



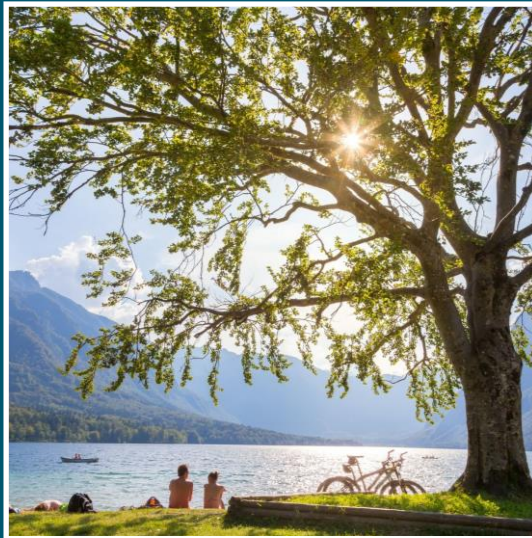
Hygienisch relevante Mikroorganismen
und Krankheitserreger in multifunktiona-
len Gewässern und Wasserkreisläufen

Hygienemanagement im Fließgewässer

Maßnahmensteckbriefe

Maßnahmen zur Verbesserung der hygienischen
Badegewässerqualität in Fließgewässern

November 2018



VERBUNDPARTNER



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



EINFÜHRUNG

Fließgewässer in urban geprägten Gebieten werden aus verschiedenen Wasserquellen gespeist. Das Wasser stammt sowohl aus natürlichen Quellen als auch aus Niederschlagsabflüssen aus dem hydrologischen Einzugsgebiet. Zusätzlich leiten Klärwerke gereinigtes Abwasser, das sogenannte Klarwasser, in die Flüsse ein. Mit dem zufließenden Niederschlags- und Klarwasser werden immer auch Mikroorganismen und Krankheitserreger in die Gewässer eingetragen, welche in Flussbadegewässern ein gesundheitliches Risiko für Badende darstellen können.

Im Rahmen des BMBF Forschungsprojekts *FLUSSHYGIENE* wurden Maßnahmen erarbeitet, die den Eintrag von hygienisch relevanten Mikroorganismen und Krankheitserregern wirksam reduzieren, wodurch der vorbeugende Gesundheitsschutz für Badende an Fließgewässern verbessert wird.

Die vorliegende Steckbriefsammlung wurde durch die *Berliner Wasserbetriebe*, die *Universität zu Köln* sowie das *IWW Rheinisch-Westfälische Zentrum für Wasserforschung* erarbeitet. Sie umfasst 23 technische und organisatorische Maßnahmen zum Hygienemanagement in Fließgewässern. Die Steckbriefe fassen die wichtigsten Informationen zu Maßnahmen zusammen, welche an verschiedenen Quellen für Keimeinträge ansetzen:

- Abwasserreinigung im Klärwerk
- Umsetzung in Kanalsystemen mit Trenn- bzw. Mischwasserkanalisation
- Umsetzung im und am Gewässer selbst sowie
- Umsetzung im Gewässerumland

Zur Verbesserung der hygienischen Badegewässerqualität eines Gewässerabschnitts ist zunächst die Herkunft der Belastungen (Eintragspfade) im Einzelfall zu identifizieren und quantitativ einzuordnen. Auf dieser Grundlage kann eine passgenaue Strategie mit Maßnahmen entwickelt werden kann, welche hygienisch relevante Mikroorganismen und Krankheitserreger im Gewässer reduzieren und so die Gesundheit der Badenden schützen kann.

Die Steckbriefe stellen die wichtigsten Eckpunkte ausgewählter Einzelmaßnahmen vor. Sie geben einen kompakten Überblick über die Wirksamkeit der Keimreduktion, erklären kurz die Betriebsart und Wirkungsweise und verweisen auf die jeweils zu berücksichtigenden technischen Regelwerke und Rechtsvorschriften.

Die Steckbriefe unterstützen den Leser so beim ersten Einstieg in eine Maßnahmenplanung. Alle dargestellten Inhalte wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Sie dienen als erste Orientierungshilfe und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Trotz sorgfältiger Recherchen bei der Zusammenstellung der Informationen kann eine Haftung der Autoren für den Inhalt nicht übernommen werden. Die Erläuterungen erfolgen vorbehaltlich etwaiger gesetzlicher Änderungen.

Bildnachweis zum Titelblatt

Foto, links: *shutterstock_265359077*

Foto, Mitte: *shutterstock_471280334*

Foto, rechts: *shutterstock_560147734*

Inhalt

I.	Abwasserreinigung im Klärwerk	2
I.1	Betrieb von Membranbioreaktoren (MBR)	2
I.2	Desinfektion durch Ozonung	8
I.3	Desinfektion durch UV-Strahlung	11
I.4	Desinfektion mit Chlordioxid	16
I.5	Desinfektion mit Perameisensäure	20
I.6	Desinfektion mit Peressigsäure	24
II.	Umsetzung im System der Trenn- bzw. Mischwasserkanalisation	28
II.1	Betrieb von Regenklärbecken (RKB)	28
II.2	Betrieb von Regenrückhaltebecken (RRB)	34
II.3	Betrieb von Retentionsbodenfiltern (RBF)	39
II.4	Betrieb von Regenüberlaufbecken (RÜB)	46
II.5	Stauraumaktivierung im Kanalnetz (Kanalnetzsteuerung)	52
II.6	Extensive Dachbegrünung	56
II.7	Entsiegelung abflusswirksamer, versiegelter Flächen	61
II.8	Niederschlagsversickerung über Mulden	64
II.9	Niederschlagsversickerung über Rigolen	68
II.10	Niederschlagsversickerung über Mulden-Rigolen-Systeme	71
III.	Umsetzung im System der Trennkanalisation	76
III.1	Beseitigung von Fehlanschlüssen	76
IV.	Umsetzung im und am Gewässer	79
IV.1	Schaffung von Aufwuchsflächen für grazende Mikroorganismen	79
IV.2	Reduzierung des Keimeintrags aus dem Bootsverkehr	84
V.	Umsetzung im Gewässerumland	90
V.1	Reduzierung des Keimeintrags aus der Ansammlung von Wasservögeln	90
V.2	Reduzierung des Keimeintrags aus Hundekot	96
V.3	Reduzierung des Eintrags infolge der Ausbringung von Wirtschaftsdünger	103
V.4	Reduzierung des Eintrags infolge des nicht ordnungsgemäßen Betriebs von Gülletanks, Mist- und Futterflächen	110

I. ABWASSERREINIGUNG IM KLÄRWERK

I.1 Betrieb von Membranbioreaktoren (MBR)

I.1.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Rückhalt von Feststoffen (darunter auch hygienisch relevante Mikroorganismen)

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei der Membranbioreaktortechnologie werden Membranen mit einer Porenweite bis 0,01 µm bei Ultrafiltration und bis 0,5 µm bei Mikrofiltration eingesetzt [DWA-M 227]. Als Membranmaterialien kommen verschiedene Kunststoffe (PES, PVDF, PE u. a. m) oder Keramik zum Einsatz. Verschiedene Bauformen für die Anordnung der Membranen sind Platten-, Hohlfaser- und Rohrmodule [MUNLV NRW 2003]. Die Module können im Belebtschlammbecken getaucht oder separat verbaut werden. Die Abtrennung des belebten Schlammes ist nur von der eingesetzten Membran und nicht von den Sedimentationseigenschaften des Schlammes abhängig.

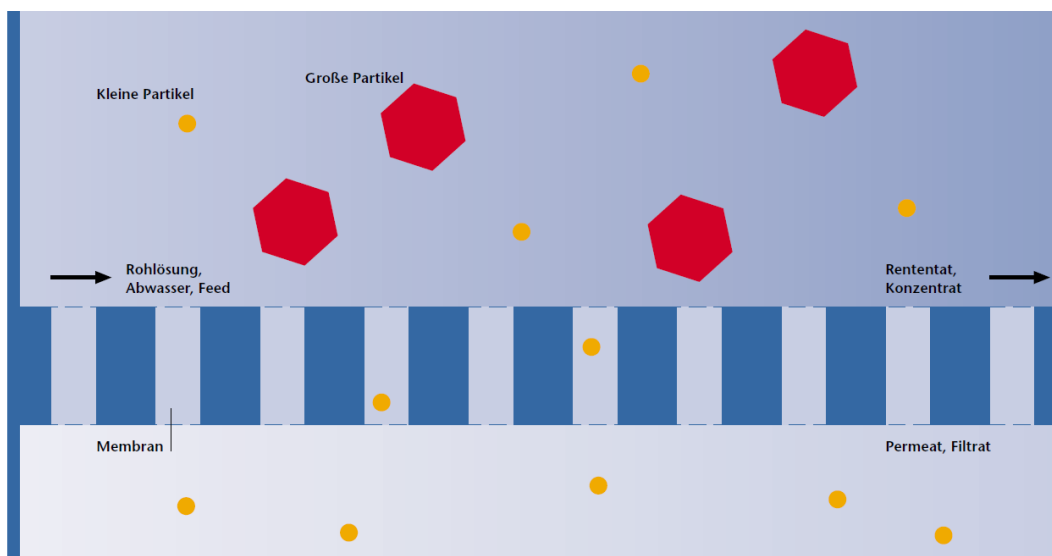


Abbildung I-1: Funktionsweise der Micro- und Ultrafiltration; Quelle: Membrantechnik für die Abwasserreinigung, RHTW Aachen/ MUNLV NRW (2003)

I.1.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl			
Coliforme Bakterien		Leit- und Grenzwerte für gesamt Coliforme sowie fäkalcoliforme Bakterien und Streptokokken nach EG-Richtlinie 76/160/EWG werden, unabhängig von Witterungsbedingungen unterschritten.	DWA-M 227
	7,0	Ultrafiltration (Porenweite 0,04 µm)	Purnell et al., 2016
<i>E. coli</i>	6,81	> 98%	Wen et al., 2004
	6,2	Ultrafiltration (Porenweite 0,04 µm)	Purnell et al., 2016
<i>Intestinale Enterokokken</i>			
Somatische Coliphagen	5,34	Ultrafiltration (Porenweite 0,04 µm)	Purnell et al., 2015
	5,6	Ultrafiltration (Porenweite 0,04 µm)	Purnell et al., 2016
	2,6 - 5,6		Marti et al., 2011
F-RNA Phagen	3,9	Ultrafiltration (Porenweite 0,04 µm)	Purnell et al., 2016
GB124	4,0	Ultrafiltration (Porenweite 0,04 µm)	Purnell et al., 2016
Norovirus	1,3 – 5,2	Mikrofiltration (Porenweite 0,45 µm)	Sima et al., 2011
Sapovirus	> 1,8 - > 3,3	Porenweite 0,04 – 0,1 µm	Zhang et al., 2007

2.2 Chemische Parameter

Parameter	Ablauf	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
C _{CSB}	< 30 mg/L	Es werden Ablaufwerte erreicht welche besser sind als bei einer konventionellen Belebungsanlage (in Bezug auf herkömmliche Belastungen kommunaler Abwässer).	DWA-M 227
		80% Elimination	Wen et al., 2004
NH ₄ ⁺ -N		93% Elimination	Wen et al., 2004
P _{ges}	< 0,3 mg/L	Mit Fällung	MUNLV NRW

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	Ablauf	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Feststoffe	0 mg/L	Es werden Ablaufwerte erreicht welche besser sind als bei einer konventionellen Belebungsanlage. (in Bezug auf herkömmliche Belastungen kommunaler Abwässer)	DWA-M 227, MUNLV NRW

I.1.3 Betrieb

In der Abwasserreinigung ist das Ziel die Abtrennung des gereinigten Abwassers bei gleichzeitiger Einhaltung der Einleitungsanforderungen (MUNLV NRW).

Durch den Betrieb treten Effekte auf, welche die Leistungsfähigkeit des Systems beeinträchtigen. So kommt es durch Ablagerungsprozesse und Ausfällung zu Fouling. Dem kann durch eine Crossflow Belüftung sowie Rückspülung entgegen gewirkt werden. Um die dauerhafte Leistung gewährleisten zu können muss allerdings in regelmäßigen Abständen eine chemische Reinigung durchgeführt werden. Daher kann dieses Verfahren nicht kontinuierlich gefahren werden, sondern muss intervallweise zwecks Reinigung/Rückspülung unterbrochen werden. Des Weiteren kann eine zusätzliche mechanische Vorbehandlung zum Entfernen besonders von faserigen Inhaltsstoffen angebracht sein (DWA-M 227). Je nach Anforderung können die Module in Reihe oder parallel geschaltet werden, sowie im Dead-End oder Crossflow betreiben werden (MUNLV NRW, 2003). Der

durchschnittliche Energieverbrauch ist für Serienschaltung geringer als für parallel geschaltete Module (Krzeminski et al.).

I.1.4 Unterhalt und Pflege

Für den Erhalt der Leistung müssen die Membranen regelmäßig einer chemischen Reinigung unterzogen werden. Je nach Art und Ausmaß der Verschmutzung kommen hier unterschiedliche Chemikalien zum Einsatz:

- Säuren
- Laugen
- Oxidationsmittel
- Komplexbildner
- Tenside
- Enzyme

Die Reinigung wird in Zwischen- und Hauptreinigung unterteilt, wobei die Zwischenreinigung in situ und die Hauptreinigung in situ oder ex situ durchgeführt wird.

I.1.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/(m ³ /s)		
Energieverbrauch	kWh/m ³	0,8 – 1,4	MUNLV NRW
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR ct/m ³	<u>Niedrig</u> 3,83	<u>Hoch</u> 11,26 DWA-M 227
Membranersatz 10 a Standzeit	EUR ct/m ³	<u>Niedrig</u> 4,57	<u>Hoch</u> 9,13 DWA-M 227
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	Bei automatisierter chem. Reinigung kein erhöhter Personalbedarf im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen	DWA-M 227
Spez. Modulkosten	EUR/m ² Membranfläche	75 – 100 inkl. Peripherie	MUNLV NRW
Einwohner spez. Kosten	EUR	250 – 1.400	MUNLV NRW
Kosten für Reinigungschemikalien	EUR/(m ³ ·a)	0,25 – 1,0 + Personalkosten	MUNLV NRW

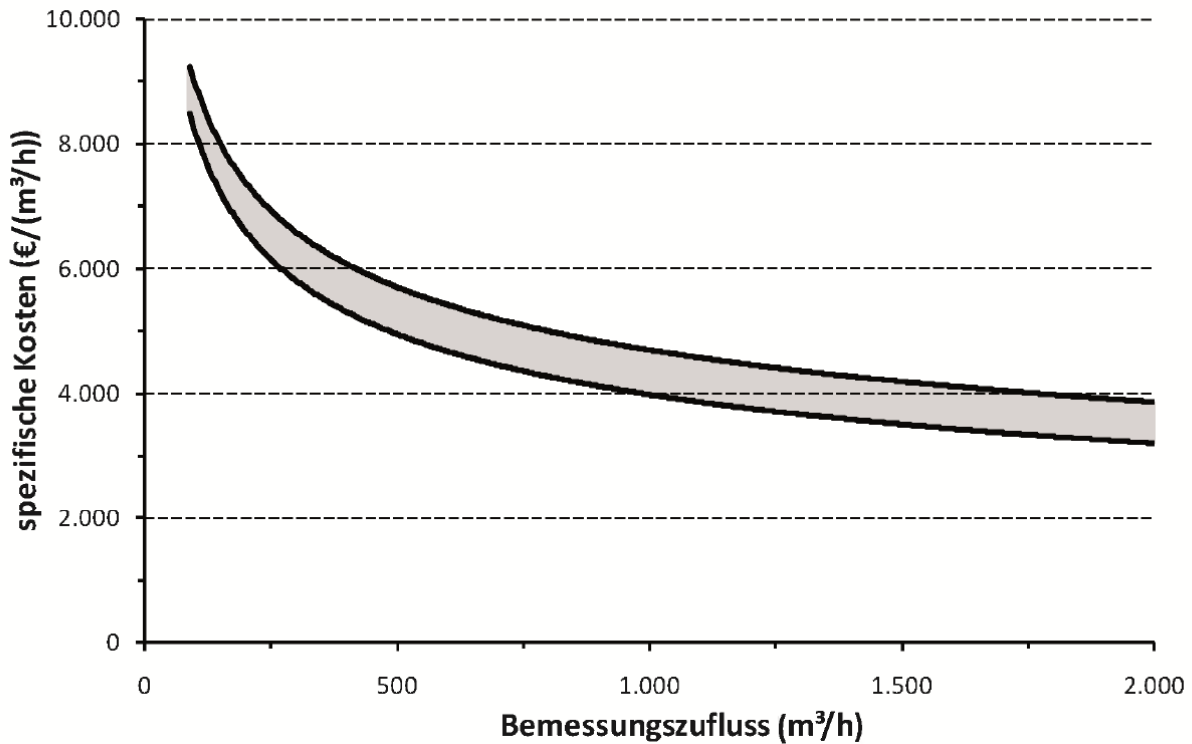


Abbildung I-2: Spezifische Kosten [EUR·m⁻³·h⁻¹] einer betriebsfertigen MBR-Anlage ohne Baukosten in Abhängigkeit vom Bemessungszufluss [m³·h⁻¹]; Quelle: DWA-M 227

I.1.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Konventionelle Belebung mit Nachklärung, Filtration und Desinfektion	billiger	Erhöhter Platzbedarf, Niedrigere Feststoffgehalte im Belebungsbecken	DWA-M 227

I.1.7 Mögliche Konflikte

Die Zusätzlichen Kosten für den Betrieb der MBR-Anlage würden wahrscheinlich an die Kunden weitergeleitet. Daher ergibt sich die Frage nach der Akzeptanz in der Bevölkerung für erhöhte Beiträge.

I.1.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Durch die Nachrüstung einer MBR-Anlage entsteht zusätzlicher Platzbedarf für die Anlage selbst sowie Lagerstätten für Reinigungschemikalien etc., wobei der höhere mögliche Feststoffgehalt im Belebungsbecken Einsparpotential im Beckenvolumen beherbergt. Der Einsatz der Reinigungschemikalien führt zu erhöhtem Bedarf nach Arbeitsschutzmaßnahmen.

I.1.9 Effekte auf andere Schutzgüter

/

I.1.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- DWA-M 227
- DWA-M 205
- Pinnekamp, J. (Hrsg.); Friedrich, H.; MUNLV NRW: Membrantechnik für die Abwasserreinigung
- DIN 19569 TEIL 2 (2002) Kläranlagen: Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen, Teil 2: Besondere Baugrundsätze für Einrichtungen zum Abtrennen und Eindicken von Feststoffen; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

- **DIN EN 12255-14** (März 2004): Kläranlagen – Teil 14: Desinfektion. Deutsche Fassung EN 12255-14:2003
- **DIN EN ISO 7899-2** (November 2000): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken – Teil 2: Verfahren durch Membranfiltration (ISO 7899-2:2000). Deutsche Fassung EN ISO 7899-2:2000
- **DIN EN ISO 7899-1** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 7899-1:1998). Deutsche Fassung EN ISO 7899-1:1998
- **DIN EN ISO 9308-1** (Dezember 2012): Wasserbeschaffenheit – Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien – Teil 1: Membranfiltrationsverfahren für Wässer mit niedriger Begleitflora (ISO/DIS 9308-1:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9308-1:2012
- **DIN EN ISO 9308-3** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN Verfahren) (ISO 9308-3:1998). Deutsche Fassung EN ISO 9308-3:1998 Richtlinie 2006/7/EG (Badegewässerrichtlinie)

I.1.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Filterfläche pro Filtrationseinheit	m ² /FE	240 – 2.880		DWA-M 227
Spezifische Filterfläche pro Grundfläche im eingebautem Zustand	m ² /m ²	70 – 180		DWA-M 227
Packungsdichte A _{Mem, spez} der Module im eingebautem Zustand	m ² /m ³	15 – 75		DWA-M 227
		< 80	Rohrmodul	
		< 1.000	Kapillar-/Wickelmodul	MUNLV NRW
		< 10.000	Hohlfasermodule	
		40 – 100	Plattenmodul	
		ca. 400	Kissenmodul	
Erforderliche Wassertiefe der Membranbecken	m	2,5 – 5		DWA-M 227
Betriebsdruck	bar	0,1 – 3	Mikrofiltration, transmembran	MUNLV NRW
		5 – 10	Ultrafiltration, transmembran	
Trenngrenze	µm	0,1	Mikrofiltration	MUNLV NRW
		0,005	Ultrafiltration, außerdem kolloidal gelöste Stoffe von 20.000 bis 200.000 Dalton	
Durchfluss	L/s	0,12 – 520		Baier et al., 2008

I.1.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

I.1.13 Literatur

- **DWA-M 227** (2014): Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR-Verfahren)
- **Pinnekam, J.** (Hrsg.); Friedrich, H.; MUNLV NRW : Membrantechnik für die Abwasserreinigung (2003)
- **P. Krzeminski, W. Langhorst, P. Schyns, D. de Vente, R. Van den Broeck, I.Y. Smets, J.F.M. Van Impe, J.H.J.M. van der Graaf, J.B. van Lier**, The optimal MBR configuration: Hybrid versus stand-alone — Comparison between three full-scale MBRs treating municipal wastewater
- **Sarah Purnell, James Ebdon, Austen Buck, Martyn Tupper, Huw Taylor**, Bacteriophage removal in a full-scale membrane bioreactor (MBR) – Implications for wastewater reuse, *Water Research*, Volume 73, 15 April 2015, Pages 109-117, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.01.019>
- **Sarah Purnell, James Ebdon, Austen Buck, Martyn Tupper, Huw Taylor**, Removal of phages and viral pathogens in a full-scale MBR: Implications for wastewater reuse and potable water, *Water Research*, Volume 100, 1 September 2016, Pages 20-27, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.013>
- **Xianghua Wen, Hangjiu Ding, Xia Huang, Ruopeng Liu**, Treatment of hospital wastewater using a submerged membrane bioreactor, *Process Biochemistry*, Volume 39, Issue 11, 30 July 2004, Pages 1427-1431, ISSN 1359-5113, [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00277-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00277-2)
- **Beier, S. , Arndt, D. , Köster, S.:** Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben: „Begleitprojekt zu FuE-Vorhaben im Bereich der Membrantechnik in Nordrhein-Westfalen (FEMem)“ , 2008
- **Marti, E.; Monclus, H.; Jofre, J.; Rodriguez-Roda, I.; Comas, J.; Balcazar, J.L.** Removal of microbial indicators from municipal wastewater by a membrane bioreactor (MBR). *Bioresour. Technol.* 2011, 102, 5004–5009
- **Sima, L.C.; Schaeffer, J.; Le Saux, J.C.; Parnaudeau, S.; Elimelech, M.; Le Guyader, F.S.** Calicivirus removal in a membrane bioreactor wastewater treatment plant. *Appl. Environ. Microbiol.* 2011, 77, 5170–5177
- **Zhang, K.; Farahbakhsh, K.** Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse. *Water Res.* 2007, 41, 2816–2824

I.2 Desinfektion durch Ozonung

I.2.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Rückhalt von Feststoffen (darunter auch hygienisch relevante Mikroorganismen)
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Zerstörung von Spurenstoffen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei der Ozonung wird dem Abwasser gasförmiges Ozon zugegeben. Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, die Wasserinhaltsstoffe werden entweder direkt mit Ozon oxidiert oder indirekt über eine radikalische Kettenreaktion. Die direkte Reaktion ist selektiv und geht bevorzugt auf funktionelle Gruppen wie. Die radikalische Reaktion ist unspezifisch und oxidiert fast alle Wasserinhaltsstoffe. Die Wirksamkeit auf die Wasserinhaltsstoffe ist daher unterschiedlich und abhängig von Ozonkonzentration und Einwirkzeit. Als Richtwert für eine ausreichende Desinfektion wird meist das c-t-Konzept eingesetzt, bei welchem man die Restkonzentration von Ozon c nach einer Einwirkzeit t betrachtet.

I.2.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
<i>E. coli</i>	2,5	0,87 mg O ₃ /mg DOC, Verweilzeit 19,7 min	Schaar, 2013
Intestinale Enterokokken	~ 2,5	0,8 mg O ₃ /mg DOC, Verweilzeit ca. 12 min	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox
	> 3	29,5 mg/L transferred Ozone dose (TOD) Verweilzeit 9,6 min.	Xu et al., 2001
Somatische Coliphagen			
F+ Phagen	> 2	8,6 mg/L transferred Ozone dose (TOD) Verweilzeit 4 min.	Xu et al., 2001
Parasiten			
Enteroviren	2-3	4,8 mg/L transferred Ozone dose (TOD) Verweilzeit 4 min.	Xu et al., 2001
Gesamt Coliforme	~ 3 log ₁₀ -Stufen	0,8 mg O ₃ /mg DOC Verweilzeit ca. 12 min Ab 0,4 mg O ₃ /mg DOC Unterschreitung der Grenzwerte Baderichtlinie (alt)	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox
Fäkal Coliforme	~ 3 log ₁₀ -Stufen	0,8 mg O ₃ /mg DOC Verweilzeit ca. 12 min Ab 0,4 mg O ₃ /mg DOC Unterschreitung der Grenzwerte Baderichtlinie (alt)	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
	~ 4 log ₁₀ -Stufen	29,5 mg/L transferred Ozone dose (TOD) Verweilzeit 9,6 min.	Xu et al., 2001
<i>Clostridium</i>	< 2 log ₁₀ -Stufen	29,5 mg/L transferred Ozone dose (TOD) Verweilzeit 9,6 min.	Xu et al., 2001

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
CSB	20 %	Spez. Zehrung _{Ozon} = 1 mg O ₃ /mg DOC ₀	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
UV-Absorption	~ 40 %	deutliche Entfärbung	Xu et al., 2001
	~ 70 %	Abnahme der spezifischen UV Aktivität um bis zu 70 % auf etwa 0,8L·mg ⁻¹ ·m ⁻¹ deutliche Entfärbung	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox

I.2.3 Betrieb

/

I.2.4 Unterhalt und Pflege

/

I.2.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Größenordnung Durchsatz in m ³ /h: 8,330 Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR	1,5 Mio. EUR - 2,2 Mio. EUR* Summe Investitions- und Wartungsannuität bei Laufzeit von 12a: 289,380EUR/a – 468,520 EUR /a*	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox*
Energiekosten	EUR/h	72.5 – 145.0*	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox*
	EUR/m ³	0.009 – 0.022*	
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/a	924,469 – 2,058,310*	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox*
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Spezifische Kosten	EUR ct/m ³	1.3 – 2.8*	Schriftenreihe KWB band 5 pilotox*

*Abgedeckt sind unterschiedliche Varianten von Ozon Zehrung = 0,5 bis Ozon Zehrung = 1,0 & H₂O₂ Einsatz

I.2.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Chlorung	-	Toxische Nebenprodukte	-
PAA	-	-	-
Chlordioxid	-	-	-
UV	-	Keine Reduzierung von Spurenstoffen	-
MBR	-	Keine Reduzierung von Spurenstoffen	-

I.2.7 Mögliche Konflikte

/

I.2.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Arbeitsschutz- und erhöhter Platzbedarf muss gesichert sein.

I.2.9 Effekte auf andere Schutzgüter

/

I.2.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

/

I.2.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
ct-Wert	Minuten ·mg/L	1,6	Unter realen Bedingungen wird oft mit einer höheren Kontaktzeit von 10 Minuten geplant	DVGW W225 (A)

I.2.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

I.2.13 Literatur

- **Schriftenreihe KWB Band 5** [2007]: Pilotox – Pilotuntersuchungen zur kombinierten oxidativ-biologischen Behandlung von Klärwerksabläufen für die Entfernung von organischen Spuren- und Wirkstoffen und zur Desinfektion
- **DVGW W 225 (A)** [2015] : Ozon in der Trinkwasseraufbereitung
- **Xu, P.; Janex, M.-L.; Savoye P. ; Cockx, A. ; Lazarova, V.** [2001]: Wastewater disinfection by Ozone: main parameters for process design
- **Schaar, H. und Kreuzinger, N.** [2011] KomOzon - Technische Umsetzung und Implementierung einer Ozonungsstufe für nach dem Stand der Technik gereinigtes kommunales Abwasser Heranführung an den Stand der Technik. Endbericht. Lebensministerium, Wien, Österreich.

I.3 Desinfektion durch UV-Strahlung

I.3.1 1. Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei der UV-Desinfektion handelt es sich um die Inaktivierung bzw. Abtötung von Mikroorganismen mittels elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich von 200 nm - 280 nm. Die größte Anwendung finden Niederdruck Quecksilberdampfstrahler, die bei einer Wellenlänge von ca. 254 nm, nahe am Absorptionsmaximum von Nukleinsäure von ca. 260 nm eine Emissionslinie aufweisen. Durch die Strahlung wird das Erbgut von Bakterien und Viren geschädigt. In der technischen Umsetzung werden einzelne UV-Strahler zu Bänken zusammengefasst. Baulich gibt es verschiedene Konfigurationen, bei denen die Bänke unterschiedlich angestrahlt werden oder welche offen bzw. geschlossen sind.

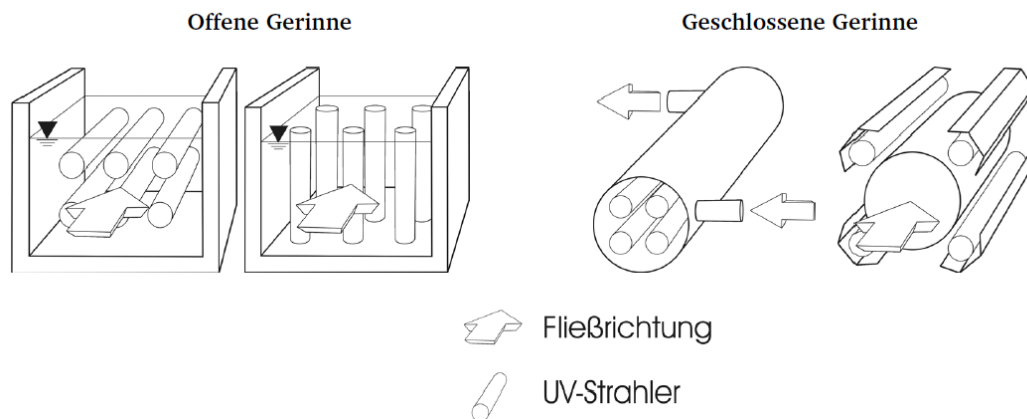


Abbildung I-3: Verschiedene Gerinne; Quelle: Bleisteiner et al, 2013 nach RUDOLPH et al., 1993

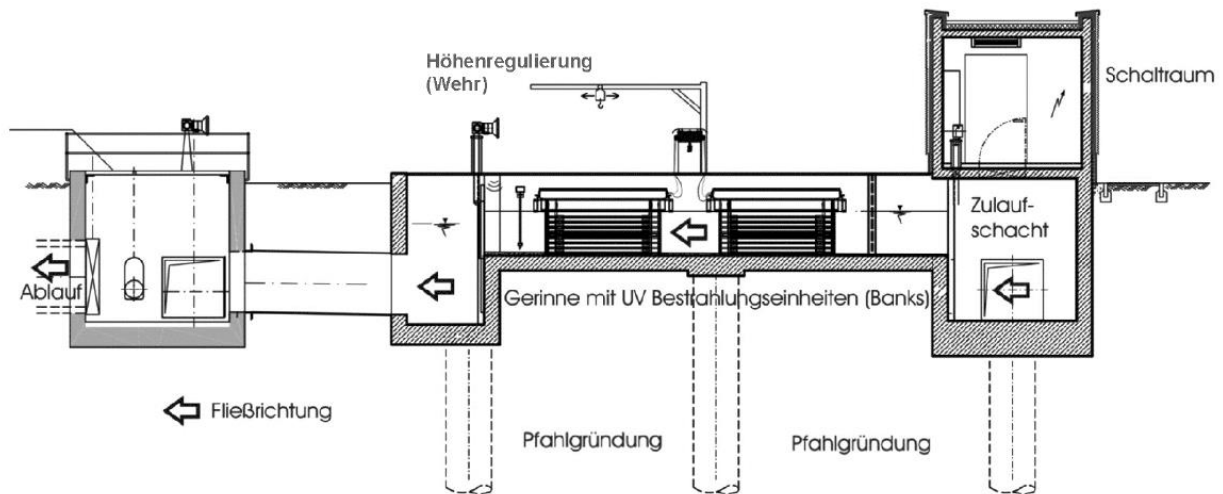


Abbildung I-4: Längsschnitt der Offenkanaal-UV-Anlage KW Starnberg; Quelle: Bleisteiner et al. 2013

I.3.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl			
Coliforme Bakterien	3	Bei 15-35 mg/L abfiltrierbarer Stoffe Einhalten der EG 76/160/EWG Richtlinie bei einer min. Bestrahlung von 300 J/m ² - 450 J/m ² (konz. abfiltrierbarer Stoffe 5mg/L – 20 mg/L)	Gehr et al., 2003 Bleisteiner et al., 2013
<i>E. coli</i>	2,8	1100 J/m ² , Transmission ca. 45–50 %	Gnirss et al., 2015
Intestinale Enterokokken	2,2	1100 J/m ² , Transmission ca. 45–50 %	Gnirss et al., 2015
Somatische Coliphagen	3,1	1100 J/m ² , Transmission ca. 45–50 %	Gnirss et al., 2015
F+ Phagen	1,9	1100 J/m ² , Transmission ca. 45–50 %	Gnirss et al., 2015
Parasiten	0	1100 J/m ² , Transmission ca. 45–50 %	Gnirss et al., 2015
Viren			
MS-2 Coliphage	1 log ₁₀ -Stufe pro 20 mJ/m ²	Bei 15-35 mg/L abfiltrierbarer Stoffe	Gehr et al., 2003

I.3.3 Betrieb

Der Betrieb von UV-Desinfektionsanlagen beinhaltet:

- eine regelmäßige Überwachung der Betriebsparameter
- Wartung/Reparatur, Austausch von Strahlern
- Reinigung

Weitere Faktoren sind erhöhte Anforderung an Arbeitsschutzmaßnahmen.

