iohexol mit einem Jahresverbrauch für 2015 und Amidotrizoesäure mit einem Verbrauch für 2014 aufgeführt. Nach Lueb (2017) ist davon auszugehen, dass die Klinik diese Stoffe nicht über die Apotheke, sondern entsprechend § 47 Arzneimittelgesetz direkt vom Großhändler oder Hersteller bezieht.

5.4.3 Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten für den Standort Wiesloch

Für den Standort Wiesloch wurden die Stoffeinträge in das Abwasser nach derselben Methode wie für den Standort Löwenstein bilanziert (siehe Kapitel 5.4.3). Mittels der verabreichten Arzneistoffmengen aus der Krankenhausapotheke sowie den Ausscheidungsraten wurden die jeweiligen Konzentrationen der Arzneistoffe im Abwasserstrom des PZN ermittelt.

Neben dem PZN leiten weitere fünf Gemeinden ihr Abwasser in die Verbandskläranlage Wiesloch ein. Für die Arzneistoffeinträge aus den Haushalten dieser Gemeinden waren keine Daten für eine entsprechende Bilanzierung verfügbar, sodass die Arznei-

²¹ Die Eliminationsraten von Arzneistoffen in Kläranlagen stammen aus folgender Literatur: Abegglen und Siegrist 2012; Feldmann 2005; Gurke et al. 2015; Mauer 2011; Miehe 2010; Sacher et al. 2014; Verlicchi et al. 2012; Wiegel et al. 2003. Bei mehrfachen Angaben zu einem Wirkstoff wurde der Mittelwert gebildet. Dabei wurden alle Angaben gleichermaßen gewichtet.

stoffkonzentration des PZN den gemessenen Konzentrationen im Kläranlagenzulauf und -ablauf gegenübergestellt wurden (s. Abbildung 21).

Deutlich zu sehen ist, dass die berechnete Konzentration im Abwasser des PZNs in neun von zwölf Fällen höher ist als die gemessene Konzentration im Kläranlagenzulauf (Ausnahmen: Metoprolol, Oxazepam, Paracetamol). Dies ist zum einen auf den übrigen Abwassereintrag der Kommune zurückzuführen, der zu einem Verdünnungseffekt führt. Teilweise ist von einem im Durchschnitt höheren pro Kopf-Verbrauch auszugehen, bspw. bei den Psychopharmaka wie Carbamazepin, Gabapentin, Venlafaxin. Aufgrund der unterschiedlichen Fachausrichtung unterscheiden sich die Stoffe von dem Fallbeispiel Löwenstein. Wie in Löwenstein ist aber zu berücksichtigen, dass die Jahresdurchschnittswerte aufgrund saisonaler Schwankungen möglicherweise nicht mit den Ergebnissen der 72-Stunden-Mischprobe korrelieren.

Aus Abbildung 21 ist weiterhin ersichtlich, dass die Stoffe zu einem unterschiedlichen Grad in der Kläranlage abgebaut werden. Während beispielsweise ein starker Abbau von Ibuprofen und Paracetamol stattfindet, werden Stoffe wie Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Primidon in der Kläranlage verhältnismäßig schlecht abgebaut. Einige Substanzen, wie Sulfamethoxazol oder Venlafaxin, werden im Kläranlagenablauf in höheren Konzentrationen nachgewiesen als im -zulauf.

5.4.4 Abgleich der Jahresverbrauchsmengen mit Analysedaten für den Standort Waldleiningen

Eine Bilanzierung der Arzneistoffeinträge in das Abwasser wurde für den Standort Waldleiningen nach demselben Vorgehen angefertigt wie für die zwei anderen Standorte. Als Grundlage für die bilanzierten Abwasserkonzentrationen dienten die von der Klinik zur Verfügung gestellten Jahresverbrauchsmengen der Klinikapotheke sowie die durch eine Literaturrecherche ermittelten Ausscheidungsraten der jeweiligen Wirkstoffe. Für die Messung der Konzentrationen wurden im Kläranlagenzulauf sowie -ablauf 72-Stunden-Trockenwetter-Mischproben genommen und analysiert. Die Probenahme fand im Februar 2017 statt.

Abbildung 22 zeigt die bilanzierten und gemessenen Zulaufkonzentrationen im Vergleich. Insgesamt werden in der Klinik über die Klinikapotheke vergleichsweise geringe Mengen verabreicht. Auffällig ist, dass bei acht von 12 Wirkstoffen die gemessenen Konzentrationen deutlich höher ausfallen als die auf Basis der Verabreichungsmengen über die Klinikapotheke bilanzierten. Überwiegend ist dies auf bereits vorhandene Medikationen von Patienten zurückzuführen. Auffällig sind hierbei die Schmerzmittel Phenazon, Paracetamol und Ibuprofen. Bei den Psychopharmaka Venlafaxin und Gabapentin, die Blutdruck-/Lipidsenker Metformin und Bisoprolol sowie das bei insulinabhängiger Zuckerkrankheit verwendete Metformin ist ebenfalls anzunehmen, dass diese über Patienten mit bereits vorhandener Medikation eingetragen werden. Bei den Antibiotika Amoxicillin, Doxycyclin und Sulfamethoxazol, die stärker im Akutfall eingesetzt werden, liegen die bilanzierten Konzentrationen über den gemessenen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Jahresdurchschnittswerte aufgrund saisonalen Schwankungen möglicherweise nicht mit den Ergebnissen der 72-Stunden-Mischprobe korrelieren. Dieser Effekt kann bei den verhältnismäßig geringen Mengen stärker zum Tragen kommen.

Abbildung 18: Boxplots der Zulaufdaten der Spurenstoffanalyse aus der Bestandaufnahme von KomS (2016) sowie Zulaufkonzentrationen der 3 Pilotstandorte

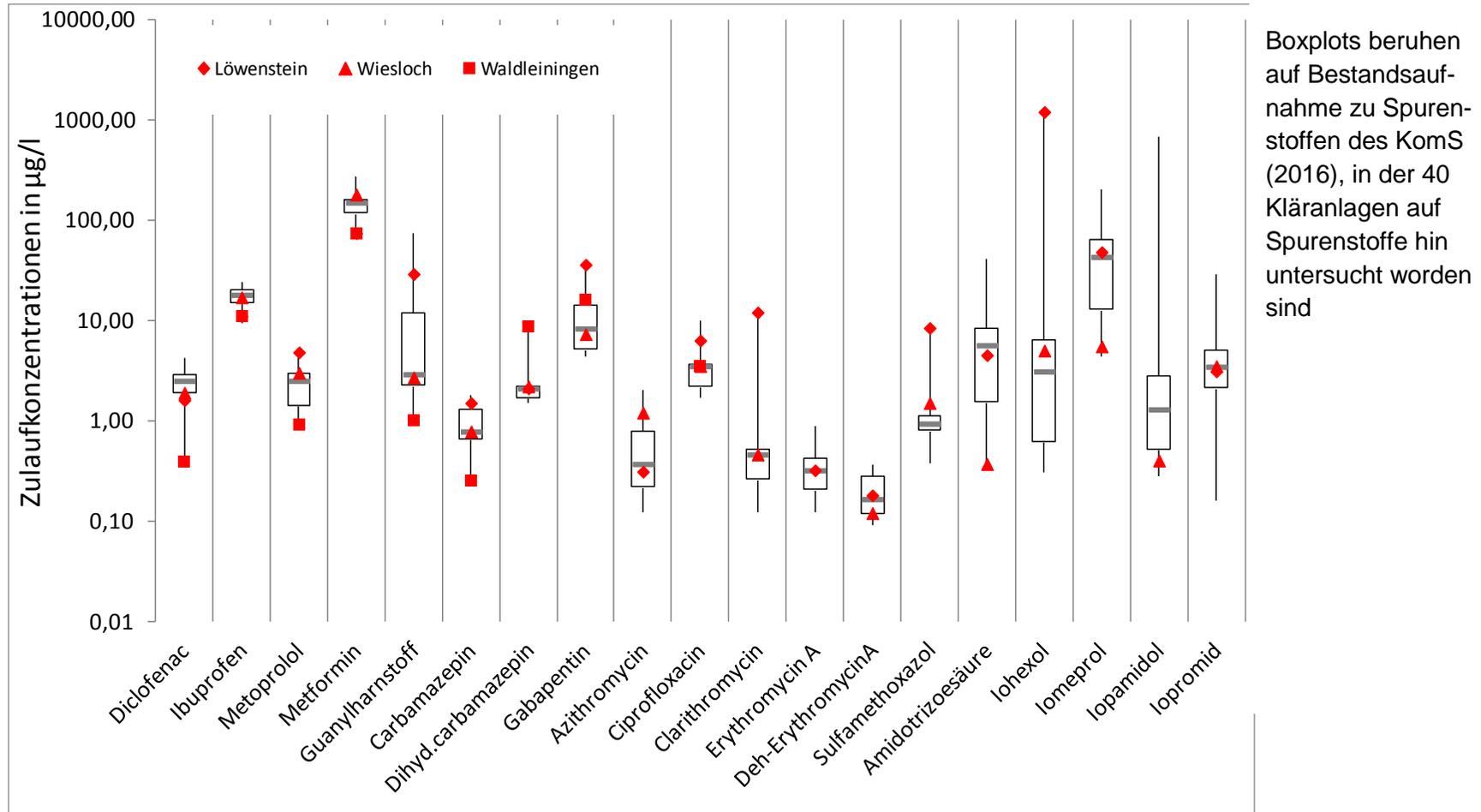


Abbildung 19: Vergleich bilanzierter und gemessene Kläranlagenzulaufkonzentrationen für den Standort Löwenstein

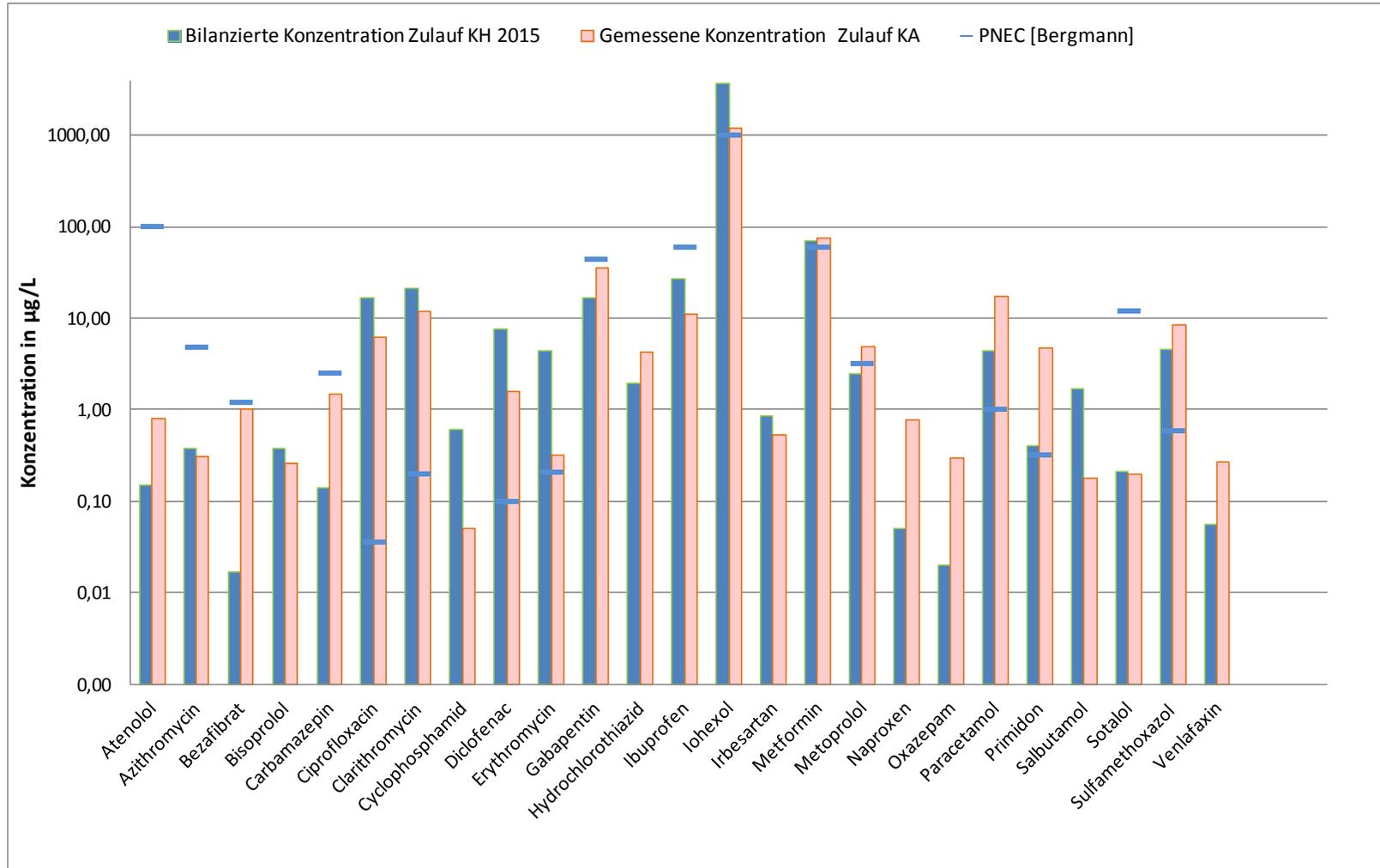


Abbildung 20: Vergleich bilanzierter und gemessener Kläranlagenablaufkonzentrationen für den Standort Löwenstein

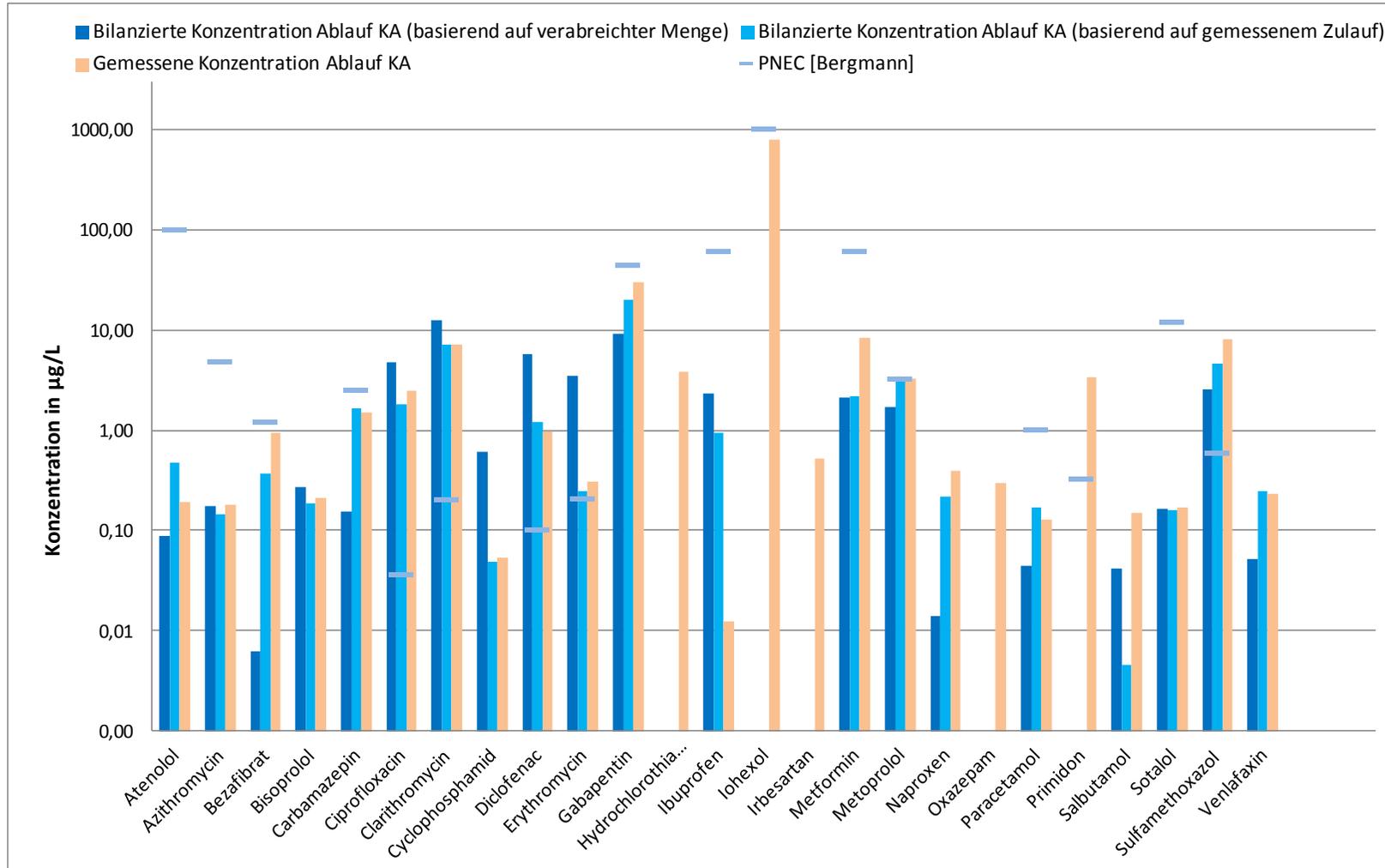


Abbildung 21: Vergleich bilanzierter Arzneistoffkonzentrationen im Abwasser des PZN mit gemessenen Konzentrationen im Kläranlagenzulauf und -ablauf der Verbandskläranlage Wiesloch

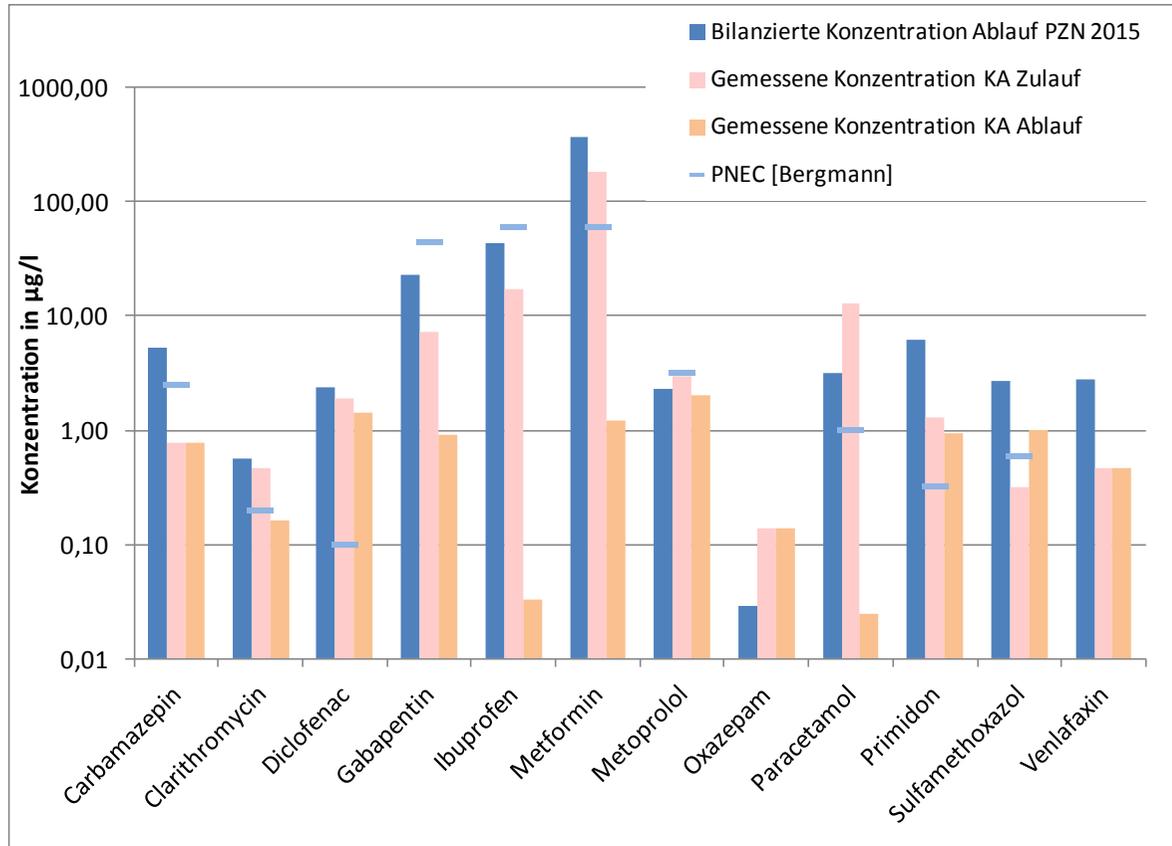


Abbildung 22: Vergleich bilanzierter und gemessener Zulaufkonzentrationen für den Standort Waldleiningen

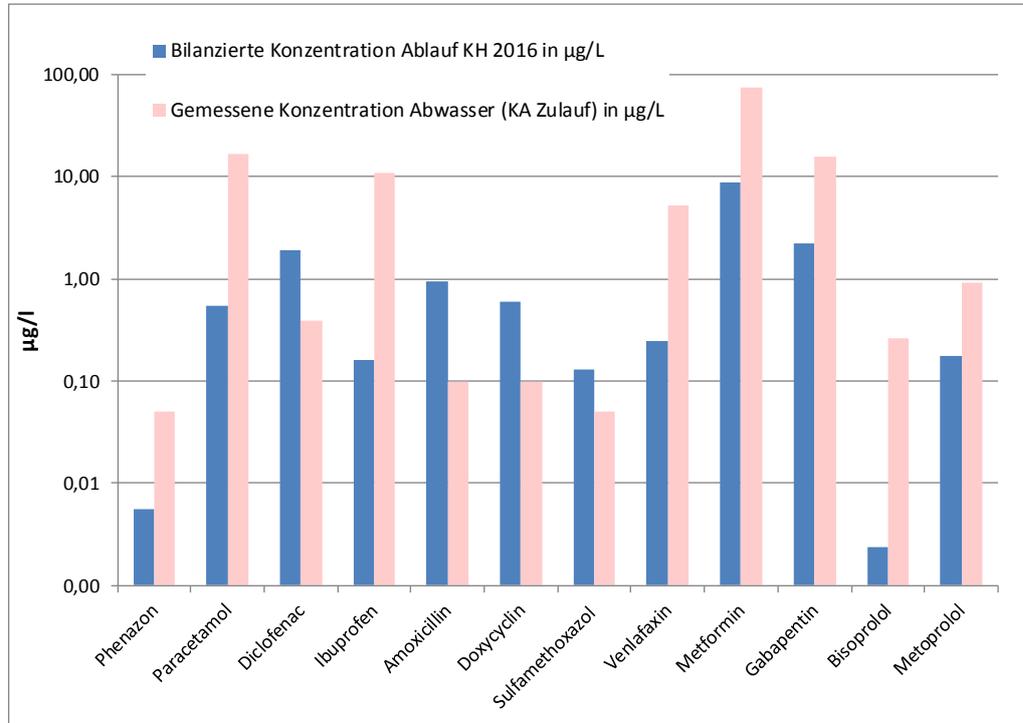
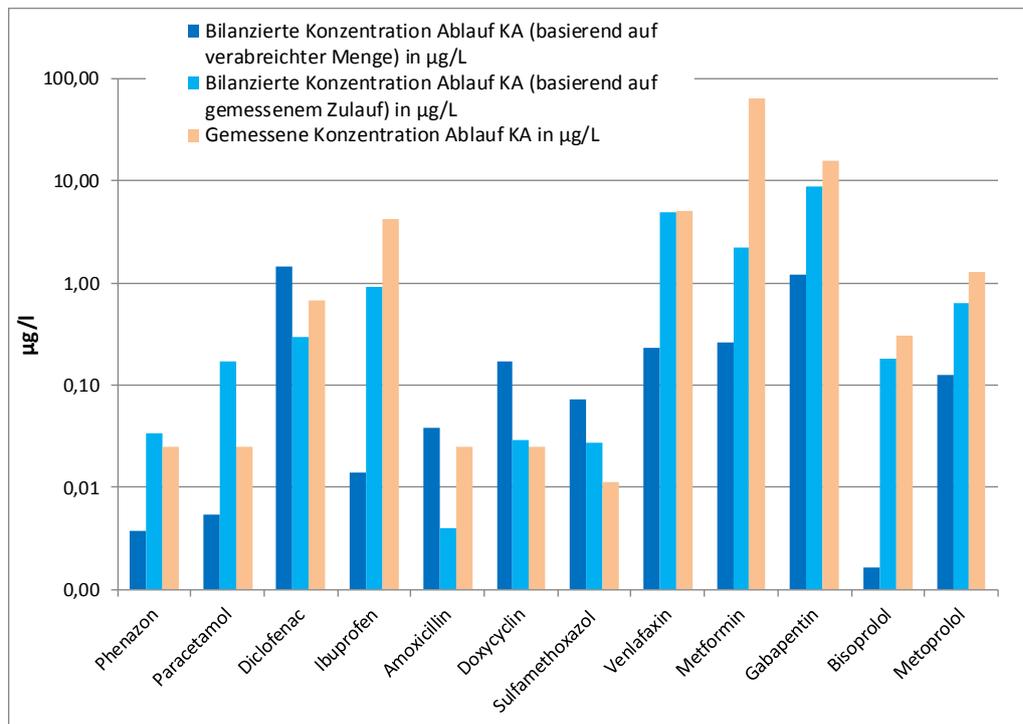


Abbildung 23: Vergleich bilanzierter und gemessener Kläranlagenablaufkonzentrationen für den Standort Waldleiningen



5.5 Szenarienbasierte Abschätzung der Arzneistoffemissionen durch Regenüberläufe am Standort Wiesloch

Wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, gibt es am Pilotstandort Wiesloch zwei RÜB, die im Abwassersystem zwischen dem PZN und der Verbandskläranlage Wiesloch liegen. Das RÜB W3 liegt direkt unterhalb des Geländes des PZN sowie des Teilgemeindegebietes Mühlhölzle, welches rund 60 ha umfasst. Das RÜB N2 ist unmittelbar vor dem Zufluss in die Verbandskläranlage installiert. Eine Skizze der Eintragungssituation findet sich im Anhang 12.4, Abbildung 34. Um mögliche Arzneistoffemissionen durch die Entlastung der RÜB einzuschätzen, wurden verschiedene Szenarien erstellt, in denen die Arzneistofffrachten abgeschätzt werden, die über diesen Pfad in den Vorfluter gelangen können. Da keine Daten für die Arzneistoffverbräuche des gesamten Gemeindegebiets vorliegen, wurden die Emissionen ausschließlich für das RÜB W3 berechnet. Die Arzneistofffrachten des PZN werden als Tagesfrachten für die Entlastungstage mithilfe der verabreichten Jahresmengen und den Ausscheidungsraten berechnet. Für aus dem weiteren Wohngebiet stammenden Frachten für die Entlastungstage wurden auf Basis einer geschätzten Einwohneranzahl und dem Arzneimittelkonsum pro Einwohner entsprechend Bundesdurchschnitt von IMS Health (2015) berechnet. Über die geschätzte Einwohnerzahl wurde eine Schmutzwassermenge des Gebiets ermittelt. Die ermittelten Werte wurden mit Informationen aus dem Erlaubnis und Genehmigungsbescheid für das RÜB W3 (AHW 2016) abgeglichen. Daten für den Regenwasserabfluss beider Gebiete liegen vor. Basierend auf diesen Angaben lag das Verhältnis Regenwasser zu Abwasser im Februar bei 2,5:1, im Juni und September bei 5,5 bzw. 4,6:1. Mögliche Verdünnungseffekte durch Fremdwasser wurden nicht berücksichtigt.

In vier Szenarien werden Entlastungsfrachten basierend auf den Entlastungsvolumina, die entsprechend Angaben von AHW (2016) vorlagen, abgeschätzt. Die der Szenarienabschätzung zugrundeliegenden Parameter und Annahmen sind in Anhang 12.4, Tabelle 36 aufgeführt.

Szenario 1: Für das erste Szenario werden die Wirkstoffe Gabepentin, Diclofenac sowie Sulfamethoxazol betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass alle Wirkstoffe gleichmäßig über das Jahr verteilt verabreicht werden.

Szenario 2: Im zweiten Szenario wird ausschließlich der Stoff Diclofenac untersucht. Das Szenario basiert auf Ergebnissen von Feldmann (2005), die im Winter einen höheren Diclofenac-Einsatz zeigten, als im Sommer. Daher wird für das Szenario davon ausgegangen, dass im Sommer (April bis September) ein Viertel und im Winter (Oktober bis März) drei Viertel der jährlichen Diclofenac-Menge verabreicht werden.

Szenario 3: Das dritte Szenario basiert auf Ergebnissen von Marx et al. (2015), laut derer eine Schwankung von Antibiotikaverbräuchen zwischen Sommer (80 %) und Winter (120 %) vorliegt. Folglich wird in diesem Szenario der Wirkstoff Sulfamethoxazol mit den entsprechenden Verabreichungsvariabilitäten betrachtet.

Szenario 4: Dieses Szenario bezieht sich ebenfalls auf den Antibiotikaverbrauch am Beispiel des Wirkstoffs Sulfamethoxazol. Untersuchungen von Christoffels et al. (2016) haben gezeigt, dass die Arzneistoffkonzentrationen im Abwasser während einer Grippewelle 43 Mal höher sein können, als im übrigen Jahresverlauf. Für das Szenario wird davon ausgegangen, dass sich die Grippewelle über sechs Wochen erstreckt. Der Gesamtjahresverbrauch wurde im Szenario 4 unverändert gelassen, so dass sich ein Normalverbrauch und ein Verbrauch während der Grippewelle ergeben.

Alle Szenarien werden für Entlastungsereignisse aus dem Jahr 2015 (Februar, Juni, September) berechnet (Tabelle 10). Die Entlastungsfrachten für die verschiedenen Szenarien sind in Tabelle 19 dargestellt. In Tabelle 20 werden die sich ergebenden Konzentrationen des Entlastungsvolumens dargestellt.

Tabelle 19: Entlastungsfrachten aus dem RÜB W3 für unterschiedliche Arzneistoffe in den vier betrachteten Szenarien

Szenario		Entlastungsfracht in g		
		Februar	Juni	September
1	Gabapentin	4,26	1,26	1,44
	Diclofenac	1,43	0,42	0,48
	Sulfamethoxazol	0,35	0,10	0,12
2	Diclofenac	2,15	0,21	0,24
3	Sulfamethoxazol	0,42	0,08	0,09
4	Sulfamethoxazol (Normalverbrauch)	0,06	0,02	0,02
	Sulfamethoxazol (Grippewelle)	2,56	0,76	0,87

Tabelle 20: Konzentrationen unterschiedlicher Arzneistoffe im entlasteten Abwasser aus dem RÜB W3 in den vier betrachteten Szenarien

Szenario		Entlastungskonzentration in µg/l		
		Februar	Juni	September
1	Gabapentin	4,44	2,41	2,77
	Diclofenac	1,49	0,81	0,93
	Sulfamethoxazol	0,36	0,20	0,23
2	Diclofenac	2,24	0,41	0,47
3	Sulfamethoxazol	0,43	0,16	0,18
4	Sulfamethoxazol (Normalverbrauch)	0,06	0,03	0,04
	Sulfamethoxazol (Grippewelle)	2,67	1,45	1,66

Vergleicht man die Entlastungskonzentrationen mit den PNEC-Werten (vgl. Abbildung 24), zeigt sich, dass die Entlastungskonzentrationen von Gabapentin (PNEC: 44 µg/l) unterhalb des PNEC bleiben. Die Entlastungskonzentrationen von Diclofenac (PNEC: 0,1 µg/l) liegen in den Szenarien 1 und 2 um einen Faktor 4 bis 22 über dem PNEC. Die Entlastungskonzentrationen von Sulfamethoxazol (PNEC: 0,59 µg/l) liegen in den Szenarien 1 und 3 knapp unterhalb des PNEC, im Szenario 4 (Grippewelle) aber um einen Faktor 2 bis 5 über dem PNEC.