Auch ist für eine gute Desinfektionsleistung eine möglichst niedrige Konzentration von abfiltrierbaren Feststoffen nötig, um eine Abschirmung von Mikroorganismen durch Partikel zu verhindern [Bleisteiner et al., 2013].

Auch sind automatische Wischanlagen möglich um die UV-Strahler im Betrieb von Ablagerungen frei zu halten [Dinkloh et al., 2006].

I.3.4 Unterhalt und Pflege

Es fällt zusätzlicher Arbeits- und Kostenaufwand durch die regelmäßigen Reinigungsarbeiten und Wartung an.

- Kontrolle der Betriebsdaten auf Auffälligkeiten (z. B. ungewöhnliche Werte für die UV-Dosis oder UV-Bestrahlungsstärke, auffällige Schwankungen im Stromverbrauch) *
- Kontrolle der Zulaufbedingungen (z. B. ungewöhnliche Werte für Transmission oder abfiltrierbare Stoffe, plötzliche Schwankungen beim Durchfluss) *
- Überprüfung von Strahlern und Anlagenteilen auf Verschmutzung*
- Prüfung der Quarzrohre auf Beschädigung und Wassereintritt*
- Funktionskontrolle der automatischen Reinigungseinrichtungen an den Strahlern*
- Funktionskontrolle der Schaltanlagen*
- Überwachung der Zündung der EVGs*
- Prüfung und Kalibrierung der Sensoren zur Intensitätsmessung*
- Prüfung und Kalibrierung der Sensoren zur Transmissionsmessung*
- Regelmäßige Messung der mikrobiologischen Ablaufparameter*

*Nach [Bleisteiner et al., 2013]

I.3.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/EW - EUR/EW	7 EUR/EW - 52 EUR/EW	Bleisteiner et al., 2013
	EUR/m ³	0,015 – 0,03 Baukosten mit Peripherie, netto	Gnirss et al., 2015
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)	30 Wh/m ³ – 60 Wh/m ³ bei durchschnittlichem Strompreis von 15,04 ct/kWh für Industrie (Quelle:bdew) -> 0,45ct/m ³	Bleisteiner et al., 2013
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel., Materialkosten für Instandhaltung usw.)	ct/m ³	3-10 ct/m ³ für halbjährigen Betrieb (Kapitalkostenanteil 63% - 86%)	Bleisteiner et al., 2013
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Spezifische Kosten	EUR/m ³	0,03-0,06, bei ganzjährigem Betrieb	Bleisteiner et al., 2013
Sonstige Kosten	EUR/(m ³ /s)	-	-

I.3.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
UV + Mikrosieb	Verbesserte Transmission, bessere Ablaufwerte	Höherer Aufwand, teurer	Gnirss et al., 2015

I.3.7 Mögliche Konflikte

Beim Einsatz als zusätzliche Stufe im Klärwerk müssen die Kosten vom jeweiligen Betreiber getragen werden bzw. an die Kunden weiter gegeben werden. Arbeitsschutz-Regelungen müssen eingehalten werden.

I.3.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

UV-Desinfektion hat kaum Auswirkung auf Parasiten und Dauerstadien von Bakterien. Für einen sinnvollen Einsatz ist ein möglichst geringer Anteil an abfiltrierbaren Stoffen und hohe Transmission der UV-Strahlung zu gewährleisten. Dies kann eine zusätzliche Filterung verlangen.

I.3.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Die Desinfektion mit UV-Licht wird bereits erfolgreich zur Einhaltung der EU-Richtlinie 2006/7/EG eingesetzt (Dinkloh et al., 2006; Gnirss et al., 2015).

I.3.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- **DIN EN 12255-14** (März 2004): Kläranlagen – Teil 14: Desinfektion. Deutsche Fassung EN 12255-14:2003
- **DIN EN ISO 7899-2** (November 2000): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken – Teil 2: Verfahren durch Membranfiltration (ISO 7899-2:2000). Deutsche Fassung EN ISO 7899-2:2000
- **DIN EN ISO 7899-1** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 7899-1:1998). Deutsche Fassung EN ISO 7899-1:1998
- **DIN EN ISO 9308-1** (Dezember 2012): Wasserbeschaffenheit – Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien – Teil 1: Membranfiltrationsverfahren für Wässer mit niedriger Begleitflora (ISO/DIS 9308-1:2012); Deutsche Fassung prEN ISO 9308-1:2012
- **DIN EN ISO 9308-3** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 9308-3:1998). Deutsche Fassung EN ISO 9308-3:1998
- **DIN 38404-3** (Juli 2005) : Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C). Teil 3: Bestimmung der Absorption im Bereich der UV-Strahlung, Spektraler Absorptionskoeffizient (C 3)
- **Richtlinie 2006/7/EG** (Badegewässerrichtlinie)
- **Richtlinie 2006/25/EG** (Künstliche optische Strahlung)
- **Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung- OStrV**
- **DWA-M 205** (März 2013): Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser. Merkblatt

I.3.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Durchfluss*	L/s	1000	-	Dinkloh et al., 2006; Gnirss et al., 2015
Stromverbrauch*	kWh	466	-	Dinkloh et al., 2006
Transmission*	%	min 70 45-50	-	Dinkloh et al., 2006 Gnirss et al., 2015
UV-Bestrahlungsstärke*	W/m ²	-	-	-
Ein/Ausschalthäufigkeit*	-	-	-	-
Betriebsdauer der Strahler*	h	>8760	-	Dinkloh et al., 2006
Aktuelle UV-Dosis*	J/m ²	1100	-	Gnirss et al., 2015
Spezifischer Energieverbrauch*	Wh/m ³	22 30-60	-	Dinkloh et al., 2006 Bleisteiner et al., 2013
Anzahl Kanäle	-	6	-	Dinkloh et al., 2006
Flächen Bedarf	m ²	300	-	Gnirss et al., 2015
Anzahl Strahler	-	1296 648	In mehreren Bänken angeordnet	Dinkloh et al., 2006 Gnirss et al., 2015

* Nach DWA-M 205

I.3.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

- Klärwerk Ruheleben
- Klärwerk II Gut Marienhof
- Kläranlage Bad Tölz
- Kläranlage Stranberg

I.3.13 Literatur

- **Dinkloh, L.; Hüber, J.; Dillig, H.; Malachewitz, O.; Preikschat, M.;** : UV-Anlage für das Klärwerk II Gut Marienhofe in München – Verbesserung der hygienischen Wasserqualität in der Isar, Bund der Flussmeister Bayerns (2006)
- **Gnirss, R., Lüdicke, C., Beraktschjan, M., Renner, P., Feuerpfeil, I., Dizer, H., Szewzyk R., und Selink, H.,** Abwasserdesinfektion – Verfahrensvergleiche in Bezug auf Indikatororganismen, Korrespondenz Abwasser, Abfall (2015)
- **Bleisteiner, S.; Gnirss, R.; Hübner, M.; Müller, K.; Pirchner, A.; Klein, J.; Budewig, S.:** DWA-M 205 – Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser (März 2013)
- **Gehr, R.; Wagner, M.; Veerasubramanian, P.; Payment, P.:** Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater, Water Research, Volume 37, Issue 19, November 2003, Pages 4573-4586, ISSN 0043-1354
- **RUDOLPH, K. U.; NELLE, T.; OBERG, C.** (1993): Stand der Technik bei der Desinfektion von Abwasser und Schwerpunkte der Forschung. In: gwf Wasser – Abwasser, 134 (1), S. 1–9

I.4 Desinfektion mit Chlordioxid

I.4.1 Beschreibung

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Abbau von Spurenstoffen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

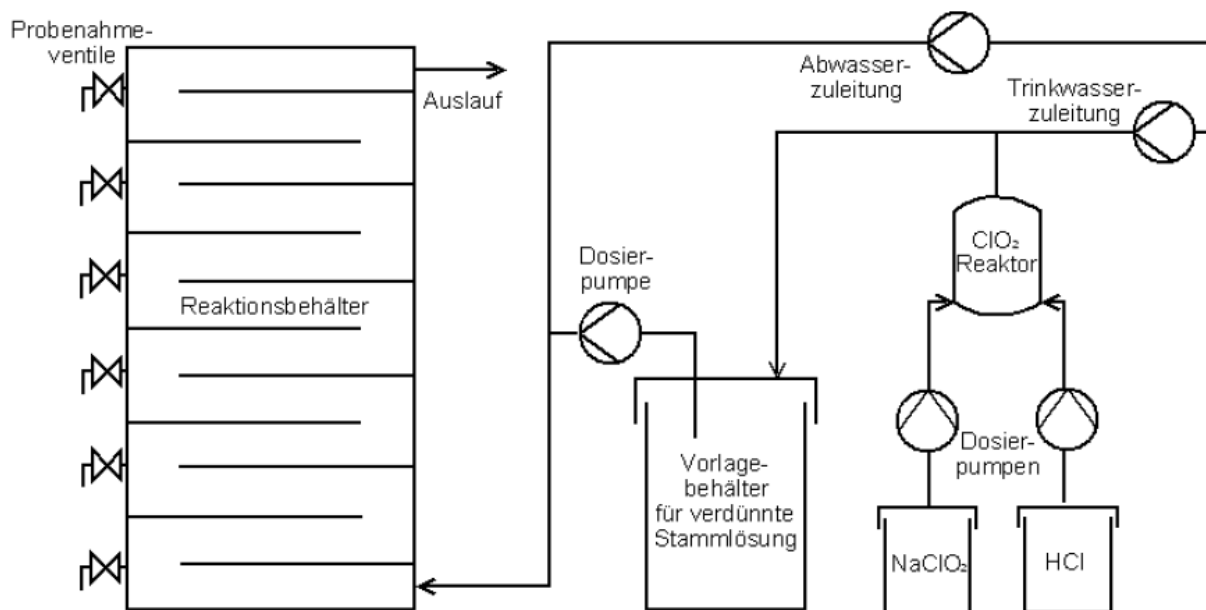


Abbildung I-5: Fließschema einer Chlordioxidanlage

Bei der Desinfektion von Abwasser mit Chlordioxid wird es entweder in einer Anlage hergestellt (Abbildung I-5) und als wässrige Lösung direkt hinzudosiert oder durch ein neueres Verfahren lagerfähig hergestellt und zum Einsatzort transportiert. In einem Reaktionsbehälter reagiert das in der Regel vorbehandelte Abwasser mit der Stammlösung und wird dann abgelassen. Die eigene Herstellung von Chlordioxid mit einer Anlage hat (je nach Größe der Anlage) höhere Kosten als die Beschaffung durch einen Anbieter. Durch die hohe Instabilität des Gases und die aufwendige Produktion als wässrige Lösung ist der Aufwand dieser Desinfektionsmethode sehr hoch.

Die genauen Desinfektionsmechanismen von Chlordioxid beruhen auf spezifischen Oxidationsreaktionen, welche noch genauer erforscht werden müssen. Chlordioxid zersetzt die aromatischen und konjugierten Strukturen von gelösten organischen Stoffen, die ein Anzeichen für Desinfektionsnebenprodukte sind. Chlordioxid kann in Chlorate und Chlorite zerfallen, welche potentiell toxisch wirken. Wird mit Chlordioxid behandeltes Abwasser in Oberflächengewässer eingeleitet, bauen sich die Chlorit-Ionen in ungefährlichere Chlorid-Ionen ab.

Die Effizienz der Desinfektion ist abhängig von der Konzentration und Einwirkzeit. Je geringer der DOC-Wert, desto höher die Inaktivierung der Mikroorganismen.

I.4.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	4,3	7,5 mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 30 min, DOC < 8 mg/L	Bischhoff, 2013
Coliforme Bakterien	5,2	7,5 mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 30 min, DOC < 8 mg/L	Bischhoff, 2013
<i>E. coli</i>	> 3 unter BG	0,2 mg/L Rest-ClO ₂ , Reaktionszeit 25 min,	Bischhoff, 2013
	>3	0,4 mg/L Rest- ClO ₂ , Reaktionszeit 25 min,	BWB - Vorversuche mit Chlordioxid
		3mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 3 min	
Intestinale Enterokokken	2,8	2,3 mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 25 min, DOC < 8 mg/L	Bischhoff, 2013
Somatische Coliphagen	2,1	2,3 mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 25 min, DOC < 8 mg/L	Bischhoff, 2013
<i>S. enterica</i>	> 4	20 mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 2 min, CSB 1000 mg/L	Hassenberg et al., 2014
<i>P. aeruginosa</i>	3,1	7,5 mg/L ClO ₂ , Reaktionszeit 30 min, DOC < 8 mg/L	Bischhoff, 2013

Ein Nachteil ist hier, dass wenn Chlordioxid komplexere organische Verbindungen in Niedermolekulare aufspaltet, diese von Organismen leichter verwertet werden können und somit das Wiederverkeimungspotential des behandelten Abwassers erhöhen.

In den internen Vorversuchen mit Chlordioxid der BWB wurde eine AOX-Aufstockung bei den benötigten Konzentrationen > 3 mg/l festgestellt.

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
CSB	96,3 %	Katalytische Oxidation (C-MnO ₂) mit 1 g ClO ₂ / L (100 ml 2-Chlorphenol) in 60 min	Xin et al., 2013

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
SUVA ₂₅₄	~30%	Abnahme der spezifischen UV-Aktivität um 30 % bei ca. 0.38 mmol ClO ₂ / L (kein Katalysator)	Wenk et al., 2013

I.4.3 Betrieb

/

I.4.4 Unterhalt und Pflege

/

I.4.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/(m ³ /s)	-	-
Energiekosten	EUR/m ³	0,0002 (0,2 EUR /kWh → Strompreis geschätzt) 1 Wh/m ³ bei einer Dosis von 4 mg ClO ₂ /L	Bischoff, 2013
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/(m ³ /s)	-	-
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Sonstige Kosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Spezifische Kosten	EUR/m ³	0,05-0,13 Gesamtkosten bei einer Dosis von 4-5 mg ClO ₂ /L (Daten aus verschiedenen Literaturquellen im kleintechnischen Maßstab wie bei der Getränkeindustrie)	Bischoff, 2013
	EUR/m ³	0,9 bis 2,7	BWB - Vorversuche mit Chlordioxid

Ein Großteil des Energiebedarfs bezieht sich auf die Dosierpumpen sowie Überwachungs- und Steuerungseinrichtungen. Der Anlagenbetrieb kann mit Hilfe entsprechender Mess- und Steuereinrichtungen weitgehend automatisiert werden. Wird die Anlage mit geliefertem Chlordioxid betrieben, lassen sich vermutlich hohe Kosteneinsparungen realisieren, da die Sicherheitsmaßnahmen und der Anlagenbetrieb der Herstellung von Chlordioxid herabgesenkt werden bzw. wegfallen. Der primäre Einsatzort in Berlin wäre das Klärwerk in Münchehofe mit einer Reinigungskapazität von 42.500 m³/Tag (ca. 0,49 m³/s). Der interne BWB Versuch hat ergeben, dass der Betrieb mit Chlordioxid unwirtschaftlich ist.

I.4.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Chlorung		Entstehung DNP insb. THM, geringere Desinfektionswirkung bei steigendem pH-Wert	-
Ozonbehandlung	Schnell	Entstehung von Bromat	-
UV-Bestrahlung	Keine Umweltbelastung	Keine Reduzierung von Spurenstoffen	-
MBR	Kompaktes Bauvolumen	Keine Reduzierung von Spurenstoffen	-

I.4.7 Mögliche Konflikte

Eine Desinfektion mit Chlordioxid sollte mit vorgeschaltetem Belebtschlammbecken und anschließender Siebung bzw. Filtration durchgeführt werden. Wird dies nicht vorgeschaltet reicht die Desinfektionswirkung von Chlordioxid nicht aus.

I.4.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Einschränkende Maßnahmen werden für Chlordioxid von der Trinkwasserverordnung und der Abwasserverordnung vorgeschrieben. So darf im Trinkwasser ein Maximalwert 0,2 mg/L und im Abwasser von Kühlkreisläufen 0,3 mg/L nicht übersteigen. Da es sich zum Teil im Wasser zu Chloriten und anschließend zu Chloriden

zersetzt, sind toxikologische Auswirkungen für Mensch und Umwelt schwer zu prognostizieren. Die Konzentration beim Einlass in ein Oberflächengewässer oder Fluss sollte sich an die Grenze der Trinkwasserverordnung halten.

I.4.9 Effekte auf andere Schutzgüter

/

I.4.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- **DWA-M-2015** - Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser(2013)
- **DIN EN 12255-14** - Kläranlagen - Teil 14: Desinfektion (2004)
- **DVWG- W 224** - Verfahren zur Desinfektion von Trinkwasser mit Chlordioxid (2010)

I.4.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
-	-	-	-	-

I.4.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

I.4.13 Literatur

- **Bischhoff, Astrid** - Desinfektion von behandeltem Abwasser – Vergleich verschiedener Desinfektionsverfahren (2013)
- **Karin Hassenberg, Werner B. Herppich, Ulrike Praeger** - Chlordioxid zur Reduktion von humanpathogenen Mikroorganismen bei der Salatwäsche (2014)
- **Xin Yang, Wanhong Guo, Xing Zhang, Feng Chen, Tingjin Ye, Wei Liu** - Formation of disinfection by-products after pre-oxidation with chlorine dioxide or ferrate (2013)
- **Jannis Wenk, Michael Aeschbacher, Elisabeth Salhi, Silvio Canonica, Urs von Gunten, Michael Sander** - Chemical Oxidation of Dissolved Organic Matter by Chlorine Dioxide, Chlorine, And Ozone: Effects on Its Optical and Antioxi-dant Properties (2013)

I.5 Desinfektion mit Perameisensäure

I.5.1 Beschreibung

1.1 Anwendungsbereich

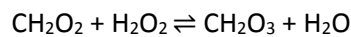
- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei Perameisensäure (PAS) handelt es sich um eine organische Säure, welche aus einer Gleichgewichtsreaktion von Ameisensäure mit Wasserstoffperoxid hergestellt wird.



Die Desinfektionswirkung kommt durch Hydroxylradikale, welche die Zellstrukturen angreifen [1]. PAS ist instabil und daher nicht lagerfähig, sondern muss vor Ort hergestellt werden[2]. Die Zerfallsprodukte sind Ameisensäure und Wasser, und diese sind nicht toxisch für Wasserorganismen[3]. Ein leichter Anstieg des DOC im Ablauf ist möglich, erhöhte Phosphor- und AOX-Konzentrationen sind aber nicht zu erwarten [1]. Es besteht ein positiver, aber nicht linearer Zusammenhang zwischen der Kontaktzeit und Konzentration mit der Desinfektionsleistung, wobei bei niedrigen Konzentrationen die Desinfektion effektiver verläuft [5].

I.5.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl			
Coliforme Bakterien	2.9 ± 1.6		[4]
<i>E. coli</i>	3	Mittlere Entfernung bei 15 ppm, 10 min. Retentionszeit bzw. 20 ppm, 10 min Retentionszeit	[1]
	3.1 ± 1.7	Monte-Carlo-Simulation mit verschiedenen Parametern	[4]
	1,8 bis >5,7	1 bis 8 mg/L PAS	[2]
	1,96	Ct 8 mg/L-min, Kontaktzeit 20 Min.	[5]
Intestinale Enterokokken	2,5	Mittlere Entfernung bei 15 ppm, 10 min. Retentionszeit	[1]
	2,6	Mittlere Entfernung bei 20 ppm, 10 min Retentionszeit	[1]
	2.6 ± 1.5		[4]
	>3	4 bis 12 mg/L PAS, 10 Min. Kontaktzeit	[2]
	1,33	Ct 8 mg/L-min, Kontaktzeit 20 Min.	[5]
Somatische Coliphagen	1,9	Mittlere Entfernung bei 15 ppm, 10 min. Retentionszeit	[1]
	1,7	Mittlere Entfernung bei 20 ppm, 10 min Retentionszeit	[1]
	2.7 ± 1.6		[4]
F+ Phagen	0,2	Mittlere Entfernung bei 15 ppm, 10 min. Retentionszeit	[1]
	0,1	Mittlere Entfernung bei 20 ppm, 10 min Retentionszeit	[1]
Parasiten	0	Mittlere Entfernung bei 15 ppm, 10 min. Retentionszeit bzw. 20 ppm, 10 min Retentionszeit; Giardien und Kryptosporidien	[1]

I.5.3 Betrieb

Da PAS immer vor Ort hergestellt werden muss, ist der Aufwand entsprechend größer als bei vergleichbaren Verfahren, bei denen Chemikalien bereits gebrauchsfertig eingekauft werden können. Kommerziell erhältliche PAS-Reaktoren sind automatisiert und wartungsarm. Die Ausgangschemikalien werden in separaten Tanks gelagert. In Pilotanlagen wurde PAS in offene Gerinne oder über eine Kaskade, bzw. direkt, in Mischwasserüberläufe bzw. in deren Vorfluter eingebracht [1][2][4]. Aus Kostengründen sollte aber nach Möglichkeit der Ablaufstrom gewählt werden. Beim Einsatz als Desinfektionsstufe in Kläranlagen kann die benötigte Konzentration mit Vorversuchen ermittelt werden: Für Mischwasserüberläufe wurden in Pilotversuchen bisher konstante Dosierungen verwendet, wodurch es zu einer Schwankung der Konzentration während eines Überlaufereignisses kommt. Für gleichbleibende Konzentrationen muss hier der variable Durchfluss bestimmt werden. Des Weiteren wurde von Chtheri et al. vorgeschlagen entsprechend des höheren Abwasseranteils zu Beginn eines Überlaufereignisses automatisiert PAS höher zu dosieren um den zusätzlichen Aufwand einer Durchflussmessung einzusparen [5]. Auch wenn PES und deren Zerfallsprodukte, in den für die Wasserbehandlung nötigen Konzentrationen, als wenig toxisch für Wasserorganismen gelten ist auf eine ausreichende Verdünnung im Zielgewässer zu achten[2][3][5].

I.5.4 Unterhalt und Pflege

Da PES bisher nur in Pilotanlagen und Batchversuchen eingesetzt wurde, liegen noch keine Erfahrungen über den Unterhalt- und Pflegeaufwand vor. Dieser sollte aber nicht höher als bei Ozonung oder anderen oxidativen Verfahren ausfallen.

I.5.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitions-kosten (einmalig für die Erstellung),	EUR/(m ³ /s)	-	
Annuität	EUR/a	1200	[2]
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)	-	
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel. Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/kg	15 [Kosten pro kg aktive Substanz]	[2]
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	-	
Sonstige Kosten:	EUR/(m ³ /s)	-	
Spezifische Kosten	EUR/m ³	0,01 – 0,04	[1]

I.5.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Peressigsäure	Verfügbarkeit	Geringere Desinfektionsleistung	[2] DWA-M 205
		Toxischer	[2]
		Abbau langsamer	[2]

I.5.7 Mögliche Konflikte

Die Desinfektion von Kläranlagenabläufen konnte mit anderen Methoden günstiger erreicht werden [1]. Des Weiteren hat PES gegenüber Viren und Parasiten eine geringere Wirksamkeit gezeigt.

I.5.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Um mögliche Toxizität für Wasserorganismen auszuschließen muss gegebenenfalls eine genügend große Verdünnung des behandelten Wassers gewährleistet sein um mögliche Rückstände von Wasserstoffperoxid unter kritische Konzentrationen zu bringen. Bei allen betrachteten Studien mit Untersuchungen im größeren Maßstab wurde die Desinfektionsanlage der Firma Kemira verwendet. Der Markt scheint noch klein zu sein und es könnte sich schwierig gestalten eine Alternative zu finden.

I.5.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Bei Pilotversuchen an Mischwasserüberläufen wurde bereits eine Einhaltung der EU-Badewasserrichtlinie erreicht, wobei keine unerwünschten Nebeneffekte auf Wasserorganismen festgestellt wurden[2][5].

I.5.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- **DGUV Vorschrift 13 Organische Peroxide** (bisher: BGV 4). Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik Online unter <https://www.bghw.de/arbeits-schuetzer/regelwerk-und-praeventionsmedien-der-bghw/regelwerk/bg-vorschriften-bg-grundsaeetze-bg-regeln-und-bg-informationen/bg-vorschriften/bgv-b-4-organische-peroxide/file> (zuletzt abgerufen 31.08.2016)
- **ASI Nr. 8.5:** Reizende und ätzende Stoffe-Informationen. Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (Hrsg.). Online unter [vorschriften.portal.bgn.de/files/9427/24506/currentVersion/ASI_8.05_26.06.2015_klein.pdf](https://www.vorschriften.portal.bgn.de/files/9427/24506/currentVersion/ASI_8.05_26.06.2015_klein.pdf) (zuletzt abgerufen 30.08.2016)
- **DIN EN 12255-14** (März 2004): Kläranlagen – Teil 14: Desinfektion. Deutsche Fassung EN 12255-14:2003
- **DIN EN ISO 7899-2** (November 2000): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken – Teil 2: Verfahren durch Membranfiltration (ISO 7899-2:2000). Deutsche Fassung EN ISO 7899-2:2000
- **DIN EN ISO 7899-1** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 7899-1:1998). Deutsche Fassung EN ISO 7899-1:1998
- **DIN EN ISO 9308-1** (Dezember 2012): Wasserbeschaffenheit – Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien – Teil 1: Membranfiltrationsverfahren für Wässer mit niedriger Begleitflora (ISO/DIS 9308-1:2012); Deutsche Fassung prEN ISO 9308-1:2012
- **DIN EN ISO 9308-3** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN Verfahren) (ISO 9308-3:1998). Deutsche Fassung EN ISO 9308-3:1998
- **DWA-M 153** (August 2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Merkblatt
- **Richtlinie 2006/7/EG** (Badegewässerrichtlinie)

I.5.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
-	-	-	-	-

I.5.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

- Pilotversuch KW Ruheleben [1]
- Pilotversuch an Mischwasserüberläufen in Kopenhagen, Dänemark [2][5]
- Versuche zur Desinfizierung von Mischwasserüberläufen in NRW [4]

I.5.13 Literatur

- [1] **Gnirss, R., Lüdicke, C., Beraktschjan, M., Renner, P., Feuerpfeil, I., Dizer, H., Szewzyk R., und Selink, H.**, Abwasserdesinfektion – Verfahrensvergleiche in Bezug auf Indikatororganismen, Korrespondenz Abwasser, Abfall (2015)
- [2] **Ravi Kumar Chhetri, Dines Thornberg, Jesper Berner, Robin Gramstad, Ulrik Öjstedt, Anitha Kumari Sharma, Henrik Rasmus Andersen**, Chemical disinfection of combined sewer overflow waters using performic acid or peracetic acids, Science of The Total Environment, Volume 490, 15 August 2014, Pages 1065-1072, ISSN 0048-9697
- [3] **R. Gehr, D. Chen, M. Moreau**, Performic acid (PFA): tests on an advanced primary effluent show promising disinfection performance Water Science and Technology Jan 2009, 59 (1) 89-96; DOI: 10.2166/wst.2009.761
- [4] **Tondera, K., et al.**, Reducing pathogens in combined sewer overflows using performic acid. Int. J. Hyg. Environ. Health (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.04.009>
- [5] **Ravi Kumar Chhetri, Rasmus Flagstad, Ebbe Sonne Munch, Claus Hørning, Jesper Berner, Annette Kolte-Olsen, Dines Thornberg, Henrik Rasmus Andersen**, Full scale evaluation of combined sewer overflows disinfection using performic acid in a sea-outfall pipe, Chemical Engineering Journal, Volume 270, 15 June 2015, Pages 133-139, ISSN 1385-8947, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.136>.

I.6 Desinfektion mit Peressigsäure

I.6.1 1. Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

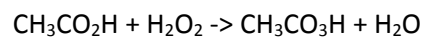
- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Peressigsäure ist eine organische Säure, welche aus Essigsäure und Wasserstoffperoxid hergestellt wird. Üblicherweise liegt Sie als Gleichgewichtsgemisch von 5-15% Peressigsäure (PES), H₂O₂, Essigsäure und Wasser vor. Es handelt sich bei PES um ein starkes Oxidations- und Desinfektionsmittel welches sich als solches zur Wasserbehandlung einsetzen lässt. Neben dem Einsatz als vierte Reinigungsstufe im Klärwerk wurden Versuche durchgeführt PES auch zur Desinfizierung von Mischwasserüberläufen einzusetzen (*Chhetri et al., 2014, 2016*). Für die Desinfektionswirkung ist wahrscheinlich die nicht dissoziierte Säure, also CH₃CO₃H, verantwortlich (*Liberti et al., 1999*).



I.6.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl			
Coliforme Bakterien	~4	60 Minuten Verweilzeit 5-7 mg/L PES erzielt <1000/100mL 30 Minuten Verweilzeit, 8 mg/L PES	<i>Lefevre et al., 1992</i> <i>Caretti et al., 2003</i>
Gesamtcoliforme und Fäkalcoliforme	~ 4	36 Minuten Verweilzeit 15 mg/L PES	<i>Mezzanotte et al., 2007</i>
	~3	11 Minuten Verweilzeit, 10 mg/L PES	<i>Larova et al., 1998</i>
Fäklacoliiforme	~4,2	30 Minuten Verweilzeit, 8 mg/L PES	<i>Caretti et al., 2003</i>
<i>E. coli</i>	~ 4	35-50 Minuten Verweilzeit, 5-10 mg/L PES	<i>Rossi et al., 2007</i>
Intestinale Enterokokken	1,9	10 Minuten Verweilzeit, 10 mg/L PES,	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-

I.6.3 Betrieb

Großtechnische Erfahrungen in der Anwendung von PES sind nur im geringen Ausmaß vorhanden. Zur Ermittlung der benötigten Kontaktzeiten, Konzentrationen etc. sind daher Vorversuche sinnvoll. Bereits bestehende Reaktorkapazität für Chlorung kann für PES verwendet werden.