Die Entlastungsfrachten liegen bei dem dezentralen, dem PZN nachgelagerten RÜB maximal im mittleren einstelligen Grammbereich. Der Anteil an der Gesamtbelastung, der über das PZN eingetragen wird, liegt in allen Szenarien bei Gabapentin bei rund 28 Prozent, bei Diclofenac bei 7 Prozent und bei Sulfamethoxazol bei 46 Prozent, bei einem Abwasseranteil von rund 15 Prozent. Bei einem zentralen Regenüberlaufbecken, das direkt vor der Kläranlage liegt, können die Einträge jedoch erheblich höher ausfallen, der Anteil, der über das PZN eingetragen wird, würde sich entsprechend reduzieren.

Festzuhalten bleibt, dass trotz geringer Frachten umweltrelevante Konzentrationen von Diclofenac und Sulfamethoxazol eingetragen werden können. Bei Sulfamethoxazol ist dies insbesondere dann zu erwarten, wenn sich eine Grippewelle mit starken Niederschlägen, bei denen die RÜB entlasten, zeitlich überlagert. Durch den Vorfluter ist ein Verdünnungseffekt zu erwarten (Tagesabfluss Leimbach bei Regenwetter: 95.940 m³ (Bähr 2009)).

Dass Mischwasserentlastungen einen großen Einfluss auf die Gewässerqualität auch hinsichtlich des Eintrags von Arzneistoffen haben können, zeigen auch die Untersuchungen von Launay et al. (2013) und Launay et al. (2014). In Abhängigkeit von den Randbedingungen im betrachteten Gebiet sowie von den Stoffeigenschaften sind dabei die Bedeutung hinsichtlich der insgesamt eingetragenen Schmutzfracht und der verursachten Konzentrationsspitzen, wie auch im hier betrachteten Gebiet, sehr unterschiedlich.

6 Exemplarische Hotspot-Datenerhebung

6.1 Vorgehen

Neben den vorliegenden Daten zu sieben Standorten aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016) wurden basierend auf der Abschätzung der Relevanz von „Hot-Spots“ bei Arzneistoffeinträgen am Beispiel Baden-Württemberg (Kapitel 4.2) zusätzlich sechs Kläranlagen beprobt, bei denen verhältnismäßig große Gesundheitseinrichtungen im Vergleich zu der zugehörigen Kommune angeschlossen sind. An diesen Standorten wurden im Zeitraum Dezember 2016 bis Februar 2017 72-Std-Trockenwetter-Mischproben genommen und auf 105 Arzneistoffe hin analysiert. Das ist das vollständige Spektrum, das über die Analytik gut abzudecken ist. Eine Auflistung dieser 105 Stoffe findet sich im Anhang in Tabelle 37.

Demnach liegen für folgende Standorte Zu- und Ablaufkonzentrationen vor:

Tabelle 21: Beprobte Standorte mit angeschlossenen Gesundheitseinrichtungen

Standort	Ausbaugröße Kläranlage in EW	Anzahl angeschl. Gesundheitseinrichtungen	Anzahl angeschlossener Betten	Geschätzter Anteil der Abwassermenge der Gesundheitseinrichtung an der Gesamtmenge ²²
Waldleiningen	300	1	102	k.A.
Löwenstein	1.200	1	205	98 %
Mutlangen	6.000	1	401	k.A.
Bad Rappenau	20.000	1	135	1 %
Waldshut	23.000	1	270	1 %
Buchen	28.000	1	195	2 %
Leudelsbach	31.700	1	213	2 %
Kleinsteinbach	32.100	1	465	3 %
Rottweil	52.000	2	627	3 %
Emmend. Köndringen	91.700	2	811	3 %
Wiesloch	110.000	1	1.087	2 %
Offenburg	200.000	2	834	3 %
Lörrach Bändlegrund	290.000	2	780	2 %

²² Der geschätzte Abwasseranteil der Gesundheitseinrichtung an der Gesamtbelastung wurde mittels einer Division der jährlichen Abwassermenge der Gesundheitseinrichtung durch die Jahresabwassermenge der zugehörigen Kläranlage ermittelt. Erstere wurde auf Grundlage eines Literaturmittelwertes von Mauer (2011) für den Wasserverbrauch pro Bett für Gesundheitseinrichtungen sowie der jeweiligen Bettenanzahl der Gesundheitseinrichtung bestimmt. Die Abwassermenge der Kläranlagen stammt aus dem Berichtssystem des RP Karlsruhe.

Die Ergebnisse wurden mit den Analysedaten aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016) verglichen, aus der für 40 Kläranlagen in Baden-Württemberg Zulaufkonzentrationen von 19 Parametern vorlagen.

6.2 Ergebnisse

Von den 105 Parametern wurden 59 Stoffe an mindestens einem der 13 beprobten Standorte oberhalb der Bestimmungsgrenzen nachgewiesen. 9 Parameter konnten an allen Standorten oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen werden. Eine Übersicht über die Ergebnisse gibt Tabelle 22.

Tabelle 22: Spurenstoffkonzentrationen (Mittelwert, Minima, Maxima) im Zu- und Ablauf von 13 ausgewählten Standorten

<i>Konzentrationen in µg/l</i>	Zulauf			Ablauf		
	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max
Diclofenac	2,48	0,39	4,2	2,13	0,68	3,7
Ibuprofen	16,8	9,4	24	0,86	0,033	4,2
Metoprolol	2,52	0,81	4,8	1,53	0,27	3,3
Metformin	148	74	270	8,39	0,41	64
Guanylarnstoff	12,3	0,94	75	50,3	2,2	110
Carbamazepin	0,91	0,25	1,8	1,02	0,62	2
Dihyd.carbamazepin	2,60	1,5	8,7	2,37	1,3	7,4
Gabapentin	11,0	4,3	36	7,68	0,9	30
Azithromycin	0,60	0,12	2	0,41	0,096	1,2
Ciprofloxacin	3,57	1,7	9,8	0,76	0,15	2,5
Clarithromycin	1,35	0,12	12	0,88	0,09	7,2
Erythromycin A ²³	0,37	0,12	0,89	0,20	0,058	0,8
Deh-ErythromycinA ²⁴	0,20	0,09	0,36	0,13	0,025	0,28
Sulfamethoxazol	1,54	0,37	8,4	1,22	0,31	8,1
Amidotrizoesäure	8,29	0,37	41	5,79	0,51	16
Iohexol	123	0,3	1200	90,5	0,05	810
Iomeprol	59,4	4,4	200	18,1	0,068	88
Iopamidol	70,7	0,28	670	41,0	0,21	420
Iopromid	6,07	0,16	29	1,38	0,22	3,4

²³ Erythromycin A: Hauptkomponenten von Erythromycin

²⁴ Dehydrato-Erythromycin A: nicht antibiotisch wirksamer Metabolit von Erythromycin.

Die gemessenen Größenordnungen liegen alle im Bereich von vergleichbaren Literaturwerten (Vergleich von Abbildung 24 mit Abbildung 25).

Vergleicht man die Ablaufkonzentrationen der 13 ReAs-Standorte mit PNEC-Werten nach Bergmann et al. (2011), so ergeben sich in allen Fällen Überschreitungen bei Diclofenac und in elf Fällen Überschreitungen bei Ciprofloxacin. Bei Clarithromycin kommt es in sieben Fällen zu PNEC-Überschreitungen, bei Sulfamethoxazol in sechs Fällen und Erythromycin in vier Fällen sowie bei Roxithromycin und Primidon in drei Fällen zu PNEC Überschreitungen (Abbildung 25).

Bei einem Vergleich der ReAs-Analysedaten mit den Ergebnissen aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016) (Abbildung 26) zeigt sich vor allem bei Dihydrocarbamazepin²⁵, bei Ciprofloxacin und bei Sulfamethoxazol, dass die beprobten Standorte mit größeren angeschlossenen Gesundheitseinrichtungen überwiegend über dem Median der Bestandsaufnahme von KomS (2016) liegen, in der bereits sieben der 13 ReAs-Standorte enthalten waren. Bei Erythromycin A²⁶ und Dehydrato-Erythromycin A²⁷ ergibt sich scheinbar ein ähnliches Bild. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass für beide Stoffe fünf bis sechs Werte unter der Bestimmungsgrenze lagen und entsprechend nicht im Diagramm dargestellt sind. Bei den Stoffen Metoprolol, Gabapentin, Metformin und Clarithromycin liegen rund 60 Prozent der Werte oberhalb des Median, bei Guanylarnstoff, ein Abbauprodukt von Metformin und Azithromycin liegen mehr als 50 Prozent unterhalb des Median. Bei den Analgetica Diclofenac und Ibuprofen liegen alle Werte recht dicht beieinander, hier ist kein Einfluss von Gesundheitseinrichtungen erkennbar. Bei den Röntgenkontrastmitteln zeigt sich insgesamt eine sehr starke Spreizung, die unter anderem daran liegt, dass je nach Standort unterschiedliche Mittel eingesetzt werden. Abbildung 27 stellt den Vergleich der Analysedaten aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016) (linke Boxen) und den Analysedaten des ReAs-Messprogramms (rechte Boxen) noch einmal in aggregierter Form dar.

Die Einwohner-spezifischen Frachten der Substanzen im Zulauf, basierend auf der Ausbaugröße der Kläranlagen und dem Abfluss während der Probenahmen, der 13 Standorte mit verhältnismäßig großen Gesundheitseinrichtungen liegen im Mittel über 50 Prozent über den spezifischen Frachten der 34 Vergleichskläranlagen aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016). Bei den Antibiotika Ciprofloxacin (2,15), Clarithromycin (2,27) und Sulfamethoxazol (2,03) sind die spezifischen Frachten bei den 13 ReAs-Standorten mehr als doppelt so hoch wie bei den 34 Standorten aus der Bestandsaufnahme. Bei Röntgenkontrastmitteln liegen die spezifischen Frachten zum Teil um den Faktor 12,1 (Iopamidol) bzw.

25 10,11-Dihydro-10-hydroxycarbamazepin: Metabolit von Oxcarbazepin und die eigentlich wirksame Substanz.

26 Erythromycin A: Hauptkomponente von Erythromycin.

27 Dehydrato-Erythromycin A: nicht antibiotisch wirksamer Metabolit von Erythromycin

15,5 (Iohexol) höher als bei den Vergleichsstandorten. Die spezifischen Frachten von Diclofenac, Ibuprofen und Metformin sind nahezu gleich. Das Verhältnis der spezifischen Emissionsfaktoren der Standorte mit verhältnismäßig großen Gesundheitseinrichtungen zu den Vergleichskläranlagen ist in Tabelle 23 zusammengefasst.

Bei einem Vergleich mit Spurenstoffkonzentrationen im Zulauf von sechs Kläranlagen in Baden-Württemberg, die im Rahmen des Spurenstoffinventars der Fließgewässer in Baden-Württemberg (Sacher et al. 2014) erhoben wurden, zeigt sich, dass die 13 Standorte mit großen Gesundheitseinrichtungen bei 13 von 14 Werten zum Teil deutlich höhere Konzentrationen aufweisen (Tabelle 23). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Betrachtung der spezifischen Emissionsfaktoren auf Basis der Zulaufkonzentrationen, der Jahresabwassermenge und der Ausbaugröße. Insbesondere bei den beiden betrachteten Antiepileptika, den beiden betrachteten Antibiotika sowie bei den vier betrachteten Röntgenkontrastmitteln liegt der spezifische Emissionsfaktor bei den 13 ReAs-Standorten mit großen Gesundheitseinrichtungen höher als beim Spurenstoffinventar (Tabelle 23). Die breit eingesetzten Stoffe wie Metoprolol und Metformin lassen darauf schließen, dass durch die bei ReAs verwendete Bezugsgröße der Ausbaugröße anstelle der tatsächlich angeschlossenen Einwohner der spezifische Emissionsfaktor der ReAs-Standorte im Vergleich zum Spurenstoffinventar um rund 30 bis 50 Prozent unterschätzt wird.

Es ist zu berücksichtigen, dass die hier betrachteten Stoffe, insbesondere aufgrund der vorliegenden Datenlage aus vorangegangenen Projekten und der Bestandsaufnahme von KomS (2016), Stoffe sind, die sowohl in Gesundheitseinrichtungen als auch im privaten Haushaltsbereich verwendet werden und keine explizit gesundheitseinrichtungsspezifischen Stoffe darstellen.

Tabelle 23: Zulaufkonzentrationen und spezifische Emissionsfaktoren (EFspez) für Spurenstoffe im Zulauf des Spurenstoffinventars Baden-Württemberg 2014 und des ReAs-Messprogramms

	Zulaufkonzentrationen in µg/l		EFspez Kläranlagenzu- lauf in mg/Einwohner/a			
	Spurenstoffinventar Ba-Wü 2014 Mittelwerte von 6 Kläranlagen	REAS Mittelwerte von 13 Kläranlagen	Spurenstoffinventar Ba-Wü 2014 Basierend auf 6 bzw. 4 Kläranlagen	REAS Basierend auf 13 Kläranlagen	EFspez_ReAs/ EFspez_Spurenstoff- inventar	EFspez_ReAs/ EFspez_Bestands- aufnahme
Diclofenac	1,8	2,5	236	208	0,88	0,96
Ibuprofen	7	16,8	851	1354	1,59	1,05
Metoprolol	2,3	2,5	301	213	0,71	1,48
Metformin	190	148,3	23785	12359	0,52	0,94
Guanylharnstoff	8	12,3	984	803	0,82	1,33
Carbamazepin	0,5	0,9	65	74	1,14	1,47
Dihyd.carbamazepin	1,8	2,6	229	184	0,80	1,93
Gabapentin	4,8	11,0	617	875	1,42	1,65
Sulfamethoxazol	0,51	1,4	61	108	1,78	2,03
Clarithromycin	0,16	1,37	31	82	2,63	2,27
Amidotrizoesäure	1,8	1,5	260 *	656	2,53	1,14
lomeprol	9,4	8,3	1648 *	5038	3,06	1,41
lopamidol	5,3	59,4	939 *	3998	4,26	12,1
lopromid	1	70,7	298 *	428	1,44	0,7

* Mittelwert aus vier Anlagen

Abbildung 24: Literaturwerte zu Kläranlagenablaufkonzentrationen sowie PNEC-Werte, Stoffe sortiert nach PNEC

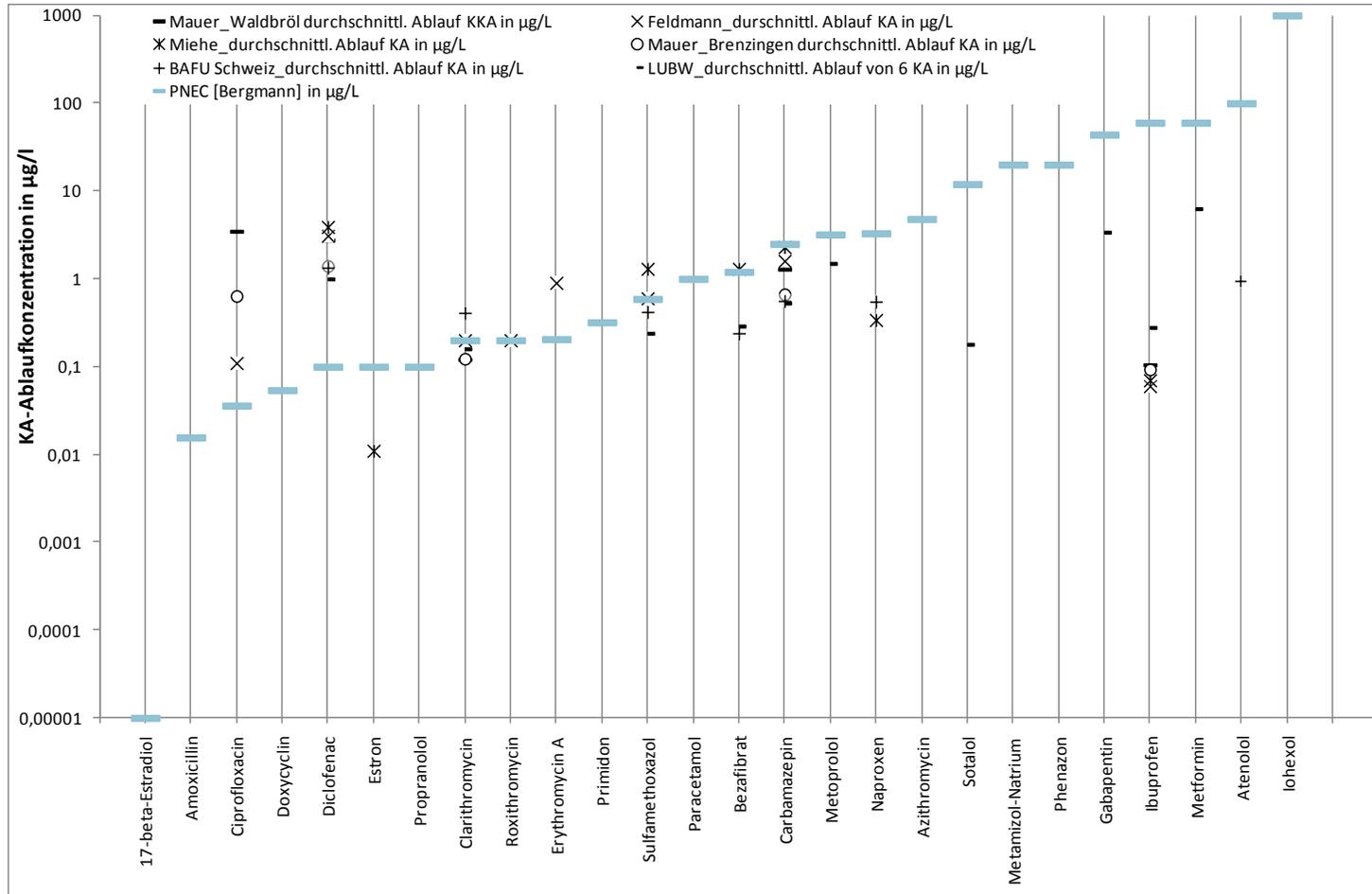


Abbildung 25: Kläranlagenablaufkonzentrationen an ausgewählten Standorten; Stoffe sortiert nach PNEC

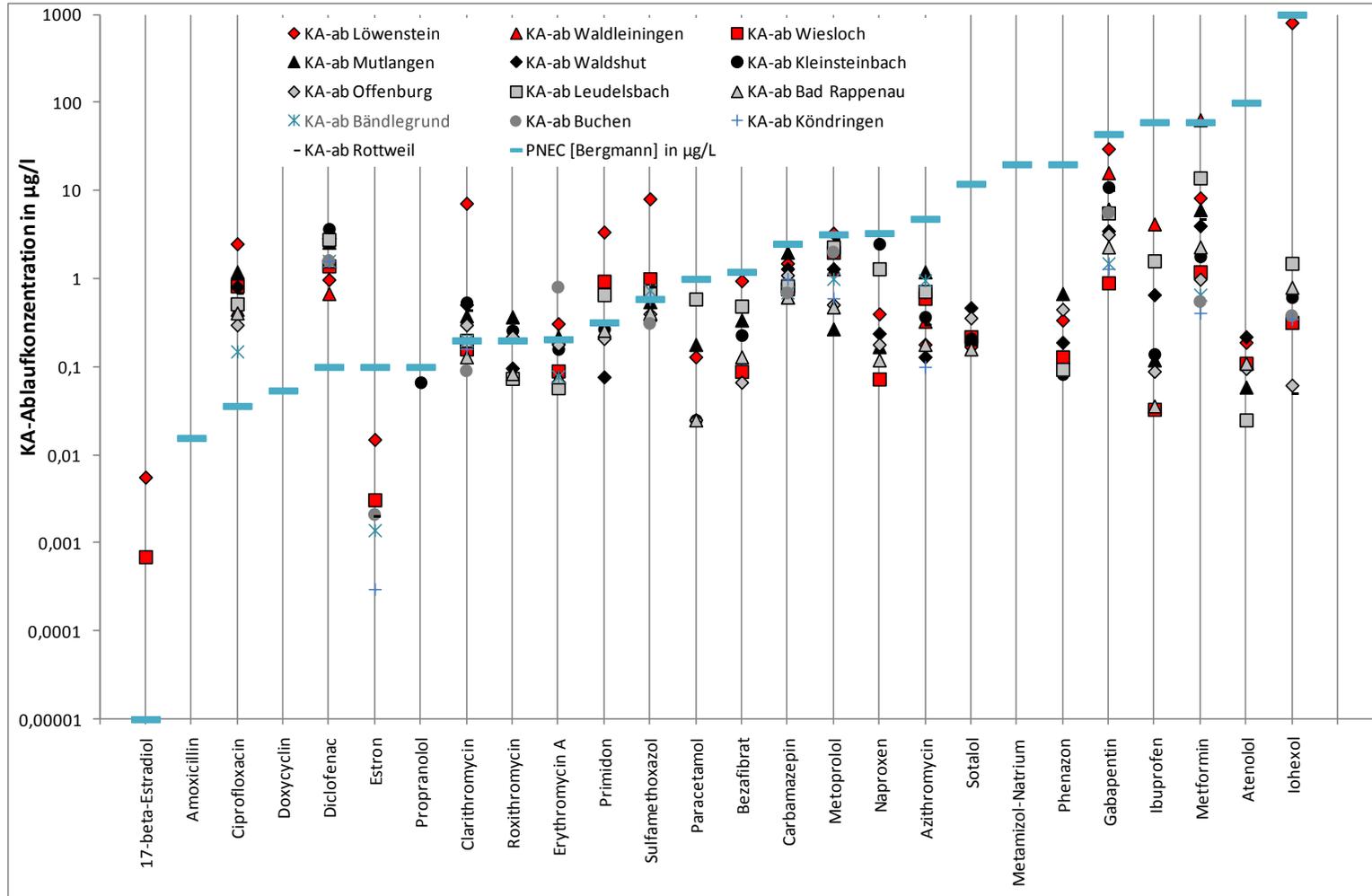
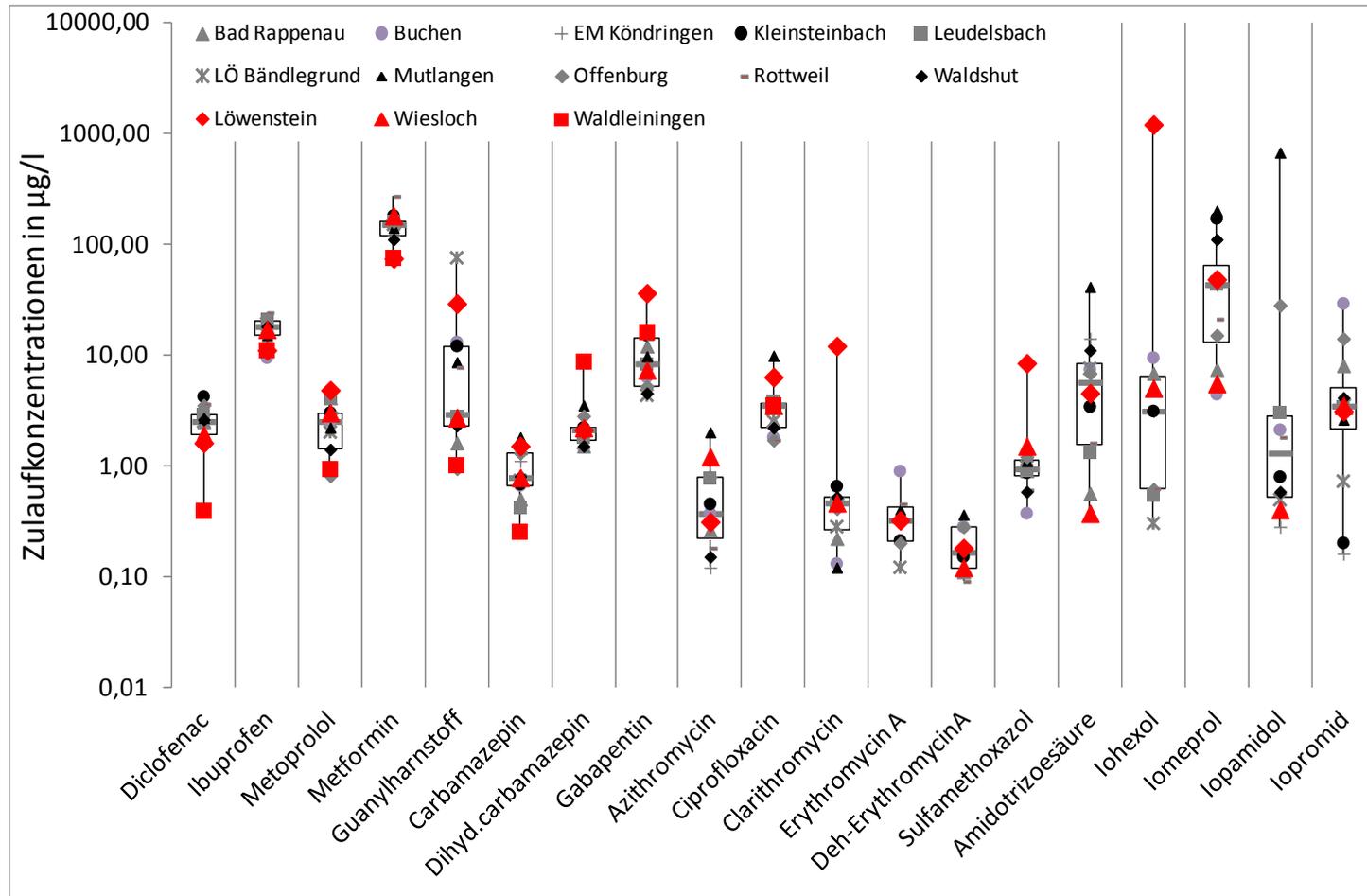
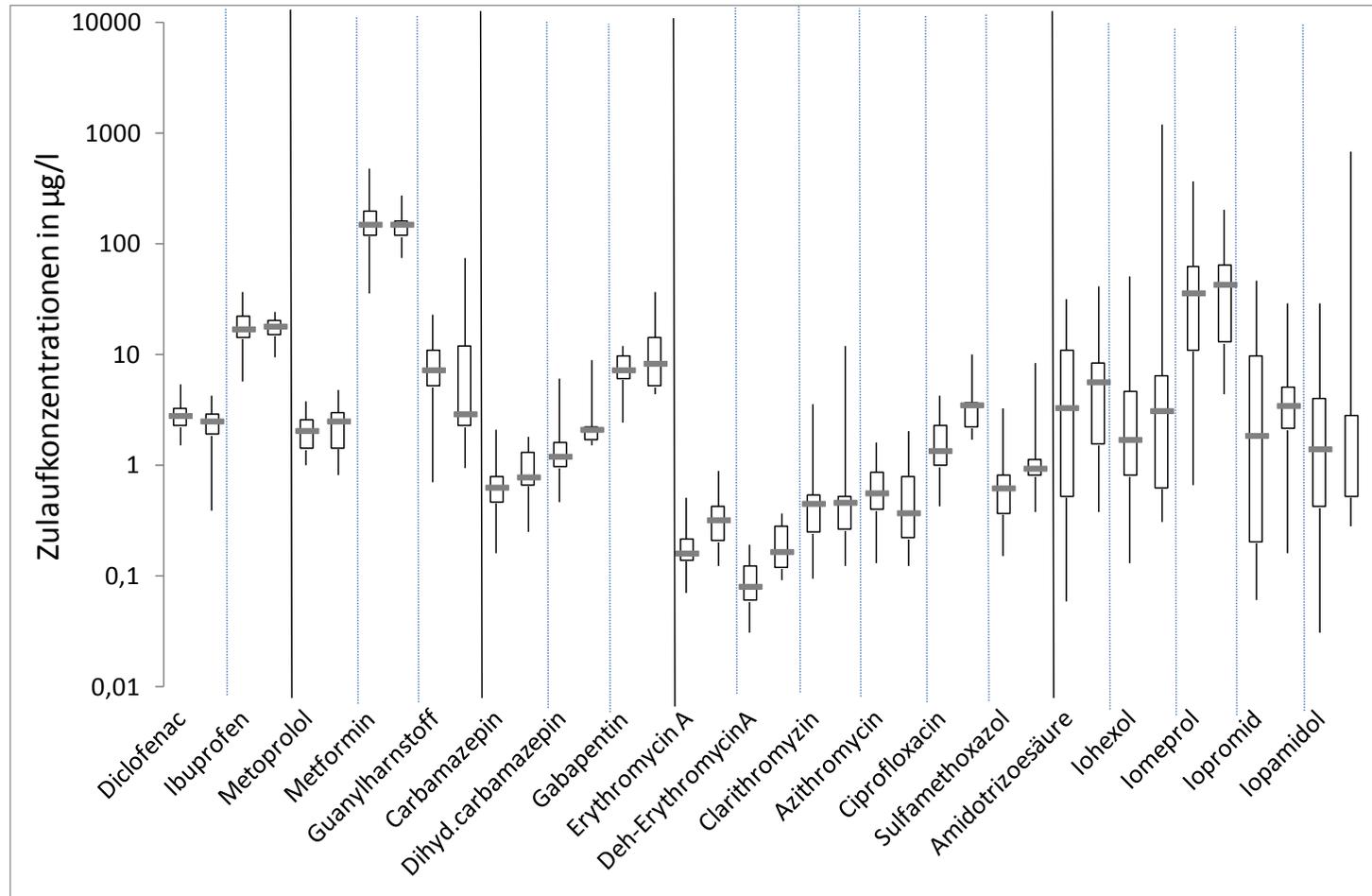


Abbildung 26: ReAs- Zulaufkonzentrationen als Punktwerte im Vergleich zur Bestandsaufnahme von KomS (2016) (Boxplots)



Boxplots beruhen auf Bestandsaufnahme zu Spurenstoffen des KomS (2016), in der 40 Kläranlagen auf Spurenstoffe hin untersucht worden sind

Abbildung 27: Vergleich von Zulaufkonzentrationen der Bestandsaufnahme von KomS (2016) (linke Boxen) und den Zulaufkonzentrationen des ReAs-Messprogramms (rechte Boxen)



7 Handlungsmöglichkeiten zur Emissionsminderung

Der Großteil der Krankenhausstandorten in Baden-Württemberg ist in Kommunen eingebettet, in denen die Einwohnerzahl mindestens doppelt so hoch ist wie die Anzahl der behandelten Fälle pro Jahr, so dass der geschätzte Anteil der Gesundheitseinrichtungen an der Abwassergesamtbelastung gering ist ($< 1\%$). In einigen Fällen liegt allerdings die Anzahl der behandelten Fälle pro Jahr im Bereich der Einwohnerzahlen oder deutlich darüber. Hierdurch können sich, je nach fachlicher Ausrichtung der Einrichtungen, zum Teil deutliche Belastungen ergeben, die allein durch die Einträge aus den Einrichtungen zu PNEC-Überschreitungen führen können.