PES ist Wärmeempfindlich, stark ätzend und brandfördernd. Bei unsachgemäßer Lagerung können Behälter durch entstehende Gase explodieren. Es sind entsprechende Vorkehrungen für den Arbeitsschutz zu treffen. In Batchversuchen hat sich ein negativer Einfluss von Trübheit, CSB und BSB auf die Desinfektionsleistung gezeigt (Gehr et al., 2003).

I.6.4 Unterhalt und Pflege

Genauere Erkenntnisse sind noch nicht vorhanden, allerdings sollte sich der Aufwand im Bereich anderer oxidativer Methoden der Wasseraufbereitung wie z.B. Chlorung, bewegen.

I.6.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)		15.000 – 440.000 EUR für Klärwerke mit 3.000 – 200.000 m ³ /d Kapazität, umgerechnet auf Preisniveau von 2014	Colivignarelli et al., 2000 Luukkonen et al.
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)		
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)		US\$ 0.80 l ⁻¹ für 12%ige PES 1.100 – 1.200 EUR/t	Kitis, 2003 Luukkonen et al.
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)		
Betriebskosten		0,0261 EUR/m ³ für eine Dosis von 3mg/L	Luukkonen et al.

I.6.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Perameisensäure	Günstiger, höhere Desinfektionsleistung	korrosiver	Luukkonen et al.

I.6.7 Mögliche Konflikte

Es ergeben sich ähnliche Kostenfragen wie für andere oxidative und chemische Wasserbehandlungen. Durch Essigsäurerückstände im Ablauf steigt möglicherweise die Gefahr der Wiederverkeimung. Es müssen Arbeitsschutz- und Sicherheitsmaßnahmen erfüllt sein.

I.6.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Die Verweilzeiten müssen so angesetzt werden eine ausreichende Desinfektion zu gewährleisten. Verbleibende Peressigsäure kann toxisch wirken.

I.6.9 Effekte auf andere Schutzgüter

In Versuchen zur Desinfizierung von Mischwasserüberläufen wurde, in Abhängigkeit des Abwasseranteils, eine erhöhte Toxizität festgestellt, welche mit dem langsamen Abbau von Peressigsäure erklärt werden kann (Chhetri et al., 2014).

I.6.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- **DGUV Vorschrift 13 Organische Peroxide** (bisher: BGV 4). Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik Online unter <https://www.bghw.de/arbeits-schuetzer/regelwerk-und-praeventionsmedien-der-bghw/regelwerk/bg-vorschriften-bg-grundsaeetze-bg-regeln-und-bg-informationen/bg-vorschriften/bgv-b-4-organische-peroxide/file> (zuletzt abgerufen 31.08.2016)
- **ASI Nr. 8.5:** Reizende und Ätzende Stoffe-Informationen. Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (Hrsg.). Online unter [vorschriften.portal.bgn.de/files/9427/24506/currentVersion/ASI_8.05_26.06.2015_klein.pdf](https://www.vorschriften.portal.bgn.de/files/9427/24506/currentVersion/ASI_8.05_26.06.2015_klein.pdf) (zuletzt abgerufen 30.08.2016)
- **DIN EN 12255-14** (März 2004): Kläranlagen – Teil 14: Desinfektion. Deutsche Fassung EN 12255-14:2003
- **DIN EN ISO 7899-2** (November 2000): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken – Teil 2: Verfahren durch Membranfiltration (ISO 7899-2:2000). Deutsche Fassung EN ISO 7899-2:2000
- **DIN EN ISO 7899-1** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 7899-1:1998). Deutsche Fassung EN ISO 7899-1:1998
- **DIN EN ISO 9308-1** (Dezember 2012): Wasserbeschaffenheit – Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien – Teil 1: Membranfiltrationsverfahren für Wässer mit niedriger Begleitflora (ISO/DIS 9308-1:2012); Deutsche Fassung prEN ISO 9308-1:2012
- **DIN EN ISO 9308-3** (Juli 1999): Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien in Oberflächenwasser und Abwasser – Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN Verfahren) (ISO 9308-3:1998). Deutsche Fassung EN ISO 9308-3:1998
- **DWA-M 153** (August 2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Merkblatt
- **Richtlinie 2006/7/EG** (Badegewässerrichtlinie)

I.6.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Durchfluss	L/s	2- 8 L/s	Pilotanlage	<i>Vechetti et al., 2003</i>
		6 L/s	Mischwasserüberlauf mit vorgeschalteter Fällung und Lammellenabscheider	<i>Chhetri et al., 2016</i>
Reaktionszeit	Minuten	8 – 38 Minuten	Pilotanlage	<i>Vechetti et al., 2003</i>
		360 Minuten	Abschätzung nach Vorversuchen	<i>Chhetri et al., 2014</i>
		10 Minuten	Mischwasserüberlauf mit vorgeschalteter Fällung und Lammellenabscheider	<i>Chhetri et al., 2016</i>
Dosierung	kg/min			
Konzentration	mg/L	0,4-5mg/L	Pilotanlage	<i>Vechetti et al., 2003</i>
		2 mg/L	Abschätzung nach Vorversuchen	<i>Chhetri et al., 2014</i>
		10mg/L	Mischwasserüberlauf mit vorgeschalteter Fällung und Lammellenabscheider	<i>Chhetri et al., 2016</i>

I.6.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

I.6.13 Literatur

- **MEZZANOTTE, V.; ANTONELLI, M.; CITTERIO, S.; NURIZZO, C.** (2007): Wastewater disinfection alternatives: chlorine, ozone, peracetic acid, and UV light. In: *Water Environment Research* 79 (12), pp. 2373–2379
- **LEFEVRE, F.; AUDIC, J. M.; FERRAND, F.** (1992): Peracetic acid disinfection of secondary effluents discharged off coastal seawater. In: *Water Science and Technology*, 25, pp. 155–164
- **CARETTI, C.; LUBELLO, C.** (2003): Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment: A pilot plant study. In: *Water Research* 37, pp. 2365–2371
- **ROSSI, S.; ANTONELLI M.; MEZZANOTTE V.; NURIZZO, C.** (2007): Peracetic Acid Disinfection: A Feasible Alternative to Wastewater Chlorination. In: *Water Environmental Research*, 79 (4), pp. 341–350
- **LAZAROVA, V et al.** (1998): Advanced Wastewater Disinfection Technologies: Short and Long Term Efficiency. In: *Water Science and Technology*, 38 (12), pp. 109–117
- **Collivignarelli, C., Bertanza, G., Pedrazzani, R.,** 2000. A comparison among different wastewater disinfection systems: experimental results. *Environ. Technol.* 21 (1), 1e16. <http://dx.doi.org/10.1080/09593332108618137>
- **Tero Luukkonen, Tom Heyninck, Jaakko Rämö, Ulla Lassi,** Comparison of organic peracids in wastewater treatment: Disinfection, oxidation and corrosion, *Water Research*, Volume 85, 15 November 2015, Pages 275-285, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.037>.
- **Chhetri, R.; Thornberg, D.; Berner, J.; Gramstad, R.; Öjstedt, U.; Sharma, A.; Andersen, H.:** Chemical disinfection of combined sewer overflow waters using performic acid or peracetic acids, *Science of The Total Environment*, Volume 490, 15 August 2014, Pages 1065-1072, ISSN 0048-9697
- **Ravi Kumar Chhetri, Arne Bonnerup, Henrik Rasmus Andersen,** Combined Sewer Overflow pretreatment with chemical coagulation and a particle settler for improved peracetic acid disinfection, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 37, 25 May 2016, Pages 372-379, ISSN 1226-086X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.03.049>.
- **E Veschetti, D Cutilli, L Bonadonna, R Briancesco, C Martini, G Cecchini, P Anastasi, M Ottaviani,** Pilot-plant comparative study of peracetic acid and sodium hypochlorite wastewater disinfection, *Water Research*, Volume 37, Issue 1, January 2003, Pages 78-94, ISSN 0043-1354, [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00248-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00248-8).
- **Liberti L, Lopez A, Notarnicola M.,** Disinfection with peracetic acid for domestic sewage reuse in agriculture. *CIWEM J* 1999;13:262–9.
- **Ronald Gehr, Monika Wagner, Priya Veerasubramanian, Pierre Payment,** Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater, *Water Research*, Volume 37, Issue 19, November 2003, Pages 4573-4586, ISSN 0043-1354, [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00394-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00394-4).
- **Mehmet Kitis,** Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review, *Environment International*, Volume 30, Issue 1, March 2004, Pages 47-55, ISSN 0160-4120, [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00147-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00147-8).

II. UMSETZUNG IM SYSTEM DER TRENN- BZW. MISCHWASSERKANALISATION

II.1 Betrieb von Regenklärbecken (RKB)

II.1.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Grobe Behandlung von Niederschlagswasser; Fangbecken bei Belastungsspeak von Niederschlag (Regenklärbecken ohne Dauerstau)

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Regenklärbecken (RKB) werden im Regenwasserkanal des Trennsystems angeordnet, wo die unbehandelte Einleitung des auf belasteten bzw. verschmutzten Flächen anfallenden Oberflächenwassers in ein Gewässer zu Beeinträchtigungen führen könnte. Ein RKB entfernt nicht wasserlösliche Stoffe, und leitet das leicht behandelte Niederschlagswasser in ein Gewässer. Es werden 2 Bauarten unterschieden. Zum einen RKB ohne Dauerstau (nicht ständig befüllt) sowie RKB mit Dauerstau (ständig befüllt), wobei RKB ohne Dauerstau bessere Eigenschaften besitzen als mit Dauerstau. RKB ohne Dauerstau werden in der Regel dann genutzt, wenn der Kanal auch bei Trockenwetter kein, bzw. wenig Regenwasser führt. Die Nachteile bei RKB mit Dauerstau bestehen insbesondere bei der Gefahr, dass nach längerer Trockenperiode durch Rücklösungsprozesse und Sauerstoffzehrung (Algenaustrag) beim nächsten Beschicken durch Verdrängung eine höhere Gewässerbelastung verursacht werden kann. Im Winter führen zudem Konzentrationen von Streusalz zu Störungen von Durchströmungs- und Absetzverhältnissen [1].

Im Besonderen gibt es noch eine große Anzahl an Möglichkeiten um Partikel abzuscheiden: Regenklärbecken mit Kreuzstrom-Schräglklärer [9], Sedimentationsschacht mit Lamellenfilter, System FiltaPex, System ViaStorm etc.

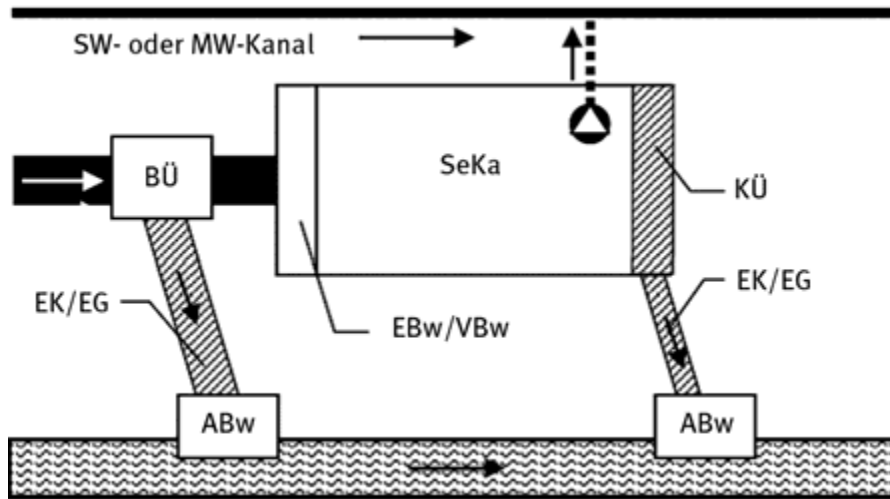


Abbildung II-1: Schematische Darstellung eines als Durchlaufbecken ausgebildeten Regenklärbeckens ohne Dauerstau [16]

BÜ = Beckenüberlauf
 KÜ = Klärüberlauf
 EK = Entlastungskanäle
 EBw = Einlaufbauwerk

SeKa = Sedimentationskammer
 ABw = Auslaufbauwerke
 EG = Entlastungsgräben
 VBw = Verteilungsbauwerk

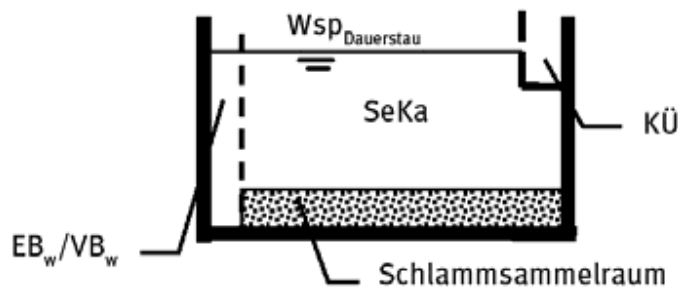
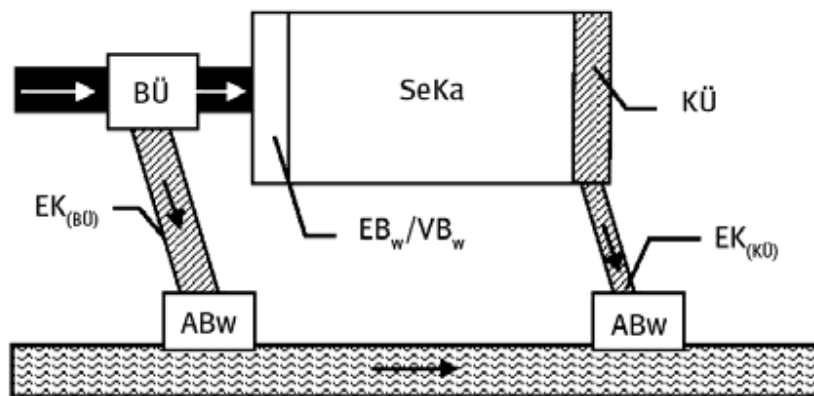


Abbildung II-2: Schematische Darstellung eines als Durchlaufbecken ausgebildeten Regenklärbeckens mit Dauerstau, ergänzt durch einen Systemschnitt der Sedimentationskammer [16]

II.1.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

/

2.2 Chemische Parameter

Leitfähigkeit, pH-Wert und O₂-Konzentration zeigen keine auffälligen Veränderungen nach der Klärung [2].

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar	Quelle
AFS/l [mg/l]		2,1 (Medianwert eines RKB ohne Dauerstau innerhalb von 3 bis 5 Tagen im Zulauf sowie Klärüberlauf → somit gute Sedimentationsleistung, da Wert gering)	[2]

→ geringer Sedimentationswirkungsgrad bei Konzentrationen unter 40 mg TS_{fein}/l im Zulauf, hoher Sedimentationswirkungsgrad bei Konzentrationen über 100 mg TS_{fein}/l im Zulauf [2]

Steigt die Sedimentationsleistung sinkt damit der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) im Wasser. Hierdurch werden an Partikel gebundene Mikroorganismen (Parasiten, Bakterien, Viren) ebenfalls besser entfernt. Zusätzlich wird den Mikroorganismen durch verbesserte Sedimentation die Nahrung entzogen.

Eine Ausarbeitung hat den Abscheidegrad eines RRB mit und ohne Lamellenabscheider modelliert und gezeigt, dass ein System ohne Lamellenabscheider bis zu 16mal mehr Volumen für die gleiche Abscheideleistung benötigt (System mit Lamellenabscheider 200m³). [15]

II.1.3 Betrieb

RKB ohne Dauerstau zeigen bei sachgerechtem Betrieb inkl. Monitoring keine besonderen Defizite auf. RKB mit Dauerstau hingegen weisen starke Nachteile bei der Reinigung auf und die Effizienz der Anlage verringert sich [2].

Bei Regenbecken ist es wichtig, die Überprüfung der Höhenstandssonden und der Drosselorgane regelmäßig durchzuführen. Bei größeren (städtischen) Anlagen ist es auch sinnvoll eine Fernüberwachung einzubringen um schnell reagieren zu können [14].

II.1.4 Unterhalt und Pflege

RKB mit Dauerstau benötigen mehrmals im Jahr eine Reinigung, da sich der angesammelte Schlamm negativ auf das Becken auswirkt.

II.1.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitions-kosten (einmalig für die Er- stellung)	EUR/(m ³ /s)	Kostenverhältnis Bau- Maschinen- und Elektrotechnik: 3:1:1	[3]
		Nutzvolumen = 180 m ³ : HK = 2.200 EUR/(m ³ Nutzvolumen) Nutzvolumen = 500 m ³ : HK = 1.300 EUR/(m ³ NV) Nutzvolumen = 1.600 m ³ : HK = 800 EUR/(m ³ NV)	[6]
Betriebskosten	EUR/(m ³ ·a)	25 → Nutzvolumen < 1.000 m ³ 12 → 1.000 m ³ < Nutzvolumen < 5.000 m ³ 7 → Nutzvolumen > 5.000 m ³	[6]
Spezifische Kosten	DM/m ³	Rundbecken → 1500	[5]
	EUR/m ²	Rechteckbecken → 2000 bei einem Nutzvolumen von 1000m ³	
		28,22 (m ² = Summe aller befestigten Flächen eines Einzugsgebietes)	[13]

Eine besonders genaue Betrachtung sollte beim Bau der Anlage erfolgen wenn es aus Stahlbeton gebaut wird, da Baufehler häufig vorkommen und für hohe Folgekosten sorgen [4].

Aufgrund der Situation, Stand der Technik, der in Deutschland betriebenen Anlagen sind aktuelle Kostenabschätzungen schwer zu ermitteln. Hinzu kommt dass ein hoher Anteil der RKB mit Dauerstau betrieben wird, da diese kostengünstiger in der Anschaffung sind, die DWA jedoch RKB ohne Dauerstau empfiehlt[1]. Zudem können die Personalkosten niedrig gehalten werden wenn Investitionen in Monitoring erfolgen.

Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Regenklärbecken beträgt für den baulichen Teil 40-70 Jahre und den maschinellen 5-20 Jahre [7].

II.1.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
MALL Kompaktlamellenklärer	geringere Investitionskosten da vorgefertigte Größen (3,5 EUR/m ² bei 1200m ² angeschlossener, befestigter Fläche)	geringere Leistung/Größe, befindet sich noch in der Erprobung/Testphase	[12]
Sedimentationsschacht UFT-FluidSettle	Geringerer Platzbedarf	arbeitet im Dauerstau, unwirtschaftlicher, befindet sich noch in Erprobung,	[10]
Regenrückhaltebecken	Geringere Investitionskosten	keine Filterung von Partikeln, nur Speicherung, Reinigung nötig	-

II.1.7 Mögliche Konflikte

Konflikte resultieren vor allem aus fehlendem Platz. Gerade in Städten gibt es wenig frei verfügbare Fläche, sodass der Bau der Anlage unterirdisch erfolgen sollte und höhere Kosten mit sich zieht.

II.1.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Einschränkungen für die Anlage sind zum einen die geforderten Abmaße, welche in Abhängigkeit der aufzunehmenden Regenfläche sind, sowie die bautechnischen Anforderungen nach der ATV-A 166.

II.1.9 Effekte auf andere Schutzgüter

RKB ohne Dauerstau haben in der Regel keine negativen Effekte auf andere Schutzgüter. RKB mit Dauerstau hingegen können bei Rücklösungsprozessen und/oder Sauerstoffzehrung nach langen Trockenperioden zu hohen Kontaminationen von Gewässern führen und damit negative Folgen auf die biologischen Prozesse ausüben.

Ist die Menge an eingeleitetem Regenwasser zu hoch, kann stark verschmutztes Abwasser über den Überlauf Gewässer gefährden.

II.1.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

Konstruktive Vorgaben sind in der ATV-A 166 vorgegeben.

Außerdem Sinnvoll um die Effizienz zu erhöhen[2]:

- gedrosselter Klärüberlauf
- kein ein oder zweifacher Rohrzulauf ohne Energiedissipation
- Messausstattung (Wasserstandsmessung, Entlastungsmessung) und Auswertung
- automatische und effektive Reinigung nach jedem Regenereignis
- keine Erdbecken, da gedrosselter Klärüberlauf, Tauchwand und automatische Reinigung fehlen
- keine Becken mit Dauerstau

- spezifisches Volumen kleiner 100 m³/ha (> 100 m³/ha: Reinigungswirkung beruht auf Speicherwirkung)

II.1.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Beckenvolumen	m ³	700	RKB in Berlin Dianasee	[7]
Beckenvolumen	m ³	400	RKB Schlierseestraße Berlin	[13]

Ein wichtiger Punkt über die aktuelle Situation in Deutschland hat eine Untersuchung aufgezeigt. So weicht ein Großteil der in Deutschland betriebenen RKB von dem Stand der Technik ((ATV - A 166, 1999)) ab, da sie vor der Einführung gebaut wurden [2].

Die Zuflussbegrenzung liegt bei 15l/(s,ha) und der Flächenbedarf bei ca. 0,2 % der angeschlossenen versiegelten Fläche.

II.1.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

Regenklärbecken Dianasee 700 m³ für 12,7 ha

Herstellungskosten: 2,7 Millionen DM (mit Berücksichtigung der Inflation → ca. 2 Millionen EUR, aber: alte Vorgaben vor der ATV-A 166)

Betriebskosten: 32.000 DM/a (ca. 24000EUR/a) [7]

II.1.13 Literatur

- [1] **DWA-A 102** Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Entwurf Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen - Phase 1 – Auftraggeber: MKULNV NRW
- [2] <http://www.ikt.de/website/klima2010/werker.pdf>
- [3] **Handbuch Wasser 4** – Wirtschaftliche Aspekte bei Gestaltung, Konstruktion und Ausrüstung von Regenklärbecken
- [4] <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14565/>
- [5] <http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Ma%C3%9Fnahmen/T1.0>
- [6] **Friedhelm Sieker** - Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten [2003]
- [7] http://www.pecher-technik.com/images/downloads/EB_160713_KHP_StoffrueckhaltGenehmigung.pdf
- [8] <http://www.waterwastewatertechnology.info/documents/2437293/3575116/Vortrag+UFT/fd1b7602-5fa6-476b-9e0e-f83ebecc1c68;jsessionid=FC47E5E271BA0864A-CEEE675C3AD9EFB>
- [9] <http://www.uft-brombach.de/hydro-mechanik/ausruestung/023-grobstoffrueckhalt/detail/0239-sedimentationsschacht-uft-fluidsettle/>
- [10] http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/WUZ_Abschlussbericht_Dezentrale_Behandlung_des_gefassten_Niederschlagswassers.pdf
- [11] **Harald Sommer, Mike Post**; Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen Übersicht verfügbarer Anlagen -
- [12] **Projekt Kuras** - 160622_aktualisierte Präsentation Ökonomische Bewertung_Versand BWB
- [13] [http://www.dwa.de/po-tale/bw/bw.nsf/C12572290037B981/6BEE0EE2435E1E47C1257A0E0039142C/\\$FILE/2012-05-23+24%20-%20Forum1%20RW-Beh%20-%20Dittmer.pdf](http://www.dwa.de/po-tale/bw/bw.nsf/C12572290037B981/6BEE0EE2435E1E47C1257A0E0039142C/$FILE/2012-05-23+24%20-%20Forum1%20RW-Beh%20-%20Dittmer.pdf)
- [14] **Joerg Schaffner**, Ingo Mayer et al. - Model based investigations on the pollution loads of storm-water treatment particle separators [2013]
- [15] **DWA-A 166** Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung –Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung
- [16] <http://www.mall.info/produkte/regenwasserbewirtschaftung/regenwasserbehandlung/viastorm-regenklaerbecken.html>

II.2 Betrieb von Regenrückhaltebecken (RRB)

II.2.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation (Regelfall)
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Verringerung der hydraulischen Belastung der Gewässer; Bei Anordnung innerhalb des Netzes: Reduzierung der hydraulischen Belastung unterhalb liegender Kanalabschnitte zur Vermeidung/Verringerung von Überstauungen und Überlaufereignissen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Ein Regenrückhaltebecken (RRB) speichert überschüssiges Regenwasser zwischenzeitlich und gibt es anschließend zur Dämpfung langsam in das Kanalnetz ab. RRB können überirdisch (offen, bei Trennsystem) oder geschlossen gebaut werden. Für unvorhersehbar starke Regenereignisse ist ein Notüberlauf vorhanden, über den Niederschlagswasser, das die Aufnahmekapazität des Regenrückhaltebeckens übersteigt in ein Gewässer eingeleitet wird. Dieser kommt aber im Regelbetrieb nicht zum Einsatz.



Abbildung II-3: Regenrückhaltebecken einer Straße in Bayern [1]



Abbildung II-4: Naturnahes RRB in Neubrandenburg [10]

In Abbildung II-3 ist ein offenes RRB an eine Bundesstraße angeschlossen, und in Abbildung II-4 ein naturnahes RRB an eine Stadt, welche bei starkem Regen den Belastungspeak auffangen und langsam zur Klärung an das Kanalnetz abgeben.

In Abbildung II-5 ist ein Anschlussbeispiel eines RRB aufgeführt, mit verschiedenen Optionen.

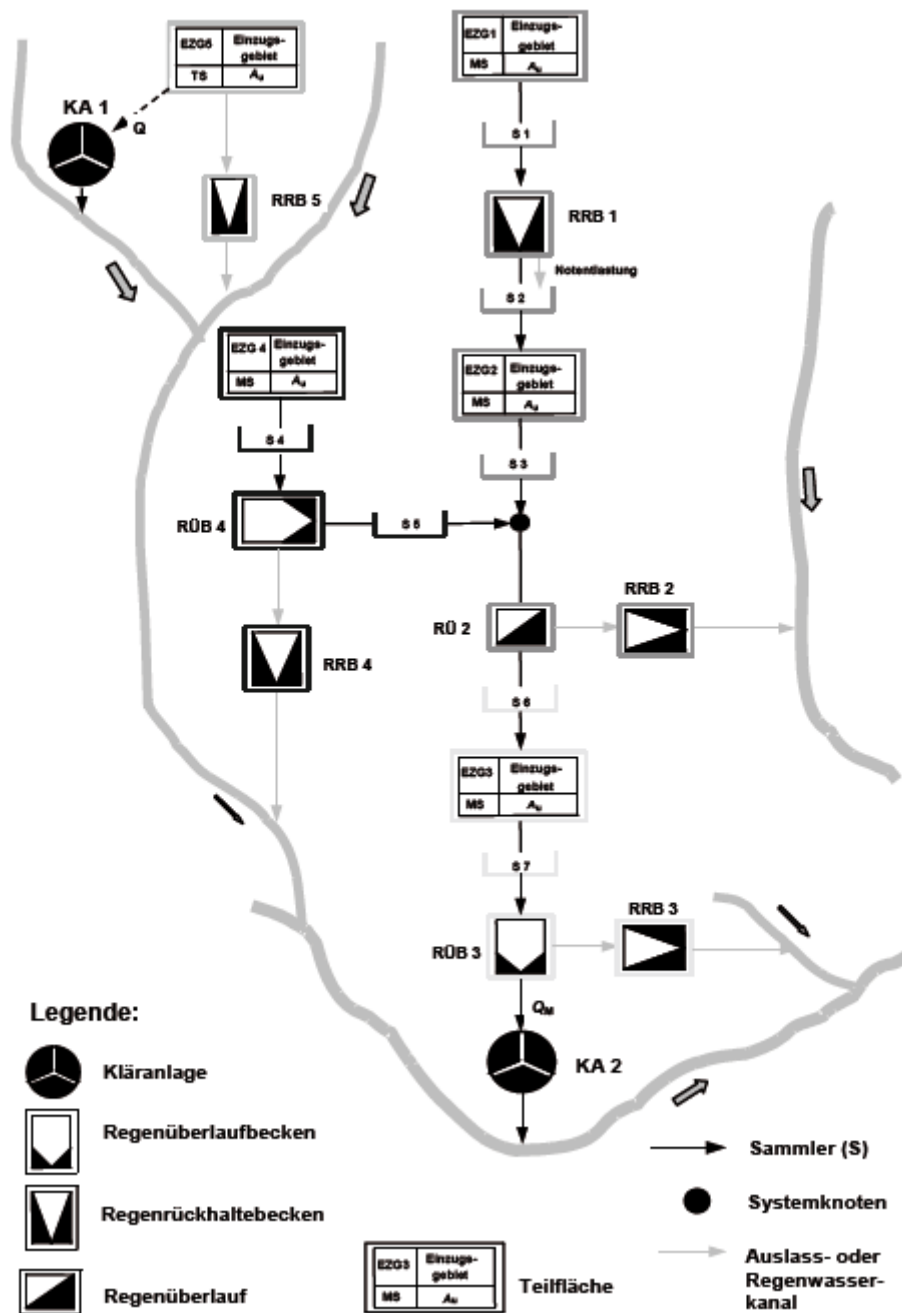


Abbildung II-5: Beispiel einer Systemskizze mit RRB [2]

II.2.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Natürlicher Abbau von Mikroorganismen bei längeren Standzeiten durch Verdrängung und Fraß von anderen Mikroorganismen. Der Effekt benötigt längere Standzeiten und einen naturnahe Auslegung des RRBs.

2.2 Chemische Parameter

/

2.3 Physikalische Parameter

/

II.2.3 Betrieb

Bei Regenbecken ist es wichtig die Überprüfung der Höhenstandssonden und der Drosselorgane regelmäßig durchzuführen. Bei größeren (städtischen) Anlagen ist es sinnvoll eine Fernüberwachung einzubringen, um schnell reagieren zu können [6].

II.2.4 Unterhalt und Pflege

Bei überirdischen RRB müssen ggf. regelmäßig die Böschungen gepflegt und die Becken entschlammt werden [7].

II.2.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/m ³	370 - 1.650 Baukosten (offen oder geschlossen, Bodenverhältnis, Grundwasserverhältnis, Bauart, Größe, etc...) Die Investitionskosten können auch erheblich größer sein als 1.650 EUR/m ³ .	[3]
Wartungskosten	[EUR/m ² /a]	0,02 / 0,001 – 0,04 (befestigte Regenfläche)	[8]
Investitionskosten	EUR/m ²	17,2 / 1,2-70 (befestigte Regenfläche)	[8]
Sonstige Kosten	EUR/t	45-50 (Schlamm Entsorgung)	[4]

II.2.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
GFK-Stauraumsystem	Geringe Bauzeit	Hohe Kosten bei nachträglichem Einbau	[5]
Hochleistungssedimentationsanlagen	Rückhalt von Feinpartikeln	Geringeres Speichervolumen	[8]

II.2.7 Mögliche Konflikte

Es sollte bei der Planung der Anlage das Nachweisverfahren (Simulation) angewendet werden. Das unterscheidet sich im Gegensatz zum einfachen Verfahren (statistische Daten) an der Genauigkeit der Datenlage und den daraus resultierenden höheren Kosten. Diese sind allerdings gerechtfertigt da die Kosten bei Über- bzw. Underdimensionierung stark ansteigen können [2].

Je nach Situation können sich über einen längeren Zeitraum toxische Stoffe am Boden ablagern.

II.2.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Eine Einschränkung gibt es bei der Platzierung der Anlage. Der Anschluss des RRB's ist im Normalfall an den Kanalverlauf gebunden.

II.2.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Ist die Menge an eingeleitetem Regenwasser im Mischsystem zu hoch, kann stark verschmutztes Abwasser über den Überlauf Gewässer gefährden.

II.2.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- Schlamm Entsorgung: LAGA-Richtlinie beachten (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall)
- Dimensionierung nach ATV-Arbeitsblatt A117

II.2.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Beckengröße	m ³	1.560	RRB Berliner Platz / spez. Investitionskosten: 641 EUR/m ³	[9]

Die Bemessung der Überstauhäufigkeit beträgt liegt bei 0,1/a. Der Flächenbedarf beträgt 5 bis 10 % der angeschlossenen versiegelten Fläche (abhängig von Tiefe und Böschungsneigung).

II.2.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

- Regenrückhaltebecken der Linz AG bei Weikerlsee in Linz mit 18.000 m³ Fassungsvermögen (offen)

II.2.13 Literatur

- [1] http://www.wwa-r.bayern.de/hochwasser/hochwasserschutzprojekte/furth_im_wald/bauabwicklung/index.htm
- [2] Arbeitsblatt **DWA-A 117** – Bemessung von Regenrückhalteräumen
- [3] <http://www.hoi-gutachter.de/pdf/kostenricht.pdf>
- [4] http://www.dwa-nord.de/tl_files/_media/content/PDFs/LV_Nord/Nachbarschaften-Manuskripte/NB65_RRB%20Ueberwachung%20Betrieb%20und%20Entschlammung_WZV.pdf
- [5] http://www.amiantit.com/media/pdf/ext/Flowtite_Stauraumssysteme_DT.pdf
- [6] [http://www.dwa.de/por-tale/bw/bw.nsf/C12572290037B981/6BEE0EE2435E1E47C1257A0E0039142C/\\$FILE/2012-05-23+24%20-%20Forum1%20RW-Beh%20-%20Dittmer.pdf](http://www.dwa.de/por-tale/bw/bw.nsf/C12572290037B981/6BEE0EE2435E1E47C1257A0E0039142C/$FILE/2012-05-23+24%20-%20Forum1%20RW-Beh%20-%20Dittmer.pdf)
- [7] <http://www.sieker.de/de/fachinformationen/article/rainwater-retention-basin-51.html>
- [8] Nitrolimit - Stickstofflimitation in Binnengewässern –Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? – Diskussionspapier Band 2 [2013/09]
- [9] <http://www.ib-heer.de/ingenieurbuero-referenzen/abwassertechnik/regenrueckhaltebecken-berliner-platz/>
- [10] Vegetationskundliche und faunistische Untersuchungen am 'Regenrückhaltebecken Bethanienberg' in Neubrandenburg - **Kerstin Schultz & Kristina Körsten** – 2009

II.3 Betrieb von Retentionsbodenfiltern (RBF)

II.3.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

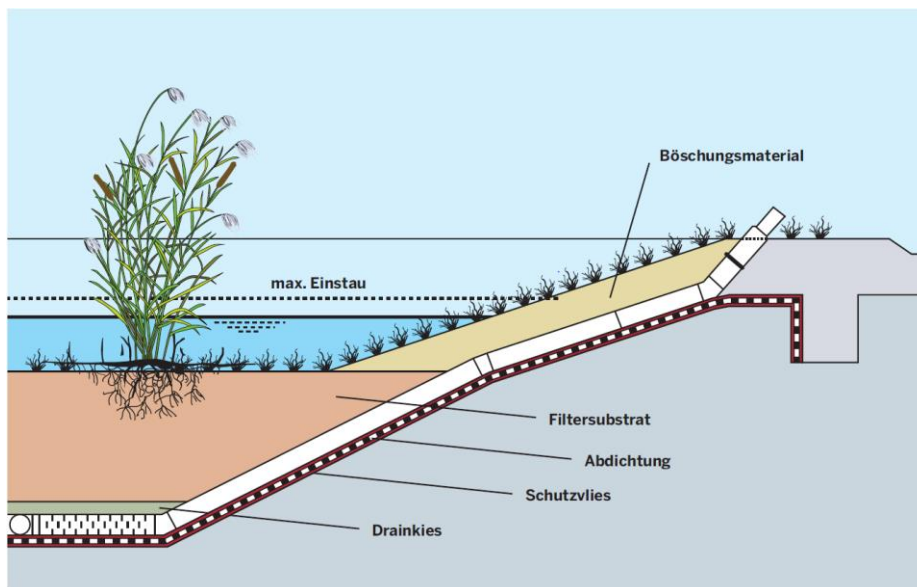
- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland
- Sonstiges: Straßenablauf

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Retentionsbodenfilter sind vertikal durchströmte Bodenfilter mit angeschlossenem oder integriertem Rückhaltevolumen, bestehend aus einem offenen und bepflanzten Erdbecken. Der Untergrund ist als Filter aufgebaut, mit einem Drainage System ausgestattet und nach unten abgedichtet. Der Ablauf wird drosselbar an den nächsten Vorfluter oder ähnliches abgegeben. Als Bepflanzung wird Schilf aufgrund seiner Dominanz gegenüber Wildbewuchs und der Struktur gebenden Streu bevorzugt. Letzteres wirkt Kolmation entgegen. Retentionsbodenfilter sind meist mehrstufig aufgebaut und haben eine Vorstufe, welche je nach Einsatzbereich im Misch- oder Trennsystem gestaltet ist und absetzbare Stoffe sowie die Sand und Kies von der Filterfläche fernhalten soll. Zur verbesserten Keimentfernung ist auch eine Kombination mit einer UV-Behandlung des Ablaufs möglich.



II.3.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl			
Coliforme Bakterien	1,1	RBF Kleingladenbach	Waldhoff, 2008
	1,3	RBF Fellenweg	
<i>E. coli</i>	0,5 bis 1,7	RBF Kleingladenbach	Waldhoff, 2008
	1,1	RBF Fellenweg	Waldhoff, 2008
	1-2	RBF Halensee	BWB/KURAS
Intestinale Enterokokken	0,9	RBF Kleingladenbach	Waldhoff, 2008
	1,4	RBF Fellenweg	
	0,5-1,5	RBF Halensee	BWB/KURAS
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-
Keime	1-3	Ohne zusätzliche UV-Bestrahlung	IWW, 2010

2.2 Chemische Parameter

Parameter	Einheit	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)		Quelle
		Mischsystem	Trennsystem	
TOC	mg/L	8	5	MKULNV, 2015
P _{ges}	mg/L	1,0	0,3	MKULNV, 2015
Zink	µg/L	20	20	MKULNV, 2015
Cadmium	µg/L	0,02	0,02	MKULNV, 2015
Kupfer	µg/L	10	10	MKULNV, 2015
CSB _{ges}	mg/L		9,8 (Entfernung von 88%)	Lemm/BWB, 2011

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	Einheit	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
AFS	mg/L	<5	Lemm/BWB, 2011

II.3.3 Betrieb

Es besteht hinsichtlich der Auslastung ein Unterschied zwischen, im Misch- oder Trennsystem eingesetzter, Retentionsbodenfilter. Im Trennsystem werden RBF bei jedem Regenereignis belastet. Sind ausreichend lange Trockenzeiten möglich und besteht kein erhöhter Feststoffeintrag, etwa durch die Beschaffenheit der umgebenden Flächen, ist eine Kolmation durch Feinpartikel nicht zu erwarten. Für den Straßenablauf ist eine, dem Trennsystem vergleichbare, Konfiguration angezeigt. Nach jedem Einstauereignis sollte der RBF komplett entleert werden, um einen ausreichenden Kontakt mit dem Luftsauerstoff zu gewährleisten. Langanhaltender Überstau kann die Nitrifikationsleistung vermindern und fördert Eisen- und Manganfreisetzung. Bevor mit

dem regulären Betrieb begonnen werden kann, muss in einer Einfahrphase die Vegetation des Retentionsbodenfilters etabliert werden.

Der Rückhalt von Indikatorbakterien hängt stark mit der Filterschichtdicke zusammen (Waldhoff, 2008). In Lysimeterversuchen konnte durch das in Reihe schalten zweier Lysimeter die Grenz- bzw. Orientierungswerte der EU-Badegewässerrichtlinie eingehalten werden (Waldhoff, 2008).

II.3.4 Unterhalt und Pflege

Der Betrieb der RBF-Anlage ist mit geringem personellen Aufwand möglich. Ein Mahd oder zusätzliches Düngen des Schilfbewuchses ist nicht notwendig. Sich ansiedelnde Gehölze müssen frühzeitig entfernt werden. Dies ist nur im Trockenzustand des Filters möglich.

II.3.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR	3.331.578,87EUR (Halensee), Netto	BWB/KURAS
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)		
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/(m ³ /s)		
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	Geringer personeller Aufwand	
Sonstige Kosten	EUR/(m ³ /s)		

Kostenarten (-gruppen)*	Blankenburg	Halensee	Adlershof	Biesdorf
CP-MA RHB-Stoffe und Material	987	2.409	4.548	11.383
CP-MF Aufwendungen für bezogene Leistungen [EUR]	9.511	3.240	21.990	44.735
CP-T Steuern Sonstige	0	0	4	96
CP-S betriebliche Aufwendungen Sonstige [EUR]	3.030	0	5.455	3.818
CK kalkulatorische Kosten	84.280	298.084	433.596	223.609
CS-LV Leistungsverrechnung u. Über-/Überdeckung [EUR]	8.578	20.147	2.135	61.710
CS-UM Umlagen [EUR]	5.311	16.475	25.254	15.709
Gesamtkosten [EUR]*	111.697	340.355	492.982	361.060
Betriebskosten [EUR]*	22.106	25.797	34.132	121.742
Zulaufmengen [m ³]*	26.000	80.000	280.000	185.000
Kosten (ohne Umlagen) pro m ³ [EUR/m ³]*	4,09	4,05	1,67	1,87
Kosten (mit. Umlagen) pro m ³ [EUR/m ³]*	4,30	4,25	1,76	1,95

*BWB Daten

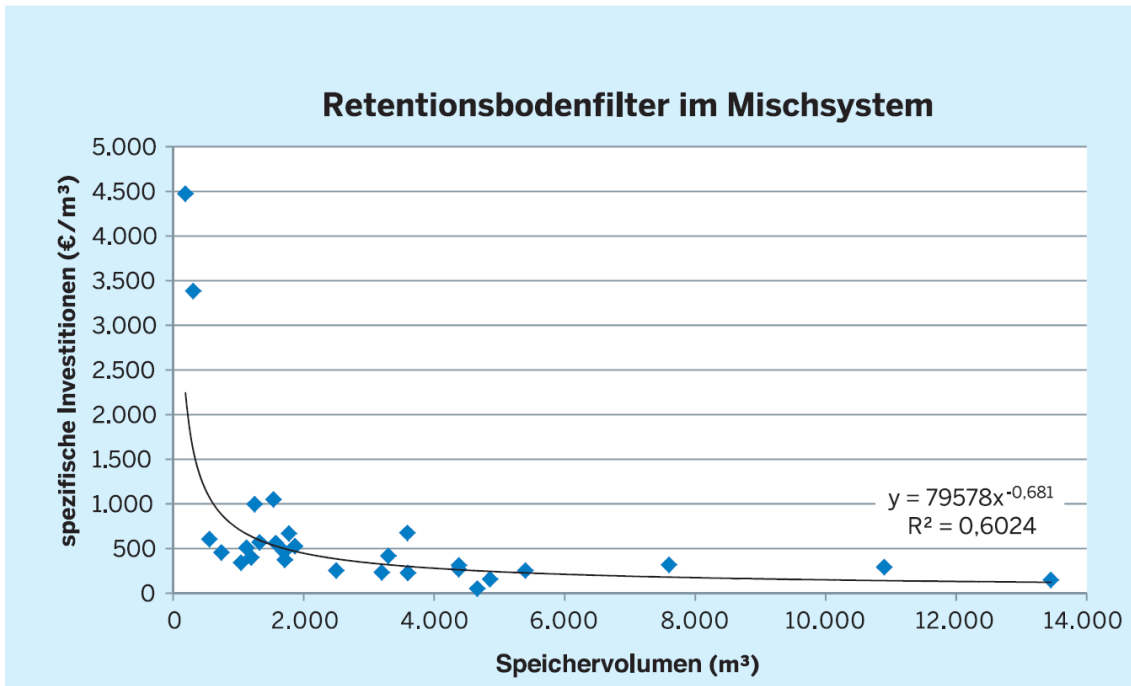


Abbildung II-6: Spezifische Investitionskosten [EUR/m³] für Retentionsbodenfilter im Mischsystem in Abhängigkeit vom verfügbaren Speichervolumen [m³], Quelle: MKULNV des Landes NRW

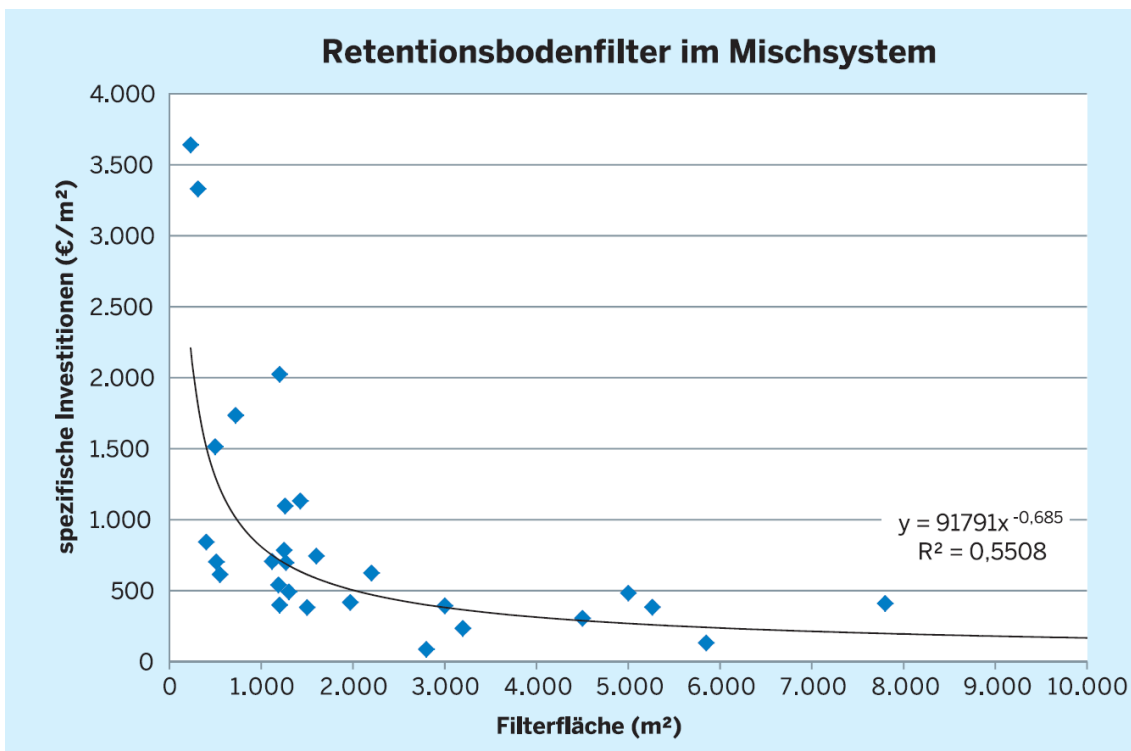


Abbildung II-7: Spezifische Investitionskosten [EUR/m²] für Retentionsbodenfilter im Mischsystem in Abhängigkeit von der verfügbaren Filterfläche [m²], Quelle: MKULNV des Landes NRW

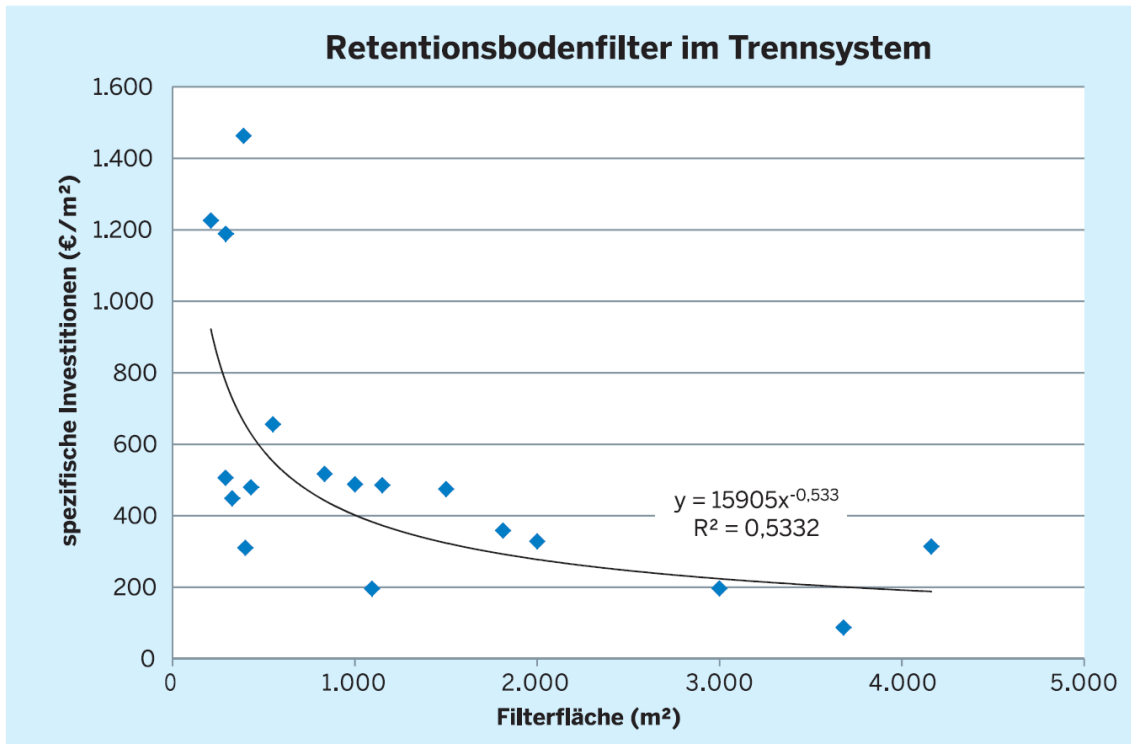


Abbildung II-8: Spezifische Investitionskosten [EUR/m²] im Trennsystem in Abhängigkeit von der verfügbaren Filterfläche [m²]; Quelle: MKULNV des Landes NRW

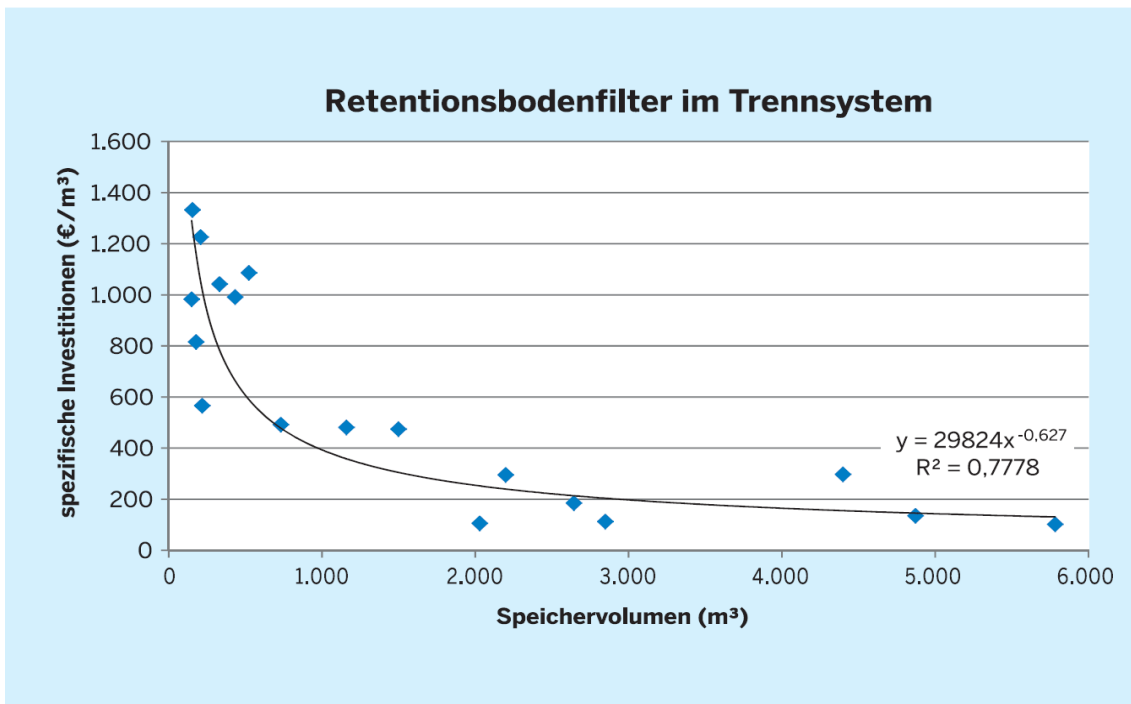


Abbildung II-9: Spezifische Investitionskosten [EUR/m³] im Mischsystem in Abhängigkeit vom verfügbaren Speichervolumen [m³]; Quelle: MKULNV des Landes NRW

II.3.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Mulden-Rigolen	Geringerer Platzbedarf	Direkte Infiltrierung ins Grundwasser	-
Stauraum	Auch unterirdisch möglich	Keine Reinigungsleistung	-

II.3.7 Mögliche Konflikte

Es muss entsprechend Platz zu Verfügung stehen, der auch bei Trockenwetter nicht anderweitig genutzt werden kann. Die Kosten liegen beim Betreiber, wobei eine Förderung möglich ist.

II.3.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Soll eine Einleitung in ein Gewässer stattfinden, muss eine entsprechende Ablaufqualität eingehalten werden. Im innerstädtischen Bereich könnte der relativ hohe oberirdische Flächenbedarf die Standortwahl stark einschränken.

II.3.9 Effekte auf andere Schutzgüter

RBF-Anlagen haben positive Auswirkungen auf Wasserqualität und in Folge dessen auch auf Biodiversität und Freizeitgestaltung (Bsp. Biesdorfer Baggersee).

II.3.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- DWA-M 178
- Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung in Misch- und Trennsystemen (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg)
- Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb (MKULNV NRW)
- Empfehlung für Bemessung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen im Mischsystem in Hessen (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz)
- Richtlinie 76/464/EWG
- Richtlinie 80/68/EWG
- Wasserhaushaltsgesetz
- Abwasserabgabengesetz
- Bundes-Bodenschutzgesetz
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
- Baugesetzbuch
- DIN 1998-1 Regenwassernutzungsanlagen Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung

II.3.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Einzugsgebiet	ha	59,9	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		38,6	RBF Kleingladenbach	
		48,2	RBF Fellenweg	
Einwohner		1870	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		718	RBF Kleingladenbach	
		1600	RBF Fellenweg	
Vorstufe			Fangbecken mit Nebenschluss, RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
			Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung, RBF Kleingladenbach	
			Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung, RBF Fellenweg	
Retentionsvolumen	m ³	1485	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		658	RBF Kleingladenbach	
		768	RBF Fellenweg	
Filterfläche	m ²	1275	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		524	RBF Kleingladenbach	
		627	RBF Fellenweg	
Max. Überstauhöhe	m	1,0	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
		1,0	RBF Kleingladenbach	
		0,95	RBF Fellenweg	
Drosselabfluss	L/m ² ·s	0,01 und 0,02	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		0,01, 0,02 und 0,03	RBF Kleingladenbach	
		0,01 und 0,02	RBF Fellenweg	
Beschickungshöhe	m/a	39	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		46	RBF Kleingladenbach	
Überlaufhäufigkeit n		11	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		15	RBF Kleingladenbach	
Bepflanzung	-	Schilf	RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
			RBF Kleingladenbach	
			RBF Fellenweg	
Filtersubstrat	cm	70	80 % Sand 20 % Kalk, RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		95	90% Sand, 10% Eisenhydroxid, RBF Kleingladenbach	
		80	bindiger Boden, RBF Fellenweg	
Dränage	cm	30	Kies, Vollsickerrohre DN 150, RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		30	Kies, Teilsickerrohre DN 150, RBF Kleingladenbach	
		20	RBF Fellenweg	
Stützschiicht	cm	20	Sand, RBF Kleingladenbach	Waldhoff, 2008
		40	RBF Fellenweg	
Abdichtung	mm	2	PE-Folie, RBF Oberelsung	Waldhoff, 2008
		2	PE-HD Folie, RBF Kleingladenbach	
		2	PE-HD Folie, RBF Fellenweg	

Die Überstauhäufigkeit des Filters sollte 0,1/a (bei Vollstrombehandlung nicht übersteigen). Die Drosselabflussspende des Filters liegt bei ca. 0,01 und 0,05 L/(s·m² Filteroberfläche). Der Flächenbedarf beträgt ca. 2 % der angeschlossenen versiegelten Fläche.

II.3.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

- RBF Oberelsung
- RBF Kleingladenbach
- RBF Fellenweg
- RBF Halensee, Berlin
- RBF Baggersee Biesdorf

II.3.13 Literatur

- **Waldhoff, A.** : Hygienisierung von Mischwasser in Retentionsbodenfiltern (RBF), Kassel 2008
- **IWW (2010)**: Bewertung der Leistungsfähigkeit von vier Retentionsbodenfiltern hinsichtlich der Rückhaltung hygienisch relevanter Mikroorganismen, Abschlussbericht
- **MKULNV NRW (2015)**: Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb
- **Frechen, F.-B.** (Hrsg.): Retentionsbodenfilter in Hessen
- **BWB** interne Daten

II.4 Betrieb von Regenüberlaufbecken (RÜB)

II.4.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Ein Regenüberlaufbecken (RÜB) wird in einem Mischsystem eingesetzt um Mischwasserüberläufe zu vermindern und somit die Gewässer zu entlasten. Im Gegensatz zum Regenrückhaltebecken sind RÜB nur in Mischsystemen vorhanden. Sobald das Becken vollständig gefüllt ist, wird das Niederschlagswasser bzw. das mit Niederschlagswasser vermischte und dadurch stark verdünnte Schmutzwasser über einen Überlauf in ein Gewässer eingeleitet. Dabei ist das Regenüberlaufbecken so aufgebaut, dass sich der größte Teil der nicht im Wasser gelösten Schmutzfracht abgesetzt hat und nicht ins Gewässer eingeleitet wird. Der Überlauf des Wassers und dessen Einleitung in ein Gewässer gehört beim Regenüberlaufbecken zum Regelbetrieb und tritt nicht nur bei unvorhersehbar starken Regenereignissen auf. Mögliche Systeme bei RÜB sind Durchlaufbecken/Fangbecken sowie Hauptschluss/Nebenschluss (s. Abbildung II-11).

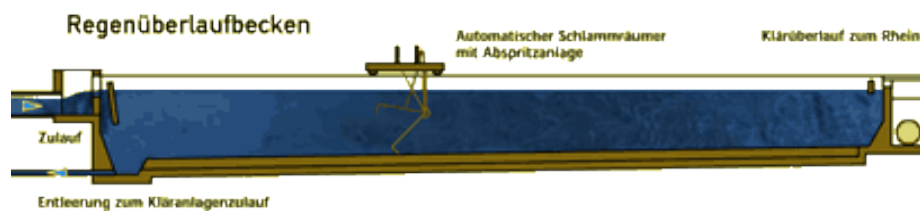


Abbildung II-10: Schema eines RÜB (unterirdisch) [3]

In Abbildung II-10 sieht man ein Beispiel eines Regenüberlaufbeckens mit automatischem Schlammräumer inklusive Abspritzanlage um Verunreinigungen an den Wänden zu entfernen. Ist das Becken zu weit befüllt fließt das Abwasser nicht mehr ausschließlich zur Kläranlage, sondern über den Klärüberlauf in das Gewässer.

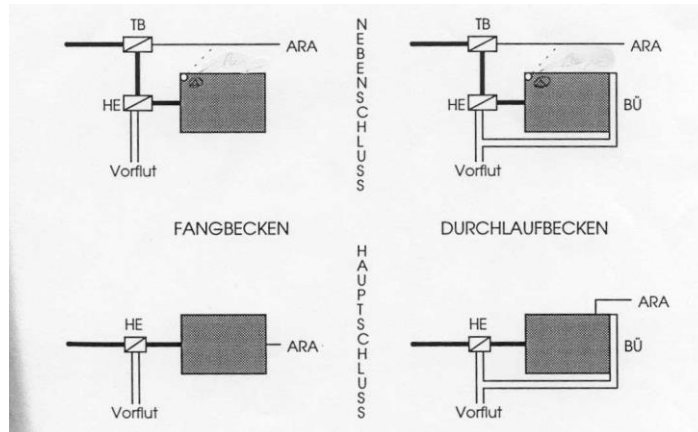


Abbildung II-11: Regenüberlaufbecken-Systeme (Hauptschluss/Nebenschluss, Fangbecken, Durchlaufbecken) [11]

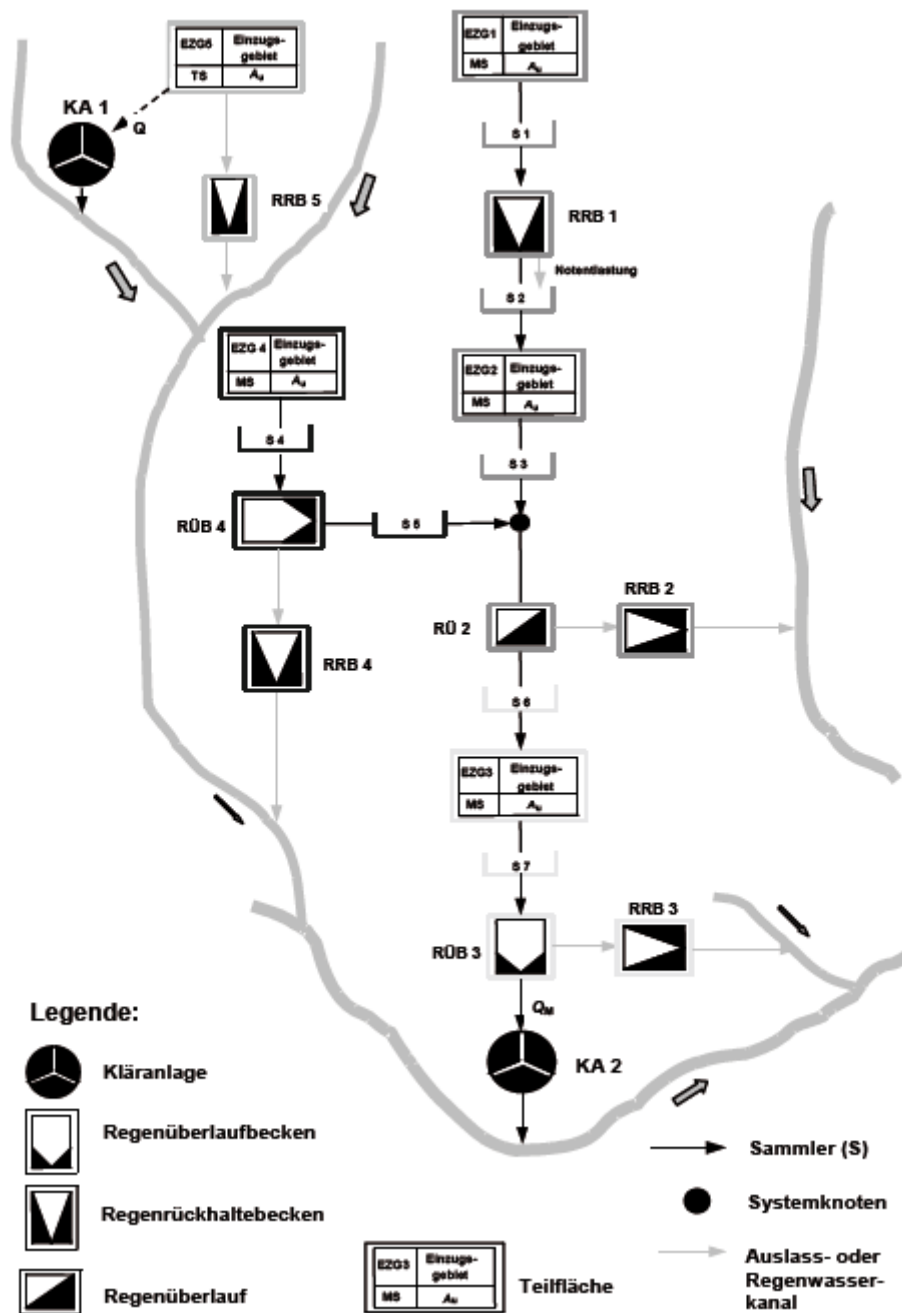


Abbildung II-12: Beispiel einer Systemskizze mit RÜB [4]

Abbildung II-12 zeigt ein Systembeispiel mit RRB und RÜB. RÜB kommen somit nur in der Mischwasserkanalisation zum Einsatz und leiten das Abwasser zur Kläranlage. Ist die Niederschlagsbelastung zu groß wird das Regenwasser in einen Kanal bzw. ein Gewässer geleitet.