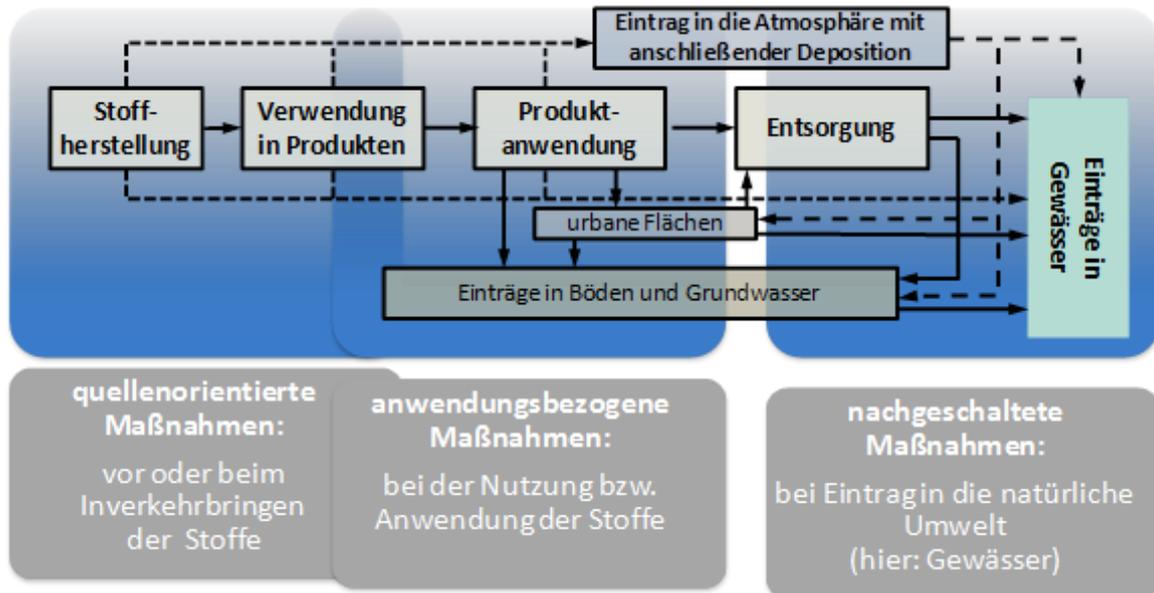
In solchen Fällen, aber auch in Fällen, in denen eine Aufrüstung der nachgeschalteten kommunalen Kläranlage mit einer weitergehenden Spurenstoffelimination nicht möglich bzw. nicht zu erwarten ist, oder beim Einsatz von Stoffen oder Stoffmengen in den Gesundheitseinrichtungen, die über die weitergehende Spurenstoffelimination nicht ausreichend reduziert werden, können Maßnahmen an der Gesundheitseinrichtung wirksam dazu beitragen, die Einträge in die Gewässer zu reduzieren. Ggf. können auch bei Standorten Maßnahmen sinnvoll sein, um Einträge aus Mischwasserentlastungen zu verringern. Diese Fälle sind mitsamt der möglichen Handlungsoptionen jeweils im Einzelnen zu prüfen.

Beispiele aus dem benachbarten Ausland (u.a. Schweiz, Niederlande, Dänemark) zeigen vergleichbare Ansätze. So gelten bspw. nach Nielsen (2014) in Dänemark Krankenhäuser unter anderem dann als prioritäre Punktquellen, an denen Minderungsmaßnahmen zu ergreifen sind, wenn diese 2 Prozent oder mehr des Gesamteintrages problematischer Arzneistoffe in die kommunale Kläranlage einleiten, oder wenn Zytostatika oder RKM verwendet werden. Im Folgenden werden die Handlungsoptionen genauer beschrieben und bewertet.

7.1 Handlungsebenen und Bewertungskriterien

In der Fachliteratur werden verschiedene Ansätze beschrieben, die zu einer Emissionsminderung von Arzneistoffen beitragen können. Diese Ansätze lassen sich zunächst grob nach dem Ort ihres Einsatzes (Handlungsebene) unterscheiden. Quellenorientierte Maßnahmen setzen am Anfang des Zyklus, d. h. bei der Arzneimittelentwicklung sowie der -anwendung an. Als anwendungsbezogene dezentrale Maßnahmen werden Verfahren bezeichnet, die lokal bei der Anwendung der Stoffe eine Emissionsminderung bewirken. Beispielsweise kann die Erfassung und Behandlung von stark belasteten Abwasserteilströmen in Krankenhäusern als dezentrale Maßnahme bezeichnet werden. Zu den nachgeschalteten Maßnahmen, die an zentralen Punkten greifen, gehört beispielsweise die weitergehende Spurenstoffelimination durch den Einsatz einer vierten Reinigungsstufe in der kommunalen Kläranlage.

Abbildung 28: Handlungsebenen von Maßnahmen zur Emissionsminderung (Hillenbrand et al. 2016)



Im Folgenden werden Maßnahmen beschrieben und bewertet, die zur Reduzierung des Arzneistoffeintrags in die Umwelt an Eintragungsschwerpunkten führen können. Diese Maßnahmenanalyse wird am Beispiel der drei Pilotstandorte Wiesloch, Löwenstein und Waldleiningen durchgeführt. Des Weiteren wird die Kombination verschiedener Maßnahmen diskutiert und deren Abhängigkeiten bewertet. Die Auswahl der Maßnahmen fokussiert auf dezentrale Methoden, die auf Ebene der Gesundheitseinrichtungen implementiert werden können. Zum einen wird der Einsatz von technischen Maßnahmen diskutiert. Zum anderen findet eine Evaluierung von angepassten organisatorischen und informatischen Maßnahmen statt.

Als Grundlage für die Identifizierung kosteneffizienter Maßnahmenkombinationen ist eine vergleichende Beschreibung und Bewertung der Maßnahmen hilfreich. Folgende Aspekte werden deshalb im Einzelnen näher behandelt:

- **Beschreibung:**
Dieses Kriterium beschreibt den Status der Umsetzung einer Maßnahme (z. B. bereits in der Umsetzung oder neuer Ansatzpunkt).
- **Wirkung:**
Soweit entsprechende Informationen und Daten verfügbar sind, wird maßnahmenbezogen das Eliminationspotenzial für die jeweiligen Stoffe betrachtet. Dabei spielt sowohl der Anteil des betroffenen Eintragungspfades als auch der Wirkungsgrad der Maßnahme eine Rolle. Neben der Gesamtwirkung bzw. des Gesamtminderungspotenzials

einer Maßnahme sind auch die räumliche Verteilung sowie der zeitliche Ablauf der Minderung relevant.

- **Sekundäre Umwelteffekte:**
Neben den direkten Auswirkungen auf die Belastung der Gewässer mit den betrachteten Arzneistoffen sollen weitergehende ökologische Effekte aufgezeigt werden. Dies betrifft bspw. den mit den Maßnahmen verbundenen Energieverbrauch, aber auch die mögliche zusätzliche Verbesserung der Gewässerqualität durch die Rückhaltung oder Elimination weiterer Schadstoffe (z. B. zusätzlicher Rückhalt von Feinstpartikeln und damit verbundene weitergehende Elimination von Schadstoffen und Phosphor).
- **Kosten:**
Hinsichtlich der Maßnahmenkosten werden die verfügbaren Informationen zu Investitions- und Betriebskosten erfasst. Transaktionskosten wie z. B. Informationskosten, Kontrollkosten bei Behörden, Aushandlungskosten zwischen verschiedenen Akteuren können bei der Umsetzung von Maßnahmen ebenfalls von Bedeutung sein. Dazu liegen i. d. R. jedoch keine konkreten Erfahrungswerte vor.
- **Akzeptanz:**
Die Akzeptanz der betroffenen Akteure (bspw. Klinikpersonal, Patienten) ist von unterschiedlichen Randbedingungen abhängig. Hierzu gehört unter anderem der Informationsstand oder die Möglichkeit der Integration der Maßnahme in den Arbeitsalltag.
- **Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten:**
Vor dem Hintergrund der lokalen Randbedingungen (Belastungssituation; Abwasserab-
leitung und -aufbereitung; örtliche Gegebenheiten) sowie des Reifegrades, der Zuver-
lässigkeit oder auch der Anpassbarkeit eine Maßnahme an verschiedene Rahmenbe-
dingungen wird die Realisierbarkeit von Maßnahmenansätzen eingeschätzt.

7.2 Maßnahmenoptionen: Beschreibung und Anwendbarkeit an den Pilotstandorten

Um Emissionen von Arzneistoffen in die Gewässer zu verringern, stehen neben den zentralen nachgeschalteten Maßnahmen sowohl quellenorientierte Maßnahmen – bei der Stoffentwicklung, bei der Verschreibung von Arzneimitteln, bei der Anwendung und der Entsorgung – als auch dezentrale Maßnahmen zur Erfassung und Behandlung von Abwässern aus Gesundheitseinrichtungen zur Verfügung. Die Handlungsebene lassen sich hierbei wie folgt unterteilen:

- Vorgelagerte/übergeordnete Maßnahmen,
- dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem,
- dezentrale technische Maßnahmen: Sammlung und Erfassung,
- dezentrale technische Maßnahmen: Behandlung und
- nachgeschaltete Maßnahmen: 4. Reinigungsstufe Kläranlage.

Im Folgenden stehen, entsprechend der Ausrichtung des Vorhabens und basierend u. a. auf (Hillenbrand et al. 2014a; Hillenbrand et al. 2015; Hillenbrand et al. 2016), vor allem die (dezentralen) Maßnahmenoptionen auf Ebene der Gesundheitseinrichtungen im Fokus, übergeordnete vorgelagerte und nachgeschaltete Maßnahmen werden der Vollständigkeit halber ebenfalls aufgeführt. Im Einzelnen werden folgende Maßnahmen betrachtet:

- dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem
 - Schulung Fachpersonal
 - Informationsweitergabe an Patienten
 - Reduktion der Medikation, soweit möglich
 - Förderung von nicht-medikamentösen Therapieformen
 - Verwendung alternativer Wirkstoffe
- dezentrale technische Maßnahmen: Sammlung und Erfassung
 - Urinbeutel
 - Trenn-toiletten
 - Vakuumtoiletten
 - Verbrennungstoiletten
 - Verpackungstoiletten/Hightech-Nachttopf
 - Pharmafilter; Erfassung von spez. Steckbecken
- dezentrale technische Maßnahmen: Behandlung
 - Membranverfahren
 - Ozonung
 - Aktivkohle
 - UV-Behandlung
 - Bewachsener Bodenfilter
 - Kombinationen, bspw. Behandlungsteil des Pharmafilter-Verfahrens, Verfahrenskombination nach Harlev
- Vorgelagerte/übergeordnete Maßnahmen,
 - Allgemeine Problemsensibilisierung
 - Aufbau und Nutzung von Umweltklassifikationssystemen
 -
- nachgeschaltete Maßnahmen
 - verbesserte kommunale Abwasseraufbereitung
 - sachgemäße Entsorgung von Rest- oder Abfallmengen

Für die aufgeführten Maßnahmen erfolgt nachfolgend jeweils eine kurze Beschreibung sowie eine Bewertung entsprechend der in Kapitel 7.1 aufgeführten Kriterien.

7.2.1 Dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem

Dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem weisen das Potenzial auf, Arzneistoffemissionen zu verringern, indem sie auf informativer und/oder organisatorischer Ebene der Gesundheitseinrichtungen eine Veränderung schaffen.

7.2.1.1 Schulung des Fachpersonals

Beschreibung: Empirische Untersuchungen des Instituts für sozial-ökologische Forschung (ISOE) haben gezeigt, „dass gerade Ärzte und Apotheker sich bisher oft kaum mit den Folgen der Einnahme und Entsorgung von Arzneimitteln für die Gewässerqualität auseinandersetzen“ (Keil 2008). Auch eine Umfrage, welche im Rahmen des SAUBER+-Projektes an verschiedenen Gesundheitseinrichtungen durchgeführt wurde, zeigte, dass insbesondere Ärzteschaft, aber auch das Pflegepersonal Informationsdefizite bezüglich der Umweltwirkung von Arzneistoffen haben (Adomßent und Kümmerer, K. 2015). Gleichzeitig besteht für die explizite Schulung von Fachpersonal bezüglich der Umweltrelevanz von Arzneistoffen neben dem Bedarf auch Interesse (Adomßent und Kümmerer, K. 2015).

Eine Umsetzung der Maßnahme „Schulung des Fachpersonals“ bedeutet eine Integration des Themas „Einträge von Arzneistoffen in die Gewässer vor dem Hintergrund des Gewässerschutzes“ und „nachhaltige Pharmazie“ in die Ausbildung oder in das Studium von Pflegepersonal und Ärzteschaft (Flöser 2006; Keil 2008). Um das Fachpersonal zu erreichen, das sich bereits im Beruf befindet, ist eine Aufnahme des Themas in Fachmedien, die als Print- oder auch Onlinepublikationen erscheinen notwendig (Adomßent und Kümmerer, K. 2015; Deffner und Götz 2008). Auch Beiträge auf Kongressen, Seminaren, Tagungen sowie Fortbildungen können als Schulungsmedium dienen (Deffner und Götz 2008).

Hygieneschulungen von Ärzteschaft und Pflegepersonal zur Reduzierung nosokomialer Infektionen sind ein Beispiel, durch das, laut Seidel et al. (2013, zitiert PITTET 2000), der Antibiotikaverbrauch gesenkt werden kann.

Wirkung: Ärzteschaft kann eine Schlüsselrolle im Aufklärungsprozess über die Umweltrelevanz von Arzneimitteln einnehmen. Sie wirken als Multiplikatoren für Pflegepersonal und Patienten (Adomßent und Kümmerer, K. 2015). Erkenntnisse aus dem Projekt DSADS²⁸ in Dülmen zeigen, dass Ärzteschaft und Apotheken direkt adressiert und in die Problemthematisierung einbezogen werden sollen, um so auch eine Sensibilisierung bei Patienten zu erreichen (Nafo 2015).

Sekundäre Umwelteffekte: Es sind keine negativen Umwelteffekte zu erwarten.

Kosten: Nach Abschätzungen von Keil (2008) belaufen sich die Kosten für flächendeckende Informationskampagnen sowie die Schulung des Personals auf weniger als 10 Millionen Euro jährlich. Diese Kosten befinden sich laut Keil in einem „vergleichsweise überschaubaren Rahmen“ (Keil 2008). Laut Deffner und Götz (2008) wird eine Problem-

²⁸ Den Spurenstoffen auf der Spur. Ein Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des LIPPEVERBANDS. <http://www.dsads.de>

sensibilisierung bei Ärzteschaft für einen Zeitraum von 30 Jahren auf 5 Millionen Euro geschätzt.

Zu erwartende Akzeptanz: Da sich der berufliche Alltag des medizinischen Fachpersonals komplex gestaltet und in der Regel starken zeitlichen Restriktionen unterliegt, ist eine Akzeptanz vom Fachpersonal nur zu erwarten, wenn Rahmenbedingungen, wie der Qualitätserhalt jeder Behandlung, die unkomplizierte Integration der Thematik in den Arbeitsalltag sowie das Einhergehen mit Reformvorhaben im Gesundheitssystem, erfüllt werden (Keil 2008, Niederste-Hollenberg et al. 2016)).

Des Weiteren ist eine Akzeptanzsteigerung des Personals erzielbar, indem vom Personal als relevant eingeordnete Themen mit dem Problem der Arzneistoffe in der Umwelt verknüpft werden. So schlagen Pinnekamp et al. (2015a) vor, das von Medizinern als relevant angesehene Thema der Antibiotikaresistenzen mit der Problematik von Arzneimittelrückständen im Abwasser zu verknüpfen.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Grundsätzlich ist diese Maßnahme an jeder Gesundheitseinrichtung umsetzbar. Die Klinik Löwenstein verfügt über eine Beauftragte für innerbetriebliche Fort- und Weiterbildung, um Qualitätsstandards zu sichern (SLK-Lungenklinik Löwenstein o. J.a). Außerdem wirbt die Klinik auf ihrer Homepage im Bereich Umwelt für ihr Engagement durch eigens produzierte Solarenergie (SLK-Lungenklinik Löwenstein o. J.b). Weiteres Engagement im Umweltbereich kann positiv zum Klinikimage beitragen. Ähnliches trifft auch auf Waldleiningen zu. Das PZN Wiesloch verfügt über eine eigene Bildungseinrichtung, die „Akademie im Park“ (Akademie im Park o. J.). Eine Einbettung der Thematik „umweltgerechter Umgang mit Arzneimitteln“ in die Fort- und Weiterbildungsangebote des PZNs wäre in diesem Rahmen denkbar.

7.2.1.2 Informationen für Patienten

Beschreibung: Die Information von Patienten bezüglich der Umweltrelevanz von Arzneistoffen ist dann relevant, wenn Alternativen bzgl. der Behandlungsform (bspw. nichtmedikamentöse Therapie) oder ein Mitwirken des Patienten erforderlich ist, zu denen der Patient Stellung nehmen kann. Die Ärzteschaft bildet hierbei eine wichtige kommunikative Schnittstelle (Adomßent und Kümmerer, K. 2015). Voraussetzung ist eine Problemsensibilisierung bei der Ärzteschaft. Mit entsprechendem Hintergrundwissen können Ärzte und Ärztinnen ggf. die Akzeptanz der Patienten für nichtmedikamentöse therapeutische Maßnahmen steigern (Keil 2008), oder eine Mitwirkung der Patienten an weiteren Maßnahmen erzeugen (bspw. getrennte Erfassung von belastetem Urin). Die erfolgreiche Behandlung des Patienten hat jedoch Priorität und die Erzeugung von Schuldgefühlen aufgrund der Umweltbelastungen durch Arzneistoffausscheidungen ist zu vermeiden (Pinnekamp et al. 2015a).

Wirkung: Eine signifikante Reduktion des Arzneimitteleinsatzes in Kliniken ist durch diese Maßnahme direkt nicht zu erwarten. Die Informationsweitergabe dient vorwiegend der Unterstützung weiterer Maßnahmen.

Sekundäre Umwelteffekte: Die sekundären Umwelteffekte entsprechen der Maßnahme „Schulung des Fachpersonals“ (Kapitel 7.2.1.1). Es sind keine negativen Umwelteffekte zu erwarten.

Kosten: Patientenaufklärung ist zeitintensiv und daher ggf. schwer in den medizinischen Alltag zu integrieren (Keil 2008). Hierdurch können indirekte Kosten entstehen. Zur Reduktion des notwendigen Zeitaufwandes sollte die Informationsweitergabe daher durch Informationsmaterial (bspw. Flyer) unterstützt werden.

Zu erwartende Akzeptanz: Eine Akzeptanz seitens des Personals sowie der Patienten ist vor allem dann zu erwarten, wenn die Gesundheitsversorgung sowie der medizinische Alltag nicht negativ von der Maßnahme beeinflusst wird.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Das Aushängen von Informationsplakaten sowie die Auslage von Flyern ist in der Regel gut umsetzbar. Die Patienteninformation durch das medizinische Personal sollte in eine Routine aufgenommen werden, in der kurz darauf hingewiesen wird, dass an dem Klinikum darauf geachtet wird und welche Möglichkeiten zur Verfügung stehen. Außerdem könnten entsprechende Informationen in den sonstigen Informationsmaterialien der Einrichtungen zumindest in kurzer Form mit aufgenommen werden (bspw. in den jeweiligen Internet-Auftritten).

7.2.1.3 Reduktion der Medikation

Beschreibung: Eine Reduktion der Medikation kann neben dem Einsatz nichtmedikamentöser Therapieformen durch eine auf den jeweiligen Patienten personalisierte Verschreibung erfolgen. Insbesondere bei geriatrischen Patienten mit Multimorbidität können Unverträglichkeiten bei Polypharmazie reduziert werden. Zudem können ggf. durch alternative Applikationsformen gleiche Wirkungen bei geringerem Wirkstoffeinsatz und geringeren Ausscheidungsraten erzielt werden. Hierzu muss individuell bestimmt werden, wie viel Wirkstoff bei einer ausreichenden Versorgung notwendig ist (Deffner und Götz 2008). Die Zielgruppe für diese Maßnahme sind vorwiegend Ärzte und Ärztinnen, die über den jeweiligen Einsatz entscheiden.

Wirkung: Das Reduktionspotenzial bspw. des Antibiotikaverbrauchs in Deutschland durch eine Beschränkung der Verschreibung auf die tatsächliche Indikation wird auf ca. 50 Prozent geschätzt (Flöser 2006; Kümmerer, K. 2006). Grundsätzlich hängt die Wirkung der Maßnahme von dem Verständnis ab, das Ärzte und Patienten für eine solche Vorkehrung aufbringen (Verweis auf Kapitel 7.2.1.1 und 7.2.1.2). Es ist jedoch von einer großen Anzahl von Fällen auszugehen, in denen Ärzten kein Spielraum bei der Medikation gegeben ist. Die erfolgreiche Behandlung des Patienten hat in jedem Fall Vorrang.

Sekundäre Umwelteffekte: Es sind keine sekundären Umwelteffekte zu erwarten.

Kosten: Geringe Kosten (Hillenbrand et al. 2015).

Zu erwartende Akzeptanz: Die Medikamentenreduktion auf das Nötigste erfordert die Bereitschaft der Mediziner zu einer veränderten Verschreibungspraxis. Gleichzeitig müssen die Patienten bereit sein, diese anzunehmen (Deffner und Götz 2008). Voraussetzung ist eine breite Aufklärung und Sensibilisierung für das Thema.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Das Umsetzungspotenzial dieser Maßnahme ist in stationären Einrichtungen aufgrund des vorgegebenen Handlungsraums in der Regel geringer als in ambulanten Arztpraxen. Eine Umsetzung kann vermutlich in Teilen sowohl in Löwenstein als auch in Wiesloch erfolgen, beispielsweise bei der Vermeidung potenziell inadäquater Medikation für ältere Menschen. Ein Beispiel für den Bereich Reduktion des Wirkstoffeinsatzes ist die Wahl der Applikationsform im Fall von Diclofenac: Bei dermalen Verabreichung (Auftrag auf die Haut) wird ein Teil des Wirkstoffs später beim Waschen/Duschen ohne Verstoffwechslung im Körper in das Abwassersystem eingetragen (Feldmann 2005). Gleichzeitig ist dieser Einsatz für den Patienten schonender und kann lokal gezielt und nach Bedarf eingesetzt werden. Grundsätzlich sollte das Umsetzungspotenzial an jeder Gesundheitseinrichtung seriös überprüft werden.

7.2.1.4 Nicht medikamentöse Behandlungsformen fördern

Beschreibung: Bei dieser Maßnahme soll der Bedarf an Medikamenten durch gezielte nichtmedikamentöse Krankheitsprävention verringert werden (Deffner und Götz 2008; Keil 2008). Teilweise besteht eine Erwartungshaltung für eine medikamentöse Verschreibung seitens der Patienten (Götz 2012; Keil 2008). Diesen Erwartungen kann entgegengetreten werden, indem ein Arzt gesundheitsfördernde Maßnahmen per Rezept, welches von Krankenkassen akzeptiert wird, verordnen kann (Deffner und Götz 2008).

Wirkung: Der konkrete Effekt dieser Maßnahme kann nicht beziffert werden. Das Potenzial des übergeordneten Aspektes dieser Maßnahme wird vor dem Hintergrund deutlich, dass ein Großteil des Medikamentenkonsums auf Krankheiten zurückgeht, die unmittelbar mit einer ungesunden Lebensweise zusammenhängen (Keil 2008).

In Kliniken können nichtmedikamentöse Therapieformen, wie Physio- oder Psychotherapie zur Heilung beitragen und die medikamentöse Behandlung unterstützen. Medikamentengruppen, wie Zytostatika und Diagnostika, zu denen bspw. RKM gehören, können durch diese Maßnahme vermutlich nicht reduziert werden (Keil 2008).

Sekundäre Umwelteffekte: Es sind keine sekundären Umwelteffekte zu erwarten.

Kosten: Die Verschreibung und Anwendung nicht-medikamentöser Therapieformen, wie zum Beispiel die Physiotherapie, verursacht ebenso wie die Verabreichung von Medikamenten Kosten. Laut Keil (2008) sind aufgrund des langfristigen Beitrags zur Gesundheitsvorsorge eventuelle Mehraufwendungen volkswirtschaftlich vermutlich neutral zu werten.

Akzeptanz: Positivbeispiele aus Schweden bezüglich Verschreibungsanreize von nicht-medikamentösen Therapieformen zeigen, dass der Ansatz sowohl von Ärzten als auch von Patienten angenommen werden kann (Deffner und Götz 2008).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Die Maßnahme zielt primär auf die Krankheitsprävention ab. Die Patienten an den Pilotstandorten sind in der Regel jedoch schon erkrankt, sodass eine Vorsorge zu spät kommt. Nichtsdestotrotz kann die Verschreibung nichtmedikamentöser Behandlungen zukünftige Erkrankungen vorbeugen oder die medikamentöse Behandlung unterstützen. Diese Art der Prävention ist an beiden Standorten denkbar, sofern hierfür die Rahmenbedingungen (bspw. hinsichtlich Verschreibungsanreize) im Gesundheitssystem geschaffen werden.

7.2.1.5 Verwendung alternativer Wirkstoffe

Beschreibung: Das Umweltbundesamt benennt den Bereich der Arzneimittelentwicklung im Rahmen von „Green Pharmacy“ als eine mögliche Maßnahme zur Minderung von Arzneistoffeinträgen in die Umwelt (Ebert et al. 2014) und auch auf europäischer Ebene gibt es klare Empfehlungen für die Entwicklung alternativer „umweltschonender“ Medikamente (bspw. Lyons 2014). Der Hauptfokus bei der Arzneistoffentwicklung besteht auf einer hohen Wirksamkeit bei geringen Nebenwirkungen. Die biologische Abbaubarkeit der Stoffe in der Umwelt spielte bislang nahezu keine Rolle (Keil et al. 2008).

Bereits jetzt können aber bei bestimmten Indikationen umweltproblematische Wirkstoffe durch weniger problematische Stoffe ersetzt werden. Beispiele hierfür sind auf Basis einer eigenen Erhebung

- z. T. bei Bedarf an Entzündungshemmer + Schmerzmittel:
 - Naproxen anstelle von Diclofenac (ggf. Nebenwirkungen berücksichtigen)
 - Ibuprofen + Entzündungshemmer anstelle von Diclofenac
- z. T. bei Infektionen: Cefixim oder ggf. Trimethoprim anstelle von Amoxicillin oder Sulfamethoxazol
- z. T. bei Behandlung von Epilepsie und Schmerzen in Verbindung mit Trigeminusneuralgie: Lamotrigine oder Gabapentin anstelle von Carbamazepin

Bei einer Hormontherapie und bei Infektionen kann geprüft werden, ob die gewünschte Wirkung mit einem alternativen Wirkstoff erreicht werden kann. Beispiele hierfür sind

- z. T. bei Hormontherapie: Noretynodrel anstelle von Estradiol
- z. T. bei Infektionen: Erythromycin anstelle von Amoxicillin
- z. T. bei Bedarf an Entzündungshemmer + Schmerzmittel: Ibuprofen + Entzündungshemmer anstelle von Diclofenac

Grundsätzlich können alternative Wirkstoffe eingesetzt werden, sofern die damit bewirkten spezifischen Effekte ausreichen (bspw. bei Bedarf an Schmerzmittel: Ibuprofen anstelle von Diclofenac). Auch innerhalb der RKM gibt es bspw. Wirkstoffe, die weniger gut abbaubar und durch besser abbaubare Produkte substituierbar sind.

Wirkung: Durch die Verwendung eines alternativen Wirkstoffes können die Emissionen eines umweltproblematischen Stoffes reduziert werden. Von den Substituten können allerdings ebenfalls Umweltwirkungen ausgehen.

Sekundäre Umwelteffekte: Auch die Substitute können ungewollte Umweltwirkungen haben, die zu berücksichtigen sind.

Kosten: Die Kosten sind nicht durch die Maßnahme determiniert, sondern abhängig von den Kosten der Substitute bzw. deren Entwicklung. Dementsprechend kann es sowohl zu Mehrkosten als auch zu Einsparungen kommen.

Akzeptanz: Wichtig ist eine Information über Umweltrelevanz der einzelnen Stoffe, damit entsprechende Entscheidungen getroffen werden können. Hierbei können Umweltinformationssysteme oder Umweltklassifikationssysteme unterstützend wirken.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Unter der Voraussetzung einer Umsetzung der Maßnahmen Schulung des Fachpersonals (7.2.1.1) sowie Umsetzung eines Umweltklassifikationssystems (7.2.4.2) ist eine Umsetzung grundsätzlich denkbar.

7.2.2 Technische dezentrale Maßnahmen: Sammlung und Erfassung

Zu den dezentralen technischen Maßnahmen zur Emissionsminderung gehören die Abwasserteilstromerfassung, die dezentrale Sammlung und anschließend fachgerechte Entsorgung über Urin-Sammelbehälter und Sammelsysteme für Restbestände von Arzneimitteln.

7.2.2.1 Abwasserteilstromerfassung

Die Abwasserteilstromerfassung zielt darauf ab, stark belastete Teilabwasserströme zu separieren und zu sammeln, um sie anschließend einer sachgemäßen Entsorgung bzw. Behandlung zuführen zu können. Nachfolgend werden drei Verfahren der Teilstromerfassung näher betrachtet.

7.2.2.1.1 Vakuumtoilette

Beschreibung: Der maßgebliche Unterschied zwischen einer herkömmlichen Toilette und einer Vakuumtoilette ist, dass bei der Vakuumtoilette Luft statt Wasser als Transportmittel genutzt wird. Lediglich eine relativ kleine Spülwassermenge (~ ein Liter) wird benötigt. Eine zentral platzierte Vakuumstation erzeugt den notwendigen Unterdruck im System. Die Luft wird im System angesaugt und nimmt die „Abwasserpfropfen“ mit. Das auf diese Weise volumenreduzierte, belastete Abwasser kann bspw. zentral gesammelt

und entsorgt werden. In Krankenhäusern können über dieses System mit Arzneistoffen belastete Abwasserteilströme separat erfasst und gezielt behandelt bzw. entsorgt werden.²⁹

Wirkung: Der Einsatz von Vakuumtoiletten reduziert keine Arzneistoffeinträge. Mittels Vakuumtoiletten kann aber ein stark belasteter Abwasserteilstrom (Schwarzwasser) gezielt und gering verdünnt erfasst und einer Behandlung zugeführt werden. Aufgrund der geringeren Volumina können hierbei kleinere Behandlungsanlagen zum Einsatz kommen, als bei einer Vollstrombehandlung.

Sekundäre Umwelteffekte: Für den Betrieb von Vakuumtoiletten wird Energie benötigt. Sofern das hochkonzentrierte Schwarzwasser einer Vergärung zugeführt wird, könnte der Energiebedarf durch Biogasproduktion teilweise kompensiert werden.

Kosten: Jahreskosten über einen Abschreibungszeitraum von 50 Jahren werden von Oldenburg (2007) mit € 18 pro Vakuumtoilette angegeben. Hinzu kommen Jahreskosten für Vakuumleitungen im Bereich von € 33 bis 93 pro Gebäude (Hillenbrand 2009) und Jahreskosten für eine Vakuumstation für eine Klinik in Höhe von € 3.333 pro Anlage (Oldenburg 2007).

Zu erwartende Akzeptanz: Bisher hat keine Untersuchung zur Akzeptanz für Vakuumtoiletten im medizinischen Kontext stattgefunden (Teschner 2015). Sind die Vakuumtoiletten allerdings in Krankenhäusern etabliert, ist davon auszugehen, dass sie von den Patienten akzeptiert werden, da es bei der Verwendung keinen Unterschied zu herkömmlichen Toiletten gibt. Vakuumtoiletten stellen in Zügen und Flugzeug eine etablierte und akzeptierte Technik dar.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Für den Einsatz von Vakuumtoiletten muss das bestehende Abwassersystem mit einem Vakuumsystem ersetzt bzw. ergänzt werden. Demzufolge müssten an beiden Standorten erhebliche bauliche Veränderungen vorgenommen werden, was die Umsetzbarkeit der Maßnahme einschränkt. Insbesondere in Löwenstein, wo es bereits eine Klinikkläranlage gibt, stellt sich die Frage nach dem Sinn eines zweiten Systems. Aufgrund der baulichen Maßnahmen, die bei dem Einsatz von

²⁹ Ähnliche Systeme stellen die Trenntoilette sowie die Verbrennungstoilette dar. Bei ersterer können Urin und Fäzes getrennt erfasst und behandelt werden. Dies kann durch gezielte Behandlung zu einem guten Eliminationsergebnis führen; jedoch ergibt sich aus der getrennten Teilstrombehandlung ein höherer Aufwand. In einer Verbrennungstoilette werden alle menschlichen Ausscheidungen direkt verbrannt und in Asche sowie gasförmige Emissionen umgewandelt. Folglich ist kein Anschluss zum Abwassernetz nötig; es muss aber ein sicheres Entsorgungssystem für Abgas und Asche bereitgestellt werden. Diese zwei Systeme werden an dieser Stelle jedoch nicht im Detail erläutert. Weitere Informationen geben Londong 2009; Teschner 2015; Seidel et al. 2013 und die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins 2010.

Vakuumtoiletten vorgenommen werden müssen, ist das System besser für Neubauten oder für Sanierungsphasen von bestehenden Gebäuden geeignet.

7.2.2.1.2 Urinbeutel

Beschreibung: Im Mittel werden 64 Prozent der nicht vom Körper absorbierten Arzneistoff über den Urin ausgeschieden (Larsen und Lienert 2007). Somit kann über eine Sammlung des Urins mittels Urinbeuteln, kombiniert mit einer entsprechenden sachgerechten Entsorgung, ein erheblicher Anteil der Arzneistoffausscheidungen erfasst werden. Diese Maßnahme kann insbesondere für punktuelle Arzneimittelverabreichungen relevant sein, zu denen der Einsatz von Diagnostika, wie RKM, welche zu 90 bis 100 Prozent über den Urin ausgeschieden werden (Larsen und Lienert 2007), zählt. Die Kontrastmittel werden nur für eine konkrete Behandlung bzw. Untersuchung eingenommen und zum Großteil innerhalb von 24 Stunden wieder ausgeschieden (Niederste-Hollenberg et al. 2016b).

Wirkung: Der Anteil der Arzneistoffe, welcher über die Fäzes ausgeschieden wird, wird bei der Nutzung von Urinbeuteln nicht erfasst. Aus diesem Grund ist die Maßnahme ausschließlich für die Substanzen wirksam, die zu großen Teilen über den Urin ausgeschieden werden und die nur über einen sehr begrenzten Zeitraum verabreicht werden. Bei der Eintragsminderung von RKM kann die Wirksamkeit hoch sein, sofern ein Großteil der betreffenden Patienten für bis zu 24 Stunden Urinbeutel verwenden. Ergebnisse des Projektes MindER³⁰ haben gezeigt, dass die Nutzung von Urinbeuteln aufgrund körperlicher oder mentaler Verfassung etc. bei etwa 60 bis 70 Prozent aller Patienten potenziell möglich ist. Als Ergebnis der Studie MindER kann davon ausgegangen werden, dass mit einer solchen Maßnahme etwa 20-25 Prozent der RKM-Patienten erreicht werden können (Niederste-Hollenberg et al. 2016a).

Sekundäre Umwelteffekte: Aufgrund der Entsorgung von Urinbeuteln entsteht eine erhöhte Abfallmenge, die verbrannt werden muss.

Kosten: Neben den Kosten für die Urinbeutel (etwa 6 Stück./Patient) entstehen auch erhöhte Abfallentsorgungskosten. Im Rahmen einer Pilotstudie (Niederste-Hollenberg et al. 2016b) lagen die Kosten pro Urinbeutel bei 1,16 €. Das kann sich bei der Abnahme großer Mengen oder in Zusammenarbeit mit Herstellern ggf. verringern.

Zu erwartende Akzeptanz:

Die Ergebnisse aus dem Pilotprojekt MindER lassen erwarten, dass man mit dieser Maßnahme etwa 20-25 % der Patienten erreichen kann. Sie weisen außerdem darauf hin, dass eine einfache Umsetzbarkeit der Maßnahme aus Sicht der Patienten sowie des Per-

³⁰ Pilotprojekt zur Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln in die Umwelt (MindER); <http://www.minder-rkm.de>.

sonals eine wichtige Voraussetzung ist. Zentral erscheinen aber auch eine gute Information und Kommunikation, um Nutzen und Effektivität einer solchen Maßnahme erfolgreich zu vermitteln. Für die Bereitschaft der Patienten scheint es nicht zuletzt relevant, dass das Personal die Maßnahme unterstützt und als Norm kommuniziert. Für beide Gruppen sind die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und die Erwartung des Arztes/der Ärztin von Bedeutung. Das ist möglicherweise ein Hinweis darauf, dass außerhalb einer Studie, bei weniger wahrgenommener Freiwilligkeit und größerer Selbstverständlichkeit, die Teilnahmebereitschaft deutlich gesteigert werden kann. (Niederste-Hollenberg et al. 2017).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Theoretisch ist die Nutzung von Urinbeuteln an beiden Standorten umsetzbar. An dieser Stelle sollten die Ergebnisse der Studie MindER beachtet werden. Hier hat das Personal bewusst keine stationären Patienten angesprochen, da die Maßnahme für diese zu schwierig umzusetzen zu sein schien. Dennoch befürworten zwischen 40 und 50 Prozent des befragten Personals eine Umsetzung der Maßnahme für stationäre Patienten (Niederste-Hollenberg et al. 2017). Folglich ist für den Erfolg der Maßnahme die Integration dieser in den medizinischen Arbeitsalltag essenziell. So müsste das Verteilen der Urinbeutel an den Pilotstandorten in den organisatorisch-logistischen Alltag des Pflegepersonals integriert werden, ohne dass es zu einem großen Zusatzaufwand kommt.

7.2.2.1.3 Hightech-Nachttopf Rollac 1.0

Beschreibung: Die in der Schweiz für Krankenhäuser entwickelte Toilette auf Rädern ist seit Herbst des Jahres 2015 auf dem Markt erhältlich. Sie wurde zur Erfassung von mit Arzneistoffen belasteten Fäkalien entwickelt, sodass diese nicht in den Abwasserstrom des Krankenhauses gelangen. In der wasserlosen mobilen Toilette (vgl. Abbildung 29) werden die Fäkalien in einem Kunststoffbeutel aufgefangen, der direkt verschweißt wird und somit keinen Geruch absondert. Anschließend kann der Beutel entnommen und einer Verbrennung zugeführt werden (Meuli 2016).



Abbildung 29: Die mobile wasserlose Toilette Rollac 1.0 (LIFTAC o. J.)

Wirkung: Benutzen alle Patienten, die medikamentös behandelt werden, diese wasserlose Toilette, ist eine hohe Wirksamkeit zu erwarten.

Sekundäre Umwelteffekte: Genau wie bei den Urinbeuteln entsteht mit dieser Maßnahme ein erhöhtes Abfallaufkommen. Zusätzlich besteht ein geringer Energiebedarf.

Kosten: Der Rollac 1.0 kann käuflich erworben oder gemietet werden. Bei einer Vermietung bietet der Hersteller zwei Varianten an: eine sporadische Vermietung sowie eine pay-per-use-Vermietung. Bei letzterer wird das Gerät inklusive aller Verbrauchsmaterialien zur Verfügung gestellt und pro Nutzung eine zuvor vereinbarte Gebühr in Rechnung gestellt (CLOsac AG o. J.a). Zuzüglich zu den Anschaffungskosten fallen Stromkosten je nach Gebrauch des Rollac 1.0 an. Laut Hersteller variieren die Kosten je nach Häufigkeit der Benutzung. Die Gesamtkosten seien jedoch mit denen einer heutigen Toilette vergleichbar (CLOsac AG o. J.b). Kosten für Kauf oder Anmietung des Rollac 1.0 konnten nicht ermittelt werden.

Zu erwartende Akzeptanz: Die Entwickler der mobilen wasserlosen Toilette haben bereits ihren Prototyp im Krankenhaus getestet. Sowohl von den Patienten als auch vom Krankenhauspersonal war demnach die Resonanz positiv. Dies war zurückzuführen auf Hygieneverbesserungen, Patientenkomfort sowie vorteilige Arbeitsabläufe des Personals (Meuli 2016).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Dadurch, dass der Rollac 1.0 zum Betrieb lediglich einen Stromanschluss benötigt, ist eine Nutzung an beiden Standorten möglich. Insbesondere bei immobilen Patienten kann der Hightech-Nachtopf erhebliche Vorteile bringen, da er direkt an das Bett gefahren werden kann. So kann er die herkömmlichen Steckbecken in vielen Fällen ersetzen (CLOsac AG o. J.c). Vermutlich ist dies insbesondere für die Klinik Löwenstein sowie das zugehörige Seniorenheim relevant. Da im PZN vorwiegend psychische Erkrankungen behandelt werden, ist nicht davon auszugehen,

dass viele Patienten immobil sind. Des Weiteren ist das PZN mit über 700 Betten eine große Einrichtung, bei der ein flächendeckender Einsatz des Rollac 1.0 logistisch schwierig sein kann. Gleichzeitig besitzt der Rollac 1.0 hier ein Potenzial. Er könnte bei Bedarf einer Abwasserteilerfassung dienen, z. B. bei sporadischem Medikamenteneinsatz auf bestimmten Stationen.

7.2.2.2 Sachgemäße Entsorgung nicht verabreichter Arzneimittel

Beschreibung: „Repräsentative Befragungen in Deutschland zeigen [...], dass viele Menschen Alt- oder unverbrauchte Humanarzneimittel in signifikantem Umfang unsachgemäß über Toilette oder Ausguss entsorgen“ (Dieter et al. 2010). Eine Untersuchung von Götz et al. (2014) zeigt, dass Tabletten von 20 Prozent der Bevölkerung (zumindest gelegentlich) über das Abwasser entsorgt werden. Flüssige Arzneimittel werden sogar von 47 Prozent der Bevölkerung mehr oder weniger häufig über den Ausguss oder die Toilette in die Kanalisation entsorgt (Götz et al. 2014). In der Regel verfügen Gesundheitseinrichtungen über ein Rückgabesystem für ungenutzte Arzneimittel an die Klinik-Apotheken, sodass keine Arzneimittel im Krankenhaus entsorgt werden. Dies ist auch an den Pilotstandorten der Fall. Dennoch hat sich beispielsweise in dem Projekt MindER³⁰ gezeigt, dass auch in Krankenhäusern täglich Reste von flüssigen RKM entstehen, die im Sinne der hier kontraproduktiven Mülltrennung (separate Sammlung der Behältnisse aus Glas oder Kunststoff) zum Teil über das Abwasser entsorgt werden (Niederste-Hollenberg et al. 2016b). Dieser Entsorgungsweg wird nach Aussage von PZN (2017b) auch bei weiteren flüssigen Arzneimitteln genutzt, sodass hier ein Handlungsbedarf in Form von Information und Schulung entsteht.

In Gesundheitseinrichtungen kann insbesondere für flüssige Arzneistoffrestmengen eine sachgemäße Entsorgung durch gekennzeichnete und ggf. angepasste Sammelbehälter sichergestellt werden, die dort aufgestellt werden, wo Arzneimittelreste entstehen. Darüber hinaus muss eine Leerung der Sammelbehälter sowie eine sachgemäße Entsorgung der Restarzneimittel organisiert werden.

Wirkung: Anders als Arzneistoffe, die über menschliche Ausscheidungen in das Abwasser gelangen, kann der Eintrag von unsachgemäß entsorgten Arzneimitteln, auch wenn er verglichen mit dem Gesamteintrag vermutlich gering ist, vollständig vermieden werden.

Sekundäre Umwelteffekte: Es sind keine sekundären Umwelteffekte zu erwarten.

Kosten: Für eine sachgemäße Entsorgung in Krankenhäusern mit Hilfe von Sammelbehältern entstehen Kosten für die Anschaffung sowie Auszeichnung. Außerdem muss die regelmäßige Leerung sowie Instandhaltung organisiert werden. Erfolgt eine Entsorgung der gesammelten Arzneimittelreste über den Restmüll (nur bei Verbrennung des Restmülls sinnvoll), kann der Betrieb der Sammelbehälter mit dem Betrieb des übrigen Restmülls organisiert werden.

Zu erwartende Akzeptanz: Die Einführung eines einheitlichen Entsorgungssystems muss einhergehen mit Information und Aufklärung. Untersuchungen haben gezeigt, dass

die Entsorgung über den Restmüll intuitiv als nicht verantwortungsvolle Entsorgung verstanden wird (Pinnekamp et al. 2015a). Es ist zu erwarten, dass in Gesundheitseinrichtungen zentrale Sammelbehälter für Restarzneimittel auf jeder Station diese Kontraintuition verringern.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: An den Pilotstandorten Löwenstein und Wiesloch bestehen Rücknahmesysteme über die Klinik-Apotheken. Für den (vermutlich kleinen) Anteil an flüssigen Arzneistoffen, die gegenwärtig möglicherweise über das Abwassersystem entsorgt werden, können – begleitet mit informatorischen Maßnahmen – mit geringem Aufwand über zusätzliche Sammelbehälter diese Restmengen ebenfalls erfasst werden.

7.2.3 Technische dezentrale Maßnahmen: Behandlung

Für die Reduktion der Umwelteinträge von Humanarzneistoffen stehen Verfahren der weitergehenden Abwasserbehandlung für eine dezentrale Behandlung von Abwässern aus Gesundheitseinrichtungen zur Verfügung. Die i. d. R. angewendeten Verfahren, wie Membranverfahren, Ozonung, Aktivkohlebehandlung haben eine Breitbandwirkung auf verschiedene Mikroschadstoffe, die im Krankenhausabwasser in höheren Konzentrationen vorliegen als auf der zentralen Kläranlage, wo sie durch kommunales Abwasser verdünnt werden. Neben einer Vollstrombehandlung ist auch eine dezentrale Teilstrombehandlung bei Gesundheitseinrichtungen vorstellbar, kombiniert mit einer Ableitung von geringer belasteten Abwasserströmen in das kommunale System. Beispiele für eine dezentrale Behandlung von Krankenhausabwässern existieren in Deutschland, den Niederlande, Dänemark und der Schweiz:

- Marienhospital Gelsenkirchen (MBR+O₃+AK)
- Kreiskrankenhaus Waldbröl (MBR+O₃)
- Kantonspital Winterthur, Schweiz (MBR+O₃+AK)
- Zwolle, Niederlande (MBR+AK+UV+H₂O₂ oder O₃)
- Krankenhaus Reinier de Graaf Delft, Niederlande (Pharmafilterverfahren)
- Herlev Hospital Kopenhagen, Dänemark (MBR+O₃+AK+UV)

In Tabelle 24 sind Kostendaten zu den verschiedenen Anlagen mit den unterschiedlichen Verfahrenstechniken zusammengestellt. Eine Machbarkeitsstudie zur dezentralen Behandlung der Abwasserströme wurde für das ReAs-Projekt von der Sweco GmbH durchgeführt.

Tabelle 24: (Spezifische) Jahreskosten vorhandener Anlagen zur Spurenstoffelimination in Krankenhäusern nach Seidel et al. (2013)

	Deutschland		Schweiz		Niederlande	
	Kreis- kranken- haus Waldbröl MBR+O3	Marien- hospital Gelsen- kirchen MBR + O3+PAK	Kan- tonsspit- al Liesetal O3+PAK	Kanton- spital Winter- tuhr MBR+O3 +PAK	Zwolle MBR+GAK+U V+H2O2 oder O3	Reinier de Graaf Klinik Pharmafilter (MBR + O3 + PAK + Fermenter
Jahreskosten [€/a]	162.217	236.376	505.652	320.121	303.827	305.650
Spez. Jahreskosten je m ³ behandeltes Abwasser [€/m ³ *a]	4,06	3,24	8,40	2,33	3,47	5,09
Spez. Jahreskosten je Bett [€/Bett*a]	477,11	407,55	1.267,3 0	584,16	282,37	346,94
Spez. Jahreskosten je Fallzahl [€/Fallzahl*a]	12,01	9,12	33,71	20,66	7,60	10,82

Das Bewertungskriterium „zu erwartende Akzeptanz“ ist in diesem Kapitel nicht explizit zu jeder Maßnahme aufgeführt. Da eine erweiterte Spurenstoffelimination keinen Einfluss auf den Klinikalltag hat, hat die Akzeptanz seitens des Fachpersonals oder der Patienten keine Relevanz. Wenn es um Kläranlagenausbauten oder -neubauten geht, ist jedoch die Akzeptanz auf politischer Ebene von Bedeutung. In Deutschland ist beispielsweise der Ausbau relevanter Kläranlagen mit einer erweiterten Spurenstoffelimination in der Diskussion. In Baden-Württemberg und in Nordrhein-Westfalen, aber auch in Dänemark und in der Schweiz wird dies bereits vorangetrieben. Um einen Eintrag von Spurenstoffen signifikant zu verringern, gab das Bundesamt für Umwelt in der Schweiz (BAFU) bereits 2009 bekannt, 100 kommunale Kläranlagen mit spurenstoffentfernenden Techniken aufzurüsten (Böhler et al. 2011). In Dänemark wird eine Gesundheitseinrichtung unter bestimmten Umständen (siehe unten) als prioritäre Punktquelle angesehen, weshalb Maßnahmen für eine Emissionsminderung getroffen werden müssen (Nielsen 2014).

7.2.3.1 Membranverfahren

Beschreibung: Das Membranverfahren ist eine physikalische Methode der Abwasserbehandlung. Bei der Behandlung von Wasser und Abwasser werden Membranverfahren meist in Kombination mit einem biologischen Reaktor eingesetzt und entsprechend Membranbioreaktor (MBR) genannt. Zum Einsatz kommen hier in der Regel eine Mikro- oder Ultrafiltration (Pinnekamp et al. 2009a).

Für die Entfernung von Spurenstoffen eignen sich die Verfahren Nanofiltration (NF) sowie Umkehrosmose (UO) aufgrund ihrer geringen Porengrößen. Die transmembrane Druckdifferenz, welche aufgebracht werden muss, damit ein Permeat den Widerstand der Membran überwinden kann, nimmt mit abnehmender Porengröße zu. Das gleiche gilt entsprechend für den Energieaufwand (Miehe 2010). Im Gegensatz zur Mikro- sowie Ultrafiltration wird bei NF und UO ein künstlicher Druckaufbau benötigt.

Wirkung: Viele Stoffe können mit der NF bis zu 70 Prozent oder mehr zurückgehalten werden. Wenige Stoffe, wie beispielsweise *Carbamazepin* werden jedoch nur bedingt zurückgehalten (Miehe 2010). In der UO werden Spurenstoffe fast vollständig zurückgehalten, sodass die Wirkung dieser Methode als hoch eingestuft werden kann (Mulder et al. 2012; Snyder et al. 2007).

Kombinationen der Umkehrosmose mit Nanofiltration und/oder weiteren Filtrationsverfahren bzw. Adsorptionsprozessen zeigten bei bestimmten Substanzen gute bis sehr gute Eliminationsleistungen. Eine sehr sorgfältige Verfahrensführung ist notwendig, so dass es nicht zu unkontrollierten Desorptionseffekten und/oder Durchbrüchen kommen kann (Schröder 2004).

Sekundäre Umwelteffekte: Bei den für die Spurenstoffelimination wirksamen Membranverfahren NF sowie UO entsteht ein hoher Energieaufwand (Hillenbrand et al. 2014b; Miehe 2010). Als positiver Sekundäreffekt ist die Elimination anderer Spurenstoffe anzuführen.

Kosten: In der kommunalen Abwasserreinigung spielt die Membranreinigung mit NF und UO bisher keine bedeutende Rolle (Hillenbrand et al. 2014b; Pinnekamp et al. 2009a). Durch den hohen Energie- und Betriebsaufwand ist bei dieser Maßnahme mit vergleichsweise hohen Kosten zu rechnen. Durch Optimierung, technologischen Fortschritt sowie sinkende Produktionspreise gewinnt die Membrantechnologie jedoch an Wirtschaftlichkeit (Pinnekamp et al. 2009a).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Für eine Abwasserreinigung mittels Membranverfahren ist eine wirkungsvolle Vorbehandlung unabdingbar (Abegglen und Siegrist 2012). Eine Behandlung des Abwassers des PZNs bevor es zur kommunalen Kläranlage geleitet wird ist entsprechend nicht möglich. Laut Hillenbrand et al. (2014b) ist das Membranverfahren mit NF oder UO in kommunalen Kläranlagen „aufgrund mangelnder Betriebserfahrungen, der Entsorgungsproblematik des anfallenden Konzentrats sowie des hohen Energiebedarfs für den Betrieb der Verfahrenstechniken derzeit als nicht geeignet einzustufen“. In Löwenstein wäre eine Aufrüstung der Klinikkläranlage mit einer Spurenstoffelimination durch Membranbehandlung technisch denkbar. Die UO wäre hierbei aufgrund des höheren Eliminierungsgrades der NF vorzuziehen. Eine sorgfältige Kostenabschätzung und ein Vergleich mit alternativen Ansätzen sind jedoch unabdingbar.

7.2.3.2 Aktivkohle

Beschreibung: In der Abwasserreinigung werden zwei Verfahren der Aktivkohlereinigung eingesetzt: Granulierte Aktivkohle (GAK) und Pulveraktivkohle (PAK). Beides sind adsorptive Verfahren. Die GAK wird als Filter eingesetzt, durch welchen das vorgereinigte Abwasser strömt. Dabei werden u. a. Spurenstoffe von der Aktivkohle adsorbiert. Die PAK wird dem zu reinigenden Wasser beigemischt. Es entsteht ein Gemisch aus Flüssig- und Feststoffen, welches anschließend wieder getrennt wird. Aktivkohle besitzt eine limitierte Beladepazität. Ist diese erreicht, muss die Aktivkohle erneuert oder regeneriert werden.

Wirkung: Die Elimination von Spurenstoffen wird zum einen von der Adsorbierbarkeit des Stoffes determiniert. So konnten in verschiedenen Versuchen stark abweichende Reinigungsleistungen der Aktivkohle für die unterschiedlichen Arzneistoffe festgestellt werden (Miehe 2010; Snyder et al. 2007). Zum anderen wird die Spurenstoffelimination „von verschiedenen Faktoren beeinflusst: u. a. Dauer der Kontaktzeit, Art bzw. Menge der Aktivkohle, Turbulenz im Kontaktreaktor (bei dem Einsatz von PAK) und der DOC-Gehalt des zu behandelnden Wassers“ (Miehe 2010). Aktivkohle findet sowohl im Bereich der Trinkwasser- als auch der Abwasserbehandlung Anwendung, wobei bei der Abwasserbehandlung hauptsächlich PAK zum Einsatz kommt (Miehe 2010; Pinnekamp et al. 2009a). Aufgrund einer höheren DOC-Hintergrundkonzentration, welche aufgrund einer Konkurrenz an Adsorptionsplätzen zu einer verminderten Elimination der Spurenstoffe führt, muss bei der Abwasserbehandlung eine höhere Aktivkohledosierung verwendet werden (Miehe 2010).

Sekundäre Umwelteffekte: Aktivkohle muss entsorgt (deponiert) oder regeneriert werden, wobei letzteres energieintensiv ist (Snyder et al. 2007). Mit dieser Maßnahme können nicht nur Arzneimittel, sondern auch weitere Mikroschadstoffe eliminiert werden.

Kosten: Die Mehrkosten für eine effektive Abwasserbehandlung mit PAK belaufen sich laut Abegglen und Siegrist (2012) auf 10 bis 30 Prozent der Gesamtkosten. Aus Untersuchungen zu spezifischen Kosten für die Spurenstoffelimination mit Ozon und Aktivkohle von Hillenbrand et al. (2016) wird deutlich, dass die Kosten stark je nach Ausbaugröße der Kläranlage variieren. Aufgrund von unzureichenden Daten wurden von Hillenbrand et al. (2016) keine Kosten für Kläranlagen mit einer Bemessungsgröße < 5.000 EW angegeben. Durch eine Extrapolation können diese für Löwenstein (1.100 EW) auf $0,19 \text{ €/m}^3$ geschätzt werden. Hinzu kommen Kosten für eine Nachbehandlung, die sich zumindest bei größeren Anlagen in etwa auf demselben Niveau bewegen (Hillenbrand et al. 2016).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Auch für die Behandlung von Abwasser mit Aktivkohle muss dieses zuvor ausreichend gereinigt sein, da die Aktivkohle neben den Spurenstoffen ebenfalls andere organische Substanzen absorbiert (Abegglen und Siegrist 2012). Daher ist der Einsatz dieser Maßnahme ohne die Installation einer klinikeigenen Kläranlage zur Abwasservorbehandlung in Wiesloch nicht realisierbar. Am Standort Löwenstein könnte eine Aktivkohlebehandlung für die Spurenstoffelimination in die klinikeigene Abwasserbehandlung integriert werden.

7.2.3.3 Ozonung

Beschreibung: Die Wasserreinigung mittels Ozon ist ein oxidatives Verfahren, bei dem Abwasser das Oxidationsmittel Ozon, beigemischt wird (Hillenbrand et al. 2014b; Pinnekamp et al. 2009a). Die Oxidation kann direkt durch das Ozonmolekül ausgelöst werden oder durch stark reaktive Hydroxylradikale, die durch die Spaltung von Ozon entstehen. Bei der Oxidation können reaktive Produkte entstehen, weshalb eine nachgeschaltete Eliminationsstufe, zum Beispiel ein Sandfilter, installiert werden sollte (Abegglen und Siegrist 2012)

Wirkung: Die Höhe der Eliminationsrate je Substanz wird im Wesentlichen von der Dosiermenge des Ozons, den jeweiligen Stoffeigenschaften sowie der gelösten Restorganik des Abwassers bestimmt. Die Effektivität der Maßnahme ist generell als positiv zu bewerten, „da diese Verfahrenstechnologie relativ einfach und effizient an örtliche Randbedingungen angepasst werden kann“ (Pinnekamp et al. 2009a). Dies ist insbesondere bei der Reinigung von stark belasteten Abwasserströmen, zum Beispiel aus Krankenhäusern, nützlich (Pinnekamp et al. 2009a). Laut Abegglen und Siegrist (2012) kann durch Ozonung für viele Mikroverunreinigungen eine Elimination von 80 Prozent oder mehr bewirkt werden.

Sekundäre Umwelteffekte: Durch eine Ozonung können außer Arzneistoffen auch weitere Spurenstoffe sowie weitere organische und anorganische Verbindungen (z. B. DOC und Nitrit) aus dem Abwasser eliminiert werden (Abegglen und Siegrist 2012; Hillenbrand et al. 2014b). Bei der Ozonung können aber auch Oxidationsprodukte entstehen, deren Eigenschaften und Toxizität u. U. nicht bekannt sind (Hillenbrand et al. 2014b).

Kosten: Laut Abegglen und Siegrist (2012) steigern sich die Kosten für den Betrieb einer Kläranlage um 10 bis 20 Prozent durch eine Nachklärung mittels Ozon. Auswertungen von Hillenbrand et al. (2016) für größere kommunale Kläranlagen verorten die Kosten in der gleichen Größenordnung wie die Kosten der Aktivkohlebehandlung.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Um den Ozonverbrauch und damit auch die Betriebskosten zu minimieren, empfiehlt sich ein Einsatz der Ozonung nach der biologischen Reinigungsstufe. Somit besteht in Löwenstein die Möglichkeit, eine Ozonungsanlage als zusätzliche Reinigungsstufe zu installieren. Ohne eigene Klinikkläranlage, wie in Wiesloch, würde eine Ozonung des Abwassers vor Einleitung in die kommunale Kläranlage zu einem ineffizient hohen Ozonverbrauch und zur Entstehung ungewollter Nebenprodukte führen. Somit ist die Maßnahme für den Klinikstandort Wiesloch unter den gegebenen Umständen nicht empfehlenswert.

7.2.3.4 Erweiterte Oxidation mit H₂O₂ und UV-Bestrahlung

Beschreibung: Erweiterte Oxidationsverfahren (Advance Oxidation Process, AOP) können mit verschiedenen Oxidantien durchgeführt werden. Exemplarisch wird in diesem Kapitel die Methode der Oxidation mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und UV-Bestrahlung beschrieben. Mittels UV-Bestrahlung können H₂O₂-Moleküle gespalten werden. Es ent-

stehen stark reaktive Hydroxylradikale, welche die Oxidation der Abwasserinhaltsstoffe hervorrufen (Bastian et al. 2015).

Wirkung: Für den photochemischen Abbau der H_2O_2 -Moleküle zu Hydroxylradikalen bestehen Optimalwerte für die H_2O_2 -Konzentration sowie für die Lichtintensität (Bastian et al. 2015). Für eine optimale Wirkung der Maßnahme sollen diese berücksichtigt werden. Die Wirksamkeit des Verfahrens hängt außerdem von der zu eliminierenden Substanz ab. So gibt es für verschiedene Arzneistoffe in der Literatur unterschiedliche Eliminationsraten (Pinnekamp et al. 2012, 2015c). In einer Untersuchung von fünf Arzneistoffen³¹ konnte keine dieser Substanzen zu mehr als 90 Prozent eliminiert werden (Pinnekamp et al. 2015c).