II.4.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

/

2.2 Chemische Parameter

/

2.3 Physikalische Parameter

/

II.4.3 Betrieb

Bei Regenbecken ist es wichtig die Überprüfung der Höhenstandssonden und der Drosselorgane regelmäßig durchzuführen. Bei größeren (städtischen) Anlagen ist es sinnvoll eine Fernüberwachung einzubringen um schnell reagieren zu können [8].

II.4.4 Unterhalt und Pflege

empfohlene Häufigkeit	Anlagenteil	durchzuführende Arbeiten	EKVO BW ohne FÜ
alle 3 Monate (1)	gesamte technische Ausrüstung (Funktionsprüfung)	nach Herstellerangaben (z. B. Leichtgängigkeit, manuelles oder motorisches Betätigen)	nach jeder Belastung der Anlage, mindestens alle 2 Monate
jährlich	FÜ und gesteuerte Anlagenteile (erweiterte Funktionsprüfung)	Kontrolle der Übertragungen an die FÜ und korrekte Ansteuerung der Anlagenteile über die FÜ	-
	Höhenstandsmessungen (Genauigkeitsprüfung)	Überprüfungsmessung an den Überlaufschwelen und im Speicherraum	-
alle 5 Jahre	Drossel (Genauigkeitsprüfung)	Vergleichsmessung des Drosselabflusses	alle 5 Jahre (aus der Begründung)
(1) wenn im Rahmen der täglichen Routinekontrolle über die FÜ keine Einschränkungen der Funktionstüchtigkeit festgestellt werden.			

Abbildung II-13: Empfehlungen für den Betrieb von RÜB [8]

II.4.5 5. Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/m ³	370 - 1.650 Baukosten (offen oder geschlossen, Bodenverhältnis, Grundwasserverhältnis, Bauart, Größe, etc...)	[2] [9]
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)	939 (RÜB Nikolausburgerstr. Berlin)	
Betriebskosten	EUR/(m ³ /a)	1,77 (RÜB Nikolausburgerstr. Berlin)	[9]
Investitionskosten	EUR/m ²	6,1 / 0,8 - 18,5 (befestigte Regenfläche)	[1]
Laufende Kosten	EUR/(m ² -a)	0,03 (befestigte Regenfläche)	[1]

II.4.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Kaskadenwehr	Kostengünstiger	Geringeres Speichervolumen	-
Wirbelabscheider	Höhere Rückhaltewirkung von absetzbaren Stoffen	Geringeres Speichervolumen	[5]

II.4.7 Mögliche Konflikte

Je nach Verschmutzungsgrad des Abwassers kann eine Reinigung des Beckens hohe Kosten verursachen.

II.4.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Es besteht die Möglichkeit der verminderten Reinigungsleistung der Kläranlage durch erhöhte oder verdünnte Zuflüsse. Der Standort eines RRB ist in der Regel an den Verlauf der Kanalstraße gebunden, ein RÜB auch, wodurch es im Innenstadtbereich Probleme bei der Verfügung von Standorten geben kann. [6]

II.4.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Ist die Menge an eingeleitetem Regenwasser zu hoch, kann stark verschmutztes Abwasser über den Überlauf Gewässer gefährden.

II.4.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

Die Bemessung des Beckens sollte nach DWA-A 166 erfolgen um den Stand der Technik zu gewährleisten.

II.4.11 Bemessung, Auslegung und Planung

Siehe DWA-A 166:

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Beckengröße	m ³	290	Gitschinerstraße Berlin	[7]
Beckengröße	m ³	3.900	Sophie-Charlottenstraße Berlin	[7]
Beckengröße	m ³	17.000	Chausseestrasse Berlin	[7]

II.4.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

Straße	Art der Maßnahme	gebautes /aktiviertes Speichervolumen [m ³]	geplantes Speichervolumen [m ³]	Baujahr	Planwerte Baukosten (Senat) (ASS Stand 03/14) [Mio Euro]	Planwerte Baukosten (100 %) (ASS Stand 03/14) [Mio Euro]	spezifische Kosten gebauter Maßnahmen	spezifische Kosten Plan 2014
Paul-Linke-Ufer	Regenüberlaufbecken	2.000		1978			665	
Gitschiner Str.	Regenüberlaufbecken	2.900		1989			2.700	
Urbanstr.	Regenüberlaufbecken	3.400		1988			2.071	
Chausseestr.	Regenüberlaufbecken		17.000	2018	20,569	34,28166667		2.017
Seestraße	Regenüberlaufbecken	2.000		2003			1.950	

Abbildung II-14: Allgemeine Übersicht RÜB aus dem Projekt KURAS [10]

II.4.13 Literatur

- [1] Nitrolimit - Stickstofflimitation in Binnengewässern –Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? – Diskussionspapier Band 2 [2013/09]
- [2] <http://www.hoai-gutachter.de/pdf/kostenricht.pdf>
- [3] <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/r/regenueberlaufbecken.htm>
- [4] Arbeitsblatt **DWA-A 117** – Bemessung von Regenrückhalteräumen
- [5] <http://siwawi.bauing.uni-kl.de/index2.php?link=projekte&lang=lcmhqhia&parea=15&pid=0089>
- [6] DWA-M 609-2 – Entwicklung urbaner Fließgewässer – Teil 2: Maßnahmen und Beispiele
- [7] **Projekt Kuras** - 160622_aktualisierte Präsentation Ökonomische Bewertung_Versand BWB
- [8] [http://www.dwa.de/por-tale/bw/bw.nsf/C12572290037B981/6BEE0EE2435E1E47C1257A0E0039142C/\\$FILE/2012-05-23+24%20-%20Forum1%20RW-Beh%20-%20Dittmer.pdf](http://www.dwa.de/por-tale/bw/bw.nsf/C12572290037B981/6BEE0EE2435E1E47C1257A0E0039142C/$FILE/2012-05-23+24%20-%20Forum1%20RW-Beh%20-%20Dittmer.pdf)
- [9] **Projekt Kuras** - 2016_05_17_Kosten_GWK Kuras
- [10] **Projekt Kuras** - 2014_12_09_Übersicht_Speichervolumen_Kosten_Misch_für_KURAS_1
- [11] <https://www.vsa.ch/glossar/fr/terms/main/294/>

II.5 Stauraumaktivierung im Kanalnetz (Kanalnetzsteuerung)

II.5.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei der Stauraumaktivierung wird das Volumen der bestehenden Kanalnetzstruktur besser ausgenutzt. Dies kann beispielsweise durch eine Abflussdrosselung oder eine Wehrschwellerhöhung umgesetzt werden. Bei der Abflussdrosselung wird ein Rückstau erzeugt, temporär zwischengespeichert und anschließend gedrosselt weitergeleitet. Bei der Wehrschwellerhöhung wird eine vorhandene Wehrschwelle erhöht, beispielsweise an Wehrüberläufen. Die Aktivierung kann im Mischwasserkanal als auch im Entlastungskanal erfolgen.

Die Aktivierung von Stauraum im Mischwasserkanal erfolgt durch:

- Schwellenanhebung am Überlaufbauwerk
- Einbau von beweglichen Wehren und
- Einbau von Drosseln
- Erhöhung der Höhe des Ein- und Ausschaltpunktes der Pumpen zur Befüllung eines Regenüberlaufbeckens (RÜB), wodurch im Kanal mehr Stauraum genutzt werden kann

Die Aktivierung von Stauraum im Entlastungskanal erfolgt durch:

- Einbau einer Schwelle bzw. Erhöhung der Schwelle mit Bau eines Pumpwerkes zum Entleeren des Entlastungskanals in den Mischwasserkanal nach dem Regenereignis
- Einbau von Drosseln



Abbildung II-15: Stauraumaktivierung durch Abflusssrosselung

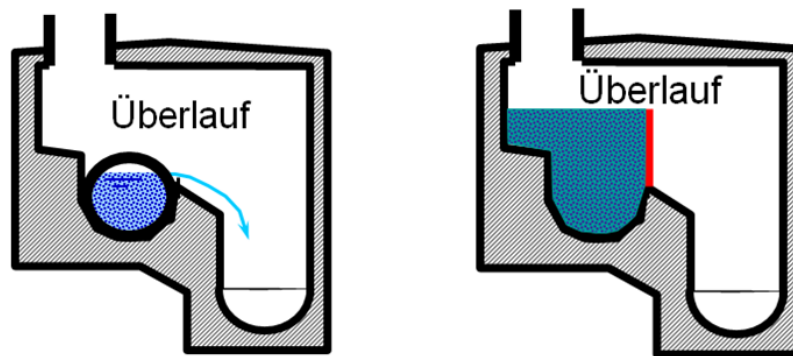


Abbildung II-16: Stauraumaktivierung durch Wehrschwellerhöhung (links davor, rechts danach)

II.5.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Da die BSB₅- und die CSB-Fracht reduziert werden, kann man auch von einer Reduzierung der hygienischen Parameter ausgehen. Die Konzentrationen im Mischwasserüberlauf betragen an der Messstelle Gotzkowskybrücke bei E.coli 10⁷ bis 10⁸ MPN/L und bei Enterokokken 10⁶ PFU/L. Somit wird die Schmutzfracht verringert die bei einem Überlauf eingeleitet wird.

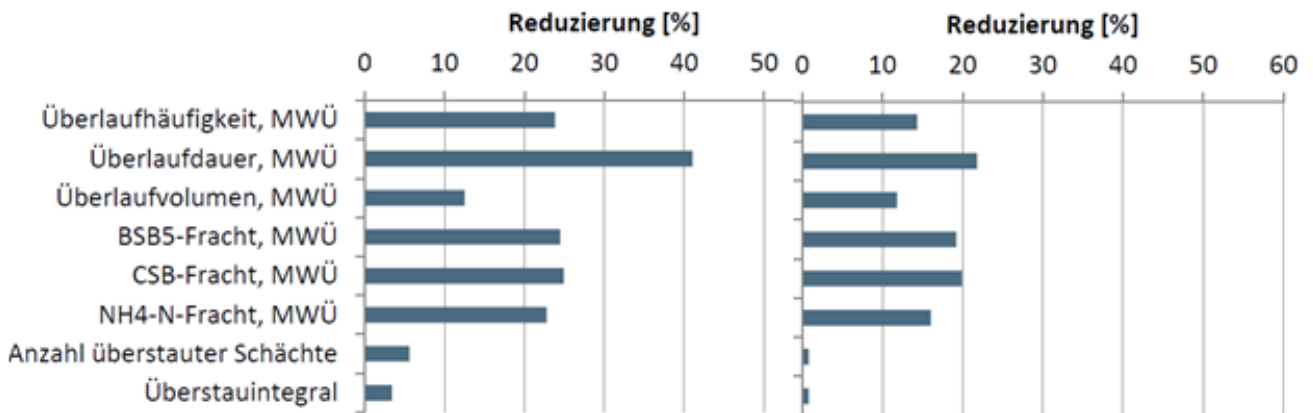


Abbildung II-17: Simulationsergebnisse KURAS in Charlottenburg Wilmersdorf mit fünf eingeplanten Wehrbauwerken, links Wehrschwellerhöhung, rechts Abflusssrosselung

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
NH4-N-Fracht		Reduzierung um ~15 %	[3]
Gesamtstickstoff		Reduzierung der Fraktion um bis zu 60 %	[4]
Gesamtphosphor		Reduzierung der Fraktion um bis zu 60 %	[4]

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
BSB ₅ -Fracht		Reduzierung um ~19 %	[3]
CSB-Fracht		Reduzierung um ~20 %	[3]

II.5.3 Betrieb

Bei einer Abflussdrosselung ist die Ansteuerung dem Abflusssteuerungssystem durch maschinen-, mess-, steuer-, und regelungstechnische Einrichtungen anzupassen.

II.5.4 Unterhalt und Pflege

/

II.5.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/ (m ² A _{red})	2 - 5	[1]
Investitionskosten	EUR/m ³	634 EUR/m ³ Starke Schwankungen, Mittelwert aus KURAS Projekt, Auswertung von fünf Werten in der Spanne von 146 bis 1.174 EUR/m ³ .	

Die Kosten für die Wartung halten sich in Relation zu den Investitionskosten gering. Die Investitionskosten hängen stark davon ab, wie viel potentieller Stauraum vorhanden ist.

II.5.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

II.5.7 Mögliche Konflikte

Durch Aktivierung von Stauraum können sich verstärkt Ablagerungen in den Transportkanälen bilden, die sich oft nicht durch selbsttätige Reinigungseinrichtungen vollständig remobilisieren lassen [2].

Weitere mögliche Problemstellungen sind im Arbeitsbericht „Risiko- und Störungsanalysen bei Einsatz von Abflusssteuerungen in Kanalnetzen (2009)“ aufgeführt.

II.5.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

- Beachtung der Überflutungssicherheit

II.5.9 Effekte auf andere Schutzgüter

/

II.5.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- **Merkblatt DWA-M 180** Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen

- **ATV-DVWK-M 177** - Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen; Erläuterungen und Beispiele

II.5.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Wehrbauwerk	m ³	3.000	ca. 4,5 Jahre Bauzeit (Erkstrasse – Berlin)	
Wehrbauwerk	m ³	1.850	ca. 1,3 Jahre Bauzeit (Storkower Straße – Berlin)	

II.5.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

II.5.13 Literatur

- [1] **Projekt Kuras** - Effektbewertung: Ressourcennutzung – Einzelmaßnahmen – Christian Remy, Lukas Schatzen, Jana Sommer
- [2] **MSR – Technik in abwassertechnischen Anlagen** – Peter Baumann – 2009
- [3] **Projekt Kuras** - Handlungsoptionen zur Reduzierung von Mischwasserüberläufen und Überstau – M. Riechel et al., 2016
- [4] **Nitrolimit - Stickstofflimitation in Binnengewässern** – Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? – Diskussionspapier Band 2 (2013/09)

II.6 Extensive Dachbegrünung

II.6.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation (Dachflächen, Quartier)
- Trennkanalisation (Dachflächen, Quartier)
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Verminderung des Regenwasserabflusses

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Dachbegrünungen werden eingesetzt, um einen Teil des Niederschlagswassers durch gezielte Retention nicht zum Abfluss zu bringen und den Anteil der Verdunstung an der Gesamtwasserbilanz zu erhöhen. Weitere positive Wirkungen einer Dachbegrünung umfassen die Verbesserung des Mikroklimas, eine Reduzierung der Schadstoffe im Niederschlagsabfluss, eine Wärmedämmung im Sommer und Winter sowie ein zusätzlicher Schutz des Dachaufbaus. Nach der Begrünungsart werden extensive und intensive Dachbegrünungen unterschieden. Extensive Dachbegrünungen haben eine dünne Substratschicht, eignen sich aufgrund der geringen Auflast auch zum nachträglichen Einbau und sind nicht zur Benutzung geeignet (außer Wartungsgänge). Intensive Dachbegrünungen können bis hin zu einer kompletten Gartenlandschaft auf dem Dach bzw. der Tiefgarage mit Bäumen, Wegen, Teichen und Sumpfbzonen reichen.

Dachbegrünungen bewirken eine Verminderung des Niederschlagsabflusses durch Verdunstung. Bei intensiven Gründächern kann damit sogar ein nahezu vollständiger Rückhalt des Regenwassers erreicht werden. Insbesondere bei extensiven Gründächern werden die verbleibenden Abflüsse in der Substratschicht zwischengespeichert und gedrosselt abgegeben. Der Anteil der Verdunstung und das Maß der Retention werden vom Aufbau der Substratschicht, von der Dachneigung und der Anstauhöhe (einstellbar über Abflussschneise) bestimmt. Der Aufbau besteht aus Vegetationsschicht, Filterschicht und Dränschicht, bei extensiven Gründächern können die drei Funktionen auch in einer Schicht erfüllt werden.

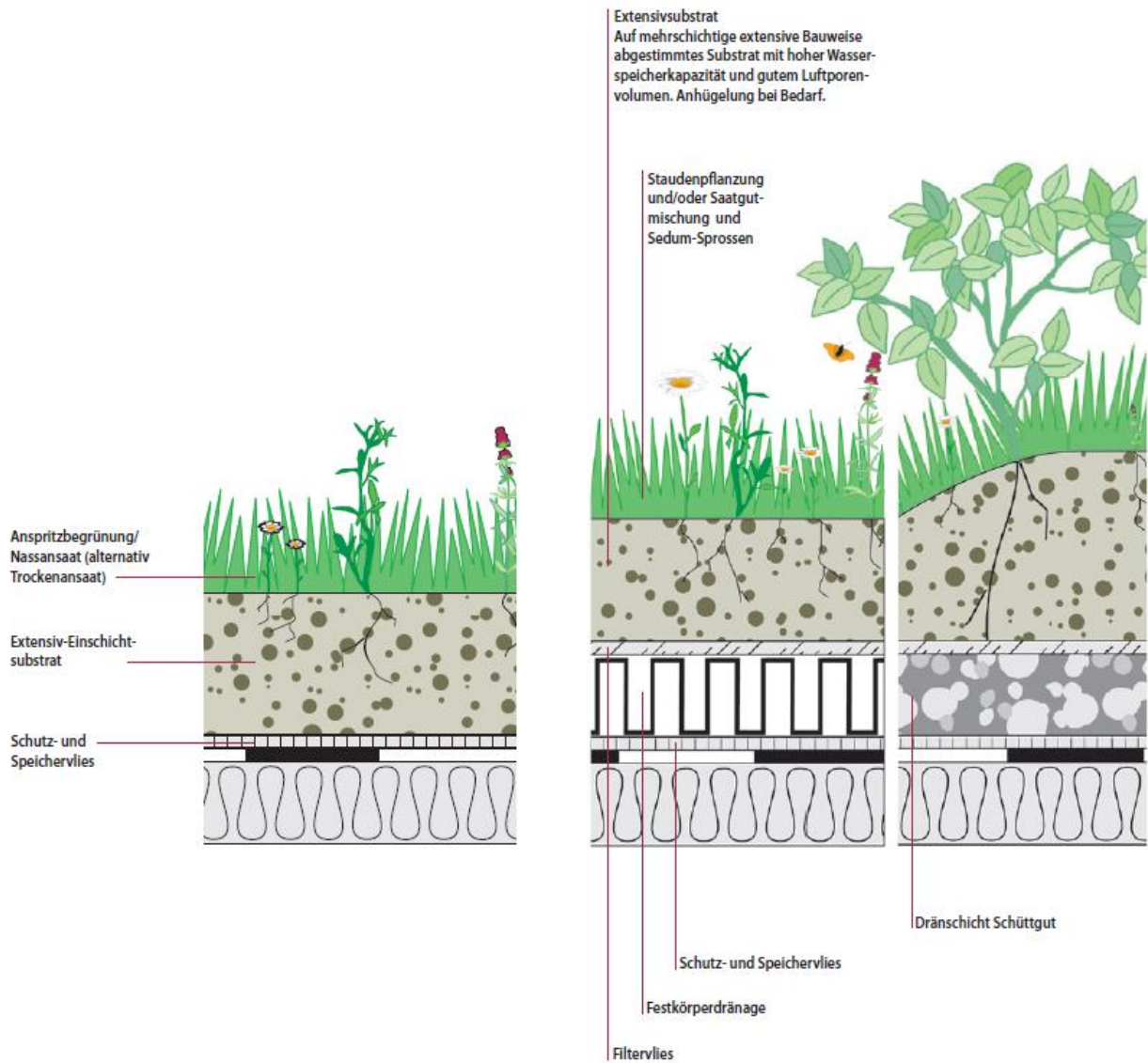


Abbildung II-18: Extensive Dachbegrünung; Quelle: SenStadt (2010)

II.6.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

/

2.2 Chemische Parameter

/

2.3 Physikalische Parameter

/

II.6.3 Betrieb

/

II.6.4 Unterhalt und Pflege

Eine Unterhaltung der extensiven Dachbegrünung ist bei richtiger, standardort- und substratgerechter Auswahl der Pflanzen nicht erforderlich (keine zusätzliche Bewässerung, keine Düngung, zwei Kontrollgänge pro Jahr). Intensive Dachbegrünung ist je nach Vegetation regelmäßig zu bewässern und zu düngen im Rahmen der üblichen gärtnerischen Pflege. Bei Gräsern kann eine Mahd notwendig werden. Wichtig ist zudem die Dichtigkeitskontrolle des Daches und der darauf liegenden Dichtungsbahnen.

II.6.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/m ²	15-50 EUR/m ² für extensive Gründächer	<i>Deutscher Dachgärtnerverband e.V.</i>
		25-35 EUR/m ² für extensive Gründächer	
Energiekosten		Im Betrieb im Allgemeinen kein Energieaufwand. Mögliche Energie Einsparung durch Dämmwirkung.	
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)		0,0425 EUR/m ² ·a	http://www.efb-greenroof.eu/verband/fachbei/fa01.html
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)		
Sonstige Kosten	EUR/(m ³ /s)		

II.6.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Herkömmliche Regenwasserbewirtschaftung		Zusätzliche Vorteile der Dachbegrünung entfallen.	
Mulden-Rigolen	Nachrüstung nicht abhängig von Beschaffenheit des Daches	Platz auf Grundstück oder öffentlichen Raum muss vorhanden sein	
Mulden	Nachrüstung nicht abhängig von Beschaffenheit des Daches	Platz auf Grundstück oder öffentlichen Raum muss vorhanden sein	

II.6.7 Mögliche Konflikte

Nachrüstung von Dachbegrünung ist mit Aufwand und Kosten verbunden. Im Rahmen einer energetischen Sanierung können Kosten auch auf Mieter umgelegt werden.

II.6.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Gründächer können auf allen Dächern bis maximal ca. 45° Dachneigung sowohl bei Neubauten als auch im Bestand gebaut werden, wenn die statischen Verhältnisse des Daches dies zulassen (Prüfung erforderlich). Ab 15° Dachneigung sind zusätzliche Maßnahmen gegen das Abrutschen des Aufbaus zu treffen. Die langfristige Dichtigkeit des Daches gegen drückendes Wasser inkl. Durchwurzelungsschutz ist eine Voraussetzung für Gründächer. Alle Dachbauweisen (Kaltdach, Warmdach, Umkehrdach) sind für Begrünungen geeignet, das Warmdach (einschaliges Dach mit Wärmedämmung) insbesondere auch für höhere Auflasten.

II.6.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Dachbegrünungen haben positive Auswirkungen auf das Stadtklima und den städtischen Wasserhaushalt. Gründächer können als Lebensraum für Tiere und Pflanzen dienen (Erhöhung Biodiversität).

II.6.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

Für Kommunen besteht nach Bundesnaturschutzgesetz §§ 8a ff. und nach Baugesetzbuch (u.a. § 9) die rechtliche Grundlage, Eingriffe in die Natur auszugleichen und Dachbegrünungen in Bebauungsplänen festzusetzen.

- **DIN 18320**
VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Landschaftsbauarbeiten
- **DIN 18336**
VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Abdichtungsarbeiten
- **DIN 18338**
VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Dachdeckungs- und Dachabdichtungsarbeiten
- **DIN 1986**
Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
- **DIN 18035-4**
Sportplätze; Rasenflächen
- **DIN 18195**
Bauwerksabdichtungen. Teil 1: Allgemeines, Begriffe. Teil 2: Stoffe. Teil 3: Verarbeitung der Stoffe. Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser. Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser. Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen. Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, Abschlüsse. Teil 10: Schutzdichtungen und Schutzmaßnahmen.
- **DIN18531**
Dachabdichtungen. Begriffe, Anforderungen, Planungsgrundsätze.
- **DIN 18915**
Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Bodenarbeiten.
- **DIN 18916**
Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Pflanzen und Pflanzarbeiten.
- **DIN 18917**
Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Rasen und Saatarbeiten.
- **DIN 18919**
Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen.
- **OENORM B 2209-2**
Abdichtungsarbeiten - Werkvertragsnorm - Teil 2: Genutzte Dächer
- **OENORM B 7220**
Dächer mit Abdichtungen - Verfahrensnorm
- **Richtlinien und Merkblätter**
- **ONR 121131**
Technische Regel: Qualitätssicherung im Grünraum - Gründach - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Erhaltung
- **VDI 3806**
Technische Regel: Dachentwässerung mit Druckströmung
- **AGI B 11**
Technische Regel: Industriedächer - Leitlinien für Planung und Ausführung von Industriedachbegrünungen
- **RAL-GZ 253**
Technische Regel: Dachsubstrate - Gütesicherung

- **BrandverhaltDachVV HE**
Verwaltungsvorschrift: Brandverhalten begrünter Dächer
- **Tabellenbuch Landschaftsbau 2003**, Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.: Kompost mit Gütezeichen für den Garten- und Landschaftsbau.
- Bundessortenamt (Hrsg.): Beschreibende **Sortenliste für Rasengräser**.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Lieferbedingungen für **Geotextilien und Geogitter** im Straßenbau TL Geotex E-StB
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. FLL (Hrsg.): Verfahren zur Untersuchung der **Durchwurzelungsfestigkeit bei Dachbegrünungen**. Gütebestimmungen für Baumschulpflanzen. Regel-Saatgut-Mischungen RSM. Gütebestimmungen für Stauden. Qualitätsanforderungen und Anwendungsempfehlungen für organische Mulchstoffe und Komposte im Landschaftsbau. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bewertung von Dachbegrünungen.
- Gartenbau-Berufsgenossenschaft (Hrsg.): **Unfallverhütungsvorschrift** Gartenbau, Obstbau und Parkanlagen. UW 4.2. Gärtnerische Arbeiten auf Bauwerken.
- Gütegemeinschaft der Kunststoff-Dach- und Dichtungsbahnen-Verleger KDV. Hrsg. v. RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.: **Verlegung von Kunststoffdachbahnen und Kunststoffdichtungsbahnen**.
- Gütegemeinschaft Rinde für Pflanzenbau e.V.: Gütebestimmungen für **Rindenmulch**, Rindenumus, Rindenerde und Rinden-Kultur-Substrat.
- DUD Geschäftsbereich Dach- und Dichtungsbahnen im IVK (Hrsg.): Verlegehinweise **Bauwerksabdichtungen**; Werkstoffblätter Dachbahnen, Werkstoffblätter Dichtungsbahnen (Quelle: Baunetzwissen.de)

II.6.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Fläche	m ²	1000 m ²		Optigrün
Wasserrückhalt	%	40-80%	Abhängig von Art der Dachbegrünung	Optigrün
Wasserspeicherung	L/m ²	25 L/m ²	Naturdach mit Schichthöhe von 8 cm	Optigrün
Schichthöhe	cm	8-25	Abhängig von Tragfähigkeit des Dachs, Vegetation sowie Retentionsvolumen	Optigrün
Dachneigung	°	0-5°	Naturdach mit Schichthöhe von 8 cm	Optigrün
		Max 45°		KURAS Steckbrief

II.6.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

- UFA Fabrik, Berlin
- Potsdamer Platz, Berlin
- Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg
- Berlin, Campus Adlershof

II.7 Entsiegelung abflusswirksamer, versiegelter Flächen

II.7.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Reduzierung hydraulischer Belastungen von Kanalnetzen und Vorflutern

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei der Entsiegelung werden Böden in die kein oder sehr wenig Niederschlag mehr eindringen kann, wie z.B. asphaltierte Parkplätze, Straßen oder Fußwege so aufbereitet, dass der Boden wieder wasserdurchlässig wird. Hierbei wird die verdichtete Schicht abgetragen und durch wasserdurchlässige Alternativen, wie z.B. Schotterrasen oder Porenpflaster ersetzt. Es lassen sich zwei Entsiegelungstypen beschreiben:

Table II-1: Entsiegelungstypen [2]

Befestigungen in Einfachbauweise	Pflasterungen
verdichtete Grasnarbe	Rasengittersteine
Schotterrasen	Rasenfugenpflaster
Kies-/ Splittdecke	Splittfugenpflaster
Rindenschrot-/Mulchdecke	Porenpflaster
Rasenwaben	Holzpflaster
	Holzroste
	Lochsteine
	Ökoplatten

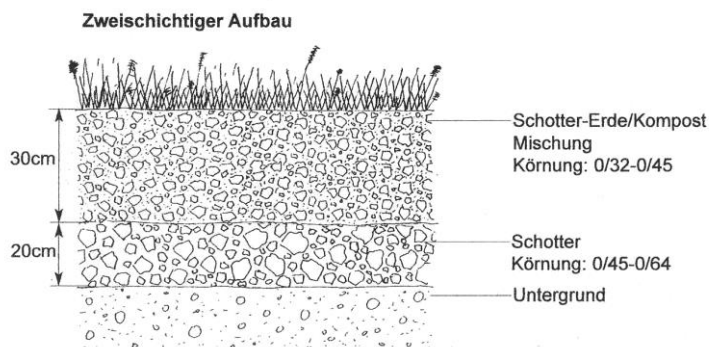


Abbildung II-19: Zweischichtiger Schotterrasen, schematischer Aufbau



Abbildung II-20: Porenpflaster mit Gras als Befüllung

Folgende Flächen sind für wasserdurchlässiges Betonpflaster geeignet [3]:

- alle privaten Haus- und Garagenzufahrten sowie Stellplätze für Fahrzeuge
- Land- und Forstwirtschaftswege, Hofflächen
- öffentliche Parkflächen, Park & Ride-Plätze an der Autobahn und an Bahnhöfen
- verkehrsberuhigte Zonen (Anliegerstraßen)
- Fußgängerzonen
- Rad- und Gehwege

II.7.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
-	-	-	-

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Gesamtstickstoff		Reduzierung der Fraktion um bis zu 87/76 % (Rückbau, Flächenumwandlung)	[1]
Gesamtphosphor		Reduzierung der Fraktion um bis zu 87/76 % (Rückbau, Flächenumwandlung)	[1]

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
-	-	-	-

II.7.3 Betrieb

/

II.7.4 Unterhalt und Pflege

/

II.7.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar Angabe des Median (Minimum – Maximum)	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/(m ³ /s)	-	-
Investitionskosten	EUR/m ² A _u	32,00 (1,30 - 176,80) (befestigte Regenfläche) Rückbau 62,00 (0,20 - 150,80) (befestigte Regenfläche) Flächenumwandlung	[1]
Wartungskosten	EUR/m ² A _u	0,20 (0,00 - 0,30) (befestigte Regenfläche) Rückbau 0,10 (0,00 - 0,20) (befestigte Regenfläche) Flächenumwandlung	[1]

Die Kosten sind stark von den lokalen Randbedingungen abhängig [4]. Eine wesentliche Rolle spielen beispielsweise:

- die Bodenbeschaffenheit
- die Niederschlagsmengen
- die Bodenpreise
- die Siedlungsstruktur

- die Geländeneigung und
- die Größe der Anlage

II.7.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

II.7.7 Mögliche Konflikte

/

II.7.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Durch den hohen Flächenbedarf entsteht zu anderen Maßnahmen Flächenkonkurrenz, was wiederum durch die geringen Wartungskosten kompensiert werden kann.