Sekundäre Umwelteffekte: Neben einer Elimination von Arzneistoffen findet eine Entfernung anderer Mikroschadstoffe sowie eine Desinfektion durch die UV-Bestrahlung statt (Pinnekamp et al. 2012).

Kosten: Abegglen und Siegrist (2012) gehen von höheren Kosten für AOP-Verfahren aus als für die Ozonung sowie die Aktivkohlebehandlung.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: In der Klinikkläranlage Löwenstein ist bereits eine Reinigung mit UV-Strahlung implementiert.³² Möglicherweise ist eine Aufrüstung der bisherigen Anlage zur weitergehenden Spurenstoffelimination umsetzbar. Eine genauere Betrachtung der gegenwärtigen Anlage sowie des Platzangebotes wären dazu notwendig. Die erweiterte Oxidation mittels UV-Strahlung und H_2O_2 ist für den Standort PZN ohne eine Vorbehandlung des Abwassers nicht effizient (s. o.).

7.2.3.5 Pharmafilter

Beschreibung: Der Pharmafilter ist ein Abwasserreinigungssystem (siehe Abbildung 30 Anhang 12.9), welches speziell für mit Pharmarückständen belastete Abwasserströme aus Gesundheitseinrichtungen entwickelt wurde. Ein Pilotversuch wurde im Reinier de Graaf Krankenhaus in Delft, Niederlande, durchgeführt.

Der erste Verfahrensschritt des Pharmafilters ist ein Schredder, in dem sowohl das Krankenhausabwasser als auch Essensreste sowie kompostierbare Einmalprodukte (zum Beispiel Bettpfannen) zerkleinert werden. Im darauffolgenden Schritt werden die Feststoffe von den flüssigen Bestandteilen getrennt. Erstere werden in einen Faulbehälter geleitet, wo ein anaerober Abbau stattfindet. Durch diesen Prozess entsteht Biogas, aus dem ein

³¹ Folgende Arzneimittel wurden mittels UV-Bestrahlung und H_2O_2 eliminiert: *Carbamazepin*, *Diclofenac*, *Metoprolol*, *Sulfamethoxazol* sowie *Amidotrizoesäure*.

³² Diese UV-Behandlung dient der Desinfektion des Abwassers, sodass beispielsweise Keime abgetötet werden. Eine effektive Spurenstoffelimination findet jedoch nicht statt.

Teil der Energie für den Betrieb der Anlage gewonnen wird. Der flüssige Teil des Abwassers passiert ein Sieb, bevor er in einem MBR gereinigt wird. Anschließend findet eine weitere Reinigung durch eine Ozonung sowie Aktivkohle statt, damit alle Arzneistoffe sowie deren Metabolite und Transformationsprodukte eliminiert werden (Batelaan et al. 2013).

Eine externe Behandlung der anfallenden organischen Abfälle ist bislang nicht vorgesehen. Die Vergärung der im Krankenhaus anfallenden und möglicherweise kontaminierten Einwegprodukte sollte unter thermophilen Bedingungen (55-60°C) mit einer anschließenden Dekontaminierung erfolgen.

Wirkung: Nach einer Abwasserreinigung mit MBR, Ozonung und Aktivkohle konnten 100 getestete Arzneistoffe nicht mehr nachgewiesen werden (Batelaan et al. 2013). Die Wirksamkeit des Pharmafilters zur Elimination von Arzneistoffen aus dem Abwasser ist folglich als hoch einzustufen. Zudem ist davon auszugehen, dass die Nutzung von kompostierbaren Bettpfannen und Urinbeutel sowohl den Zeitaufwand für das Pflegepersonal verringert, als auch die Krankenhaushygiene verbessert.



Abbildung 30: Außenansicht der Abwasserreinigungsanlage Pharmafilter (Pharmafilter 2015)

Sekundäre Umwelteffekte: Das Pharmafilter-System hat eine sehr hohe Breitbandwirkung, so dass neben Arzneistoffen auch andere Verunreinigungen zurückgehalten werden. Aufgrund der Biogaserzeugung kann ein Teil der erhöhten Energiekosten der nachfolgenden Spurenstoffelimination kompensiert werden. Eine sichere Entsorgung des organischen Restmaterials, das in der Biogasanlage nicht abgebaut wird, ist sicher zu stellen.

Kosten: Die durch die Anschaffung und den Betrieb des Pharmafilters entstehenden Kosten wurden von Batelaan et al. (2013) den zuvor durch die Abfall- sowie Abwasserentsorgung entstandenen Kosten gegenübergestellt. Die Kostenanalyse für mehr als 10 niederländische Krankenhäuser hat zum Ergebnis, dass der Einsatz des Pharmafilters rentabel ist.

Aufgrund der erweiterten Maschinenteknik (Zerkleinerer von Kunststoffsteckbecken (Tontos)) und aufgrund von Lizenzgebühren des patentierten Verfahrens (ca. 5 % des Anlagenpreises) sind höhere Kosten als beim Einsatz einer Membranbelegung mit erweiterter Spurenstoffelimination zu erwarten, so dass mit spezifischen Jahreskosten beim Einsatz des Pharmafilterverfahrens im PZN Wiesloch von 5,35 €/m³ und für die Klinik Löwenstein von 6,79 €/m³ gerechnet werden muss. Kosteneinsparungen können sich ergeben durch die Einsparung von Abwasser- und Abfallgebühren, Reduktion des Personalbedarfs aufgrund Wegfall der Spülung von Steckbecken, Reduktion des Trinkwasserverbrauchs um 10 bis 40 Prozent und durch Reduktion von Kosten zu Sicherheitsmaßnahmen gegen Wiederverkeimungsrisiken. Nach Angaben aus Delft kann innerhalb von 2 bis 7 Jahren eine Amortisierung der Investitionen erfolgen. Bei einem Einsatz des Verfahrens in einem Krankenhaus mit 400 Betten und bei 10 m³/h Bemessungsdurchfluss jährlich konnten insbesondere aufgrund Einsparungen bei der Infektionsprävention Kosten zwischen 0,2 Mio. € und 1 Mio. € eingespart werden (STOWA 2013).

Die beim Pharmafilterkonzept zusätzlich zur Abwasserbehandlung durchgeführte Abfallbehandlung ist nach SWECO (2017) als sekundär zu betrachten. Der Hauptanteil der Investitionen besteht aus der Maschinenteknik, die neben Tontos größtenteils für die Abwasserbehandlung erforderlich ist.

Eine differenzierte Betrachtung findet sich im Forschungsbericht von SWECO, Anhang 12.9.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Der Pharmafilter bietet einer Gesundheitseinrichtung weitgehende Autonomie im Bereich Abwasser- und Abfallentsorgung. Dies kann insbesondere für die Klinik Löwenstein aufgrund ihrer geografischen Lage interessant sein. Allerdings besitzt die Klinik bereits eine eigene Kläranlage, die durch die Installation des Pharmafilters keinen Nutzen mehr hätte. Für die Klinik Wiesloch böte sich ein Pharmafilter an, da jegliche Spurenstoffe eliminiert und die Klinik zu einem Direkteinleiter werden könnte. Die Abwassereinleitung in das kommunale Mischwasserkanalnetz wäre nicht mehr nötig. Eine nähere Prüfung der Umsetzbarkeit ist im Forschungsbericht von SWECO, Anhang 12.9 dargestellt.

7.2.3.6 Dänisches Konzept (Demonstrationsstandort Harlev)

Beschreibung: Auf Anweisung des Dänischen Umweltministeriums haben Gemeinden 2013 einen Leitfaden für die Abwasserentsorgungserlaubnis von Krankenhäusern entworfen (Nielsen 2014). Demnach gelten Krankenhäuser als prioritäre Punktquellen, wenn sie (Nielsen 2014)

- 2 Prozent oder mehr des Gesamteintrages problematischer Arzneistoffe in die kommunale Kläranlage einleiten
- Zytostatika oder RKM verwenden
- mehr als 1.000 Fälle im Jahr behandeln
- mehr als 500 Operationen jährlich durchführen
- eine psychiatrische Klinik mit mehr als 500 Betten sind.

Als Pilotprojekt für eine Maßnahmenumsetzung an einer prioritären Punktquelle wurde das *Harlev Hospital* in Kopenhagen ausgewählt (Krarup et al. o. J.; Nielsen 2014). Hier wird das gesamte Krankenhausabwasser in einer hoch technisierten krankenhauseigenen Kläranlage (siehe Abbildung 31) gereinigt, bevor es vor Ort in einen Fluss eingeleitet wird. In der Kläranlage wird das Wasser zunächst vorgeklärt. Anschließend durchläuft es einen MBR, eine Ozonung sowie eine Aktivkohlebehandlung, damit Keime sowie Arzneimittelreste eliminiert werden. Der Klärschlamm wird vor Ort getrocknet und anschließend zum Verbrennen abtransportiert (Krarup et al. o. J.).

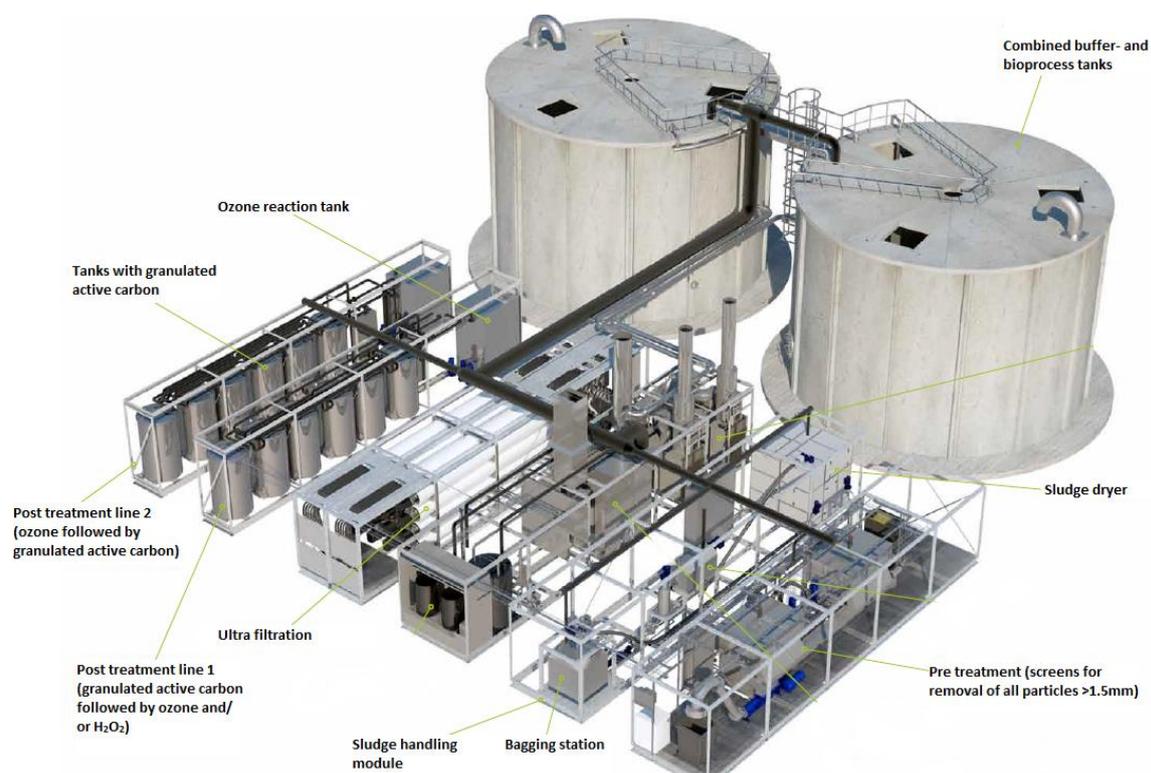


Abbildung 31: Aufbau der Krankenhauskläranlage am Standort Harlev, Dänemark (Krarup et al. o. J.)

Wirkung: „Die Testergebnisse zeigten, dass sowohl Ozon als auch Aktivkohle erforderlich sein können, um die Ökotoxizität des behandelten Abwassers vollständig zu eliminieren“ (Krarup et al. o. J.). Bei einer Kombination der Verfahren, entsprechend Harlev oder SAUBER+, ist von einer hohen Wirksamkeit auszugehen.

Ein ähnliches Konzept wurde im Rahmen des SAUBER+-Projektes untersucht (Pinnekamp et al. 2009b) Pinnekamp et al. 2015). Die erzielten Erfahrungen mit einer Membranbelebungsanlage (MBR), ergänzt durch eine Ozonung bzw. eine Aktivkohlefiltration, zeigen, dass für alle untersuchten Leitsubstanzen – mit Ausnahme der iodierten Röntgenkontrastmittel – eine sehr gute Elimination erzielt werden kann (Elimination in der Regel > 90 %).

Sekundäre Umwelteffekte: Das dänische Konzept mit Demonstrationsstandort Harlev hat eine sehr hohe Breitbandwirkung, so dass neben Arzneistoffen auch andere Verunreinigungen zurückgehalten werden. Aufgrund der komplexen Anlagentechnik mit Ozonung und Aktivkohle entstehen jedoch analog zum Pharmafilterverfahren erhöhte Energiekosten.

Kosten: Die Gesamtkosten für die Anlageninstallation betragen 5,8 Mio. €. Die Betriebskosten inklusive der Klärschlammbehandlung werden auf 1,3 € pro Kubikmeter Abwasser geschätzt (Nielsen 2014).

Eine nennenswerte Reduktion der iodierten Röntgenkontrastmittel konnte beim SAUBER+-Konzept allerdings nur mit sehr hohen Ozondosen oder alternativ mit sehr kurzen Standzeiten für die Aktivkohlefilter erzielt werden (Pinnekamp et al. 2015). Beide Maßnahmen wurden im vorliegenden Fall als unverhältnismäßig teuer bewertet.

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Nach dänischer Klassifikation würden beide Standorte als prioritäre Punktquellen gelten. Da die Klinik Löwenstein bereits eine eigene Abwasserreinigungsanlage besitzt, wäre eine Aufrüstung der bereits bestehenden Kläranlage denkbar. In Wiesloch könnte eine Installation nach dänischem Vorbild theoretisch realisiert werden. Das PZN könnte das gereinigte, spurenstofffreie Abwasser somit direkt in einen Vorfluter leiten. Hierbei ist jedoch neben dem notwendigen Platzbedarf zu berücksichtigen, dass das PZN sein Abwasser gegenwärtig an drei Stellen in das kommunale Netz einleitet. Sofern bei allen Einleitstellen ähnliche Frachteinträge stattfinden, müssten diese zusammengelegt werden. Aufgrund der geografischen Gegebenheiten ist mit einem erhöhten Aufwand für Pumpentechnik zu rechnen.

7.2.3.7 Bewachsener Bodenfilter

Auch für naturnahe Verfahren wie z. B. bewachsene Bodenfilter wurden Eliminationsraten bei Arzneistoffen und anderen Mikroschadstoffen nachgewiesen.

Beschreibung: Der bewachsene Bodenfilter ist ein naturnahes Verfahren für die Arzneimittelelimination aus vorbehandeltem Abwasser und eignet sich für die Nachklärung kleiner Anlagen. In einem Pilotprojekt des Zentrums für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT) der Universität Bremen wurde ein bewachsener Bodenfilter speziell für die Elimination von Arzneistoffen und anderen Mikroschadstoffen aus dem Abwasser angepasst und sowohl in verschiedenen Freiland-Testversuchen als auch als Pilotanlage getestet (Dobner et al. 2016).

Mithilfe von neuartigen, hydraulisch gut durchlässigen Filtersubstraten mit hoher Stoffbindungskapazität in Kombination mit einer schadstoffresistenten, robusten Pflanzengesellschaft und einer gezielten Beimpfung der Pflanzen mit Mykorrhizapilzen konnte die Funktionsfähigkeit der Pflanzen (Vitalität, Schadstoffabbau) erheblich gesteigert werden (Dobner et al. 2016).

Als adsorbierendes Material wird dem Filtersubstrat, welches bei herkömmlichen Bodenfiltern meistens aus Sand besteht, Pflanzenkohle beigemischt. In verschiedenen Versuchen wurden Volumenanteile von 15 bzw. 30 Prozent beigemischt, wobei in der Pilotanlage ein Anteil von 15 Prozent verwendet wurde, da in den Testversuchen kein eindeutiger Unterschied in der Reinigungsleistung festgestellt werden konnte (Dobner et al. 2016).

Der Bodenfilter im Testversuch des UFT ist einer Kläranlage nachgeschaltet, deren täglicher Abwasserzufluss etwa 2.000 m³ beträgt. U. a. befinden sich im Einzugsgebiet der Kläranlage ein Krankenhaus mit 133 Betten sowie mehrere Senioreneinrichtungen (Dobner et al. 2016).

Wirkung: Im Projekt des UFT wurden die Arzneistoffe Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Ciprofloxacin, 17- α -Estradiol untersucht. Während der einjährigen Testphase der Pilotanlage wurden täglich 100 Liter Abwasser pro Quadratmeter Bodenfilter in diesen eingeleitet. Anzumerken ist, dass u. U. eine Zeit von mehreren Monaten bis hin zu einer ganzen Vegetationsperiode nötig ist, bis der Bodenfilter seine volle Leistungsfähigkeit entwickelt hat. Im Pilotprojekt betrug die Einfahrphase zwei Monate (Dobner et al. 2016).

Die Stoffkonzentrationen von Carbamazepin, Diclofenac, und Sulfamethoxazol konnten durch den Bodenfilter reduziert werden. Die Konzentrationen von Ciprofloxacin sowie 17- α -Estradiol blieben im Filterablauf unter der Bestimmungsgrenze. Des Weiteren wurde die Anlage mit einer kurzzeitigen sowie dauerhaften Hochleistungsbeschickung (mit der doppelten täglichen Wasserspende) getestet. Während des kurzzeitigen Hochlastbetriebs konnte weiterhin ein guter Stoffrückhalt erzielt werden. Während des sechsmonatigen Dauerhochlastbetriebs konnten die Arzneistoffe allerdings nicht mehr wirksam durch den bewachsenen Bodenfilter zurückgehalten werden (Dobner et al. 2016). Weitere sowie detaillierte Ergebnisse stellen Dobner et al. (2016) in ihrem Abschlussbericht dar.

Sekundäre Umwelteffekte: Für den bewachsenen Bodenfilter entsteht lediglich ein Energieaufwand für eine Tauchmotorpumpe (Dobner et al. 2016), wodurch die sekundären Umwelteffekte durch den Energieverbrauch als sehr gering einzuschätzen sind. Durch den vergleichsweise hohen Platzaufwand für einen bewachsenen Bodenfilter (Dobner et al. (2016) rechnen mit 2 m²/EW), kann der Ressourcenverbrauch an Fläche als sekundärer Umwelteffekt angesehen werden.

Kosten: Nach Dobner et al. (2016) belaufen sich die Investitionskosten für eine Anlage mit 32 m² auf etwa 180 € pro Quadratmeter Filterfläche. Bei einer prognostizierten Anlagenlaufzeit von 20 Jahren entspricht dies 18 € pro Jahr und Einwohnerwert. Die Autoren nehmen allerdings an, dass sich die Investitionskosten bei größeren Anlagen mit mehr

Anschlusswerten verringern werden. Die Betriebskosten belaufen sich für die 32 m²-Anlage auf jährliche 180 € (Dobner et al. 2016).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Der bewachsene Bodenfilter ist eine Maßnahme, die sich, insbesondere aufgrund ihrer Platzintensität, vorwiegend für die Nachbehandlung von kleinen Kläranlagen eignet. Aus diesem Grund ist eine Umsetzung am Standort Wiesloch nicht sinnvoll. Für die Klinikkläranlagen in Löwenstein (Ausbaugröße der gegenwärtigen Kläranlage: 1.200 EW) und Waldleiningen (Ausbaugröße der gegenwärtigen Kläranlage: 300 EW) ist eine Umsetzung hingegen grundsätzlich denkbar.

7.2.4 Übergeordnete Maßnahmen

7.2.4.1 Problemsensibilisierung in der Bevölkerung

Beschreibung: Die Relevanz von Arzneistoffen in der Umwelt ist in Fachkreisen ein häufig diskutiertes Thema. Dennoch ist die Diskussion noch nicht in weiten Teilen der Bevölkerung angekommen. Einer repräsentativen Umfrage zufolge ist die Problematik nur 53 Prozent der Bevölkerung bekannt, 12 Prozent gaben an, einen guten Informationsstand über das Thema zu haben (Götz et al. 2014). Eine essenzielle Maßnahme ist demzufolge die Problemsensibilisierung. Diese kann an zwei Handlungsfeldern ansetzen: der bewusste Arzneimittelkonsum sowie der Vermeidung von Medikamentenabfällen, die in das Abwasser gelangen (Keil 2008). Für die Kommunikation der Thematik sind zum einen die Medien von großer Bedeutung (Dieter et al. 2010; Keil 2008). Zum anderen können gezielte Informationskampagnen, zum Beispiel von öffentlichen Institutionen, zu einer Problemsensibilisierung beitragen (Persson et al. 2009). Ein Beispiel hierfür ist der Flyer des Landes Baden-Württemberg zur korrekten Entsorgung von Arzneimitteln³³. Diese Vorkehrung ist nicht ausschließlich in Krankenhäusern anzuwenden, sondern auf verschiedenen Ebenen, die möglichst alle Teile der Bevölkerung erreichen.

Wirkung: Eine Vorhersage über die konkrete Wirkung einer Kampagne ist nicht zu treffen, da der Erfolg der beschriebenen Problemsensibilisierung von umfangreichen Faktoren abhängt und damit keine Wirksamkeit quantifizierbar ist. Nichtsdestotrotz ist die Problemsensibilisierung eine bedeutende Grundlage für den Erfolg anderer Maßnahmen und somit für einen ganzheitlichen Ansatz der Problemlösung von großer Relevanz (Deffner und Götz 2008). Ein Positivbeispiel für eine Problemsensibilisierung durch mediale Aufmerksamkeit hat sich in Schweden gezeigt. Nach der Einführung eines Umweltklassifikationssystems für Arzneimittel war ein Rückgang unsachgemäß entsorgter Medikamente auf 0 Prozent (im Jahr 2007) zu verzeichnen. In den Jahren 2001 und 2004 wurden un-

³³ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2015): Gewässer schützen. Arzneimittel richtig entsorgen. 2., überarbeitete Auflage. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

verbrauchte Arzneimittel von 2 bzw. 1 Prozent der Bevölkerung über das Abwasser entsorgt (Persson et al. 2009).

Das Pilotprojekt Den Spurenstoffen auf der Spur (DSADS)³⁴ vom Land Nordrhein-Westfalen zur Aufklärung über das Thema Arzneistoffe in der Umwelt hat in Dülmen zu einer erfolgreichen Problemsensibilisierung in der Bevölkerung geführt. Hierzu wurden konkrete Informationskampagnen, z. B. auf Plakaten in Arztpraxen und Apotheken oder Beiträge in Lokalmedien, organisiert und zuvor sowie danach Befragungen durchgeführt. Dabei hat sich beispielsweise herausgestellt, dass das Wissen über Gewässerbelastungen durch Arzneimittel um 20 Prozent gesteigert werden konnte (Land Nordrhein-Westfalen et al. o. J.).

Sekundäre Umwelteffekte: Werden mögliche Konsequenzen, die durch Arzneistoffe in der Umwelt entstehen, in der Bevölkerung bekannt, ist anzunehmen, dass auch die Problemsensibilisierung für andere Schadstoffe in der Umwelt wächst (Hillenbrand et al. 2015).

Kosten: Deffner und Götz (2008) erwarten Kosten von ca. 10 bis 15 Millionen Euro für eine kontinuierliche „breitenwirksame Aufklärungskampagne zur Entsorgung von Medikamenten“ (Deffner und Götz 2008). „Die Realisierung der Diskursangebote und die Ergänzung der beruflichen Fortbildung für Ärzte und Apothekerinnen sowie die Durchführung von Aufklärungskampagnen zur sachgerechten Entsorgung von Altarzneimitteln werden sich nach ersten Schätzungen auf deutlich unter zehn Millionen Euro jährlich belaufen“ (Keil 2008).

Zu erwartende Akzeptanz: Generell kann ein nachhaltiger Umgang mit Arzneimitteln sowie dessen Akzeptanz gesteigert werden, indem die Thematik in einem öffentlichen Diskurs steht. In Keil 2008 wird das Beispiel angeführt, dass die Akzeptanz sowie Marktfähigkeit der „Nachhaltigen Pharmazie“ durch die Bewerbung dieser gesteigert werden kann (Keil 2008).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Die Maßnahme der Problemsensibilisierung ist eine großskalierte Methode, die weniger einzelne Standorte betrifft. Dennoch können Gesundheitseinrichtungen wie die Klinik Löwenstein und das PZN Wiesloch zur Problemsensibilisierung beitragen, indem sie beispielsweise aktiv an Informationskampagnen teilnehmen.

³⁴ Das Projekt DSADS war Teil des europäischen Vorhabens noPills in waters und hat am Pilotstandort Dülmen die Thematik der Spurenstoffe in der Umwelt sowohl auf informativer Ebene in der Bevölkerung als auch auf technischer Ebene in der lokalen Kläranlage behandelt (Nafo 2015).

7.2.4.2 Umweltklassifikationssystem

Beschreibung: Ein Umweltklassifikationssystem für Arzneimittel soll Klarheit über die Umweltrelevanz verschiedener Arzneistoffe schaffen. Im Weiteren soll es Ärzten ermöglichen, sich auf möglichst unkompliziertem Weg Informationen zu verschaffen. Dadurch können sich die Mediziner im Idealfall bei einer Medikamentenverordnung für eine umweltfreundlichere Alternative entscheiden.

In Schweden existiert ein solches Umweltklassifikationssystem bereits seit 2005 (Anderson et al. 2013). Daher kann das schwedische System als Vorbild für ein deutsches genutzt und die seit Einführung des Systems gewonnen Erkenntnisse verwendet werden. Für die Einordnung der Umweltrelevanz eines Stoffes werden im schwedischen Klassifikationssystem zum einen die PBT (Persistenz, Bioakkumulation, Toxizität) –Eigenschaften und zum anderen das Verhältnis der prognostizierten Umweltkonzentration (Predicted Environmental Concentration, PEC) zur Maximalkonzentration, welche keine Auswirkungen auf Flora und Fauna hat (Predicted No Effect Concentration, PNEC), betrachtet (Stockholm County Council 2014b). Diese Herangehensweise wäre als Grundlage auch für ein entsprechendes System in Deutschland denkbar. Gegebenenfalls könnten weitere Aspekte wie „Stoffe, die bereits in der aquatischen Umwelt nachgewiesen werden können“ oder „Stoffe, die einfach durch eine umweltfreundlichere Alternative ersetzt werden können“ ergänzt werden. Eine Verbesserung zum schwedischen System sollte es für den Umfang (in Schweden sind bei weitem noch nicht alle Arzneimittel klassifiziert (Agerstrand und Ruden 2010)) sowie die Art der Informationsbeschaffung für Ärzte geben (Citec Information und Life Sciences 2009).

Wirkung: Laut Deffner und Götz (2008) kann die Wirksamkeit der Maßnahme nur schwer quantifiziert werden. Dies führen die Autoren darauf zurück, dass die Nutzung des Systems nicht vorhergesagt werden kann (Deffner und Götz 2008). Das Umweltbundesamt schätzt die Effizienz eines Umweltklassifikationssystems (falls dieses eingeführt wird) als hoch (> 25 %) ein, da die Maßnahme an der Quelle der Emissionspfade ansetzt (Umweltbundesamt 2012).

Sekundäre Umwelteffekte: Die Einführung des Umweltklassifikationssystems in Schweden wirkte sich auch auf das Problembewusstsein der Bevölkerung aus, sodass der Anteil an unsachgemäß entsorgten Arzneimitteln von zuvor 2 Prozent vollständig zurückging und eine Steigerung von Verschreibungen umweltfreundlicher Medikamente zu verzeichnen war (Vollmer 2010).

Kosten: Laut Hillenbrand et al. (2015) sind die Kosten für ein Umweltklassifikationssystem verhältnismäßig gering (Hillenbrand et al. 2015).

Zu erwartende Akzeptanz: Es wird mit einer Akzeptanz seitens der Mediziner gerechnet, sofern die Umweltklassifikation von einer unabhängigen Einrichtung vorgenommen wird (Deffner und Götz 2008). Umfragen in Deutschland, Ungarn und dem Vereinigten Königreich haben gezeigt, dass die Akzeptanz für ein Umweltklassifikationen stark von Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel der Benutzerfreundlichkeit, abhängt (Götz 2012).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Die Umsetzung der Maßnahme kann nicht von einzelnen Gesundheitseinrichtungen durchgeführt werden. Sie muss durch die Politik sowie viele weitere Akteure, wie Pharmaunternehmen oder Gesundheitsverbänden initiiert und gestützt werden. Gibt es ein solches System, besteht nach derzeitigem Kenntnisstand jedoch kein Grund, weshalb die Gesundheitseinrichtungen Löwenstein und Wiesloch nicht an dieser Maßnahme teilnehmen sollten.

7.2.5 Nachgeschaltete Maßnahmen

Beschreibung: Die kommunale Abwasserentsorgung in Deutschland ist ein wichtiger Baustein für den Gewässerschutz. Kläranlagen, die den heutigen Anhängen der Abwasserordnung entsprechen, sind allerdings nicht darauf ausgelegt, Spurenstoffe gezielt aus dem Abwasser zu entfernen. Um Spurenstoffe in hohem Maße aus dem Abwasser gezielt zu entfernen, bedarf es einer Reinigung des Abwassers mit gesonderten Verfahrenstechniken, die der Terminologie der Reinigungsstufen auf kommunalen Kläranlagen folgend als „4. Reinigungsstufe“ oder auch als „Verfahren der weitergehenden Spurenstoffelimination“ bezeichnet werden. Hierzu gehören oxidative, adsorptive und physikalische Verfahren. Aus der Vielzahl der im deutschsprachigen Raum durchgeführten Pilotprojekte sowie den bislang auf kommunalen Kläranlagen realisierten erweiterten Reinigungsverfahren haben sich die Anwendung von Ozon und der Einsatz von Aktivkohle als praxistaugliche Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination erwiesen. Sie sind gut in den bestehenden Reinigungsprozess einer Kläranlage integrierbar.

Wirkung: Untersuchungen, etwa auch der LAWA, haben gezeigt, dass mit den genannten Verfahren der 4. Reinigungsstufe eine große Bandbreite von Spurenstoffen eliminiert werden kann. Der Umfang der erreichbaren Reinigungsleistung hängt allerdings von Faktoren wie den jeweiligen Stoffeigenschaften, der Dosiermenge des eingesetzten Hilfsstoffs (Ozon oder Aktivkohle) sowie der Konzentration von konkurrierenden Stoffen in dem zu behandelten Abwasser (bspw. gelöste Restorganik) ab. In der Regel ist eine Nachbehandlung zum Abbau möglicher Transformationsprodukte aus der Ozonung bzw. zum Partikelrückhalt bei der Aktivkohlebehandlung notwendig.