Das Sickerwasser muss unbelastet sein, das heißt, es darf nicht zu einer Gefährdung von Boden, Vegetation oder Grundwasser führen.

II.7.9 Effekte auf andere Schutzgüter

/

II.7.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- **DWA-M 550** Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung
- **DWA-A 138** Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser

II.7.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
-	-	-	-	-

II.7.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

II.7.13 Literatur

- [1] **Nitrolimit** - Stickstofflimitation in Binnengewässern –Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? – Diskussionspapier Band 2 [2013/09]
- [2] Präventiver Grundwasser- und Bodenschutz - Maßnahmen zum naturnahen Umgang mit Niederschlagswasser – **Michael Sievers** - 1999
- [3] [http://passthrough.fw-notify.net/download/067930/http://www.herne.de/kommunen/herne/ttw.nsf/files/_Wasser/\\$file/regenwasser.pdf](http://passthrough.fw-notify.net/download/067930/http://www.herne.de/kommunen/herne/ttw.nsf/files/_Wasser/$file/regenwasser.pdf)
- [4] Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie – **UBA** - Forschungsbericht 203 21 280

II.8 Niederschlagsversickerung über Mulden

II.8.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Verringerung des Oberflächenablaufes

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Die Flächenversickerung erfolgt in der Regel durch bewachsenen Boden auf Rasenflächen oder unbefestigten Randstreifen von undurchlässigen oder teildurchlässigen Terrassen-, Hof- und Verkehrsflächen. Bei der Muldenversickerung wird das Niederschlagswasser vor der Versickerung kurzzeitig zwischengespeichert. Die Entleerung der Mulde erfolgt durch Versickerung und Verdunstung. Der Boden unterhalb der Mulde sollte daher möglichst sickerfähig sein, damit sich die Mulde innerhalb eines Tages wieder entleeren kann. Dies kann bei natürlich sickerfähigen Böden oder darunter liegenden Rigolen gewährleistet werden.

Die Bemessung des Speicherraumes erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Muldenbodens. Die Zuleitungen der angeschlossenen Flächen sollten möglichst oberirdisch über das Gefälle der angeschlossenen Flächen oder offene Rinnen geschehen, damit die Mulden möglichst flach angelegt werden können. Durch die Oberbodenpassage erfolgt eine Reinigung des Niederschlagswassers vor der Infiltration ins Grundwasser.

II.8.2 Größenordnung der Eliminationen

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
<i>E. coli</i>	1,7	-	Chandrasena et al., 2014
Intestinale Enterokokken	-	-	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-
...	-	-	-

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
NH ₄ ⁺	82,21	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (> 6 Tage)	<i>Manganka et al., 2015</i>
	49,31	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (< 6 Tage)	
N	47,93	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (> 6 Tage)	<i>Manganka et al., 2015</i>
	37,81	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (< 6 Tage)	
P	75,33	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (> 6 Tage)	<i>Manganka et al., 2015</i>
	36,42	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (< 6 Tage)	

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
AFS	80,78	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (>6 Tage)	<i>Manganka et al., 2015</i>
	61,81	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (<6 Tage)	

II.8.3 Betrieb

Es gibt kaum betrieblichen Aufwand. Regelmäßige Pflege der Freifläche (Mahd, Räumung von Laub etc.) reicht im Allgemeinen aus. Die Lebensdauer kann an anderen Versickerungsanlagen abgeschätzt werden und beträgt 25-40 Jahre (Sieker, 2016, nach LAWA, 1998).

II.8.4 Unterhalt und Pflege

Die Vegetationspflege (Rasen, Stauden, Gehölze) verhält sich entsprechend des sonst üblichen Aufwandes für Grünflächen. Wichtig ist das Freihalten der Versickerungsfläche und der Zuläufe von Laub u.ä. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden.

II.8.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitions-kosten (einmalig für die Erstellung),	EUR/m ²	35-45 EUR/m ² Muldenfläche	<i>Sieker, 2016</i>
	EUR	49209EUR für 10 Mulden mit einem Oberflächenvolumen von 191,59m ³ (keine Mulden-Rigolen aber inkl. Straßenbau und Rohrverlegung)	<i>Daten aus Kuras / BWB</i>
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)	-	
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel. Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/(m ² ·a)	0,5 EUR/(m ² ·a) für die Vegetationspflege	<i>Sieker, 2006</i>
Personalkosten	EUR/m ²	Die Kosten sollten im Bereich üblicher Freiflächenpflege und Reinigung liegen	-

II.8.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Mulden-Rigolen	geringerer Platzbedarf	Aufwendiger	-

II.8.7 Mögliche Konflikte

Neu bereitgestellte Flächen fallen unter Umständen als öffentliche Freiflächen, z.B. als Parkplatz etc., weg.

II.8.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Der Ablauf muss eine Qualität aufweisen das eine Versickerung unproblematisch ist.

II.8.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Mulden können gestalterisch eingesetzt werden. Zusätzliche Verdunstungsflächen haben positive Auswirkungen auf das Stadtklima.

II.8.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- DWA A 138
- DWA M 153
- BWB Regelblätter 600 ff.
- ATV M 165
- Richtlinie 76/464/EWG
- Richtlinie 80/68/EWG
- Wasserhaushaltsgesetz
- Abwasserabgabengesetz
- Bundes-Bodenschutzgesetz
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
- Baugesetzbuch
- DIN 1998-1 Regenwassernutzungsanlagen Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung

II.8.11 Bemessung, Auslegung und Planung

Die Bemessung einer Mulde oder Versickerungsfläche erfolgt nach DWA A138 oder über geeignete Langzeitsimulationen. Für Mulden sind Tiefen zwischen 10-30cm üblich, um die Entleerungsdauer gering zu halten. Für den Bodenaufbau sind zusätzlich 20-30 cm Tiefe vorzusehen. Beim Bau der Mulden ist die sorgfältige Ausarbeitung einer waagerechten Sohle wichtig, damit besonders bei kleineren Regenereignissen keine ungleichmäßige Verteilung des Wassers auf der Sohle stattfindet. Der Böschungsbereich sollte möglichst flach sein (Böschungsverhältnis 1:2,5 bis 1:5). Dies dient auch der gefälligen optischen Integration in die Freiflächen.

Die Mulde bzw. Fläche hat eine geschlossene Vegetationsdichte (Rasen, ggf. mit Gehölzen oder Stauden), eine Randbepflanzung mit Bodendeckern ist möglich. Der unter der Mulde/Fläche befindliche Boden sollte eine gute Durchlässigkeit haben ($k_f > 10^{-6}$ m/s). Bei unzureichender Versickerungsfähigkeit des Unterbodens ist eine Kombination mit Rigolen möglich. Ein ausreichender Abstand zu Gebäuden ist zum Schutz vor Vernässungsschäden einzuhalten. Ggf. vorhandene Altlasten im Boden sind zu berücksichtigen. Die belebte Oberbodenzone muss den stofflichen Anforderungen der Zustandsklasse Z0 gemäß LAGA genügen.

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Flächenbedarf	m ²	ca. 20% der zu entwässernden Fläche	-	-
Qualitätsanforderungen		Kf-Wert: $1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$	-	-
Überstauhäufigkeit	n	Mulde: 1.0	-	[Sieker 2016]
Flächenbedarf/ Sickerfläche	m ²	10-20% der angeschlossenen versiegelten Fläche (abhängig von Tiefe und Böschungsneigung)	-	[Sieker 2016]
angeschlossene Fläche	m ²		-	-
Durchlässigkeit der Mulde	m/s	$k_f > 2 \cdot 10^{-6}$ m/s	-	[Sieker 2016]

II.8.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

II.8.13 Literatur

- **Siecker.de** zuletzt aufgerufen 13.09. 2016
- G.I. **Chandrasena**, T. **Pham**, E.G. **Payne**, A. **Deletic**, D.T. **McCarthy**, E. coli removal in laboratory scale stormwater biofilters: Influence of vegetation and submerged zone, *Journal of Hydrology*, Volume 519, Part A, 27 November 2014, Pages 814-822, ISSN 0022-1694, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.015>.
- **DWA-A 138**
- Isri R. **Mangangka**, An **Liu**, Prasanna **Egodawatta**, Ashantha **Goonetilleke**, Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin, *Journal of Environmental Management*, Volume 150, 1 March 2015, Pages 173-178, ISSN 0301-4797, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.007>.
- **Sieker, F.**; Sieker, H.; **Kaiser**, M. [2006]: Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele. 232 S., zahlr. farbige Abb., Tab., Gebunden, ISBN 3-8167-6975-6

II.9 Niederschlagsversickerung über Rigolen

II.9.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland
- Sonstiges: Quartier, Grundstück (dezentral)

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei der Rigolenversickerung wird das Niederschlagswasser unterirdisch in einen in Kies oder anderem Material gefüllten Graben (Rigole) bzw. einen in diesem Material gebetteten perforierten Rohrstrang (Rohrrigole) geleitet. Durch die unterirdische Versickerung mit kurzzeitiger Speicherung können Rigolen auch bei schlechten durchlässigen Böden eingesetzt werden. Durch die unterirdische Bauweise wird das Niederschlagswasser nicht über eine belebten Bodenzone gereinigt. Da die Versickerungsebene im Vergleich zu Mulden tiefer liegt (Einbautiefe: 1-1,4 m), muss der Grundwasserflurabstand entsprechend groß sein.

Bei direktem Anschluss der Regenwasserleitung an die Rigolen ist eine technische Reinigungsanlage o.ä. zum Rückhalt der Grob- und Feinstoffe vorzusehen. Die Rigolenkörper bestehen entweder aus einem Kieskörper (z.B. gewaschener Kies der Körnung 16/32) oder aus Kunststoffblöcken (Blockrigolen/Füllkörperrigolen). Dieser wird zum Schutz vor Verschlammung und Materialeintrag von außen mit einem Geotextil bzw. Filtervlies ummantelt. Bei Anschluss an den öffentlichen Kanal erfolgt die verzögerte Entleerung des Speicherraumes über einen Drosselschacht mit Anstau und Drosselorgan (z.B. Lochblende). Die Anstauhöhe entspricht der Rigolenoberkante und wird durch das Überlaufrohr im Schacht bestimmt. Der Drosselablauf wird an den öffentlichen Kanal angeschlossen.

Eine Sonderform der Rigole ist die Baumrigole, eine Kombination von Rigole und Baumpflanzung. Dabei wird durch die temporäre Speicherung von Wasser im System die Wasserverfügbarkeit für den Baum erhöht. Durch die Kombination mit Bäumen wird auch eine Verdunstungsleistung von Rigolenstandorten ermöglicht, was einen positiven Effekt auf das Mikroklima hat.

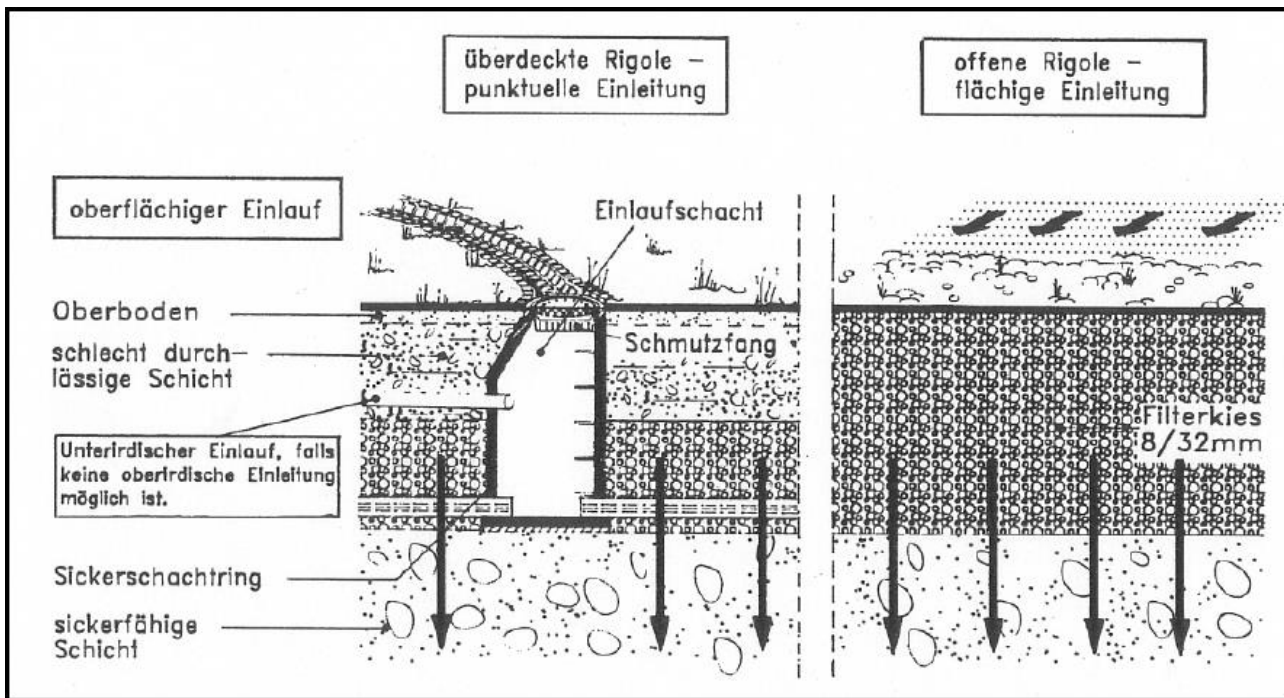


Abbildung II-21: Rigolen; Quelle: Aqua Bautechnik GmbH

II.9.2 Größenordnung der Eliminationen

/

2.1 Hygienische Parameter

/

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
-	-	-	-

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
-	-	-	-

II.9.3 Betrieb

/

II.9.4 Unterhalt und Pflege

Die Unterhaltung der Rigolen ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei. Eine Kontrolle der Schächte auf Verunreinigung/Verstopfung ebenso wie eine Beräumung des Systems von Schmutzstoffen sollte in regelmäßigen Abständen (mind. 1x pro Jahr) erfolgen. Gegebenenfalls sind die Schächte zu reinigen und das Drainrohrsystem zu spülen.

II.9.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/m ³	100-150 EUR/m ³ Rigolenvolumen 6-12 EUR/m ² A _{red}	Sieker Sieker

II.9.6 Vergleich zu anderen Verfahren

/

II.9.7 Mögliche Konflikte

/

II.9.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Je nach stofflicher Belastung ist eine Versickerung ohne Vorbehandlung nicht zulässig. Abflüsse werden in drei Kategorien eingeteilt: unbedenklich, tolerierbar und nicht tolerierbar. Nur unbedenkliche Abflüsse können ohne Vorbehandlung versickert werden. Für tolerierbare und nicht tolerierbare Belastungen ist eine entsprechende Vorbehandlung oder Einleitung ins Kanalnetz notwendig. Auch muss der Boden frei von Altlasten sein.

II.9.9 Effekte auf andere Schutzgüter

Grundwasser, Boden; Klima- Kühlung; Biodiversität; Grundwasser; Oberflächenwasser; Freizeit

II.9.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- DWA A138
- DWA M153
- BBodSchG
- GrwV

II.9.11 Bemessung, Auslegung und Planung

Die Bemessung einer Rigole erfolgt nach dem vereinfachten Verfahren ATV A138 oder über eine Langzeitsimulation. Die Größe der Speicherräume hängt von der Durchlässigkeit des Bodens und der abführenden Drosselabflussmenge ab.

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Bemessung	m ³	DWA A138 ca. 350 m ³ /ha [Sieker]	-	-
Flächenbedarf	m ²	Keine oberirdische Fläche notwendig	-	-

II.9.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

- Berlin Olympiastadion
- Berlin Köpenick, Baumarkt
- Berlin Friedrichshain, Vivantes-Krankenhaus

II.10 Niederschlagsversickerung über Mulden-Rigolen-Systeme

II.10.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Verminderung des Oberflächenablaufes

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Kombinierte Systeme bilden die Prozesse der Versickerung durch den Oberboden und die nachgeschaltete Zwischenspeicherung von Regenwasser in der Rigole in einer technischen Anlage nach. Beim Mulden-Rigolen-System bietet sowohl die oberirdische Mulde als auch die unterirdischen Rigole Speicherraum, wobei über einen Überlauf bei hydraulischer Spitzenlast die überschüssige Menge an Wasser direkt in die unterhalb liegende Rigole übergeleitet wird. Am Ende der Rigole sorgt ein Drosselorgan für eine gedrosselte Ableitung des nicht versickerten Regenwassers in die Kanalisation.

Mulden-Rigolen-Systeme haben mit ca. 10 %-12 % der angeschlossenen Fläche einen geringeren Platzbedarf als reine Flächen- oder Muldenversickerungen und werden typischerweise bei schlecht sickerfähigen Böden eingesetzt (k_f -Wert $< 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$). Bei typischen Lehmböden können Versickerungsanteile bis zu 50% erreicht werden, während 10% verdunsten und 40% gedrosselt abgeleitet werden. Beim Mulden-Rigolen-System wird der Großteil des Niederschlagsabflusses über die Mulde versickert und damit weitgehend gereinigt. Gedichtete Ausführungen des Mulden-Rigolen Systems (hier wird die Rigole gegen den Untergrund gedichtet) ermöglichen den Einsatz bei kontaminierten Böden oder bei stärker verschmutzten Niederschlagsabflüssen (Sieker, 2016).

Eine weitere Ausführung eines kombinierten Systems ist das Mulden-Rigolen-Tiefbeet (Abbildung II-23). Es besteht aus bepflanzten Tiefbeeten mit belebter Bodenzone, integrierter Rigole und einem Drosselablauf. Somit wird die Versickerungsfähigkeit des Bodens ausgenutzt, gleichfalls werden aber durch die gedrosselte Ableitung Vernässungsschäden verhindert, sowie Abflussspitzen reduziert. Den Tiefbeeten wird ein Absetzraum (z.B. normaler Straßenablauf) vorgeschaltet, um Grobstoffe und absetzbare Stoffe fernzuhalten. Mulden-Rigolen-Tiefbeete zeichnen sich im Vergleich zu Mulden-Rigolen-Systemen durch eine höhere Flächenbelastung aus, die bei ca. 4-5 % der angeschlossenen Fläche liegt. Durch die Bauweise mit Betonrahmenelementen entfallen Bankett- und Böschungsbereiche. Mulden-Rigolen-Tiefbeete eignen sich daher besonders bei engen Platzverhältnissen, z.B. in Straßenräumen.

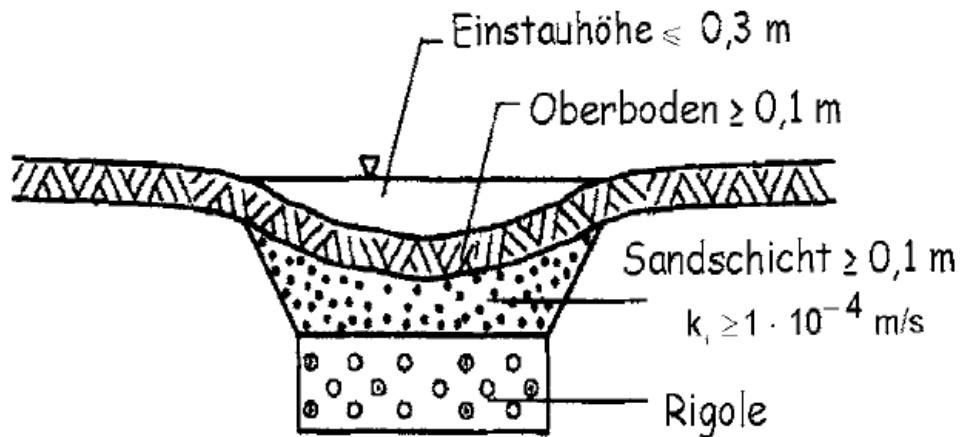


Abbildung II-22: Mulden-Rigolen-System im Querschnitt; Quelle: DWA-A 138

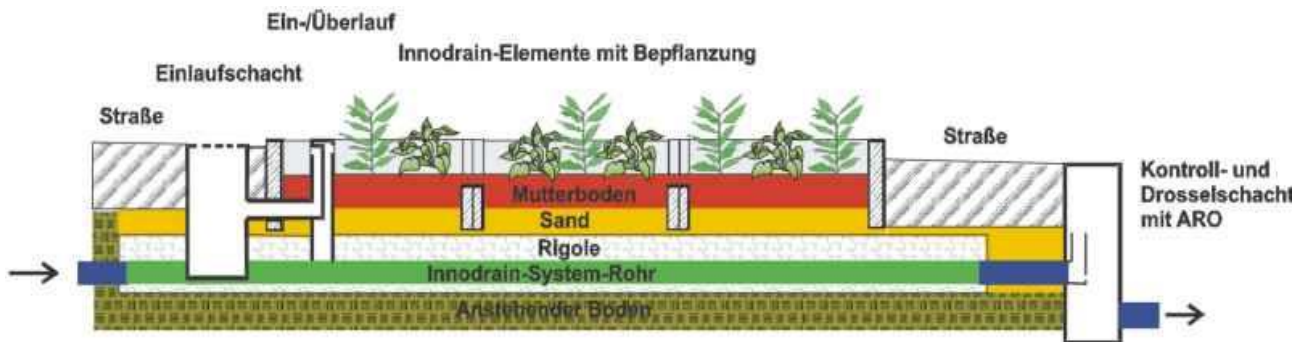


Abbildung II-23: Mulden-Rigolen-Tiefbeet "Innodrain"; Quelle: www.sieker.de

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
E. coli	1,7	-	Chandrasena et al. 2014
Intestinale Enterokokken	-	-	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
NH ₄ ⁺	82,21	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (>6 Tage)	[Manganka et al. 2015]
	49,31	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (<6 Tage)	

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
N	47,93	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (>6 Tage)	[Manganka et al. 2015]
	37,81	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (<6 Tage)	
P	75,33	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (>6 Tage)	[Manganka et al. 2015]
	36,42	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (<6 Tage)	

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
AFS	80,78	Mittelwert nach längerer Trockenperiode (>6 Tage)	[Manganka et al. 2015]
	61,81	Mittelwert nach kürzerer Trockenperiode (<6 Tage)	

II.10.2 Betrieb

Es gibt kaum betrieblichen Aufwand. Regelmäßige Pflege der Freifläche (Mahd, Räumung von Laub etc.) reicht im Allgemeinen aus. Die Lebensdauer kann an anderen Versickerungsanlagen abgeschätzt werden und beträgt 25-40 Jahre (Sieker, 2016, nach LAWA, 1998).

II.10.3 Unterhalt und Pflege

Die Vegetationspflege (Rasen oder Stauden und Gehölze) verhält sich entsprechend des sonst üblichen Aufwandes. Wichtig ist das Freihalten der Versickerungsfläche und des Einlaufbereiches von Laub, Sediment und ähnlichen Materialien. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden.

II.10.4 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitions-kosten (einmalig für die Erstellung),	EUR/m ²	35 – 40 EUR/m ² ;Bezogen auf die Muldenfläche, bei Neugestaltung der Freiflächen sinken die Investitionskosten	[Sieker 2016]
	EUR	49209EUR für 10 Mulden mit einem Oberflächenvolumen von 191,59m ³ (keine Mulden-Rigolen aber inkl. Straßenbau und Rohrverlegung)	Daten aus Kuras/BWB
Energiekosten		Keine	
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel. Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/(m ² ·a)	0,5 EUR/(m ² ·a) für die Vegetationspflege	[Sieker 2006]
Personalkosten	EUR/m ²	Die Kosten sollten im Bereich üblicher Freiflächenpflege und Reinigung liegen	-

II.10.5 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
Mulden	geringerer Bauaufwand	Höherer Flächenbedarf	-

II.10.6 Mögliche Konflikte

Neu bereitgestellte Flächen fallen unter Umständen als öffentliche Freiflächen, z.B. als Parkplatz etc., weg.

II.10.7 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Der Ablauf muss eine Qualität aufweisen, dass eine Versickerung unproblematisch ist. Bei zu geringem Grundwasserabstand ist eine Versickerung aus der Rigole direkt nicht möglich. Hier können einzelne Mulden-Rigolen-Elemente vernetzt werden.

II.10.8 Effekte auf andere Schutzgüter

Im städtischen Raum können Mulden-Rigolen gestalterisch eingesetzt werden. Zusätzliche Verdunstungsflächen haben positive Auswirkungen auf das Stadtklima.

II.10.9 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

- DWA A 138
- DWA M 153
- BWB Regelblätter 600 ff.
- ATV M 165
- Richtlinie 76/464/EWG
- Richtlinie 80/68/EWG
- Wasserhaushaltsgesetz
- Abwasserabgabengesetz
- Bundes-Bodenschutzgesetz
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
- Baugesetzbuch
- DIN 1998-1 Regenwassernutzungsanlagen Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung

II.10.10 Bemessung, Auslegung und Planung

Mulden-Rigolen-Systeme können mit einfachen Verfahren in Anlehnung an DWA A138 bzw. A117 vordimensioniert werden. Der Aufbau eines Mulden-Rigolen-Systems beinhaltet folgende Bauteile:

- Mutterbodenschicht (30cm) und Kiesschicht (5cm) zwischen Mulde und Rigole
- Rigole als mit Kies (Körnung 16/32) gefüllter Speicherkörper und Dränrohr oder Füllkörperrigole mit Kunststoffblöcken
- Drosselschacht mit Anstau-/Drosselorgan am Ende des Dränrohres
- Überlauf

nach (Sieker, 2016)

Bei der Planung ist zu beachten, dass Mulden und Rigolen gemäß der Randbedingungen und Vorgaben dimensioniert werden und nicht zwangsweise den gleichen Grundriss einnehmen müssen.

Auch Mulden-Rigolen-Tiefbeete werden nach dem vereinfachten Verfahren DWA-A 138 oder über Langzeitsimulationen dimensioniert.

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Überstauhäufigkeit	n	Mulde: 1.0, Gesamtsystem: 0.2 INNODRAIN: Tiefbeet 1.0		[Sieker 2016]
Flächenbedarf/ Sickerfläche	m ²	10-12% der angeschlossenen versiegelten Fläche (abhängig von Tiefe und Böschungsneigung)		[Sieker 2016]
		10% ohne Überlauf/Drosselabfluss		[DWA –A 138]
		5% mit Überlauf/Drosselabfluss		[DWA-A 138]
		3-5% der angeschlossenen versiegelten Fläche für INNODRAIN		[Sieker 2016]
angeschlossene Fläche	m ²			
Durchlässigkeit der Mulde	m/s	$k_f > 2 \cdot 10^{-6}$ m/s	Bei einer Durchlässigkeit von $k_f < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s muss es eine zusätzliche Ableitungsmöglichkeit geben [DWA-A 138]	[Sieker 2016]
Rigolenbreite	m	-	-	-
Rigolenhöhe	m	-	-	-
Speicherkoeffizient der Kiesfüllung	-	-	-	-

II.10.11 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

II.10.12 Literatur

- **Siecker.de** zuletzt aufgerufen 13.09. 2016
- **G.I. Chandrasena, T. Pham, E.G. Payne, A. Deletic, D.T. McCarthy**, E. coli removal in laboratory scale stormwater biofilters: Influence of vegetation and submerged zone, Journal of Hydrology, Volume 519, Part A, 27 November 2014, Pages 814-822, ISSN 0022-1694, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.015>.
- **DWA-A 138**
- **Isri R. Mangangka, An Liu, Prasanna Egodawatta, Ashantha Goonetilleke**, Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin, Journal of Environmental Management, Volume 150, 1 March 2015, Pages 173-178, ISSN 0301-4797, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.007>.
- **Sieker, F.; Sieker, H.; Kaiser, M.** [2006]: Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele. 232 S., zahlr. farbige Abb., Tab., Gebunden, ISBN 3-8167-6975-6

III. UMSETZUNG IM SYSTEM DER TRENNKANALISATION

III.1 Beseitigung von Fehlschlüssen

III.1.1 Beschreibung

/

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Beseitigung der Menge von Schmutzwasserentlastungen in Regenwasserkanäle

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Bei einem Falschanschluss erfolgt ein Anschluss einer Abwasserleitung in den Regenwasserkanal. Um die Falschanschlüsse zu beseitigen, müssen diese erst identifiziert werden. Die Haltungen mit Falschanschlüssen des Einzugsgebietes werden mit verschiedenen Methoden eingegrenzt:

- optisch (Toilettenpapier)
- olfaktorisch
- Einbauen von Sieben
- Einbau von Wehren (stauen und beproben)
- Durchflussmessungen
- Analyse des Regenabflusses auf chemische, mikrobiologische und physikalische Parameter
- Kamera-Befahrung
- DTS-Technologie: Lichtwellenleiter zur Temperaturmessung

Hat man das Gebiet eingegrenzt werden die Falschanschlüsse lokalisiert. In den Gebäuden wird Lebensmittelfarbe in den Schmutzwasserkanal eingeleitet, beispielsweise durch die Toilette, und dann der Falschanschluss im Kanal lokalisiert.

Speziell zur Beseitigung von Falschanschlüssen im Regenwasserkanal wird zurzeit die Eingrenzung des Bereiches mit Hilfe der Leitfähigkeitsmessung untersucht, da Schmutzwassereinleitungen die Leitfähigkeit erhöhen.



Abbildung III-1: Identifizierung von Falschanschlüssen mit Lebensmittelfarbe im Regenwasserkanal

III.1.2 Größenordnung der Belastung (Eliminationen)

2.1 Hygienische Parameter

Parameter	Log-Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
E.coli	1-2	Vergleich RW-Einzugsgebiet mit Falschanschlüssen (Bäke) und ein RW-Einzugsgebiet ohne Falschanschlüsse (Neubaugebiet)	BWB Projekt Flusshygiene
Enterokokken	1-2	Vergleich RW-Einzugsgebiet mit Falschanschlüssen (Bäke) und ein RW-Einzugsgebiet ohne Falschanschlüsse (Neubaugebiet)	BWB Projekt Flusshygiene

2.2 Chemische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
-	-	-	-

2.3 Physikalische Parameter

Parameter	In %	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
-	-	-	-

III.1.3 Betrieb

/

III.1.4 Unterhalt und Pflege

/

III.1.5 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitions-kosten (einmalig für die Erstellung),	EUR/(m ³ /s)	-	-
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel. Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/(m ³ /s)	-	-
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Sonstige Kosten:	EUR/(m ³ /s)	-	-

- Kosten Sonde und andere Messgeräte
- Kosten Arbeitszeit

Die Kosten den Kanalanschluss dem richtigen Netz anzuschließen trägt der Grundstückseigentümer.

III.1.6 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

III.1.7 Mögliche Konflikte

Die Einleitung von Lebensmittelfarbe hat zur Voraussetzung, dass der Grundstückseigentümer die Kanalarbeiter auch in die Wohnung eintreten lässt obwohl er bei positivem Befund die Kosten zu tragen hat, welche bei dem richtigen Anschluss an das Kanalnetz entstehen.

Die Methode mit Signalnebel wird eher in kleineren Gebieten eingesetzt, da bei Großen die Einwohner alle informiert werden müssen und diese dann beispielsweise die Feuerwehr alarmieren könnten.

III.1.8 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

/

III.1.9 Effekte auf andere Schutzgüter

/

III.1.10 Rechtliche Aspekte und Leitfäden/Technisches Regelwerk

DWA Arbeitsbericht - Konzepte und Maßnahmen zur Lösung von Fremdwasserproblemen (2005)

III.1.11 Bemessung, Auslegung und Planung

11.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
-	-	-	-	-

III.1.12 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

Bachelorthesis zum Thema Suche nach Falschanschlüssen im Regenwasserkanal läuft im Projekt *FLUSSHYGIENE* bis vorr. April 2017.