Welche Anwendungsform einer Verfahrenstechnik für den Ausbau einer Kläranlage geeignet ist, muss im Einzelfall unter Berücksichtigung der Abwasserzusammensetzung und auch des zusätzlichen Energiebedarfs festgelegt werden. Neben den ökologischen und ökonomischen Aspekten spielen dabei auch die spezifischen baulichen und technischen Rahmenbedingungen der Anlagen eine wichtige Rolle.

Sekundäre Umwelteffekte: Mit den Verfahren zu weitergehenden Spurenstoffelimination kann ein breites Spektrum an Mikroschadstoffen eliminiert werden. Darüber hinaus ist bei der Anwendung von Aktivkohle eine Absenkung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Kläranlagenablauf zu verzeichnen. Die verfahrensbedingte zusätzliche Zugabe von Fällmittel (Metallsalze) bei Anwendung von Pulveraktivkohle in einer separaten nachgeschalteten Reinigungsstufe hat eine Verringerung der heutigen Pges-Ablaufwerte zur Folge (Metzger und Kapp 2008). Der Einsatz von Ozon bewirkt durch die desinfizierende

Eigenschaft des Ozons eine Keimreduzierung im Kläranlagenablauf (Abegglen 2009). Zusätzliche positive Reinigungseffekte ergeben sich durch die Notwendigkeit einer Nachbehandlung sowohl bei der Anwendung von Ozon als auch dem Einsatz von Aktivkohle. Meist wird diese nachgeschaltete Stufe in Form eines Filters ausgebildet, wodurch ein verbesserter Rückhalt von Feinstpartikeln erzielt wird, was wiederum eine weitere Kohlenstoff- und Phosphorelimination sowie einen Rückhalt von partikulär gebundenen Spurenstoffen zur Folge hat. Darüberhinaus zeigt sich, dass mit Anwendung von Aktivkohle oder Ozon eine Geruchsminderung des Abwassers (Metzger et al. unveröffentlicht) sowie eine Entfärbung des Abwassers (Abegglen 2009) einhergeht.

Kosten: Nach einer auf Erfahrungswerten aus Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und der Schweiz basierenden Kostenschätzung (Hillenbrand et al. 2016, S. 156, 157) sind für die Erweiterung der Kläranlagen der Größenklassen 5 (229 Anlagen³⁵ über die rund 44 % der Gesamtabwassermenge in Deutschland aufbereitet werden) um eine zusätzliche Spurenstoffstufe, je nach betrachteter Verfahrenstechnik, netto Jahreskosten in Höhe von 200 bzw. 220 Mio. € zu erwarten. Über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren kann daraus ein Gesamtaufwand von etwa 5,0 bis 5,5 Mrd. € abgeschätzt werden. Angesichts der Notwendigkeit einer Nachbehandlungsstufe im Anschluss der eigentlichen Spurenstoffstufe können – in Abhängigkeit von bereits vorhandenen und nutzbaren Anlagenkomponenten – zusätzlich bis zu 215 Mio. €/a für den Bau und Betrieb der Nachbehandlung hinzukommen (entsprechend 5,4 Mrd. € zusätzlicher Gesamtaufwand). Dies würde zu durchschnittlichen Mehrbelastungen der Abwassergebührenzahler/innen in Höhe von 6 bis 16 € pro Jahr und Person führen. Soweit Anlagen der Größenklasse 5 ausgebaut würden und die Kosten einer 4. Reinigungsstufe in kommunalen Kläranlagen vollständig über die Erhöhung der Abwassergebühren finanziert würden, zeigen Beispielrechnungen für Nordrhein-Westfalen eine Erhöhung der mittleren Gebührenbelastung (für NRW 2,18 €/m³) um 4,6 Prozent. ³⁶

Bei einer Erweiterung aller Anlagen der Größenklassen 3 bis 5 (3.009 Anlagen über die rund 90 Prozent der Gesamtabwassermenge in Deutschland aufbereitet werden) lägen die Jahreskosten bei 562 Mio. € (Ozonung), 684 Mio. € (PAC-Anwendung) bzw. 691 Mio. € (GAC-Anwendung), sodass sich für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ein Gesamtaufwand von etwa 14 bis 17 Mrd. € abzuschätzen wäre. Für die Nachbehandlung wären zusätzliche Jahreskosten von bis zu 582 Mio. €/a erforderlich, was den

³⁵ UBA 2012: e-Kommunalabwasser. Datenbank zur Berichterstattung zur Kommunalabwasser-richtlinie. Online verfügbar unter http://wiki.enda.eu/e_kommu/index.php/Hauptseite.

³⁶ Berechnungen FiW in Hillenbrand et al. (2016): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer – Phase 2. UBA-Texte 60/2016, S. 169 (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/mikroschadstoffen_in_die_gewasser-phase_2.pdf).

Gesamtaufwand für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren um bis zu 14,5 Mrd. € erhöhen würde.

Zu erwartende Akzeptanz: Für eine Umsetzung erscheint ein differenziertes Vorgehen sinnvoll, das folgende Aspekte berücksichtigt:

- Größe und Zustand der Abwasseranlagen (allgemeine Frachtreduktion);
- Wahrnehmung der Oberliegerverantwortung (auch im Hinblick auf die Küsten- und Meeresgewässer);
- Belastungssituation der Gewässer (ggf. anhand des Abwasseranteils am Gewässerabfluss), in die eingeleitet wird, und
- Nutzungsanforderungen an die Gewässer im Sinne der Ökologie (sensible Gewässer), des Trinkwasserschutzes (Schutz von Wasserressourcen) oder Freizeitnutzungen (Badegewässer).

Umsetzbarkeit an den Pilotstandorten: Für den Standort Wiesloch wäre eine Erweiterung der kommunalen Verbandskläranlage um eine Stufe zur weitergehenden Spurenstoffelimination grundsätzlich denkbar. Die deutlich kleineren Abwasseranlagen an den Standorten Löwenstein und Waldleiningen reinigen im wesentlichen das jeweilige Klinikabwasser, für eine deutliche Verringerung der eingeleiteten Frachten an Arzneimittelrückständen wären entsprechend spezifischere, an die jeweiligen Randbedingungen angepasste technische Ansätze notwendig. Für den Standort Löwenstein wurde jedoch in der Vergangenheit eine Zusammenlegung der Klinikkläranlage mit der kommunalen Kläranlage von Löwenstein diskutiert (Kaiser 2015).

7.3 Zusammenfassung der Maßnahmenoptionen

Basierend auf den vorangegangenen Beschreibungen sowie Bewertungen der verschiedenen technischen sowie nicht-technischen Handlungsoptionen lassen sich die jeweiligen Erkenntnisse zusammenfassend festhalten:

Das Wirkpotenzial bei nicht-technischen dezentral umsetzbaren Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem bzw. auf informativer und organisatorischer Ebene lässt sich überwiegend nicht genau spezifizieren, da keine ausreichenden Praxisbeispiele vorhanden sind, von denen das Reduktionspotenzial abgeleitet werden kann. Für die Einzelmaßnahmen alleine ist jedoch überwiegend von einem geringen bzw. stark Einzelstoffbezogenen Wirkpotenzial auszugehen, z. B. beim Einsatz von Alternativsubstanzen bei bestimmten Indikationen. Für einige Maßnahmen ist das Potenzial abhängig von der Motivation des Krankenhauspersonals, diese umzusetzen.

Gleichzeitig stellen diese Maßnahmen im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes wesentliche Grundlage für weitere Maßnahmen und wichtige Teilbausteine dar, die die Aufmerksamkeit gegenüber der Problematik von Arzneistoffeinträgen in die aquatische Umwelt deutlich erhöhen und somit unterstützend wirken.

Wenngleich die nicht-technischen Maßnahmen mit geringerem Wirkungspotenzial behaftet sind, sind sie i. d. R. mit bedeutend niedrigeren Kosten verbunden als technische Lösungen.

An den Standorten Löwenstein und Wiesloch wird die Umsetzung der nicht-technischen Maßnahmen grundsätzlich für möglich angesehen. Die Möglichkeiten einer konkreten Umsetzung sollten jedoch zuvor mit dem Klinikpersonal besprochen und abgestimmt werden, da für nicht-technische Maßnahmen die Zeit sowie der Aufwand ein limitierender Faktor ist. In Wiesloch will sich eine Arbeitsgruppe aus Chefarzten und Pflegeleitern bilden, die sich an einer Diskussion zur Umsetzung nicht-technischer Maßnahmen beteiligt. Ein entsprechender Ansatz gemeinsam mit dem Fachpersonal ist auch für den Standort Löwenstein zu empfehlen. Am Standort Waldleiningen werden bereits heute vergleichsweise geringe Arzneimittelmengen eingesetzt, so dass eine weitere Verringerung von Arzneimittelrückständen im Abwasser durch informatorische bzw. organisatorische Maßnahmen nur in begrenztem Umfang möglich erscheint.

Über eine dezentrale Erfassung von stark belasteten Teilströmen (vgl. Urinbeutel und Rollac) und eine separate Behandlung bzw. Entsorgung können Einzelstoff- bzw. Arzneimittelgruppenspezifische Eintragungsspitzen gekappt werden. Der Einsatz ist mit mittleren Kosten und notwendigen organisatorischen Begleitmaßnahmen verbunden.

Für den Ausbau einer dezentralen Abwasseraufbereitung/Krankenhauskläranlage mit einer weitergehenden Spurenstoffelimination, bzw. für den Aufbau einer entsprechenden dezentralen Reinigungsstufe bieten sich die Verfahren Membranbehandlung, Ozonung und Aktivkohlefiltration bzw. deren Kombinationen an. Die Verfahren haben eine hohe Wirksamkeit und einen großen Breitbandeffekt. Die Reinigungsleistung ist stark von den Einsatzmengen der Betriebsmittel abhängig und Eliminationsraten sind stoffspezifisch. Verschiedene Substanzen werden unterschiedlich gut abgebaut. Aus diesem Grund hat sich die Kombination verschiedener Behandlungsverfahren für Krankenhausabwässer bewährt.

Die Implementierung ist mit baulichem Aufwand und mit nachfolgend begleitendem Betriebsaufwand (Personal und Betriebsmittel) verbunden, wodurch hohe Kosten entstehen, die stark von den individuellen Randbedingungen der jeweiligen Standorte abhängen. Daher ist eine tiefergehende Betrachtung dieser Verfahren notwendig, die anhand der Beispielstandorte Wiesloch und Löwenstein im Rahmen des vorliegenden Vorhabens zum Teil über eine Machbarkeitsanalyse dezentrale Behandlung der Krankenhausabwässer zur Mikroschadstoffelimination erfolgt ist (vgl. Anhang 12.9).

Zusätzlich sind weitere innovative Ansätze zur Reduktion von Arzneistoffeinträgen in die aquatische Umwelt denkbar. Hierzu gehört unter anderem die Elimination von Arzneimittelrückständen mit elektrochemischen Verfahren, die kostengünstiger sein sollen, als die beschriebenen Verfahren/Verfahrenskombinationen.

Eine Kurzzusammenfassung der Maßnahmenbewertung ist in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Zusammenfassung der Maßnahmenoptionen für nicht technische sowie technische Maßnahmen

Maßnahmen		Potential	Einschränkungen	Besonderheiten
Nicht technische Maßnahmen	Schulung des Fachpersonals	<ul style="list-style-type: none"> • vergleichsweise kostengünstig • ggf. anknüpfend an interne Weiterbildungsangebote des PZN • Maßnahme wirkt unterstützend 	<ul style="list-style-type: none"> • vermutlich nur geringes Potential zur direkten Reduktion von Arzneistoffeinträgen 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahme ist ausschlaggebend für den Erfolg weiterer Maßnahmen
	Informations-weitergabe Patienten	<ul style="list-style-type: none"> • Problemsensibilisierung • Maßnahme wirkt unterstützend 	<ul style="list-style-type: none"> • Effekt nur begrenzt und evtl. nur temporär • Zeitaufwand im medizinischen Alltag 	<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung der Akzeptanz für weitere Maßnahmen
	Medikation soweit möglich reduzieren/ Verwendung umweltfreundlicher Arzneistoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktionspotential ist unklar 	<ul style="list-style-type: none"> • Unklarheit über "das Nötigste" • Umweltkennzeichnung von AM erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmenbewertung ist mit medizinischem Fachpersonal abzustimmen
	Nichtmedikamentöse Behandlung fördern	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktionspotential ist unklar, • langfristige Krankheitsprävention 	<ul style="list-style-type: none"> • keine nichtmedikamentöse Alternative zu vielen AM (z. B. Diagnostika o. Zytostatika) • in GE ist eine Krankheitsprävention weniger relevant 	
	Sachgemäße Entsorgung von AM	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktionspotential in GE unklar; ggf. für flüssige Arzneistoffreste relevant 	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Anteil an gesamtem Arzneistoffeintrag 	<ul style="list-style-type: none"> • Entsorgung fester Arzneimittel ist bereits über ein Rückgabesystem an die Apotheken geregelt • evtl. standortspezifische Befragung sinnvoll

Maßnahmen		Potential	Einschränkungen	Besonderheiten
Technische Maßnahmen	Vakuumtoilette	<ul style="list-style-type: none"> • besonders belastete Abwasserteilströme können erfasst werden --> gibt es am PZN bestimmte Schwerpunktstationen? • grundsätzlich könnte wesentlicher Anteil der (stationär verwendeten) AS erfasst werden • Behandlung des separat erfassten Abwassers notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • unsachgemäß entsorgte AS sowie andere Mikroschadstoffe werden nicht erfasst • Urinsammlung weniger geeignet für langfristige Behandlungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Urinsammlung besonders geeignet für RKM, die nur kurzzeitig eingenommen und innerhalb etwa 24 Std. fast vollständig ausgeschieden werden (am PZN werden keine RKM verabreicht --> vergleichbare Arzneistoffe am PZN?)
	Urinsammlung			
	Rollac 1.0			
	Ozon	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung von Hot-Spots • Erfassung weiterer Mikroschadstoffe neben AS • Eliminationsraten sind einzelstoffspezifisch 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht alle AS werden eliminiert 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorbehandlung des Abwassers notwendig
	Erweiterte Oxidation			
	Aktivkohle			
	Membranverfahren			
	Pharmafilter			
	Dänisches System nach Herlev			<ul style="list-style-type: none"> • Systeme sind speziell für die Elimination von AS aus Krankenhausabwässern entwickelt worden

AM = Arzneimittel; AS = Arzneistoffe; RKM = Röntgenkontrastmittel; GE = Gesundheitseinrichtung

8 Bewertung und Priorisierung von Maßnahmen

Anhand der in Kapitel 7 dargestellten Ergebnisse können unterschiedliche Konzepte bzw. Handlungsoptionen erarbeitet werden. Für eine Priorisierung von Konzepten, die verschiedene Maßnahmen umfassen können, müssen diese anhand ausgewählter Kriterien bewertet werden. Die Bewertung baut auf den in Kapitel 7 verwendeten Kriterien auf und betrifft alle drei Säulen der Nachhaltigkeit:

- Ökologische Aspekte werden im Wesentlichen über die erzielte, resp. erzielbare Gewässerentlastung, erfasst, aber auch Material- und Energieaufwand der Entlastungsmaßnahme(n) sind grundsätzlich zu berücksichtigen.
- Die ökonomische Bewertung erfolgt im Wesentlichen durch eine Kosten-Wirksamkeitsbetrachtung der jeweiligen Maßnahme(n).
- Die sozialen Aspekte werden insbesondere durch die Berücksichtigung von Akzeptanzuntersuchungen/Expertenbefragungen diskutiert.

Zur Einbindung relevanter Akteure bei der Priorisierung wurde am PZN in Wiesloch eine Expertengruppe gebildet, die die in diesem Projekt erarbeiteten Maßnahmen auf ihr Umsetzungspotenzial prüfen wird. Ein vergleichbares Vorgehen ist für den Standort in Löwenstein vorgesehen.

Die erzielbare Gewässerentlastung wird anhand des Potenzials diskutiert, Überschreitungen von Grenzwerten, hier in Form von PNEC-Werten, über die verschiedenen Maßnahmen zu reduzieren. An den Pilotstandorten Löwenstein sowie Wiesloch wurde der PNEC-Wert im Kläranlagenablauf bzw. im Rohabwasser für acht bzw. fünf Stoffe überschritten. Für diese Stoffe wurden Eintragsminderungspotenziale der betrachteten Maßnahmen ermittelt. Diese Potenziale beruhen auf Angaben verschiedener Veröffentlichungen sowie Annahmen für die Fälle, bei denen keine Literaturangaben verfügbar waren. Eine Zusammenfassung der Minderungspotenziale sowie der Annahmen findet sich im Anhang 12.9.

Die mögliche Eintragsminderung wurde für jede Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination berücksichtigt. So kann eingeschätzt werden, ob der PNEC nach Implementierung einer Maßnahme weiterhin überschritten wird oder nicht. Die Ergebnisse werden für den Standort Löwenstein in Tabelle 27 sowie für Wiesloch in Tabelle 28 dargestellt. Liegt die prognostizierte Stoffkonzentration unter dem zugehörigen PNEC (grün gekennzeichnet), wird die Wirkung der Maßnahme als sehr positiv bewertet, eine Umsetzung der Maßnahme ist hinsichtlich ihres Effektes als sinnvoll anzusehen. Gelb, orange und rot markierte Felder kennzeichnen eine PNEC-Überschreitung, gegliedert nach Höhe der Überschreitung. Ist mit einzelnen Maßnahmen keine PNEC-Unterschreitung zu erreichen, kann eine Kombination verschiedener Maßnahmen in Betracht gezogen werden. In Tabelle 27 und Tabelle 28 werden entsprechend Ergebnisse für verschiedene Maßnahmenkombinationen dargestellt.

Die Kombination nichttechnischer, organisatorischer Maßnahmen, wie Schulung des Fachpersonals, sachgemäße Entsorgung und Reduktion der Medikation kann zwar zu Reduktionen des Arzneistoffeintrages in die Gewässer führen, zeigt jedoch bei den betrachteten Beispielen lediglich für den Beispielstoff Metoprolol am Standort Löwenstein einen für eine PNEC-Unterschreitung ausreichenden Effekt. In den anderen Fällen einer PNEC-Überschreitung lagen diese zu hoch, als dass durch nichttechnische Maßnahmen alleine eine PNEC-Unterschreitung herbeigeführt werden könnte.

Die getrennte Erfassung Urin und Fäzes, bspw. über den Rollac 1.0, würde in Löwenstein bei vier (Clarithromycin, Erythromycin, Metoprolol und Sulfamethoxazol) von acht Stoffen, bei denen zurzeit PNEC-Überschreitungen vorliegen, zu einer Verbesserung führen; in Wiesloch immerhin bei vier (Diclofenac, Primidon, Sulfamethoxazol und Ciprofloxazin) von fünf Stoffen. In Löwenstein könnte durch diese Maßnahme bei Erythromycin und Metoprolol eine PNEC-Unterschreitung erreicht werden, in Wiesloch bei Primidon und Sulfamethoxazol.

Durch den Einsatz einer Ozonung oder einer Aktivkohlebehandlung bei der Abwasserbehandlung könnten bei den betrachteten Stoffen bis auf Primidon und Estradiol signifikante Reduktionen bis unter die PNEC erreicht werden, wobei die Eliminationsraten letztlich über die eingesetzten Betriebsmittel gesteuert werden können.

Durch Kombinationen von technischen Maßnahmen zur getrennten Abwasserteilstromerfassung und zur Behandlung (Ozonung und Aktivkohlebehandlung) mit nichttechnischen, organisatorischen Maßnahmen können zum Teil deutliche zusätzliche Reduktionen erreicht werden.

Mit dem Pharmafilterverfahren würden entsprechend der Abschätzungen alle Stoffe bis auf Estradiol am Standort Löwenstein unterhalb der PNEC reduziert werden.

Wesentliches umsetzungsrelevantes Kriterium sind die entstehenden Kosten. Hierbei ist beispielsweise zu diskutieren, ob eine dezentrale Abwasserbehandlung einem Ausbau der bestehenden (kommunalen) Kläranlage mit einer vierten Reinigungsstufe vorzuziehen ist. Ein Szenario, das insbesondere für den Standort Wiesloch relevant ist. Dazu werden im Folgenden die für das Projekt abgeschätzten Kosten für den Pilotstandort Wiesloch mit einem groben Kostenrahmen für eine vierte Reinigungsstufe auf kommunaler Ebene verglichen. Für letztere werden Angaben aus Hillenbrand et al. (2016) verwendet. Der Vergleich ist in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Kostenvergleich dezentrale Maßnahmen am PZN und Ausbau der Verbandskläranlage Wiesloch mit einer vierten Reinigungsstufe

	Ertüchtigung der kommunalen KA am Standort Wiesloch (Hillenbrand et al. 2016; 100.000 bis 200.000 EW)			Dezentrale Maßnahmen zur Abwasserbehandlung am Standort des PZN	
Verfahren	PAC	GAK	Ozonung	Membranbelebungsverfahren + Mikroschadstoffelimination	Pharmafilter
Summe Jahreskosten in €/a	0,54 Mio.	0,62 Mio.	0,46 Mio.	0,285 Mio.	0,455 Mio.

Für eine Nachbehandlung ist zusätzlich mit Kosten bis zu 0,4 Mio. € zu rechnen

Ein Ausbau der kommunalen Kläranlage in Wiesloch mit einer weitergehenden Spurenstoffelimination würde mit 0,46 Mio. Euro Jahreskosten (Ozonung) plus Aufrüstung bzw. Ertüchtigung der Nachbehandlung mit Jahreskosten von bis zu 0,4 Mio. Euro zunächst höhere Kosten verursachen als eine dezentrale Maßnahme, für die beim Einsatz eines Membranbelebungsverfahrens mit Mikroschadstoffelimination am Standort des PZN mit Jahreskosten in Höhe von 0,285 Mio. Euro (Investiver Anteil: 55 %; Anteil Betriebskosten: 45 %) veranschlagt werden. Ein Ausbau der Verbandskläranlage würde allerdings die weitergehende Reinigung des Abwassers von 110.000 EW bedeuten, bei dem der Abwasseranteil des PZNs nur einen geringen Teil ausmacht. Gleichzeitig ist der Breitbandeffekt einer vierten Reinigungsstufe auf der kommunalen Kläranlage zu berücksichtigen, über den auch Arzneistoffemissionen der Haushalte sowie weitere Spurenstoffemissionen erfasst werden, die zu PNEC-Überschreitungen, unabhängig vom Eintrag des PZN, führen können.

Für eine Umsetzung des Pharmafilterverfahrens am Standort des PZN ist mit Jahreskosten von 0,455 Mio. Euro zu rechnen (Investiver Anteil: 72 %; Anteil Betriebskosten: 28 %). Gleichzeitig ist insbesondere beim Pharmafilterverfahren mit Einsparpotentials in unterschiedlichen Bereichen zu rechnen:

- Einsparung von Abwasserabgabegebühren,
- Einsparung von Abfallentsorgungsgebühren (organischer Anteil),
- Reduktion des Personalbedarfs zur Spülung der Steckbecken,
- Reduktion des Trinkwasserverbrauchs (10-40 %) und
- Reduktion von Kosten zu Sicherheitsmaßnahmen gegen Wiederverkeimungsrisiken

Die genaue Höhe des Einsparpotentials ist unbekannt. Bei einer Umsetzung des Pharmafilterverfahrens in Delft konnten in einem Krankenhaus mit 400 Betten jährlich zwischen 0,2 Mio. Euro und 1. Mio. Euro eingespart werden, was einer Amortisierung der dortigen

Investitionen innerhalb von 2 bis 7 Jahren entspricht. Die Spannweite des Einsparpotentials in Delft ist vor allem auf Einsparungen in Höhe von 1 bis 5 Prozent bei den Kosten zur Infektionsprävention in Höhe von 14,6 Mio. Euro (STOWA, 2013) zurückzuführen.

Am Standort Löwenstein existiert zum einen eine eigene Klinikkläranlage. Zum anderen entstehen nach Kaiser (2015) im derzeitigen Klinikbetrieb hohe Kosten für den Betrieb von mehreren Steckbeckenspülern, in die in den kommenden Jahren reinvestiert werden muss. Das Pharmafilter-Verfahren könnte deshalb besondere Vorteile besitzen, da hier die bisherigen Steckbecken, die nach Nutzung gespült werden müssen, durch biologisch abbaubare Kunststoff-Steckbecken ersetzt werden, so dass die Anlagen und der damit verbundene Aufwand zum Steckbeckenspülen entfallen können. Die Jahreskosten für einen Pharmafilter am Standort Löwenstein belaufen sich auf 0,347 Mio. €/a (Investiver Anteil: 78 %; Anteil Betriebskosten: 22 %). Entsprechend der obigen Darstellung zum PZN ist auch hier mit Einsparungen in unterschiedlichen Bereichen zu rechnen (s. o.). Die genaue Höhe des Einsparpotentials ist unbekannt. Erfahrungen aus Delft zeigen jedoch, dass kurze Amortisationszeiten möglich sind (s. obige Ausführung zum PZN).

Die Kosten für eine Membranbelegung mit anschließender Mikroschadstoffelimination werden für den Standort Löwenstein mit 0,217 Mio. €/a veranschlagt (Investiver Anteil: 65 %; Anteil Betriebskosten: 35 %). Für eine abschließende Priorisierung von Maßnahmen am Standort Löwenstein müssen alle derzeit entstehenden Kosten (für die Klinikkläranlage, Steckbeckenspüler, Abtransport von Speiseresten, Personal etc.) gegenübergestellt werden. Eine genaue Auflistung dieser Kosten liegt derzeit nicht vor.

Für den Standort Waldleiningen, der bereits über eine eigene Kläranlage verfügt, aber bei dem vergleichsweise geringe Arzneistoffeinträge vorliegen, bietet sich unter Umständen der Einsatz bzw. die Nachschaltung eines bewachsenen Bodenfilters an. Dieses Verfahren ist vergleichsweise kostengünstig und insbesondere für kleine Kläranlagen geeignet. Es erlaubt bei Normalbetrieb einen hohen Arzneistoffrückhalt.

Tabelle 27: Maßnahmenwirkungen für Stoffe, die am Standort Löwenstein (Ablauf Kläranlage) den PNEC überschreiten

Wirkstoff mit PNEC-Überschreitung	Ausgangszustand	Zustand nach Maßnahmen / Maßnahmenkombinationen											
		a+b+c+d	f	g	h*	i*	j	k	b+f	b+g	b+k	a+b+i	a+b+h
Clarithromycin	Red	Red	Red	Or	Or	Gr	Gr	k.A.	Red	Or	k.A.	Or	Or
Diclofenac	Or	Or	Or	Or	Gr	Gr	Gr	Or	Or	Or	Or	Gr	Or
Erythromycin	Or	Or	Or	Gr	Gr	Gr	Gr	k.A.	Or	Gr	k.A.	Gr	Gr
Metoprolol	Or	Gr	Or	Gr	Gr	Gr	Gr	k.A.	Gr	Gr	k.A.	Gr	Gr
Primidon	Or	Or	Or	Or	Or	Gr	Gr	k.A.	Or	Or	k.A.	Or	Or
Sulfamethoxazol	Red	Red	Red	Or	Red	Gr	Gr	Or	Or	Or	Or	Gr	Or
17-β-Estradiol	Red	Red	Red	Red	Red	Or	Or	Or	Red	Red	Or	Red	Red
Ciprofloxacin	Red	Red	Red	Red	Gr	Or	Gr	Gr	Red	Red	Gr	Gr	Gr

Legende Maßnahmen	
Maßnahme	Kürzel
Schulung Fachpersonal	a
sachgemäße Entsorgung	b
Reduktion der Medikation	c
nicht medikamentöse Behandlung	d
Urinbeutel	f
Rollac 1.0	g
Aktivkohle	h
Ozon	i
Pharmafilter	j
Pflanzenfilter	k
Legende Bewertung	
PNEC-Überschreitung	Farbskala
0%	Gr
zwischen 1% und 100%	Or
zwischen 101% und 1.000%	Red
größer als 1000%	Red

Tabelle 28: Maßnahmenwirkungen für Stoffe, die am Standort PZN (Rohabwasser) den PNEC überschreiten

Wirkstoff mit PNEC-Überschreitung	Ausgangszustand	Zustand nach Maßnahmen / Maßnahmenkombinationen											
		a+b+c+d	f	g	h*	i*	j	k	b+f	b+g	b+k	a+b+i	a+b+h
Diclofenac	Red	Red	Red	Or	Or	Gr	Gr	Or	Red	Or	Or	Gr	Or
Primidon	Or	Or	Or	Gr	Or	Gr	Gr	k.A.	Or	Gr	k.A.	Or	Or
Sulfamethoxazol	Or	Or	Or	Gr	Gr	Gr	Gr	Or	Or	Or	Or	Gr	Or
17-β-Estradiol	Red	Red	Red	Red	Red	Or	Or	Or	Red	Red	Or	Red	Red
Ciprofloxacin	Red	Red	Red	Or	Gr	Or	Gr	Gr	Red	Or	Gr	Gr	Gr

* Elimination ist abhängig von der zugeführten Menge an Betriebsmitteln

9 Ableitung angepasster Gesamtkonzepte für die Pilotstandorte

Aus den grundsätzlich zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen, die in Kapitel 7 und 8 allgemein dargestellt und bewertet werden, wurden entsprechend der jeweiligen Randbedingungen der Pilotstandorte Gesamtkonzepte abgeleitet, die die Integration von einer oder mehreren Maßnahmen aus den verschiedenen Bereichen dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem, Teilstromerfassung und einer dezentralen Abwasserbehandlung beinhalten. Hierbei wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- durch die Maßnahmen erreichbare Emissionsminderungen,
- mögliche sekundäre Umwelteffekte,
- Abschätzung der jeweiligen Kosten,
- Umsetzbarkeit und technische Einsatzfähigkeit (u. a. Reifegrad, Zuverlässigkeit und Anpassbarkeit) der Maßnahmen,
- zu erwartende Akzeptanz der Maßnahmen sowie
- Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Maßnahmen.

Für die nicht-technischen Maßnahmen, die auf informativer und organisatorischer Ebene in den Gesundheitseinrichtungen anzuwenden sind, wurde das Reduktionspotenzial der einzelnen Maßnahmen insgesamt als eher gering bzw. einzelstoffbezogen eingeschätzt. Dennoch bilden diese Maßnahmen einen wichtigen Bestandteil in einem Gesamtkonzept. Sie haben eine unterstützende Wirkung für die Umsetzung anderer Maßnahmen, können bereits an der Quelle Umweltbelastungen vermeiden und tragen zu einer Sensibilisierung bei wichtigen Akteuren hinsichtlich der Problematik von Arzneistoffen in der Umwelt bei. Dies kann eine langfristige Problemlösung an allen Standorten unterstützen.