IV. UMSETZUNG IM UND AM GEWÄSSER

IV.1 Schaffung von Aufwuchsflächen für grazende Mikroorganismen

IV.1.1 Beschreibung

Seit einigen Jahrzehnten ist bekannt, dass das mikrobielle Nahrungsgewebe in aquatischen Ökosystemen eine bedeutende Rolle für den Umsatz von gelöstem organischem Kohlenstoff durch seine Aufnahme von Bakterien einnimmt (Azam *et al.*, 1983; Berninger *et al.*, 1991; Fenchel, 2008). Hierzu tragen hauptsächlich kleine heterotrophe Einzeller/Protozoen (v.a. Flagellaten) im Pelagial von Fließgewässern bei, da sie sich durch hohe Abundanz und Umsatzraten auszeichnen (Fenchel, 1982; Azam *et al.*, 1983; Straile, 1998). Diese Organismen weisen unterschiedliche Fraßtypen auf und können verschieden effizient Bakterien aus dem Wasser aufnehmen, da sich die einen eher filtrierend ernähren, andere wiederum aktiv nach Nahrung suchen (Boenigk und Arndt, 2002).

Protozoen stellen also die Hauptkonsumenten von Bakterien dar (z.B. Sanders *et al.* 1989, Finlay und Esteban 1998), können einen maßgeblichen Beitrag zur Aufrechterhaltung hoher Wasserqualität leisten (Fried *et al.*, 2000; Madoni, 2011) und sehr schnell auf Verschmutzungsereignisse reagieren (z.B. Foissner und Berger, 1996; Esteban *et al.*, 1991; Salvado *et al.*, 1995). Zusätzlich spielt das mikrobielle Nahrungsgewebe auch für die Reduktion von humanpathogenen Keimen wie u.a. *Escherichia coli* in Abwasser- (Curds und Fey, 1969) und Trinkwassersystemen (Sibille *et al.*, 1998) sowie von Viren (Deng *et al.*, 2014) eine maßgebliche Rolle.

Eine effiziente Förderung dieser gewässerinternen Eliminationsleistung von potentiellen Krankheitserregern könnte durch die Vergrößerung von Oberflächenstrukturen in der Wassersäule erreicht werden. Hierdurch würde die Bildung von Biofilmen gefördert und damit letztlich der Fraßdruck auf die Planktongemeinschaft erhöht. Studien, die im Rhein durchgeführt wurden, unterstreichen die Bedeutung dieser benthopelagischen Kopplung (Weitere *et al.*, 2003; Kathol *et al.*, 2011), d.h. die Verbindung der Freiwasserzone mit Aufwuchsflächen (Steinen/Sand u. ä. auf dem Gewässerboden, Totholz, Makrophyten usw.) durch oberflächenassoziierte Organismen. Da sich im Biofilm viele Protozoen ansiedeln können, die planktisch vorkommende Bakterien eliminieren, würde eine Vergrößerung der Aufwuchsfläche eine zusätzliche Verstärkung der Eliminationsleistung von pathogenen Keimen bewirken (siehe hierzu auch 3. Größenordnung der Elimination).

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Zusätzliche Aufwuchsflächen werden in der Nähe einer Klärwerkseinleitung in das Fließgewässer eingebracht, um die Reduktion hygienisch relevanter Keime zu fördern. Innerhalb weniger Stunden bis Tage wird sich ein

erster Biofilm an den Wurzeln der Makrophyten bilden, welcher u.a. aus extrazellulären polymeren Substanzen, Bakterien, Flagellaten, Ciliaten, Algen, anderen Einzellern und kleineren Mehrzellern besteht. Dieser wird mit zunehmendem Alter bis zu einem bestimmten Maß eine Zunahme in den Abundanz der Einzeller fördern. Diese Einzeller, v.a. Ciliaten, tragen durch ihre Aufnahme von Bakterien und Viren zur Elimination von Keimen aus dem Plankton bei.

Es liegen bisher keine Studien dazu vor, als Aufwuchsflächen für die Mikroorganismen wären aber prinzipiell alle oberflächenvergrößernden Strukturen denkbar. Wichtig ist hierbei, dass die Strukturen untergetaucht in das Wasser eingebracht werden und gewährleistet wird, dass sie auch untergetaucht bleiben. Dies kann durch Beschweren der Strukturen erreicht werden, indem ein Ankerpunkt an der Gewässersohle befestigt wird. Prinzipiell eignen sich hierfür vor allem natürliche Strukturen, nur im Notfall könnten auch künstliche Strukturen (Probleme Mikroplastik) Verwendung finden. Zu den möglicherweise geeigneten natürlichen Materialien zählen Weidenwurzeln, Flachs oder Blähton.

Schwimmende Inseln (Schwimmkampen), die mit einheimischen, am Gewässer vorzufindenden Makrophyten (z.B. Rohrglanzgras, *Phalaris arundinacea*, Schilfrohr, *Phragmites australis* oder Seggen wie *Carex* spp.) bewachsen sind, bieten sich an, wenn in dem betroffenen Gewässerabschnitt Wert auf optisch-ästhetische Aspekte gelegt werden soll. Die Wurzeln der Makrophyten bieten durch abgegebene Stoffe (Exsudate), welche die Biofilmbildung zusätzlich fördern, optimale Bedingungen für die Besiedelung der Mikroorganismen.

Abgesehen von der Einbringung der Aufwuchsflächen in der Nähe von Schmutzwassereinleitungen durch Klärwerke könnten schwimmende Inseln auch zur Abgrenzung von Badebereichen genutzt werden und würden auch anderen Organismen Schutz bieten, so dass sich gleichzeitig weitere Vorteile durch deren Installation ergeben könnten.

1.4 Leitfäden und Vorgaben

Bei den künstlichen Strukturen zur Oberflächenvergrößerung sollte bedacht werden, dass sie keine Gefährdung der Umwelt darstellen, z.B. sollten ökologisch unbedenkliche, aber widerstandsfähige Stoffe verwendet werden, da eine Abnutzung und das Ablösen der Materialien je nach hydraulischer Belastung und durch andere Prozesse/Nutzungen im Gewässer nie ganz ausgeschlossen werden kann.

Natürliche Strukturen, die bestenfalls im Gewässer selbst vorkommen, sind sehr empfehlenswert. Hier besteht allerdings bei z.B. Jutematten das Problem, dass sie sich sehr schnell im Gewässer auflösen.

Für den Eintrag, aber auch das Entfernen von Materialien als Aufwuchsfläche sind das Bundesnaturschutzgesetz (*BNatSchG, 2016*) und die entsprechend geltenden Landesbestimmungen zu beachten, um den Eingriff in das Ökosystem so gering wie möglich zu halten.

IV.1.2 Bemessung und Auslegung

2.1 Kenngrößen

Es liegen keine Vorarbeiten zu solchen Maßnahmen vor, weshalb hier keine Angaben gemacht werden können.

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
-	-	-	-	-

2.2 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Untersuchungen an verschiedenen Flusssystemen wie Loire (*Lair et al., 1999*), Maas (*Servais et al., 2000*), Elbe (*Holst et al., 2002; Wörner et al., 2005*) und Rhein (*Weitere et al., 2005; Bergfeld et al., 2009*) zeigen, dass die

Morphologie der Flüsse einen nachhaltigen Einfluss auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaft haben kann. Daher kann die Eliminierung von potentiellen Krankheitserregern je nach Flusssystem unterschiedlich effizient ausfallen.

Die Gefahr der möglichen, exzessiven Besiedelung von Muschelkolonien oder anderen Makrozoobenthosorganismen durch Abweiden des Biofilms an den Aufwuchsflächen sollte in Betracht gezogen werden und wenn möglich durch Strukturen (Netze/Gitter) verhindert werden. Außerdem sind einige biofilmbildende Bakterien (*Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella* ser. Typhimurium und *Escherichia coli*) bekannt dafür, chronische, humane Infektionen hervorzurufen (Costerton et al., 1999; Parsek und Singh, 2003). Daher können Reservoirs von pathogenen Bakterien durch Ablösen und Verdriften, besonders bei hohen Fließgeschwindigkeiten, ein mögliches Gesundheitsrisiko darstellen. Das Einbringen der Aufwuchsflächen sollte daher möglichst in Gewässern oder Gewässerabschnitten mit geringer Fließgeschwindigkeit erfolgen. Des Weiteren sollte in Betracht gezogen werden, die Maßnahme so in das Gewässer einzubringen, dass sie trotz Verankerung nicht flussabwärts davongetragen werden kann, sondern in einem Seitenbereich des Flusses liegt, d.h. in einem vom übrigen Teil des Fließgewässers getrennten Bereich, durch den aber das Flusswasser trotzdem ungehindert strömen kann. Somit würden ein Ablösen der Aufwuchsflächen und mögliche Beeinträchtigungen des Schiffsverkehrs verhindert.

IV.1.3 Größenordnung der Eliminationen

Parameter	Wert [L m ⁻² d ⁻¹]	Kommentar	Quelle
Filtrationsrate	565 ± 66 L m ⁻² d ⁻¹	Filtrationsrate der planktischen Bakterien durch Biofilm-Protozoen im Rhein im Juni 2008.	Kathol et al., 2011
Filtrationsrate	99 ± 11 L m ⁻² d ⁻¹	Filtrationsrate der planktischen Bakterien durch Biofilm-Protozoen im Rhein im Sommer 2005.	Kathol et al., 2009

Eine genaue Quantifizierung der Größenordnung der Eliminationen für das Freiland ist mit dem derzeitigen Wissensstand noch nicht möglich. Hierzu besteht umfangreicher Forschungsbedarf in der Zukunft. Es liegen erste Experimentergebnisse in naturnahen Systemen vor, die eine Reduktion von Keimen erwarten lassen. Die Eintragsreduzierung schwankt je nach Zusammensetzung und Alter des auf den Aufwuchsflächen gebildeten Biofilms. Versuche in naturnahen Experimentansätzen werden im Rahmen des Projektes derzeit durchgeführt. Die Ergebnisse dazu können im finalen Projektbericht eingesehen werden.

IV.1.4 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR/(m ³ /s)	Oberflächenvergrößernde Strukturen (Aufwuchsflächen) Verankerungen für die Strukturen am Gewässergrund und Materialien zum Beschweren der Strukturen, um das Untertauchen dauerhaft zu gewährleisten	-
Energiekosten	EUR/(m ³ /s)	-	-
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR/(m ³ /s)	Evtl. Erneuerung der Strukturen	-
Personalkosten	EUR/(m ³ /s)	Kontrolle und Wartung der Aufwuchsflächen in regelmäßigen Abständen	-
Sonstige Kosten	EUR/(m ³ /s)	Weiterer Forschungsbedarf zur Testung des Einsatzes im Feld notwendig	-

IV.1.5 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren wurden nach derzeitigem Wissensstand ebenfalls noch nicht getestet.

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

IV.1.6 Mögliche Konflikte

Die Kostenübernahme des Einbringens und der Wartung der oberflächenvergrößernden Aufwuchsflächen birgt Konflikte, da sowohl der Kläranlagenbetreiber durch diese zusätzliche „nachgeschaltete“ Kläreinrichtung als auch die Stadt – oder Landesebene zur Verantwortung gezogen werden kann. Vor allem weitere Wartungskosten und die Haftung bei Schäden sind hier zu beachten.

Es muss gewährleistet sein, dass die eingebrachten Strukturen vom Ufer aus für die Öffentlichkeit nicht freizugänglich sind und zudem die Nutzung des Fließgewässers als Wasserstraße nicht beeinträchtigt wird.

IV.1.7 Mögliche Umsetzungsbeispiele

Umsetzungsbeispiele solcher Maßnahmen zur Eliminierung von potentiellen Krankheitserregern in Fließgewässern sind nicht bekannt. Allerdings liegen Studien vor, die sich mit der Wirksamkeit von schwimmenden Pflanzeninseln zur Reinigung von Nährstoffen aus eutrophierten Gewässern beschäftigen, z.B. Li et al. 2010.

IV.1.8 Literatur

- **Azam, F., Fenchel, T., Field, J. G., Gray, J. S., Meyer-Reil, L. A., Thingstad, F.** (1983) The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 10: 257-263.
- **Bergfeld, T., Scherwass, A., Ackermann, B., Arndt, H. Schöl, A.** (2009) Comparison of the components of the planktonic food web in three large rivers (Rhine, Moselle and Saar). *River Research and Applications* 25: 1232-1250.
- **Berninger, U. G., Finlay, B. J., Kuuppo-Leinikki, P.** (1991) Protozoan control of bacterial abundances in freshwater. *Limnology and Oceanography* 36: 139-147.
- **Boenigk, J., Arndt, H.** (2002) Bacterivory by heterotrophic flagellates: community structure and feeding strategies. *Antonie van Leeuwenhoek* 81: 465-480.
- **Costerton, J. W.** (2007) *The biofilm primer*. Springer, Berlin.
- **Curds, C. R., Fey, G. J.** (1969) The effect of ciliated protozoa on the fate of *Escherichia coli* in the activated-sludge process. *Water Research* 3: 853-867.
- **Esteban, G., Téllez, C., Bautista, L. M.** (1991) Dynamics of ciliated protozoa communities in activated-sludge process. *Water Research* 25: 967-972.
- **Fenchel, T.** (1982) Ecology of heterotrophic microflagellates. IV. Quantitative occurrence and importance as bacterial consumers. *Marine Ecology Progress Series* 9: 35-42.
- **Fenchel, T.** (2008) The microbial loop—25 years later. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366: 99-103.
- **Finlay, B. J., Esteban, G. F.** (1998) Freshwater protozoa: biodiversity and ecological function. *Biodiversity & Conservation* 7: 1163-1186.
- **Foissner, W., Berger, H.** (1996) A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology* 35: 375-482.

- **Fried, J., Mayr, G., Berger, H., Traunspurger, W., Psenner, R., Lemmer, H.** (2000) Monitoring protozoa and metazoa biofilm communities for assessing wastewater quality impact and reactor up-scaling effects. *Water Science and Technology* 41: 309-316.
- **Holst, H., Zimmermann-Timm, H., Kausch, H.** (2002) Longitudinal and transverse distribution of plankton rotifers in the Potamal of the River Elbe (Germany) during late Summer. *International Review of Hydrobiology* 87: 267–280.
- **Kathol, M., Fischer, H., Weitere, M.** (2011) Contribution of biofilm-dwelling consumers to pelagic-benthic coupling in a large river. *Freshwater Biology* 56: 1160-1172.
- **Kathol, M., Norf, H., Arndt, H., Weitere, M.** (2009) Effects of temperature increase on the grazing of planktonic bacteria by biofilm-dwelling consumers. *Aquatic Microbial Ecology* 55: 65-79.
- **Lair, N., Jacquet, V., Reyes-Marchant, P.** (1999) Factors related to autotrophic potamoplankton, heterotrophic protists and micrometazoan abundance, at two sites in a lowland temperate river during low water flow. *Hydrobiologia* 394: 13-28.
- **Li, X. N., Song, H. L., Li, W., Lu, X. W., Nishimura, O.** (2010) An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water. *Ecological Engineering* 36: 382-390.
- **Madoni, P.** (2011) Protozoa in wastewater treatment processes: a minireview. *Italian Journal of Zoology* 78: 3-11.
- **Parsek, M. R., Singh, P. K.** (2003) Bacterial biofilms: an emerging link to disease pathogenesis. *Annual Reviews in Microbiology* 57: 677-701.
- **Salvado, H., Gracia, M. P., Amigo, J. M.** (1995) Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. *Water Research* 29: 1041-1050.
- **Sanders, R. W., Porter, K. G., Bennett, S. J., DeBiase, A. E.** (1989) Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers, and cladocerans in a freshwater planktonic community. *Limnology and Oceanography* 34: 673-687.
- **Servais, P., Gosselain, V., Joaquim-Justo, C., Becquevort, S., Thomé, J. P. and Descy, J. P.** (2000) Trophic relationships between planktonic microorganisms in the river Meuse (Belgium): a carbon budget. *Archiv für Hydrobiologie* 149: 625-653.
- **Sibille, I., Sime-Ngando, T., Mathieu, L., Block, J. C.** (1998) Protozoan bacterivory and *Escherichia coli* survival in drinking water distribution systems. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 197-202.
- **Straile, D.** (1998) Biomass allocation and carbon flow in the pelagic food web of Lake Constance. *Advances in Limnology* 53: 545-563.
- **Weitere, M., Schmidt-Denter, K., Arndt, H.** (2003) Laboratory experiments on the impact of biofilms on the plankton of a large river. *Freshwater Biology* 48: 1983-1992.
- **Weitere, M., Scherwass, A., Sieben, K.-T., Arndt, H.** (2005) Planktonic food web structure and potential carbon flow in the lower River Rhine with a focus on the role of the protozoans. *River Research and Applications* 21: 535-549.
- **Wörner, U., Zimmermann-Timm, H.** (2005) Aggregate-associated bacteria and heterotrophic flagellates in the River Elbe – their relative significance along the longitudinal profile from km 46 to km 583. *International Review of Hydrobiology* 87: 255-266.

IV.2 Reduzierung des Keimeintrags aus dem Bootsverkehr

IV.2.1 Beschreibung

Schiffe und Boote, die Oberflächengewässer für den Zweck des Güter- und Personenverkehrs als Wasserstraßen nutzen, sind prinzipiell eine Risikoquelle für Wasserverschmutzungen. Eintragspfade für Gewässerbelastungen sind im Allgemeinen organische und anorganische Abfälle, Bordabwässer, Reinigungsmittel sowie Lacke und Emulsionen, die in die aquatische Umwelt gelangen (*Gröner & Hübner, 2011*).

Aufgrund ihrer wachstumshemmenden Wirkung auf Wasserorganismen ist die Verwendung von Antifoulinganstrichen im Unterwasserbereich von Segel- und Motorbooten mit einer Länge von unter 25 m in der Europäischen Gemeinschaft untersagt. Der biozide Wirkstoff Tributylzinn (kurz TBT) ist oftmals in Unterwasserfarben enthalten, die in der Gewerbeschifffahrt verwendet werden. TBT gelangt durch Lösung frisch aufgetragener Unterwasseranstriche sowie durch Absplitterung bzw. Ablösung der getrockneten Farbe vom Bootskörper in das Gewässer. Die Substanz reichert sich hier im Sediment und in diversen Wasserorganismen an (*Gröner & Hübner, 2011*). Es ist nach Möglichkeit auf abriebfeste, biozid- und schwermetallfreie Anstriche zurück zu greifen.

Im Falle technischer Defekte bzw. einer Havarie sind Einträge von Betriebsmitteln, Kraftstoffen sowie weiterer wassergefährdender Stoffe (Maschinenöle, Schmierfette, Diesel etc.) ins Gewässer möglich. Das Ankern kann zur Beschädigung und Aufwirbelung des Sediments führen und in Folge die Rücklösung pathogener Mikroorganismen bewirken (Sekundärbelastung). Der Wellenschlag von Sportbooten kann als Auslöser einer Bodenerosion im Uferbereich ebenfalls zu einer Sekundärbelastung des Gewässers führen.

Vorsätzliche bzw. fahrlässige Verunreinigungen des Wassers, z.B. durch die Reinigung von Öltanks oder das unbefugte Einleiten von Abwasser, sind durch das Wasserhaushaltsgesetz unter Strafe untersagt (*Deutscher Bundestag, 2016*). Dennoch ist davon auszugehen, dass zahlreiche Führer von Sportbooten der ordnungsgemäßen Sammlung und Entsorgung des Abwassers aus Bordtoiletten nicht nachkommen, sondern es in Oberflächengewässer einleiten, was zu einer massiven hygienischen Belastung der Gewässer führt.

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Sonstiges: Verringerung des Eintrags wassergefährdender Stoffe

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Die wirksamste Maßnahme zur Reduzierung hygienischer Belastungen aus dem Sportbootverkehr ist die Verpflichtung der Bootsführer zur ordnungsgemäßen Entsorgung von Abfällen und Abwässern sowie die Sensibilisierung für einen verantwortungsvollen Umgang mit wassergefährdenden Flüssigkeiten wie z.B. Kraftstoffen und Ölen in der Nähe des Gewässers. Einzelne Maßnahmen zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch den Bootsverkehr sind nachfolgend nach Methodikfeldern geordnet aufgeführt.

Aus- bzw. Nachrüstung von Sportbooten mit Fäkalienrückhaltesystemen

- Moderne Boote der Binnenschifffahrt sind zur Sammlung von Grau- und Schwarzwasser mit einem geschlossenen Abwassersystem und einem Fäkalientank auszustatten. Die Entleerung des Tanks erfolgt durch Abpumpen des Schmutzwassers mittels einer Fäkalienabsauganlage im Bereich der Bootliegestellen. Das Abwasser wird durch die öffentliche Kanalisation abgeführt und beseitigt.
- Die Absaugung der Fäkalien erfolgt durch eine Vakuumpumpe, welche mit einem dicht abschließenden Gummistutzen direkt mit dem Absaugstutzen des Fäkalientanks verbunden wird.
- Sportbootliegestellen mit Fäkalienentsorgungsstationen sind i.d.R. entlang der Wasserstraßen an Sportboothäfen (Marinas) vorhanden. Interessierte finden die Stationen sowie Informationen zu Öffnungszeiten, Kontaktdaten etc. online auf einer interaktiven Karte des Wassersportführers Wassersportlotse unter <http://www.wassersportlotse.de> (Hohn, 2016).

Beseitigung von Schiffsabfällen

- Sportbootliegestellen mit Abfallsammelbehältern sind i.d.R. entlang der Wasserstraßen vorhanden. Interessierte finden die Stationen online auf einer interaktiven Karte des Wassersportführers Wassersportlotse unter <http://www.wassersportlotse.de> (Hohn, 2016).

Präventionsmaßnahmen gegen den Austritt wassergefährdender Stoffe

- Um die Verschmutzung eines Gewässers durch den Austritt wassergefährdender Flüssigkeiten, wie z.B. Dieselmotortreibstoff, an der Quelle zu vermeiden, wird die ausschließliche Verwendung doppelwandiger Tanks und Sammelbehälter empfohlen.
- Die Führer von Sportbooten sind dazu verpflichtet, austretende Stoffe bei Undichtigkeit zurückzuhalten und ordnungsgemäß zu entsorgen. Wassergefährdende Stoffe sind in einem dichten sowie beständigen Auffangraum aufzufangen, damit sie auch im Falle eines Austretens nicht in Gewässer gelangen können.

Eindämmung von ausgetretenem Öl

- Die Eingrenzung des Ölfilms ist erforderlich, um eine Ausbreitung mit der Fließrichtung des Gewässers und eine damit verbundene Kontamination weiterer Gewässerbereiche zu unterbinden. Die effektivste, wirtschaftlichste und ökologisch sinnvollste Entfernung des Öls aus der Umwelt ist möglich, wenn das Öl direkt von der Wasseroberfläche aufgenommen werden kann und noch keinen Kontakt zur Uferzone hatte. Um die Lösung, Emulsionsbildung und Verdunstung des Öls auf dem Wasser zu minimieren, ist die Verweildauer an der Wasseroberfläche möglichst gering zu halten. Längere Verweilzeiten auf dem Wasser verringern signifikant den Bekämpfungserfolg und erhöhen damit das Gefährdungspotenzial für die Umwelt (GICON Freiberg, 2015).
- Um die Ausbreitung von Ölfilmen zu verhindern und die Schichtdicke des Ölfilms für die effiziente Entfernung von der Wasseroberfläche zu erhöhen, werden unverzüglich nach Feststellung der Verschmutzung auf der Wasseroberfläche treibende mechanische Ölsperren eingesetzt. Diese begrenzen bzw. kanalisieren die Ausbreitung des Ölfilms (GICON Freiberg, 2015).

Beseitigung von ausgetretenem Öl

- Nach erfolgreicher Eindämmung wird der Ölfilm durch einen Absaug- bzw. Skimmervorgang von der Wasseroberfläche entfernt. Hierzu wird das Öl oberflächennah durch eine Pumpe angesaugt und durch einen Öl-Wasser-Separator abgetrennt und gesammelt.
- Der Einsatz eines Adsorptionsskimmers bewirkt die Aufnahme des ausgetretenen Öls von der Wasseroberfläche. Der Skimmer bewegt sich an der Wasseroberfläche, wobei das Öl an der Oberfläche des meist aus Metall oder Kunststoff gefertigten Skimmers adsorbiert wird. Im Gerät wird die Oberfläche des Skimmers durch einen Abstreifer gereinigt. Das abgestreifte Öl wird in einen separaten Behälter geleitet und zur fachgerechten Entsorgung aufgefangan (*GICON Freiberg, 2015*).
- Der Einsatz eines Adsorptionsskimmers kann von Booten oder dem Land aus erfolgen. Die häufigsten Bauformen sind Scheiben-, Trommel-, Schlauch- und Bandskimmer, bei denen die Adsorption des Öls an Endlosschläuchen oder –bändern bzw. an einer rotierenden Scheibe bzw. Trommel erfolgt (*GICON Freiberg, 2015*).
- Geringe Ölmengen können durch den Einsatz von Aufsaugtüchern von der Wasseroberfläche bzw. von festen Oberflächen aufgenommen werden (*GICON Freiberg, 2015*).

Beseitigung ausgetretener wassergefährdender Flüssigkeiten (Treibstoffe etc.)

- Zur Entfernung sonstiger wassergefährdender Flüssigkeiten ist analog zum Vorgehen zur Entfernung ausgetretener Ölfilme zu handeln. Ausgetretene Flüssigkeiten sind entsprechend ihrer Viskosität und ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften durch Absaugen bzw. durch die Aufnahme durch Adsorptionstücher bzw. –matten aus dem Gewässer zu entfernen (*GICON Freiberg, 2015*).

Festlegung von Grenzwerten für Sportbootemissionen

- Zum Schutz der Gewässer vor nachteiligen Beeinflussungen durch den Sportbootverkehr legt die EU-Richtlinie 2013/53/EU Anforderungen in Bezug auf die Antriebsmotoren von Sportbooten und Wassermotorrädern fest. Die Richtlinie gibt, in Abhängigkeit von Motorentyp und –leistung, verbindliche Emissionsgrenzwerte für Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoff, Stickoxide sowie Partikel für Sportboote einer Rumpflänge von 2,5 m bis 24 m vor (*Schulz & Leskevicius, 2013*).

Räumliche Abgrenzung der Fahrrinne

- Insbesondere an Seen und entlang seenartigen Erweiterungen der Gewässer sind in der Nähe zu Badestellen verbindlich zu benutzende Fahrrinnen für motorisierte Freizeitschiffe auszutonnen. Die Abgrenzung der durch Sportboote nutzbaren Bereiche gewährleistet den Schutz empfindlicher Flora und Fauna. Zudem trägt eine sichtbare Abgrenzung zur Sicherheit der Badenden bei und steigert den Erholungswert der Ruhebereiche für Bürger, die die stille Erholung bevorzugen (*Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., 2011*).

1.4 Leitfäden und Vorgaben

Die Unterhaltung von Oberflächengewässern, welche als Wasserstraßen genutzt werden, liegt im Zuständigkeitsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und der zuständigen Wasser- und Schifffahrtsämtern. Die Sicherung und Unterhaltung der schiffbareren Bundeswasserstraßen (Gewässer 1. Ordnung) ist Aufgabe von bundesweit 39 regionalen Wasser- und Schifffahrtsämtern (WSÄs) (*Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, 2016*). Neben der gewerblichen Schifffahrt regulieren die WSA auch die Sport- und Freizeitschifffahrt. Die Unterhaltung nicht-schiffbarer Gewässer obliegt den städtischen bzw. kommunalen Umweltbehörden.

Laut Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sind die Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaften zur Erhaltung bzw. Verbesserung des ökologischen Zustands der Gewässerkörper verpflichtet (*Das Europäische Parlament und der Europäische Rat, 2000*). In Deutschland ist die WRRL in Form des Wasserhaushaltsgesetzes

in nationales Recht umgesetzt worden, wonach das unbefugte Einleiten von Abwasser oder anderer wassergefährdender Flüssigkeiten unter Strafe untersagt ist (*Deutscher Bundestag, 2016*).

Die Zuständigkeiten für die Beseitigung von Wasserverschmutzungen durch Öl oder weitere wassergefährdende Stoffe liegt in der Bundesrepublik Deutschland bei der Wasserschutzpolizei und Feuerwehr.

IV.2.2 Bemessung und Auslegung

2.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
-	-	-	-	-

Eine technische Auslegung der oben beschriebenen Maßnahmen ist nicht erforderlich.

2.2 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Bereits ab einer Anströmgeschwindigkeit von 0,6 m/s kann es an Ölsperren in Fließgewässern zur Unterströmung kommen, wodurch ihre den Ölfilm eindämmende Wirkung verliert (*GICON Freiberg, 2015*).

IV.2.3 Größenordnung der Eliminationen

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	-
Intestinale Enterokokken	-	-	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-

Die Reduzierung des Eintrags hygienische Belastungen durch die Aus- bzw. Nachrüstung der Sportboote mit Fäkalienammelbehältern ist abhängig davon, wie sich die Menge des ordnungswidrig eingeleiteten Abwassers durch die Einführung der Maßnahme verändert. Es sind keine Studien bekannt, die die Einleitung von Abwasser durch Sportboote quantifiziert.

Der Erfolg der Maßnahme ist mit Blick auf die geschätzte Einleitungsmenge häuslicher Abwässer an dem betrachteten Gewässer individuell abzuschätzen. Es ist davon auszugehen, dass die hygienische Belastung durch Bordabwässer keinen nennenswerten Einfluss auf die Badewasserqualität des Gewässers hat.

IV.2.4 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR	Bereitstellung einer Fäkalabsauganlage an Bootliegestellen bzw. an Bootstankstellen	-
Energiekosten	EUR	Betrieb der Vakuumpumpen der Fäkalabsauganlagen an Bootliegestellen bzw. an Bootstankstellen	-
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR	-	-

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Personalkosten	EUR	-	-
Sonstige Kosten	EUR	-	-

Die Kosten für die Nachrüstung der Sportboote mit Schmutzwassertanks haben die Eigentümer der Sportboote zu tragen. Die Ausstattung der Sportboothäfen bzw. -liegestellen mit entsprechender Infrastruktur zum Abpumpen und zur Entsorgung von Bordabwasser und Schiffsabfällen ist durch die zuständigen Kommunen, Eigentümer bzw. Betreiber der Stationen bereitzustellen.

IV.2.5 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

IV.2.6 Mögliche Konflikte

In Schadensfällen, in denen der Einsatz der Feuerwehr zur Beseitigung von Ölverschmutzungen erforderlich wird, ist durch die zuständige Wasser- bzw. Verkehrsbehörde festzustellen, ob der Verursacher für die Kosten der Ölbekämpfungsmaßnahme zur Verantwortung zu ziehen ist.

IV.2.7 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

Seit Inkrafttreten der „Zweiten Verordnung zur Änderung umweltgerechter Vorschriften in der Schifffahrt“ im April 2008 bestehen auf der Ostsee die Pflicht zum Aushang der Müllentsorgungsregeln sowie Vorschriften zur Aus- und Nachrüstungspflicht der Schiffe mit Fäkalienrückhaltesystemen. Diese Vorschriften erwuchsen aus dem internationalen Meeresschutzabkommen MAPROL (Anlage V) und gelten für alle Schiffe einer Länge von über 12 m. Eine Befreiung von der Nachrüstungspflicht mit einem Toilettensystem ist für Schiffe älteren Baujahr möglich (Dobrindt & Hendricks, 2014).