Eine umsetzungsbezogene Bewertung der nicht-technischen Maßnahmen an den Pilotstandorten kann bspw. über eine Expertenbefragung erfolgen. Die Einbindung und die Einschätzung des Klinikpersonals in den Prozess der Maßnahmenausgestaltung sowie -umsetzung sind für den Erfolg der Maßnahmen notwendig. Entsprechend wurden die Maßnahmen an den Pilotstandorten Löwenstein und Wiesloch vorgestellt. Am PZN in Wiesloch wurde dazu bereits eine Expertengruppe gebildet, die die in diesem Projekt erarbeiteten Maßnahmen auf ihr Umsetzungspotenzial prüfen soll.

Die technischen Maßnahmen lassen sich unterteilen in eine Abwasserteilstromerfassung und eine Abwasserbehandlung, wobei für erstere ebenfalls eine Entsorgung oder Behandlung des erfassten Abwassers vorgenommen werden muss. Eine Teilstromerfassung muss auf die besonders belasteten Teilströme (z. B. Abwasser aus der Radiologie) abzielen. Weniger belastete Teilströme würden mit dem restlichen Abwasser aufbereitet. Dieses Konzept wäre bspw. für Löwenstein denkbar, wo sehr hohe Konzentrationen von RKM im Kläranlagenablauf nachgewiesen wurden. Aber auch für einige Antibiotika und den Betablocker Metoprolol sind durch eine Teilstromerfassung Reduktionen der Arzneistoffeinträge möglich, die dazu führen können, dass gegenwärtige PNEC-Überschreitun-

gen im Kläranlagenablauf vermieden werden. Für einzelne Stoffe (bspw. Methadon) erfolgt am PZN bereits eine Art Teilstromerfassung: flüssige Restmengen werden in Zellstoff gegeben und über den Restmüll entsorgt. Eine differenzierte Bewertung einer Teilstrombehandlung wurde für den Standort Wiesloch bislang nicht weiter verfolgt, da nicht ausreichend Informationen über den Anfall und die Belastung der verschiedenen Teilströme aus den verschiedenen Gebäuden des PZN vorlagen. Nach Angaben des PZN gibt es jedoch entsprechend der Aufteilungen der fachlichen Stationen Belastungsschwerpunkte insbesondere von PZN-spezifischen Stoffen in einzelnen Gebäuden, so dass über eine Teilstromerfassung/-behandlung Belastungsspitzen ggf. abgefangen werden können.

Zusätzlich wurde ergänzend zu den bereits vorliegenden Informationen zu verschiedenen Erfassungskonzepten eine tiefere Prüfung des Konzeptes Pharmafilter sowie der Verfahren zur dezentralen Spurenstoffelimination vor dem Hintergrund der Randbedingungen der Standorte Löwenstein und Wiesloch vorgenommen. Beispiele für dezentrale Krankenhauskläranlagen mit weitergehender Spurenstoffelimination (bspw. Membranbelebung mit anschließender Ozonierung und Aktivkohlebehandlung) gibt es in Deutschland, den Niederlanden, Dänemark und in der Schweiz. Die standortbezogenen Eigenschaften (u.a. Größe und Lage der Einrichtungen, auch im Hinblick auf den Schutz von möglichen umliegenden Trinkwasserschutzgebieten) beeinflussen die Kosten stark. Auf Basis dieser Erkenntnisse betragen die Jahreskosten bei einer Umsetzung einer weitergehenden Abwasserbehandlung am Standort PZN 3,35 €/m³ und 4,25 €/m³ für die Klinik Löwenstein.

Für das Pharmafilterkonzept werden aufgrund der erweiterten Maschinenteknik (Zerkleinerer von Kunststoffsteckbecken (Tontos)) höhere Kosten zu erwarten. Hinzu kommen Lizenzgebühren des patentierten Verfahrens von ca. 5 Prozent des Anlagenpreises. Im Vergleich mit den dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen erhöhen sich die spezifischen Jahreskosten beim Einsatz des Pharmafilterverfahrens im PZN Wiesloch um 2 € auf 5,35 €/m³ und für die Klinik Löwenstein um 2,5 € auf 6,79 €/m³. Kosteneinsparungen können sich ergeben durch die Einsparung von Abwasser- und Abfallgebühren, Reduktion des Personalbedarfs aufgrund Wegfall der Spülung von Steckbecken, Reduktion des Trinkwasserverbrauchs um 10 bis 40 Prozent und durch Reduktion von Kosten zu Sicherheitsmaßnahmen gegen Wiederverkeimungsrisiken. Nach Angaben für die Anwendung in Delft kann innerhalb von 2 bis 7 Jahren eine Amortisierung der Investitionen erfolgen. Bei einem Einsatz des Verfahrens in einem Krankenhaus mit 400 Betten und bei 10 m³/h Bemessungsdurchfluss jährlich konnten insbesondere aufgrund Einsparungen bei der Infektionsprävention Kosten zwischen 200.000 € und 1.000.000 € eingespart werden (STOWA 2013).

Am Standort Waldleiningen werden bereits heute vergleichsweise wenige Arzneistoffmengen verabreicht. Entsprechend wurden für viele Wirkstoffe Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze im Kläranlagenzulauf sowie -ablauf festgestellt. Dennoch ergaben die Analysen für einige Stoffe (z. B. einige Antiepileptika) recht hohe Konzentrationen. Da die Klinikeigene Kläranlage in einen kleinen Vorfluter einleitet, ist eine Abwasserbehandlung mit weitergehenden Spurenstoffelimination zu prüfen. Neben einer Diskussion

und ggf. Integration von nicht-technischen Maßnahmen und einer möglichen Erfassung von stark belasteten Teilströmen bspw. über mobile Toiletten ohne Abwasseranfall (Rollac), könnte aufgrund der geringen Abwassermengen und des Platzangebotes am Standort sowie der niedrigen Kosten ein bewachsener Bodenfilter, ggf. auch als nachgeschaltete Maßnahme, sinnvoll sein.

Zusammenfassung der Maßnahmenoptionen für den Standort Löwenstein

- Nicht technische Maßnahmen:
 - Ziel
 - unterstützende Wirkung
 - einzelstoffbezogene Vermeidung von Belastungsspitzen
 - Handlungsbedarf
 - Abstimmung der Umsetzung mit Akteuren vor Ort
- Teilstromerfassung:
 - Ziel
 - unterstützende Wirkung
 - Erfassung stark belasteter Teilströme am Standort besonders für RKM und Antibiotika relevant
 - Handlungsbedarf
 - Abstimmung der Umsetzung mit Akteuren vor Ort
- Dezentrale Abwasserbehandlung:
 - Ziel
 - Reduktion von Arzneistoffeinträgen in den Vorfluter
 - Vermeidung von PNEC-Überschreitungen
 - aktuelle Randbedingungen
 - bestehende Klinikkläranlage mit biologischer Reinigung
 - hohe Kosten für den Betrieb von Steckbeckenspülern, ggf. Bedarf an Investition in neue Steckbettenspüler → Pharmafilter-Verfahren besonders interessant
 - Optionen
 - Pharmafilterverfahren
Jahreskosten (für Investition und Betrieb): 0,347 Mio. €
 - Membranbelebung mit anschließender Mikroschadstoffelimination:
Jahreskosten (für Investition und Betrieb): 0,217 Mio. €
 - Handlungsbedarf
 - Analyse der Einsparungspotentiale der verschiedenen Optionen
 - Einsparung von Abwasserabgabegebühren
 - Einsparung von Abfallentsorgungsgebühren (organischer Anteil)
 - Reduktion des Personalbedarfs zur Spülung der Steckbecken
 - Reduktion des Trinkwasserverbrauchs (10-40 %)

- Reduktion von Kosten zu Sicherheitsmaßnahmen gegen Wiederverkeimungsrisiken

Zusammenfassung der Maßnahmenoptionen für den Standort Wiesloch

- Nicht technische Maßnahmen:
 - Ziel
 - unterstützende Wirkung
 - einzelstoffbezogene Vermeidung von Belastungsspitzen
 - Handlungsbedarf
 - Abstimmung der Umsetzung mit Akteuren vor Ort (erste Gespräche haben stattgefunden, Arbeitsgruppe wurde gegründet).
- Teilstromerfassung:
 - Ziel
 - unterstützende Wirkung
 - Erfassung stark belasteter Teilströme am Standort, besonders für RKM und Antibiotika relevant
 - Handlungsbedarf
 - differenzierte Betrachtung von Teilströmen
 - Abstimmung der Umsetzung mit Akteuren vor Ort
- Dezentrale Abwasserbehandlung:
 - Ziel
 - insbesondere klinikspezifische Stoffe können durch dezentrale Anlage reduziert werden; Vermeidung von PNEC-Überschreitungen
 - aktuelle Randbedingungen
 - PZN leitet an drei Anschlussstellen in das kommunale Abwassernetz ein
→ ggf. Bedarf an neuer Ableitungsinfrastruktur
 - ggf. weiterhin PNEC-Überschreitungen am Ablauf der kommunalen Kläranlage durch Einträge aus der Kommune
 - Alternative:
 - Ausbau der kommunalen Kläranlage mit Spurenstoffelimination
 - Handlungsbedarf
 - Abstimmung mit Abwasserzweckverband und Behörden bzgl. einer möglichen Umsetzung einer weitergehenden Spurenstoffelimination auf der kommunalen Kläranlage

Maßnahmenoptionen für den Standort Waldleiningen

- Nicht technische Maßnahmen:
 - Ziel
 - unterstützende Wirkung
 - einzelstoffbezogene Vermeidung von Belastungsspitzen

- aktuelle Randbedingungen
 - vergleichsweise geringer Einsatz von Arzneimitteln, verstärkter Einsatz von alternativen Heilmethoden und Therapien
→ nur geringes Reduktionspotenzial
- Handlungsbedarf
 - weitere nicht technische Maßnahmen (z. B. Schulung Fachpersonal) denkbar
 - Abstimmung der Umsetzung mit Akteuren vor Ort
- Teilstromerfassung:
 - differenzierte Betrachtung von Teilströmen für den Standort für Standort nicht relevant
- Dezentrale Abwasserbehandlung:
 - Ziel
 - Reduktion von Arzneistoffeinträgen in den Vorfluter
 - Vermeidung von PNEC-Überschreitungen
 - aktuelle Randbedingungen
 - Klinikkläranlage mit biologischer Reinigung vorhanden
 - überwiegend geringe Verabreichungsmengen, entsprechend viele Wirkstoff-Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze im Kläranlagenzulauf sowie -ablauf
 - Optionen
 - bewachsener Bodenfilter
aufgrund Größe (KA: 300 EW) sowie vergleichsweise niedriger Kosten ist die Installation eines bepflanzten Bodenfilters denkbar
- Investitionskosten: 108.000 €; Betriebskosten gering (für 32 m²-Versuchsanlage: 180 € im Jahr)
 - nicht relevant: Pharmafilterverfahren; Membranbelebung mit anschließender Mikroschadstoffelimination
 - Handlungsbedarf
 - weitergehende Abstimmung mit Akteuren vor Ort

10 Zusammenfassung

Anthropogene Spurenstoffe werden in den letzten Jahren verstärkt in unterschiedlichen Umweltmedien nachgewiesen. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung dieser Belastungen wird auf verschiedenen Ebenen diskutiert. Hierbei spielen Arzneistoffe eine wichtige Rolle. In der Richtlinie 2013/39/EG wird festgestellt, dass die Kontamination des Wassers und des Bodens mit Arzneimittelrückständen „ein zunehmend auftretendes Umweltproblem“ darstellt. Vor dem Hintergrund der bestehenden Belastungen der Gewässer in Deutschland mit Pharmakarückständen und Mikroschadstoffen gibt es insbesondere bei Gewässern, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, bereits seit einigen Jahren Anstrengungen, diese Belastungen zu reduzieren. Hierbei können dezentrale Maßnahmen, die bei einer Reduktion von Arzneistoffeinträgen aus Gesundheitseinrichtungen ansetzen eine wichtige Rolle spielen.

Relevanz von Gesundheitseinrichtungen bzgl. der Belastung durch Spurenstoffe

Im vorliegenden Vorhaben wurde zunächst die Relevanz von Gesundheitseinrichtungen bzgl. der Belastung durch Spurenstoffe anhand der Größe der Gesundheitseinrichtungen im Verhältnis zu den jeweiligen Kommunen abgeschätzt. Hierbei wurden die Kennzahlen „Fallzahl“ und „Bettenzahl“ verwendet, die einen ersten Hinweis für die Größe und die Relevanz einer Gesundheitseinrichtung bzgl. möglicher Arzneistoffeinträge geben können. Weitere wichtige Faktoren sind fachliche Ausrichtung, Zusammensetzung der eingesetzten Arzneistoffe, Anteil von stationären zu ambulanten Patienten und die Abwassermengen.

Von den rund 230 Krankenhausstandorten in Baden-Württemberg ist der Großteil in Kommunen eingebettet in denen die Einwohnerzahl deutlich höher ist als die Anzahl der behandelten Fälle pro Jahr. In einigen wenigen Fällen liegt allerdings die Anzahl der behandelten Fälle pro Jahr im Bereich der Einwohnerzahlen oder sogar bis zu einem Faktor 3 darüber.

Bei der Betrachtung des Verhältnisses „Betten zu Einwohner“ konnten neben Angaben zu Krankenhäusern auch Anzahlen von Reha- und Vorsorgeeinrichtungen verwendet werden. Auch hier zeigte sich, dass bei einem Großteil der Standorte die Bettenzahl in einem Bereich von 5 Prozent der Einwohnerzahl bzw. darunter liegt. In einigen wenigen Fällen liegt die Anzahl der Betten der Gesundheitseinrichtungen über 10 bis hin zu 20 Prozent der Einwohnerzahlen.

Für rund 50 Einrichtungen mit einem ungünstigen Verhältnis Fall-/Bettenzahl zu Einwohnern der umliegenden Kommunen wurden die Belastungen der Gewässer anhand der Beispielstoffe Diclofenac und Sulfamethoxazol mit mittleren Verbrauchsdaten pro Bett und Einwohner durch die Gesundheitseinrichtungen bzw. die Kommunen sowie Ausscheidungs- und Eliminationsraten abgeschätzt.

An fünf bzw. zehn Standorten kann es entsprechend der Abschätzung zu Diclofenac-Belastungen im Vorfluter bei MQ bzw. MNQ im Bereich von mehr als 10 Prozent einer

PNEC allein durch Einleitungen aus den Gesundheitseinrichtungen kommen. Bei Sulfamethoxazol ergeben sich ebenfalls PNEC-Überschreitungen, allerdings in geringerer Anzahl. Zu der Vorfluterbelastung durch die Gesundheitseinrichtungen kommen in der Regel Oberliegerbelastungen und sonstige Einträge in das kommunale Netz, die das PEC/PNEC-Verhältnis zusätzlich verschlechtern.

Basierend auf mittleren spezifischen Verbrauchsmengen pro Einwohner und pro Krankenhausbett wurden anschließend anhand des Beispielstoffs Diclofenac die Anteile von Gesundheitseinrichtungen und der Bevölkerung abgeschätzt. Basierend auf der Abschätzung beträgt der Anteil von Krankenseinträgen an der Gesamtbelastung an zwölf Standorten über 10 Prozent bei Diclofenac, bei Sulfamethoxazol liegt der Anteil bei einigen Standorten nahe 70 Prozent. Hieraus ergeben sich für die betrachteten Stoffe Überschreitungen von PNEC/2 durch die Einträge von Kommunen und Krankenhäusern in den Vorflutern bei MQ und MNQ.

Für eine weitergehende Prüfung der Relevanz von Gesundheitseinrichtungen sind neben sehr breit eingesetzten Arzneistoffen wie Diclofenac und Sulfamethoxazol auch für Gesundheitseinrichtungen spezifischere Substanzen, ggf. auch entsprechend der Ausrichtung der Einrichtung, auszuwählen. Für entsprechende Auswertungen liegen bislang allerdings nicht ausreichend Daten vor.

Basierend auf den Abschätzungen möglicher Belastungen erfolgte eine Auswahl von sechs zu beprobenden Kläranlagen bei eintragsrelevanten Standorten. Für weitere sieben Standorte mit verhältnismäßig großen Gesundheitseinrichtungen konnten Daten aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016) verwendet werden.

Die gemessenen Werte liegen im Bereich der Größenordnungen von vergleichbaren Literaturwerten. Tendenziell liegen die Arzneistoff-Zulaufkonzentrationen der betrachteten 13 Standorte oberhalb des Medians aus 40 Standorten der Bestandsaufnahme von KomS, in der sieben der 13 Standorte enthalten waren. Insbesondere Dihydrocarbamazepin, Ciprofloxacin und Sulfamethoxazol lagen deutlich oberhalb des Median der Bestandsaufnahme. Bei den Stoffen Metoprolol, Gabapentin, Metformin und Clarithromycin liegen rund 60 Prozent der Werte der Standorte mit Gesundheitseinrichtung oberhalb des Median.

Bei den Analgetica Diclofenac und Ibuprofen liegen alle Werte vergleichsweise dicht beieinander, d.h. hier ist kein Einfluss der Gesundheitseinrichtungen erkennbar. Bei den Röntgenkontrastmitteln zeigt sich insgesamt eine sehr starke Spreizung, die unter anderem daran liegt, dass je nach Standort unterschiedliche Mittel eingesetzt werden.

Vergleicht man die Ablaufkonzentrationen der ReAs-Standorte mit PNEC-Werten nach Bergmann et al. (2011), so ergeben sich in allen Fällen Überschreitungen bei Diclofenac und in 11 von 13 Fällen bei Ciprofloxacin. Bei Clarithromycin kommt es bei 54 Prozent zu PNEC-Überschreitungen, bei Sulfamethoxazol rund 46 Prozent und bei Roxithromycin und Primidon bei 30 Prozent zu PNEC Überschreitungen.

Die Einwohner-spezifischen Frachten der Substanzen im Zulauf der 13 Standorte mit verhältnismäßig großen Gesundheitseinrichtungen liegen im Mittel über 50 Prozent über den spezifischen Frachten der Vergleichskläranlagen aus der Bestandsaufnahme von KomS (2016). Auch bei einem Vergleich mit dem Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg (Sacher et al. 2014) zeigt sich, dass Standorte mit großen Gesundheitseinrichtungen überwiegend deutlich höhere Konzentrationen und spezifische Emissionsfaktoren aufweisen.

Zu berücksichtigen ist, dass die für die vorliegenden Betrachtungen ausgewählten Stoffe sowohl in Gesundheitseinrichtungen als auch im privaten Haushaltsbereich verwendet werden und keine explizit gesundheitseinrichtungsspezifischen Stoffe darstellen. Für Substanzen, die bei Gesundheitseinrichtungen ggf. eine besondere Bedeutung aufweisen, im Rahmen des ReAs-Vorhabens jedoch nicht weiter betrachtet werden konnten, kann die Umweltrelevanz nicht näher bewertet werden. Hierzu gehören bspw. auch Neuroleptika wie Chlorpromazin, Clozapin oder Quetiapin, die in der Literatur bislang wenig thematisiert wurden, aber in größeren Mengen in psychiatrischen/psychosomatischen Einrichtungen eingesetzt werden.

Bestandsaufnahme an drei Pilotstandorten

Für die drei Standorte Löwenstein, Wiesloch und Waldleiningen erfolgte eine detailliertere Betrachtung der Eintragsituation auf Basis von Verbrauchsdaten der Klinikapotheken und gemessenen Zu- und Ablaufkonzentrationen der zugehörigen Kläranlagen.

Bei einem Vergleich der gemessenen Zulaufkonzentrationen für Löwenstein zeigt sich, dass die Konzentrationen bei 11 von 19 Wirkstoffen zum Teil deutlich oberhalb des oberen Quartils der Gesamtmessungen der Kläranlagen liegen, in sechs Fällen stellen sie den Maximalwert dar (Metoprolol, Sulfamethoxazol, Gabapentin, Clarithromycin, Ciprofloxacin, Iohexol). In vier Fällen liegen sie unterhalb des unteren Quartils (Ibuprofen, Diclofenac, Metformin, Azithromycin). In Wiesloch liegen 11 von 19 Wirkstoffen oberhalb des Medians, sechs davon oberhalb des oberen Quartils (Metoprolol, Sulfamethoxazol, Azithromycin, Ciprofloxacin, Dihydroxycarbamazepin, Iohexol) (vgl. Abbildung 18). In Waldleiningen liegen drei Wirkstoffe oberhalb des Medians und des oberen Quartils: Gabapentin, Ciprofloxacin und Dihydroxycarbamazepin.

Bei einem Vergleich mit PNEC-Werten nach Bergmann et al. (2011) zeigt sich, dass es bei mehreren Substanzen zu Abwasserkonzentrationen oberhalb der PNEC kommt. Acht bei Löwenstein (Estradiol, Ciprofloxacin, Diclofenac, Clarithromycin, Erythromycin A, Primidon, Sulfamethoxazol, Metoprolol), fünf in Wiesloch (Estradiol, Ciprofloxacin, Diclofenac, Primidon, Sulfamethoxazol). In Waldleiningen ergibt sich lediglich bei Diclofenac eine PNEC-Überschreitung, die jedoch unterhalb der anderen Standorte liegt. Bei Metformin ist der gemessene Wert in Waldleiningen, im Vergleich zu den anderen Standorten, am höchsten und liegt im Bereich des PNEC.

Bei einem Vergleich der über die Krankenhausapotheken erhobenen Verbrauchsdaten mit gemessenen Kläranlagenzulaufkonzentrationen konnte der Effekt deutlich dargestellt

werden, dass der über die Krankenhausapothekendaten ermittelte Jahresdurchschnitt nur einen Teil der Krankenhauseinträge abdeckt. Über bereits vorhandene Medikationen von Patienten, die Wirkstoffe einnehmen, die nicht über die Daten zu Abgabemengen der Krankenhausapotheken abgedeckt werden, entstehen zusätzliche Einträge. In Löwenstein gehörten hierzu in besonderem Maße die Psychopharmaka Venlafaxin, Oxazepam, Carbamazepin, aber auch Lipidsenker Bezafibrat, Betablocker Atenolol oder Primidon zur antikonvulsiven Dauerbehandlung. In Waldleiningen werden über die Klinikapotheke vergleichsweise geringe Arzneistoffmengen verabreicht. Nach dem Vergleich von Messdaten mit Apothekendaten ist bei acht von zwölf Wirkstoffen anzunehmen, dass bereits vorhandene Medikationen von Patienten zu zusätzlichen Einträgen führen. Hierzu gehören die Schmerzmittel Phenazon, Paracetamol und Ibuprofen sowie die Psychopharmaka Vanlafaxin und Gabapentin, die Bludruck-/Lipidsenker Metformin und Bisoprolol sowie das bei insulinabhängiger Zuckerkrankheit verwendete Metformin. Zusätzlich können der unterschiedliche Bilanzierungszeitraum von Verbrauchsdaten und Analysedaten (Jahresmittel vs. einmalige 72-h-Probe) sowie Messungenauigkeiten zu Abweichungen zwischen den beiden Datensätzen führen.

Im Rahmen einer szenarienbasierten Abschätzung der Arzneistoffemissionen durch Regenüberläufe am Standort Wiesloch, die saisonale Schwankungen im Arzneistoffverbrauch berücksichtigen, wurde deutlich, dass sich für die am Standort vorliegenden Randbedingungen einerseits die Mengen, die über RÜB-Entlastungen an einem dezentralen, der Gesundheitseinrichtung nachgelagerten Standort eingeleitet werden, im niedrigen einstelligen Grammbereich pro Jahr bewegen. Die Entlastungskonzentrationen liegen jedoch selbst bei diesen vergleichsweise günstigen Bedingungen in zwei Worst-Case-Szenarien (erhöhter Antibiotikaverbrauch bspw. während einer Grippewelle, und erhöhter Analgetikaverbrauch während der „Rheumazeit“ im Winter) bei den beiden betrachteten Stoffen Diclofenac und Sulfamethoxazol teilweise um einen Faktor 20 (Diclofenac, Szenario 2) bzw. 5 (Sulfamethoxazol, Szenario 4) über dem jeweiligen PNEC. Das bedeutet, dass aus den Überläufen von RÜB trotz geringer Frachten umweltrelevante Konzentrationen von Arzneistoffen eingetragen werden können. Nicht berücksichtigt ist dabei der durch die Wassermenge des als Vorfluter genutzten Gewässers verursachte Verdünnungseffekt. Bei zentralen Regenüberlaufbecken, die bspw. direkt vor Kläranlagen liegen, können Einträge erheblich höher ausfallen.

Maßnahmooptionen

Um Emissionen von Arzneistoffen in die Gewässer zu verringern, stehen neben zentralen nachgeschalteten Maßnahmen auf der jeweiligen kommunalen Kläranlage sowohl quellenorientierte Maßnahmen – bei der Stoffentwicklung (auf nationaler bzw. internationaler Ebene), bei der Verschreibung von Arzneimitteln, bei der Anwendung und der Entsorgung – als auch dezentrale Maßnahmen zur Erfassung und Behandlung von Abwässern aus Gesundheitseinrichtungen zur Verfügung. Die Handlungsebene lassen sich hierbei wie folgt unterteilen:

- Übergeordnete Maßnahmen,

- dezentrale Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem,
- dezentrale technische Maßnahmen: Sammlung und Erfassung,
- dezentrale technische Maßnahmen: Behandlung und
- nachgeschaltete Maßnahmen: 4. Reinigungsstufe Kläranlage.

Das Wirkpotenzial bei nicht-technischen dezentral umsetzbaren Maßnahmen mit Bezug zum Gesundheitssystem bzw. auf informativer und organisatorischer Ebene lässt sich zu einem großen Teil nicht genau spezifizieren, da keine ausreichenden Praxisbeispiele vorhanden sind, von denen das Reduktionspotenzial abgeleitet werden kann. Für die Einzelmaßnahmen alleine ist aber überwiegend von einem geringen bzw. stark Einzelstoff-bezogenen Wirkpotenzial auszugehen, z. B. beim Einsatz von Alternativsubstanzen bei bestimmten Indikationen. Gleichzeitig stellen diese Maßnahmen im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes wesentliche Grundlage für weitere Maßnahmen und wichtige Teilbausteine dar, die die Aufmerksamkeit gegenüber der Problematik von Arzneistoffeinträgen in die aquatische Umwelt deutlich erhöhen und durch die damit zu erreichende Sensibilisierung unterstützend wirken. Wenngleich die nicht-technischen Maßnahmen mit geringerem (direkten) Wirkungspotenzial behaftet sind, sind sie i. d. R. mit bedeutend niedrigeren Kosten verbunden als technische Lösungen.

An den Standorten Löwenstein und Wiesloch ist die Umsetzung nicht-technischer Maßnahmen grundsätzlich sinnvoll und möglich. Die konkrete Umsetzung wäre in einem nächsten Schritt mit den betroffenen Akteuren vor Ort, insbesondere mit dem Klinikpersonal, näher zu diskutieren und abzustimmen. In Wiesloch wurde eine entsprechende Arbeitsgruppe mit Vertretern der Ärzteschaft und des Pflegepersonals gebildet, die sich an einer Diskussion zur Umsetzung nicht-technischer Maßnahmen beteiligt. Am Standort Löwenstein wäre für die konkrete Umsetzung entsprechender Maßnahmen ein vergleichbares Vorgehen zu empfehlen. Am Standort Waldleiningen werden nur vergleichsweise geringe Mengen an Arzneimittel eingesetzt, da die Klinik verstärkt auf alternative Heilmethoden und Therapien setzt. Ein wesentlicher Eintrag erfolgt hier über bereits vorhandenen Medikationen von Patienten.

Über eine dezentrale Erfassung von stark belasteten Teilströmen (vgl. Urinbeutel und Rollac) und eine separate Behandlung bzw. Entsorgung können Einzelstoff- bzw. Arzneimittelgruppenspezifische Eintragungsspitzen gekappt werden. Der Einsatz ist mit mittleren Kosten und notwendigen organisatorischen Begleitmaßnahmen verbunden.

Für den Ausbau einer dezentralen Abwasseraufbereitung/Krankenhauskläranlage mit einer weitergehenden Spurenstoffelimination bieten sich die Verfahren Membranbehandlung, Ozonung und Aktivkohlefiltration bzw. deren Kombinationen an. Die Verfahren haben insgesamt eine hohe Wirksamkeit und einen großen Breitbandeffekt. Die Reinigungsleistung ist aber von den Einsatzmengen der Betriebsmittel abhängig und Eliminationsraten sind stoffspezifisch, d.h. die Substanzen werden unterschiedlich gut abgebaut. Aus diesem Grund hat sich die Kombination verschiedener Behandlungsverfahren für Krankenhausabwässer bewährt.

Die Implementierung ist mit baulichem Aufwand und mit nachfolgend begleitendem Betriebsaufwand (Personal und Betriebsmittel) verbunden, wodurch entsprechende Kosten entstehen, deren Höhe stark von den individuellen Randbedingungen der jeweiligen Standorte abhängen. Für eine abschließende Bewertung ist deshalb eine tiefergehende Betrachtung dieser Verfahren notwendig.

Am Standort Löwenstein wäre der Einsatz des Pharmafilterverfahrens denkbar, insbesondere vor dem Hintergrund, dass im Rahmen des kostenintensiven Einsatzes von Steckbeckenspülern ohnehin aktuell Investitionsbedarf besteht.

Für den Standort Waldleiningen, der bereits über eine eigene Kläranlage verfügt, aber bei dem vergleichsweise geringe Arzneistoffeinträge vorliegen, bietet sich unter Umständen die Nachschaltung eines bewachsenen Bodenfilters an. Dieses Verfahren ist vergleichsweise kostengünstig und insbesondere für kleine Kläranlagen geeignet.

Zusätzlich sind weitere innovative Ansätze zur Reduktion von Arzneistoffeinträgen in die aquatische Umwelt denkbar. Hierzu gehört unter anderem die Elimination von Arzneimittelrückständen mit elektrochemischen Verfahren, die kostengünstiger sein könnten als die beschriebenen Verfahren/Verfahrenskombinationen.

11 Literaturverzeichnis

Abegglen, C. (2009): Eliminating micropollutants: wastewater treatment methods. In: *Eawag News* (67e), S. 25–27, zuletzt geprüft am 11.09.2014.

Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hg. v. Bundesamt für Umwelt (BAFU), zuletzt geprüft am 16.06.2016.

Adomßent, M.; Kümmerer, K. (2015): Bildungsmaßnahmen für Ärzte und Pflegepersonal bezüglich Arzneimittelrückstände im Wasserkreislauf. In: J. Pinnekamp, L. Palmowski und Kümmerer, K., Schramm, E. (Hg.): *Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens. Charakterisierung, Technologien, Kommunikation und Konzepte. Abschlussbericht des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens "Innovative Konzepte und Technologien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens (sauber+)".* Aachen, S. 285–304.

Agerstrand, Marlene; Ruden, Christina (2010): Evaluation of the accuracy and consistency of the Swedish environmental classification and information system for pharmaceuticals. In: *The Science of the total environment* 408 (11), S. 2327–2339. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.02.020.

AHW (o. J.): Expedition Klärwerk. Wastewater-world Wiesloch. Wiesloch. Online verfügbar unter http://www.ahw-wiesloch.de/ahw/db_pics/1/Abwasser_mini.pdf, zuletzt geprüft am 09.07.2016.

Akademie im Park (o. J.): Akademie im Park. Online verfügbar unter <http://www.akademie-im-park.de/>, zuletzt geprüft am 14.07.2016.

Andersson, Hanna; Magner, Jörgen; Wallberg, Petra (2013): Self-declarations of environmental classification in www.fass.de. - experiences from reviewing process during 2012. Hg. v. Swedish Environmental Research Institute IVL, zuletzt geprüft am 19.07.2016.

Bähr, S. (2009): Persistenz abwasserbürtiger Antipsychotika- und Sulfamethoxazolrückstände im Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser des südlichen Rhein-Neckar-Kreises. Dissertation. Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg, zuletzt geprüft am 12.07.2016.

Bastian, Daniel; Johne, Steffen; Meyer, Andreas; Krotoszynski, Jan; Bäumlisberger, Matthias; Menz, Jakob; Hermann, Manuel (2015): Einsatz von UV + H₂O₂ zur Elimination von Arzneimittelrückständen und Krankheitserregern aus Abwasser von Einrichtungen des Gesundheitswesens. In: J. Pinnekamp, L. Palmowski und Kümmerer, K., Schramm, E. (Hg.): *Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens. Charakterisierung, Technologien, Kommunikation und Konzepte. Abschlussbericht des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens "Innovative Konzepte und Techno-*

logien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens (sauber+)". Aachen, S. 201–221.

Batelaan, M. V.; van den Berg, E. A.; Koetse, E.; Wortel, N. C.; Rimmelzwaan, J.; Vellinga, J. (2013): Evaluation report pharmafilter. Full scale Demonstration in the reinier de graaf gasthuis (hospital) Delft. Rapport 16 2013. Hg. v. STOWA. Online verfügbar unter <http://nieuwesanitatie.stowa.nl/upload/publicaties/STOWA%202013%2016%20LR.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Beier, S.; Cramer, C.; Koster, S.; Mauer, C.; Palmowski, L.; Schroder, H. Fr; Pinnekamp, J. (2011): Full scale membrane bioreactor treatment of hospital wastewater as forerunner for hot-spot wastewater treatment solutions in high density urban areas. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 63 (1), S. 66–71. DOI: 10.2166/wst.2011.010.

Bergmann, A.; Fohrmann, R.; Weber, F. (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. Hg. v. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 66/2011). Online verfügbar unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4188.html>, zuletzt geprüft am 24.10.2013.

Böhler, Marc; Zwickenspflug, Ben; Grassi, Mariangela; Behl, Markus; Neuenschwander, Silvio; Siegrist, Hansruedi et al. (2011): Abschlussbericht Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon. Ergänzende Untersuchungen zum Projekt Strategie MicroPoll. Hg. v. Eawag. Dübendorf, zuletzt geprüft am 13.07.2016.

Christoffels, E.; Brunsch, A.; Wunderlich-Pfeiffer, J.; Mertens, F. M. (2016): Monitoring micropollutants in the Swist river basin. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 74 (10), S. 2280–2296. DOI: 10.2166/wst.2016.392.

Citec Information; Life Sciences (2009): Environmental classification of pharmaceuticals in Sweden. A qualitative market research study. Hg. v. Pfizer AB, LIF und SKL, zuletzt geprüft am 19.07.2016.

CLOsac AG (o. J.a): Angebote nach Mass. Online verfügbar unter <http://www.closac.com/home/services/produkteberatung/>, zuletzt geprüft am 08.07.2016.

CLOsac AG (o. J.b): Fragen und Antworten. Online verfügbar unter <http://www.closac.com/home/services/faq/fragen-zur-anschaffung-von-rollac-10/>, zuletzt geprüft am 08.07.2016.

CLOsac AG (o. J.c): Vorteile für Patienten und Personal. Online verfügbar unter <http://www.closac.com/home/rollac-10/vorteile/>, zuletzt geprüft am 23.01.2017.

Debatin, J. F.; Goyen, M.; Kirstein, A. (2011): Alles Grün auch im Krankenhaus. Green Hospital ; Wege zur effektiven Nachhaltigkeit. 1. Aufl. s.l.: Georg Thieme Verlag KG.

Deffner, Jutta; Götz, Konrad (2008): Handlungsoptionen für einen umweltfreundlicheren Umgang mit Arzneimitteln. In: *Environmental Sciences Europe* 20 (4), S. 238–248. DOI: 10.1007/s12302-008-0013-5.

DESTATIS (2013a): Staat & Gesellschaft - Krankenhäuser - Eckdaten der Krankenhäuser 2013. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Internet. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/KrankenhaeuserJahreVeraenderung.html>, zuletzt aktualisiert am 03.03.2015, zuletzt geprüft am 28.04.2015.

DESTATIS (2013b): Staat & Gesellschaft - Krankenhäuser - Krankenhäuser nach Fachabteilungen. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Internet. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/KrankenhaeuserFA.html>, zuletzt aktualisiert am 21.04.2015, zuletzt geprüft am 28.04.2015.

DESTATIS (2014): Verzeichnis der Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen (Krankenhausverzeichnis). Stand: 31.12.2013. Wiesbaden. Online verfügbar unter www.statistikportal.de.

DESTATIS (2015): Fortschreibung des Bevölkerungsstandes, Ergebnisse auf Grundlage des Zensus 2011. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.

DESTATIS (2017): Krankenhäuser. Eckdaten Krankenhäuser 2013. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/KrankenhaeuserJahreVeraenderung.html>, zuletzt geprüft am 23.02.2017.

Dieter, H.; Götz, K.; Kümmerer, K.; Rechenberg, B.; Keil, F. (2010): Handlungsmöglichkeiten zur Minderung des Eintrags von Humanarzneimitteln und ihren Rückständen in das Roh- und Trinkwasser. Statusbeschreibung und Empfehlungen aus einem Fachgespräch, das Umweltbundesamt (UBA) und Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) am 21./22. Januar 2010 in Berlin auf Anregung des Bundesministeriums für Gesundheit (Ref 324) durchführten. UBA, ISOE, zuletzt geprüft am 27.05.2016.

DKTIG (2015a): Deutsches Krankenhaus Verzeichnis. Leipzig. Online verfügbar unter www.deutsches-krankenhaus-verzeichnis.de.

DKTIG (2015b): Kurzprofil Psychiatrisches Zentrum Nordbaden. Hg. v. Deutsche Krankenhaus TrustCenter und Informationsverarbeitung GmbH. Online verfügbar unter <http://www.deutsches-krankenhaus-verzeichnis.de/suche/show/pdf/260820832/00.html?RenderOutputType=pdf&clientId=dktig&filename=Kurzprofil-260820832-00.pdf&locale=de>, zuletzt geprüft am 09.07.2016.

DKTIG (2016): Kurzprofil SLK Lungenklinik Löwenstein. Hg. v. Deutsche Krankenhaus TrustCenter und Informationsverarbeitung GmbH. Online verfügbar unter

<http://www.deutsches-krankenhaus-verzeichnis.de/suche/show/pdf/260811023/00.html?RenderOutputType=pdf&clientId=dkting&filename=Kurzprofil-260811023-00.pdf&locale=de>, zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Dobner, I.; Siol, A.; Filser, J.; Warrelmann, J. (2016): Entwicklung eines innovativen Pflanzenfilters zur Eliminierung von Arzneimittelrückständen im Ablauf kleiner Kläranlagen und dezentraler Kleinkläranlagen (Phasen 2 u. 3). Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem AZ: 28722 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien UFT der Universität Bremen, zuletzt geprüft am 23.03.2017.

Dürr, C. (o. J.): Haus Stefanie. Online verfügbar unter <http://www.hausstefanie.net/index.php>, zuletzt geprüft am 10.05.2016.

DWA-M775 (2010): DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M775: Abwasser aus Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen. ISBN: 978-3-941897-62-5.

DWD (2016): WESTE-XL. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach. Online verfügbar unter http://www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westexl/weste_xl.html?nn=342632, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Ebert, I.; Conradi, S.; Hein, A.; Amato, R. (2014): Arzneimittel in der Umwelt - vermeiden, reduzieren, überwachen. Hintergrundpapier. Hg. v. Umweltbundesamt, Fachgebiet IV 2.2 Arzneimittel, Wasch- und Reinigungsmittel. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/01.08.2014_hintergrundpapier_arzneimittel_final_.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2014.

Feldmann, D. F. (2005): Modellberechnungen zum Verhalten und Verbleib von Arzneimittelrückständen im Krankenhausabwasser und Beurteilungsmöglichkeiten ihres ökotoxikologischen Gefährdungspotentials. Fakultät III – Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Dissertation. Berlin, zuletzt geprüft am 02.02.2016.

Flöser, V. (2006): Vortrag „Abwasserbelastung durch Krankenhäuser – ein Problem?“ zum 2. Krankenhaus-Umweltag NRW der Krankenhausgesellschaft NW e. V. am 26.09.2006 in Bochum. zitiert bei Seidel et al. 2013.

Götz, K.; Birzle-Harder, B.; Sunderer, G. (2014): Ergebnisse einer Repräsentativbefragung zu Medikamentenrückständen im Wasserkreislauf und zur Medikamentenentsorgung. In: *Korrespondenz Abwasser Abfall* 61 (12), S. 1102–1105.

Götz, Konrad (2012): An EU-wide Environmental Classification System for Pharmaceuticals: A Delphi-Survey with experts in Germany, Hungary and the United Kingdom. PHARMAS: Ecological and human health risk assessments of antibiotics and anti-cancer drugs found in the environment. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, zuletzt geprüft am 08.06.2016.

Gurke, R.; Rossler, M.; Marx, C.; Diamond, S.; Schubert, S.; Oertel, R.; Fauler, J. (2015): Occurrence and removal of frequently prescribed pharmaceuticals and corresponding metabolites in wastewater of a sewage treatment plant. In: *The Science of the total environment* 532, S. 762–770. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.067.

Hagar66, TUBS (2010): Mudau in MOS. Hg. v. Wikipedia. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Mudau_in_MOS.svg, zuletzt geprüft am 30.03.2017.

Hagar66, TUBS (2013): Wiesloch in HD. Hg. v. Wikipedia. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Wiesloch_in_HD.svg, zuletzt geprüft am 30.03.2017.

Herrmann, M.; Olsson, O.; Fiehn, R.; Herrel, M.; Kümmerer, K. (2015): Bedeutung von Einrichtungen des Gesundheitswesens am Eintrag von Arzneimitteln in die Umwelt. Innovative Konzepte und Technologien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens. Posterbeitrag im Rahmen der BMBF-FONA Veranstaltung zu "Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf (RiSKWa). Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie, Leuphana Universität Lüneburg; Ortenau Klinikum Offenburg-Gengenbach.

Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Bratan, T. (2015): Gutachten für den Deutschen Bundestag, vorgelegt dem Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), zum Thema „Human- und tiermedizinische Wirkstoffe in Trinkwasser und Gewässern – Mengenanalyse und Vermeidungsstrategien“. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, zuletzt geprüft am 07.06.2016.

Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Fuchs, S.; Toshovski, S.; Metzger, S.; Tjoeng, I. et al. (2016): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. Phase 2. Umweltbundesamt.

Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Menger-Krug, E.; Marscheider-Weidemann, F.; Fuchs, S.; Toshovski, S. et al. (2014a): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. 85/2014. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (UBA Texte). Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/massnahmen-zur-verminderung-des-eintrages-von>.

Hillenbrand, Thomas; Tettenborn, Felix; Menger-Krug, Eve; Marscheider-Weidemann, Frank; Fuchs, Stephan; Toshovski, Snezhina et al. (2014b): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/massnahmen-zur-verminderung-des-eintrages-von>, zuletzt geprüft am 19.05.2016.

Hochstetter, B.; Maurer, S.; Winter, M. (2015): Statistik Kommunal Wiesloch. 2014. Hg. v. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Online verfügbar unter file:///F:/Literatur/2014_Hochstetter%20et%20al._statistik_broschuere_Wiesloch.pdf, zuletzt geprüft am 09.07.2016.

IMS Health (2015): Verbrauchszahlen ausgewählter Humanarzneimittel (2002-2013) Cham, Schweiz. Übermittelt für und verwendet bei Hillenbrand et al. (2016); Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer – Phase 2; UBA-Texte 60/2016.

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (2010): Auswertungsbericht Röntgenkontrastmittel. Bericht Nr. 187. Online verfügbar unter http://www.iksr.org/uploads/media/IKSR-Bericht_Nr._187d.pdf, zuletzt geprüft am 12.07.2016.

Janson, U. (2016a): Allgemeine Informationen über das PZN. Wiesloch, 2016. mündlich an Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Janson, U. (2016b): Wasserverbräuche am PZN, 2016. Datenblatt an Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Kaiser, M. (2015): Abwasserbehandlung am Standort der Klinik Löwenstein. Löwenstein, 2015. mündlich an Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Keil, F. (2008): Humanarzneimittelwirkstoffe: Handlungsmöglichkeiten zur Verringerung von Gewässerbelastungen. Eine Handreichung für die Praxis. Forschungsprojekt start. Hg. v. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, zuletzt geprüft am 20.05.2016.

Klinik Schloss Waldleiningen (o. J.): Klinik Schloss Waldleiningen. Online verfügbar unter http://www.schloss-waldleiningen.de/pages/intro_8.php?lang=DE, zuletzt geprüft am 24.01.2017.

KomS (2016): Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg. gefördert vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg UM-Vorhaben Nr. 367/2014. Unter Mitarbeit von Walter Rau und Steffen Metzger. Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW.

Krarp, Jess; Søholm, Jakob; Nielsen, Ulf; Grønborg, Ole; Zimmermann, Stefan (o. J.): Private-Public Innovation Project. WASTEWATER TREATMENT AT HERLEV HOSPITAL, DENMARK. Hg. v. Grundfos Biobooster, zuletzt geprüft am 30.06.2016.

Kümmerer, K. (2001): Drugs in the environment: Emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources- a review. In: *Chemosphere* (45), S. 957–969, zuletzt geprüft am 18.04.2017.

Kümmerer, K. (2006): Kapitel 21, „Herkunft, Vorkommen, Verhalten und Verbleib von Arzneimitteln in der aquatischen Umwelt.“ In: DASCHNER, F., DETTENKOFER, M., FRANK, U., SCHERRER, M., (Hrsg.). Praktische Krankenhaushygiene und Umweltschutz. Springer-Verlag, 3. Auflage, 285-290. zitiert bei Seidel et al. 2013.

Kümmerer, K. (2008): Strategies for Reducing the Input of Pharmaceuticals into the Environment. In: Kümmerer, K. (Hg.): Pharmaceuticals in the Environment. Sources, Fate, Effects and Risks. Berlin: Springer, S. 411–418.

Kümmerer, K.; Schuster, A.; Längin, A.; Happel, O.; Thoma, A.; Schneider, K. et al. (2011): Identifizierung und Bewertung ausgewählter Arzneimittel und ihrer Metaboliten (Ab- und Umbauprodukte) im Wasserkreislauf. Abschlussbericht UBA. Hg. v. Umweltbundesamt, zuletzt geprüft am 16.06.2016.

Land Nordrhein-Westfalen; Stadt Dülmen; Lippeverband (o. J.): Den Spurenstoffen auf der Spur in Dülmen. Online verfügbar unter http://www.dsads.de/Websites/_temp_/DSADS_Banner_Befragung.pdf, zuletzt geprüft am 09.06.2016.

Larsen, Tove A.; Lienert, Judith (2007): Novaquatis Abschlussbericht. NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Hg. v. Eawag. Dübendorf, Schweiz, zuletzt geprüft am 15.06.2016.

Launay, M.; Kuch, B.; Dittmer, U.; Steinmetz, H. (Hg.) (2013): Auswahl organischer Spurenstoffe als Indikatoren zur Bewertung der Gewässerqualität bei Regenwetter. 23-29. Aqua Urbanica - Gewässerschutz bei Regenwetter - Gemeinschaftsaufgabe für Stadtplaner, Ingenieure und Ökologen. Dübendorf, Schweiz, 30.09-01.10.2013.

Launay, M.; Kuch, B.; Lange, C.; Schlichtig, B.; Dittmer, U.; Metzger, J. W.; Steinmetz, H. (2014): Anwendung von Leitparametern zur Abschätzung des Verhaltens organischer Spurenstoffe in einem urban geprägten Gewässer. In: *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* ((61): Nr.11), S. 1013–1018. Online verfügbar unter DOI: 10.1010.3242/kae2014.1011.1005.

LIFTAC (o. J.): Rollac 1.0 - Wasserlose Toilette. Hg. v. LIFTAC Medizinisches Mobiliar. Online verfügbar unter <http://www.liftac.com/news/single-view/article/rollac-10-wasserlose-toilette/>, zuletzt geprüft am 15.07.2016.

Londong, Jörg (2009): Neuartige Sanitärsysteme. Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung. Lehrbuch der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA. 1. Auflage. Weimar.

Lueb, M. (2017): Arzneimittelverbräuche Klinik Löwenstein. Heilbronn, Karlsruhe, 06.02.2017. mündlich an Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Lyons, G. (2014): Pharmaceuticals in the environment: A growing threat to our tap water and wildlife. Hg. v. CHEM Trust.

Marx, C.; Muhlbauer, V.; Schubert, S.; Oertel, R.; Ahnert, M.; Krebs, P.; Kuehn, V. (2015): Representative input load of antibiotics to WWTPs: Predictive accuracy and determination of a required sampling quantity. In: *Water research* 76, S. 19–32. DOI: 10.1016/j.watres.2015.02.049.

Mauer, C. (2011): Technische und ökonomische Aspekte der separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser. Dissertation. Technischen Hochschule Aachen, Aachen. Fakultät für Bauingenieurwesen.

McArdell, C. S.; Kovalova, L.; Siegrist, H. (2011): Input and Elimination of Pharmaceuticals and Disinfectants from Hospital Wastewater. Emission von Arzneimitteln und Desinfektionsmitteln aus Spitälern und Behandlung von Spitalabwasser. - final report -. Hg. v. Eawag. Dübendorf, zuletzt geprüft am 18.04.2017.

Metzger, S.; Kapp, H. (Hg.) (2008): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen. VSA-Fachtagung, 28. Oktober 2008, zuletzt geprüft am 11.09.2014.

Metzger, S.; Rößler, A.; Kapp, H. (unveröffentlicht): Machbarkeitsstudie zum Vorhaben "Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung. 2014.

Meuli, Kaspar (2016): Mit Innovationsförderung zum Hightech-Nachttopf. 02/2016. Hg. v. Bundesamt für Umwelt BAFU Schweiz (Dossier Innovationen), zuletzt geprüft am 14.06.2016.

Miehe, U. (2010): Wirksamkeit technischer Barrieren zur Entfernung von anthropogenen Spurenstoffen. Kläranlagen und Raumfilter. Dissertation. Technische Universität Berlin, Berlin, zuletzt geprüft am 18.05.2016.

Moffat, A. C.; Osselton, M. D.; Widdop, B.; Watts, J. (Hg.) (2011): Clarke's Analysis of Drugs and Poisons. fourth edition. 2 Bände. London: Pharmaceutical Press.

Mulder, Mirabella; Kujawa-Roeleveld, Katarzyjna; Schuman, Els (2012): Evaluation of PILLS/SLIK demonstration installation for removal of pharmaceutical compounds from hospital wastewater. Final report 11 march 2012. Online verfügbar unter https://www.mirbellamulder.nl/www2/2012_SLIK.pdf, zuletzt geprüft am 27.06.2016.

Nafo, Issa (2015): noPILLS report. Interreg IV B NWE project partnership 2012 - 2015. Hg. v. Emschergenossenschaft, zuletzt geprüft am 18.01.2017.

Niederste-Hollenberg, J.; Eckartz, K.; Peters, A.; Hillenbrand, T.; Maier, U.; Beer, M.; Reszt, A. (2017): Approaches to reduce the emission of x-ray contrast agents to the environment – acceptance of decentralised collection using urine bags. Eingereicht und zur Veröffentlichung akzeptiert GAIA -Ecological Perspectives for Science and Society.

Niederste-Hollenberg, J.; Peters, A.; Eckartz, K.; Hillenbrand, T. (2016a): Pilotprojekt zur Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln in die Umwelt - MindER -. In: UM-BW und DWA (Hg.): Tagungsband. 2. Kongress Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt. 13.-14. Juni 2016 Ulm. Ulm, 13.-14. Juni 2016. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; DWA.

Niederste-Hollenberg, Jutta; Eckartz, Katharina; Peters, Anja; Hillenbrand, Thomas (2016b): Pilotprojekt zur Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln in die Um-

welt (MindER). Endbericht. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe.

Nielsen, Ulf (2014): Danish Management of Hospital Wastewaters. Danish Health Agency, 07.04.2014. Online verfügbar unter <http://www.janusinfo.se/Documents/Fortbildning/Ulf%20Nielsen.pdf>, zuletzt geprüft am 20.06.2016.

Persson, M.; Sabelstrom, E.; Gunnarsson, B. (2009): Handling of unused prescription drugs - knowledge, behaviour and attitude among Swedish people. In: *Environment international* 35 (5), S. 771–774. DOI: 10.1016/j.envint.2008.10.002.

Pharmafilter (2015): The Pharmafilter Installation. Online verfügbar unter <http://pharmafilter.nl/en/processen/pharmafilter-installation/>, zuletzt geprüft am 15.07.2016.

PILLS (2012): Final report of the European cooperation project PILLS. Online verfügbar unter <http://www.pillsproject.eu/index.php?id=165>.

Pinnekamp, J.; Bastian, D.; Firk, J.; Gebhardt, W.; Mousel, D.; Palmowski, L. et al. (2015a): Innovative Konzepte und Technologien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens. Das Projekt sauber+. RiSKWa Abschlussveranstaltung. Berlin, 10.02.2015, zuletzt geprüft am 07.06.2016.

Pinnekamp, J.; Beier, S.; Cramer, C.; Schröder, H. Fr.; Mauer, C.; Selke, D. (2009a): Eliminierung von Spurenstoffen aus Krankenhausabwässern mit Membrantechnik und weitergehenden Behandlungsverfahren. Pilotprojekt Kreiskrankenhaus Waldbröl. Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, zuletzt geprüft am 19.05.2016.

Pinnekamp, J.; Beier, S.; Cramer, C.; Schröder, H. Fr.; Mauer, C.; Selke, D. (2009b): Eliminierung von Spurenstoffen aus Krankenhausabwässern mit Membrantechnik und weitergehenden Behandlungsverfahren – Pilotprojekt Kreiskrankenhaus Waldbröl. Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Förderkennzeichen IV - 9 - 042 1B4 0020, zuletzt geprüft am 21.08.2017.

Pinnekamp, J.; Palmowski, L.; Kümmerer, K., Schramm, E. (Hg.) (2015b): Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens. Charakterisierung, Technologien, Kommunikation und Konzepte. Abschlussbericht des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens "Innovative Konzepte und Technologien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens (sauber+)". Aachen.

Pinnekamp, Johannes; Schulze-Hennings, U.; Montag, D.; Kanzer, C.; Kochan, J.; Jardin, N. et al. (2012): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen durch den Einsatz von Verfahren mit UV-Behandlung“. „Mikrolight“ Phase 1.

Online verfügbar unter

https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_Mikrolight.pdf, zuletzt geprüft am 28.06.2016.

Pinnekamp, Johannes; Schulze-Hennings, U.; Montag, D.; Kanzer, C.; Kochan, J.; Jardin, N. et al. (2015c): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen durch den Einsatz von Verfahren mit UV-Behandlung“. „Mikrolight“ Phase 2.

Online verfügbar unter

https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_TP8_Phase2.pdf, zuletzt geprüft am 28.06.2016.

PZN (o. J.): Von der Großherzoglich Badischen Heil- und Pflegeanstalt zum modernen Zentrum. Psychiatrisches Zentrum Nordbaden. Online verfügbar unter <http://www.pzn-wiesloch.de/unser-zentrum/>, zuletzt geprüft am 18.05.2016.

PZN (2014): Übersichtslageplan PZN. Feststellung von Versiegelungsarten Stand Januar 2014. Wiesloch.

PZN (2017a): Neuroleptika. Wiesloch, 03.03.2017. Diskussionsrunde während der Medizinkonferenz in Wiesloch an Thomas Hillenbrand und Lara Wöhler.

PZN (2017b): Sachgemäße Entsorgung von nicht verabreichten Arzneimitteln. Wiesloch, 03.03.2017. Diskussionsrunde während der Medizinkonferenz in Wiesloch an Thomas Hillenbrand und Lara Wöhler.

Rau, W.; Metzger, S. (2016): Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg. Ergebnisse der Kläranlage Löwenstein. Kompetenzzentrum Spurenstoffe, zuletzt geprüft am 11.05.2016.

Reller, A. (2000): Greener Hospitals. Improving Environmental Performance. Hg. v. Wissenschaftszentrum Umwelt (Augsburg), zuletzt geprüft am 17.01.2017.

Rhein-Neckar-Kreis Landratsamt (1996): Erlaubnis- und Genehmigungsbescheid. Regenüberlaufbecken W3.

Richter; Schwarz; Janson (2017): AG Abwasser PZN, Informationsaustausch mit Tettenborn und Hillenbrand.

Rosenzweig (2007): Loewenstein in HN. Hg. v. Wikipedia. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Loewenstein_in_HN.png, zuletzt geprüft am 30.03.2017.

RP KA (2015a): Datenabfrage aus Berichtssystem zu Angeschlossene KLA je Einrichtung, Ausbaugröße in EW-Werten, JAWM nach Wasserrechtsbescheid (Bemessungswassermenge); Abflüsse in den jeweiligen Gewässern MNQ bzw. MQ).

RP KA (2015b): Daten zu Ausbaugröße in EW, Jahresabwassermenge nach Wasserrechtsbescheid (Bemessungswassermenge) und Vorfluter mit Angaben zu MNG und MQ, 27.11.2015. E-Mail von H. Hettesheimer an Felix Tettenborn.

Sacher, F.; Thoma, A.; Lehmann, M.; Scherer, I.; Stier, K. (2014): Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, zuletzt geprüft am 16.06.2016.

Schröder, H. F. (2004): Wasseraufbereitung – Im Roh- und Abwasser. Die „beste“ Technik und alles ist (wieder) gut? gsf – Seminarband Wasser. Reservoir des Lebens, Neuberberg, S. 49-64. zitiert bei Seidel et al. 2013.

Schuster, A.; Hädrich, C.; Kümmerer, K. (2008): Flows of active pharmaceutical ingredients from health care practices on a local, regional and nationwide level in Germany – is hospital effluent treatment an effective approach for risk reduction? In: *Water Air and Soil* (8), S. 457–471.

Seidel, U.; Ante, S.; Börgers, A.; Herbst, H.; Matheja, A.; Remmler, F. et al. (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. Bochum. Online verfügbar unter https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/131231_Abschlussbericht_TP_3_Final_lang.pdf.

SLK (o. J.): Historie. SLK-Lungenklinik Löwenstein. Online verfügbar unter <http://www.klinik-loewenstein.de/ueber-uns/historie/>, zuletzt geprüft am 10.05.2016.

SLK-Lungenklinik Löwenstein (o. J.a): Fort- & Weiterbildung. Online verfügbar unter <http://www.klinik-loewenstein.de/beruf-bildung/fort-weiterbildung/>, zuletzt geprüft am 14.07.2016.

SLK-Lungenklinik Löwenstein (o. J.b): Umwelt und Gesundheit e.V. Online verfügbar unter <http://www.klinik-loewenstein.de/ueber-uns/klinik-und-umwelt/umwelt-und-gesundheit-ev/>, zuletzt geprüft am 14.07.2016.

Snyder, Shane A.; Adham, Samer; Redding, Adam M.; Cannon, Fred S.; DeCarolis, James; Oppenheimer, Joan et al. (2007): Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. In: *Desalination*, S. 156–181. DOI: 10.1016/j.desal.2005.12.052.

Stadt Löwenstein (2015a): Bauhof, Abfallwirtschaft und Wasserversorgung. Online verfügbar unter <http://www.stadt-loewenstein.de/rathaus/bauhof-abfallwirtschaft-und-wasserversorgung/>, zuletzt geprüft am 11.05.2016.

Stadt Löwenstein (2015b): Zahlen / Daten / Fakten / Verkehrsanbindung. Online verfügbar unter <http://www.stadt-loewenstein.de/stadt-loewenstein/zahlen-daten-fakten-verkehrsanbindung/>, zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Stadt Wiesloch (2016): Stadt Wiesloch. Online verfügbar unter www.wiesloch.de, zuletzt geprüft am 09.07.2016.

Stockholm County Council (2014a): Environmentally classified pharmaceuticals. Online verfügbar unter http://www.janusinfo.se/Global/Miljo_och_lakemedel/Miljobroschyr_2014_engelsk_webb.pdf, zuletzt geprüft am 11.09.2015.

Stockholm County Council (2014b): Environmentally Classified Pharmaceuticals. Online verfügbar unter http://www.janusinfo.se/Global/Miljo_och_lakemedel/Miljobroschyr_2014_engelsk_webb.pdf, zuletzt geprüft am 11.09.2015.

STOWA (2013): Evaluation report Pharmafilter, full scale demonstration in Reinier de Graaf Gasthuis (hospital) in Delft (16).

Teschner, Roschana (2015): Szenarien zur Minderung des Eintrags iodierter wasserlöslicher Röntgenkontrastmittel in die aquatische Umwelt. Masterarbeit im Fach Geoökologie am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie. Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, zuletzt geprüft am 14.06.2016.

Umweltbundesamt (2012): Maßnahmen zur Minderung des Eintrags von Humanarzneimitteln und ihrer Rückstände in das Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung. Recommendation from the German Federal Environment Agency from 30 August 2011 after the hearing of the Drinking Water Commission of the German Federal Ministry of Health. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 55 (1), S. 143–149. DOI: 10.1007/s00103-011-1388-9.

Verlicchi, P.; Al Aukidy, M.; Zambello, E. (2012): Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-a review. In: *The Science of the total environment* 429, S. 123–155. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.04.028.

Verlicchi, P.; Al Aukidy, M.; Zambello, E. (2015): What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? - an overview and a discussion on perspectives. In: *The Science of the total environment* 514, S. 467–491. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.020.

Verlicchi, P.; Galletti, A.; Petrovic, M.; Barceló, D. (2010): Hospital effluents as a source of emerging pollutants. An overview of micropollutants and sustainable treatment options. In: *Journal of Hydrology* 389 (3-4), S. 416–428. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.06.005.

Wiegel, S.; Harms, H.; Stachel, B.; Brockmeyer, R.; Schmidt, R.; Aulinger, A.; Tümpling von, W. (2003): Arzneistoffe in Elbe und Saale. Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe, zuletzt geprüft am 16.06.2016.