IV.2.8 Literatur

- **Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.** (2. August 2011). BUND-Stellungnahme zur Bundestagsinitiative "Infrastruktur und Marketing für den Wassertourismus". Abgerufen am 29. November 2016 von Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: https://www.wsv.de/aktuelles/stellungnahmen/anlagen/Stellungnahme_BUND.pdf#page=1&zoom=auto,-82,848
- **Das Europäische Parlament und der Europäische Rat.** (23. Oktober 2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. (N. Fontaine, & J. Glavany, Hrsg.) Luxemburg. doi:http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF
- **Deutscher Bundestag.** (4. August 2016). Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. August 2016 (BGBl. I S. 1972) geändert worden ist, BGBl. I. Bundesrepublik Deutschland. Abgerufen am 29. November 2016 von https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html#BJNR258510009BJNG001900000
- **Dobrindt, A., & Hendricks, B.** (13. August 2014). Dritte Verordnung zur Änderung umweltrechtlicher Vorschriften in der Seeschifffahrt vom 13. August 2014. Berlin, Bundesrepublik Deutschland: Bundesanzeiger Verlag. Abgerufen am 29. November 2016 von http://www.bsh.de/de/Schifffahrt/Sportschifffahrt/Berichtigungsservice_NfS/Schifffahrtsvorschriften/2014/Beilage37-2014.pdf
- **GICON Freiberg.** (Dezember 2015). Vorsorgeplan Schadstoffunfallbekämpfung Bekämpfungshandbuch. VPS.system Bekämpfungshandbuch. Freiberg, Sachsen, Deutschland. Abgerufen am 12. September 2016 von https://www.vpsserver2.de/vpsweb/vps_info/vps_info_de/vps_system/handbuch_de.aspx
- **Gröner, K., & Hübner, K.** (2011). Hütte Umweltschutztechnik. Berlin: Springer.
- **Hohn, S.** (2016). Wassersportlotse. Der Wassersportführer für Deutschland. (S. Hohn, Herausgeber) Abgerufen am 30. November 2016 von [www.wassersportlotse.de](http://www.wassersportlotse.de/gebiet/1): <http://www.wassersportlotse.de/gebiet/1>
- **Schulz, M., & Leskevicius, V.** (20. November 2013). Richtlinie 2013/53/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 20. November 2013 über Sportboote und Wassermotorräder und zur Aufhebung der Richtlinie 94/25/EG. Straßburg.
- **Staatliche Feuerweherschule Würzburg.** (Mai 2000). Merkblatt Ölwehr auf Binnengewässern. Abgerufen am 12. September 2016 von http://www.sfs-w.de/lehr-und-lernmittel/merkblaetter-broschueren/gefaehrliche-stoffe.html#_
- **Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.** (9. Juni 2016). Wir über uns. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. (G. W. Schifffahrt, Herausgeber) Abgerufen am 28. November 2016 von Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: http://www.wsv.de/Wir_ueber_uns/

V. UMSETZUNG IM GEWÄSSERUMLAND

V.1 Reduzierung des Keimeintrags aus der Ansammlung von Wasservögeln

V.1.1 Beschreibung

Eine Quelle der bakteriologisch-hygienischen Belastung von Oberflächengewässern sind die in der Nähe des Gewässers ansässigen Wasservögel (überwiegend Enten, Gänse, Schwäne). Keime und Nährstoffe werden in Form von Kot bzw. Futtermittelresten eingetragen oder als organische Verbindungen bei der Futtersuche der Tiere im flachen Wasser freigesetzt. Insbesondere in Stadtgebieten werden Wasservögel durch die Fütterung durch Menschen und angelockt. Das zusätzliche, leicht zugängliche Nahrungsangebot und das Fehlen natürlicher Fressfeinde führen zu einer starken Vermehrung der Tiere. Mit dem Wachstum der Vogelpopulation erhöht sich auch das Risiko des Eintrags pathogener Keime in das Badegewässer. Die Gewässerbelastung, die von einer einzelnen Ente ausgeht, ist rechnerisch als äquivalent zur Belastung durch sechs Menschen anzusehen (*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002*). Viele Tiere werden zudem von dem flachen Gelände der Liegewiesen angezogen, die sich durch ihre gute Übersichtlichkeit auszeichnen und als Äsungsfläche eine attraktive Nahrungsquelle darstellen.

Bayrische Studien mit Wasservögeln zeigten den Anstieg der Stickstoff- und Phosphorkonzentration im Gewässer infolge des Eintrags von Vogelkot. Es konnte belegt werden, dass der Nährstoffeintrag in Form von Ammonium und Phosphat zunächst das Wachstum der Makrophyten begünstigte. Sobald der komplette Teich flächendeckend von den Pflanzen bewachsen war, wurde keine weitere Eutrophierung des Gewässers festgestellt, da die Makrophyten die freigesetzten Nährstoffe aufnahmen. Die Untersuchung verschiedener Oberflächengewässer zeigte keine signifikante Beeinflussung der Wasserqualität durch die Ansammlung von Wasservögeln. Durch ihre Selbstreinigungsleistung sind Gewässer in der Lage, eingetragene Verunreinigungen bis zu einem bestimmten Grad zu kompensieren. Der Einfluss von Vogelgruppen auf die Badewasserqualität eines Gewässers ist daher deutlich geringer als vielfach angenommen (*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002*). Die gesundheitlichen Risiken, die auf eine hygienische Verunreinigung des Wassers zurückzuführen sind, stehen in Abhängigkeit zur Konzentration der Keimbelastung. Damit sind sie abhängig von der Menge des eingetragenen Vogelkots und der Gewässergröße (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*).

Die je Wasservolumen tragbare Anzahl an Vögeln variiert in Abhängigkeit von Typ und Nährstoffgehalt des Gewässers.

Während Fäkalbakterien im uferfernen Freiwasserbereich, dem Pelagial, eine sehr geringe Überlebensfähigkeit haben, ist ihre Überlebensdauer im Sediment deutlich länger. Forscher wiesen im Sediment die Anreicherung und Vermehrung des Indikatorbakteriums *Escherichia coli* nach. Das Aufwirbeln des Sediments durch Badende oder gründelnde Wasservögel kann zur erneuten Freisetzung sedimentierter Keime führen und eine Sekundärbelastung des Gewässers bewirken (*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002*).

Eine bayrische Studie mit verschiedenen Wasservogelarten zeigt, dass die Belastung eines Gewässers durch die Tiere stark von der Zusammensetzung der ansässigen Vogelarten, der Dichte der Vogelpopulation sowie von Verhalten, Futterzusammensetzung, Stoffwechselaktivität und Jahresrhythmus der Tiere beeinflusst ist (*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002*). Während Enten vorwiegend ins Wasser ausscheiden, geben Gänse nur etwa 25 % ihres Kots ins Wasser ab. Die durchschnittliche fäkale Belastung der Fäzes von Stockenten wurde in der Studie mit 10^4 - 10^5 fäkalen Bakterien pro g Trockenkotgewicht quantifiziert (*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002*). Die durchschnittliche Kotmasse je Tier und Tag

schwankte je nach Art und Größe der Vögel zwischen 1 und 30 g Trockengewicht. Über den artspezifischen Anteil der direkt ins Gewässer abgesetzten Kotmenge liegen keine verlässlichen Angaben vor. In einer „worst case“-Betrachtung ist von einer einhundertprozentigen Ausscheidung ins Wasser auszugehen (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*).

Insbesondere während hochsommerlicher Hitzewellen gelangen über die Fäzes von Enten Parasiten (Zerkaarien) in die Gewässer, welche beim Befall des Menschen einen entzündlichen, stark juckenden Hausausschlag hervorrufen. Die Infektion mit Badedermatitis erfolgt ausschließlich über die Haut. Der Ausschlag heilt i.d.R. innerhalb von 20 Tagen folgenlos ab. Da es bei wiederholtem Kontakt zu einer verstärkten allergischen Reaktion kommen kann, wird Betroffenen empfohlen, das erneute Baden in demselben Gewässer zu vermeiden (*Brechthold, Wintergerst, & Butenandt, 1997*).

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Die wirksamste Maßnahme zur Reduzierung hygienischer Verunreinigungen durch die Ansammlung von Wasservögeln ist die Populationsregulierung vor Ort bzw. die Lenkung der Vogelpopulation in der Umgebung des Gewässers. Einzelne Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags von Vogelkot sind nachfolgend nach Methodikfeldern geordnet aufgeführt.

Verknappung des Nahrungsangebots

- Ein Fütterungsverbot für Wasservögel kann die Tiere in der Wahl ihres bevorzugten Aufenthaltsraumes beeinflussen. Die Attraktivität der Badebereiche sinkt für die Vögel, wenn die Fütterung durch Menschen ausbleibt. Eine wirkungsvolle Regulation der Wasservogeldichte kann durch Fütterungsverbote erzielt werden (*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002*).
- Das Verschließen von Mülleimern mit Deckeln (z.B. in der Nähe von Picknickbereichen oder Kiosken) erschwert Vögeln den Zugang zu Speiseresten und macht die Badestellen damit unattraktiver für Möwen und andere Vögel.

Lenkung der Vogelpopulation durch Flächenmanagement

- Mit Hilfe eines Flächenmanagementkonzepts werden die Vögel in der Wahl ihrer bevorzugten Aufenthaltsflächen gesteuert (Habitatpräferenz). Zu diesem Zweck werden den Vögeln im Abstrom der Badestelle geschützte Duldungs- und Äsungsflächen bereitgestellt, welche vogelfreundlich bewirtschaftet werden. Der Bereich der Badestelle wird als Vergrämungsfläche definiert, in dem die Wasservögel durch den Einsatz von Vergrämungsmaßnahmen wiederholt gestört und dadurch vertrieben werden.

Räumliche Gestaltung von Badestellen und Liegewiesen

- Insbesondere zur Zeit der Jungtieraufzucht bevorzugen Wasservögel für ihren Aufenthalt übersichtliche Flächen mit freiem Blick auf das Gewässer, um Beutegreifer frühzeitig zu erkennen und bei Bedrohung mit ihren Jungen rechtzeitig das Wasser erreichen zu können. Durch die Verbauung der Sicht kann die Nutzung der Flächen durch Enten und Gänse unterbunden werden. Das Anpflanzen von Hecken bzw. das Aufstellen undurchsichtiger Teichplanen reicht aus, um die Badestelle für die Tiere unübersichtlich zu gestalten (König, Kleinhenz, Hof, & Carstensen, 2013). Diagonal zur Wasserlinie verlaufende Hecken, Streifen aus hohem Gras oder die Anpflanzung von Büschen und Sträuchern können integriert werden, um die Verbauung ästhetisch anspruchsvoll zu lösen und für die Badegäste ein ansprechendes Raumkonzept umzusetzen.
- Durch die land- sowie wasserseitige Abgrenzung der Badestelle mit Zäunen bzw. Schwimmbarrrieren werden die Tiere von der Badestelle ferngehalten. Das Aussperren der Tiere verhindert die Kontamination des Erdreichs im Bereich der Liegewiese mit Vogelkot. Zudem werden im Badewasser kleinräumige Spitzen hygienischer Belastungen durch die Ausscheidung von Vogelkot im Badebereich unterbunden.

Vergrämung

- Die Vergrämung baut darauf auf, dass Vögel Orte, an denen sie wiederholt aufgeschreckt bzw. gestört wurden potenziell in der Zukunft meiden werden.
- Durch den Einsatz von Hunden oder Greifvögeln, die die Vögel aufscheuchen und vertreiben, jedoch nicht schlagen, werden die Tiere aus den betreffenden Bereichen vertrieben.

1.4 Leitfäden und Vorgaben

Laut Bundesnaturschutzgesetz ist es verboten, wild lebende Tiere zu stören, sie zu töten oder ihren Lebensraum zu zerstören (BNatSchG, 2016). Die Regelungen zum Schutz wildlebender Tiere werden durch Landesbestimmungen ergänzt.

V.1.2 Bemessung und Auslegung

2.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Fäkalbakterien (<i>E. coli</i> und Intestinale Enterokokken) im Vogelkot	Fäkalbakterien $1 \cdot \text{g TS}^{-1}$	$10^6 - 10^8$	-	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016
Fäkalbakterien (<i>E. coli</i> und Intestinale Enterokokken) im Kot von Stockenten bzw. Graugänsen	Fäkalbakterien $1 \cdot \text{g TS}^{-1}$	Stockente: $10^4 - 10^5$ Graugans: $10^7 - 10^8$	-	Bayerischer Landesamt für Wasserwirtschaft, 2002
Fäkalbakterieneintrag je 1.000 Wasservogel pro Tag	Fäkalbakterien (gesamt) $1 \cdot \text{d}^{-1}$	10^{10}	Kotmenge pro Vogel und Tag: 1 – 30 g Trockenmasse Verhältnis <i>E. coli</i> zu Intestinalen Enterokokken: 1:3 <u>Worst Case-Betrachtung:</u> 100 % Ausscheidung ins Gewässer	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016

Gegenwärtig sind in der Literatur keine belastbaren Angaben zu orts- sowie artspezifischen Gesundheitsrisiken verfügbar, die aus der Belastung durch Wasservögel und andere Wildtiere resultieren (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016). Eine Quantifizierung der Eintragsreduzierung pathogener Keime durch die Implementierung von Maßnahmen zum Management hygienischer Belastungen durch

Vogelgruppen ist daher immer abhängig von den lokalen Verhältnissen und sollte in einer Einzelfalluntersuchung erhoben und bewertet werden.

2.2 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Eine Gelegebehandlung, d.h. das Anbohren von Eiern bzw. ihr Austausch gegen Gipseier erweist sich insbesondere in urbanen Gebieten als wirkungsvolle Maßnahme zur Regulation von Vogelpopulationen. Sie ist in Deutschland allerdings nur im Rahmen wissenschaftlicher Forschungsprojekte und keinesfalls zur Bestandsreduktion genehmigungsfähig. Die Behandlung der Eier muss innerhalb von 14 Tagen nach Eiablage erfolgen. Es werden jeweils zwei Eier unbehandelt im Nest belassen, um dem Brutpaar einen Bruterfolg zu lassen und sie von der Nachbrut abzuhalten (*König, Wasservogel-Management in urbanen Gebieten: Modellgebiet München, 2010*). Ornithologen und Tierschützer kritisieren, dass das Anstechen der Eier oft nicht klappt. In Folge dessen kommt es zur Schädigung der Embryonen im Ei und zum Schlupf fehlgebildeter Küken (*Fuchs, 2010*).

V.1.3 Größenordnung der Eintragsreduzierung

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	-
Intestinale Enterokokken	-	-	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-

Der Eintrag coliformer Bakterien und fäkaler Enterokokken aus Vogelgruppen bzw. Brutkolonien schwankt signifikant in Abhängigkeit von der Dichte der Wasservogelpopulation und ihrer Struktur. Eine belastbare Quantifizierung der Eintragsreduzierung aus Vogelkolonien, die sich aus der Umsetzung diverser Maßnahmen ergibt, ist daher nicht möglich. Es sind unter Berücksichtigung der lokalen Begebenheiten Maßnahmenkombinationen zu finden, die in ihrem jeweiligen Umfang standortspezifisch anzupassen sind.

V.1.4 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	200 - 500 EUR je Schild	Hinweistafeln zu Fütterungsverbot von Wildvögeln bzw. Verbot des Betretens der Äsungsflächen durch den Menschen (200,00 - 500,00 EUR/St.); Geringere Kosten bei Kombination verschiedener Hinweise auf einer Tafel möglich. Aufstellung der Hinweisschilder jeweils an Zuwegen der Badestelle bzw. der Äsungsflächen.	-
		Verschließbare Abfallsammelbehälter	-
		Pflanzen von Hecken zur unübersichtlichen Gestaltung der Badestelle	-
		Aufstellen von Teichplanen als Sichtschutz	-
		Zäunung der Badestelle	-
		Anbringen einer Schwimmbarriere	-
		Energiekosten	EUR

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel. Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR	Ausbesserung von Zäunen und Schwimmbarrieren	-
Personalkosten	EUR p.a.	Monitoring der Wasservogelpopulation im Gebiet des Badegewässers zur Erkennung der Trendentwicklung innerhalb der Populationen (wöchentliche Synchronzählung)	<i>König, 2010</i>
		Vogelfreundliche Bewirtschaftung der Duldungs- und Äsungsflächen (Mähen der Wiesen)	-
		Pflege der Grünanlage (Schnitt der Hecken und Sträucher, Mähen der Rasenflächen etc.)	-
Sonstige Kosten	EUR	Bereitstellung von Duldungs- und Äsungsflächen	-

V.1.5 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

V.1.6 Mögliche Konflikte

Viele Bürger wertschätzen die Anwesenheit verschiedener Wasservogelarten an Gewässern und schreiben den Gewässern einen erhöhten Erlebnis- bzw. Erholungswert zu, wenn sie in ihrer Freizeit Wildvögel füttern können. Familien mit Kindern nutzen die Fütterungen, um eine positive Beziehung zur Natur und wildlebenden Tieren aufzubauen, während der Kontakt zu den Tieren für ältere Menschen oftmals eine soziale Komponente umfasst.

Maßnahmen, die zur Regulierung der Wildvogelpopulation dienen, können sich auch auf anderer Tier- und Pflanzenarten bzw. deren Lebensräume auswirken und ihren Schutz gefährden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ungestörte Brutbereiche mit dem Ziel der Gelegebehandlung der Nester bestimmter Arten betreten werden.

Maßnahmen der Verbauung, die den Vögeln die Übersicht im Gelände nehmen sollen, bergen ein Sicherheitsrisiko für Familien, die die Badegewässer gemeinsam mit ihren Kindern besuchen, da auch sie vom Land aus Schwierigkeiten bei der Beaufsichtigung ihrer Kinder bekommen (*König, Kleinhenz, Hof, & Carstensen, 2013*).

Die Jagd wird als ungeeignet für die Populationskontrolle kritisiert, da die Vögel unselektiv, d.h. ohne Berücksichtigung der Gruppenstruktur der Vogelansammlung im Hinblick auf Alter, Geschlecht und Familienzusammensetzung, getötet werden. Eine dauerhafte Reduzierung der Bestände ist so nicht möglich (*Stadtrat der Landeshauptstadt München, 2005*). Zudem lehnt ein großer Teil der Bevölkerung die Jagd als Maßnahme zur Populationskontrolle ab, sofern der Einsatz anderer, nicht-letaler Maßnahmen möglich ist. Die DWA stuft die gezielte Dezimierung der Wasservogelbestände als ökologisch nicht vertretbar ein (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*).

Als Duldungs- oder Äsungsflächen sollten nach Möglichkeit Flächen ausgewählt werden, die sich im Eigentum der zuständigen Wasserwirtschaftsverwaltung liegen, da die Nutzungsinteressen privater Eigentümern oft mit den Zielen des Flächenmanagementkonzepts zum Management von Wasservögeln im Konflikt stehen (*König, Kleinhenz, Hof, & Carstensen, 2013*).

V.1.7 Mögliche Umsetzungsbeispiele

Am Lerchenauer See, einem Baggersee im Norden Münchens, gibt es seit den 1990er Jahren ein strenges Fütterungsverbot für Enten und Schwäne. Zur Reduzierung des Pflanzenwachstums wird im Rahmen der Gewässerunterhaltung zudem regelmäßig ein Mähboot eingesetzt, um Wasserpflanzen zu schneiden und das Mähgut aus dem Gewässer zu entfernen (*Schnetzer, 2016*). Weitergehende Informationen zur Unterwassermahd sind dem *Konzept zur Mahd von Unterwasserpflanzen am Chiemsee* zu entnehmen (*Wasserwirtschaftsamt Traunstein, 2015*).

König et al. entwickelten für Bayern ein Flächenmanagementkonzept für Wildgänse. Es werden im Abstrom von Badestellen und Liegewiesen geschützte Duldungs- bzw. Äsungsflächen eingerichtet, auf denen die Tiere sich ungestört aufhalten können. Ergänzend werden Maßnahmen zur Abhaltung (z.B. Zäunung von Erholungsflächen, Errichtung von Schwimmbarrieren vor Stränden) bzw. Vergrämung der Gänse von Flächen (Vergrämung durch Greifvögel oder Jagd) umgesetzt. Komplettiert wird die Strategie zur Reduzierung hygienischer Belastungen durch den Eintrag von Vogelkot durch weitergehende Maßnahmen zur Populationskontrolle durch Bejagen, Abhalten von Brutflächen oder die Entnahme von Eiern (*König, Kleinhenz, Hof, & Carstensen, 2013*).

V.1.8 Literatur

- **Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.** (2002). Bakteriologisch-hygienische Beeinflussung von Oberflächengewässern durch Wasservögel. München.
- **Brechthold, S., Wintergerst, U., & Butenandt, O.** (November 1997). Badedermatitis durch Zerkarien. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 145(11), S. 1170-1172. doi:10.1007/S001120050214
- **Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.** (Juni 2016). Merkblatt DWA-M 624. Risiken an Badestellen und Freizeitgewässern aus gewässerhygienischer Sicht. 64. (A. u. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Hrsg.) Hennef.
- **Fuchs, F.** (22. März 2010). Krieg den Gänsen. (S. Z. GmbH, Hrsg.) Abgerufen am 30. September 2016 von Süddeutsche Zeitung: <http://www.sueddeutsche.de/muenchen/2.220/tierische-plage-krieg-den-gaensen-1.24596>
- **Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege** (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG). (4. August 2016). Abgerufen am 27. September 2016 von https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf
- **König, A.** (2010). Wasservogel-Management in urbanen Gebieten: Modellgebiet München. Freising: Verlag Kessel. Abgerufen am 27. September 2016 von <http://www.forstbuch.de/KoenigWasservoegelLeseprobe.pdf>
- **König, A., Kleinhenz, A., Hof, C., & Carstensen, N.** (2013). Ökologie und Management von Wildgänsen in Bayern. Freising.
- **Schnetzer, S.** (2016). München mit Kind. (7alps - Online Marketing) Abgerufen am 28. September 2016 von Lerchenauer See: <http://www.muenchen-mit-kind.de/lerchenauer-see>
- **Stadtrat der Landeshauptstadt München.** (19. Juli 2005). Dezimierung der Wasservögel an den Seen im Münchener Norden. (S. d. München, Hrsg.) München. Abgerufen am 30. September 2016 von <https://www.ris-muenchen.de/RII/RII/DOK/SITZUNGSVORLAGE/680041.pdf>
- **Wasserwirtschaftsamt Traunstein.** (19. Mai 2015). Flüsse und Seen. Maßnahmen. Abgerufen am 28. September 2016 von Wasserwirtschaftsamt Traunstein: http://www.wwa-ts.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/dat/maehkonzept_chiemsee.pdf

V.2 Reduzierung des Keimeintrags aus Hundekot

V.2.1 Beschreibung

Laut Verbands für das Deutsche Hundewesen leben in 8,9 % der Haushalte in Deutschland insgesamt rund fünf Millionen Hunde (*Verband für das Deutsche Hundewesen, 2016*). Neben verschiedenen Vorteilen für die körperliche sowie psychische Gesundheit bringt das Zusammenleben mit Hunden das Risiko der Übertragung von Krankheitserregern vom Hund auf den Menschen mit sich. Infolge von Niederschlagsereignissen werden pathogene Keime aus Hundekot im Einzugsgebiet in Badegewässer eingetragen. Als Verunreinigung von Boden und Wasser stellen sie ein Gesundheitsrisiko für die Badenden dar.

In einer deutschen Studie wurden in 30,4 % der untersuchten Kotproben von 24.677 Hunden diverse Endoparasiten nachgewiesen. Der Parasitenbefall von Hundewelpen im Alter von bis zu sechs Monaten war signifikant höher (*Barutzki & Schaper, 2011*). In einer finnischen Studie wiesen Rimhanen-Finne et al. Parasiten in Kotproben von Hunden nach, welche keinerlei äußerlich erkennbare Krankheitsanzeichen zeigten (*Rimhanen-Finne et al., 2007*). Zu den am häufigsten vom Hund auf den Menschen übertragenen Erkrankungen, den sogenannten Zoonosen, gehören u.a. Durchfallerkrankungen (*Grandiose, Cryptosporidiose, Salmonellose, Campylobacteriose*), Wurmerkrankungen (*Hundespulwurm Toxocariasis, Larva migrans visceralis, Hundebandwurm Zystische Echinokokkose, Kleiner Fuchsbandwurm Alveoläre Echinokokkose*) sowie Erkrankungen der Haut (*Mikrosporidie, Trichophytie, Räude*) (*Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin, 2015*). Eine ausführliche Auflistung mit Beschreibungen der wichtigsten virus-, bakterien-, pilz- und parasitenbedingten Zoonosen im Zusammenhang mit der Heimtierhaltung liefert ein Artikel des Robert Koch-Instituts (*Weber & Schwarzkopf, 2003*). Die am häufigsten bei Hunden gefundenen Parasiten sind Giardien (18,6 %) und Hundespulwürmer (6,1 %), welche beide auch zur Infektion des Menschen führen können. Die zuvor genannten Krankheitserreger gelangen mit dem Kot der Tiere in die Umwelt, in der sie bei günstigen Bedingungen teils mehrere Monate überleben können (*Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin, 2015*). Das Fell von Hunden kann zudem mit pilzlichen Erregern kontaminiert sein, welche ebenfalls indirekt über die Kontamination des Badewassers auf den Menschen übertragen werden können (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*).

Die routinemäßige Beprobung zur Überwachung der Badewasserqualität beschränkt sich bei den mikrobiologischen Parametern auf die Untersuchungen auf *Intestinale Enterokokken* und *Escherichia coli*. Beide sind Indikatororganismen für fäkale Belastungen und geben als solche einen Hinweis auf die mögliche Kontamination mit weiteren Bakterien, Viren und Parasiten.

In Hundekot enthaltene Mikroorganismen gelangen über den Eintragspfad des Oberflächenabflusses aus dem Einzugsgebiet in Badegewässer. Der Eintrag von Krankheitserregern ist nach Starkregenereignissen sowie bei Tauwetter besonders hoch. Eine erhöhte hygienische Belastung geht dabei von Eintragsquellen mit einer geringen Distanz zum Gewässer aus. Die Kontamination von Boden und Wasser stellt in besonderem Maße ein Infektionsrisiko dar, da sie für den Badenden nicht mit dem Auge erkennbar ist und Badende daher i.d.R. bewusst keine hygienischen Maßnahmen zum Infektionsschutz einleitet (*Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin, 2015*).

Die Krankheitsübertragung auf den Menschen kann direkt durch den Kontakt mit Hunden oder indirekt über den Kontakt mit durch Kot kontaminiertem Boden oder Wasser erfolgen. Insbesondere Kinder sind durch ihr noch fehlendes Hygienebewusstsein beim Spielen am Ufer oder im Flachwasser besonders von der Ansteckung gefährdet (*Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin, 2015*).

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Die Reduzierung des Eintrags von Hundekot ist einzig durch die konsequente Vermeidung von Kot im Bereich von Badestellen und Liegewiesen zu erreichen (*Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin, 2015*). Zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken empfiehlt die DWA in ihrem Merkblatt M-624 das Verbot der Mitnutzung von Badestellen und Liegewiesen durch Hunde und die Anleinplicht der Tiere auf Spazierwegen in der Nähe frei zugänglicher Badestellen (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*). Ein Mitnahmeverbot für Hunde in ausgewiesenen Badebereichen sowie an Stränden und in Ufernähe verhindert den Eintrag von Kot und die damit einhergehende mikrobielle Verunreinigung des Gewässers. Die Ausweisung spezieller Hundestrände im Abstrom ausgewiesener Badestellen ist im Rahmen eines Risikomanagementansatzes im Einzelfall zu prüfen.

Hundehalter, die den Kot ihrer Tiere auf öffentlichen Plätzen nicht unverzüglich und vollständig beseitigen, begehen eine Ordnungswidrigkeit. Sie können von der zuständigen kommunalen Ordnungsbehörde ein Bußgeld in einer Höhe von bis zu 1.000 EUR auferlegt bekommen. Bei der Festlegung der Bußgeldhöhe ist stets der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren. Die Sätze liegen i.d.R. zwischen zehn und 150 EUR. Bei wiederholten Verstößen können höhere Sätze angesetzt werden (*Verband für bürgernahe Verkehrspolitik e.V., 2016*). Hinweistafeln, welche an den Zugangsstellen beliebter Hundeauslaufflächen aufgestellt werden, sollen Hundehalter an ihre Entsorgungspflicht erinnern und auf mögliche Bußgelder bei Verstößen hinweisen. Die Beschilderung bewirkt zudem die Sensibilisierung der Bürger für gesundheitliche Risiken. Medienwirksame Aufklärungskampagnen zur regelmäßigen Entwurmung von Hunden können als Element der Risikoprävention die Gesundheit der Haustiere stärken und die Ausbreitung von Parasiten eindämmen. Empfehlungen zur gesundheitlichen Vorsorge bei Hunden und Katzen bietet u.a. die europäische Vereinigung von Veterinärparasitologen (ESCCAP) (*European Scientific Counsel Companion Animal Parasites, 2013*).

Um eine flächendeckende Entsorgung von Hundekot zu erzielen, ist es sinnvoll an beliebten Hundeauslaufstrecken geeignete Spender für Hundekotbeutel sowie zugehörige Sammelbehälter für das Aufsammeln und die Entsorgung bereitzustellen. Diese können die Erfassungs- und Entsorgungsquote von Hundekot in öffentlichen Bereichen signifikant erhöhen und unerwünschte Umwelteinträge von Hundekot sowie benutzten Kotbeuteln reduzieren. Die verbesserte Sichtbarkeit farbiger Kotbeutel erhöht nachweislich die Hemmschwelle der Hundehalter, benutzte Beutel unsachgemäß, etwa in Gebüsch am Wegesrand, zu entsorgen (*Krämer, 2016*).

1.4 Leitfäden und Vorgaben

Es obliegt Ländern, Städten und Kommunen, das Halten sowie Führen von Hunden in Form von Gesetzen bzw. Vorordnungen zu regulieren. Im Rahmen dieser Rechtsvorschriften können Leinenpflichten oder Mitnahmeverbote für bestimmte Gebiete bzw. Gebietstypen angeordnet werden. Die Vorschriften sind durch die zuständigen Behörden umzusetzen bzw. zu kontrollieren.

V.2.2 Bemessung und Auslegung

2.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Belastung des Hundekots mit Kryptosporidien (Oozysten)	Oozysten $1 \cdot g^{-1}$	10^5	Positiv auf Kryptosporidien getestete Hunde: 5 % (n = 150) 17 % (bei Hunden < 12 Monate)	Rimhanen-Finne et al., 2007
Belastung des Hundekots mit Giardia-Zysten	Zysten $1 \cdot g^{-1}$	10^4	Positiv auf Giardien getestete Hunde: 5 % (n = 150) 19 % (bei Hunden < 12 Monate)	Rimhanen-Finne et al., 2007
Belastung des Hundekots mit <i>Escherichia coli</i>	KBE $\cdot g^{-1}$	$2,3 \cdot 10^6$	-	Guderian & Gunkel, 2000
Belastung des Hundekots mit fäkalen Streptokokken	KBE $\cdot g^{-1}$	$9,8 \cdot 10^8$	-	Guderian & Gunkel, 2000
Ausgeschiedene Kotmasse je Tier und Tag	% des Körpergewichts	3,0	-	Pfeiffer, 1983

Die Menge des abgesetzten Kots pro Tag und Tier variiert in Abhängigkeit von Alter, Stoffwechselaktivität und Körpergröße des Hundes. Die täglich abgesetzte Kotmenge eines Hundes beträgt durchschnittlich 3 % des Körpergewichts. Bei einem angenommenen Körpergewicht von 9 kg bei einem mittelgroßen Hund entspricht dies 270 g Kot pro Tier und Tag (Pfeiffer, 1983). Eine finnischen Studie wies bei Welpen im Alter von unter zwölf Monaten häufiger einen Befall mit den Parasiten Kryptosporidien und Giardien nach, als bei adulten Tieren (Rimhanen-Finne et al., 2007). Guderian & Gunkel beziffern die mittlere Keimbelastung von Hundekot mit rund $2,3 \cdot 10^6$ KBE/g Frischmasse für *E. coli* und $9,8 \cdot 10^8$ KBE/g Frischmasse für fäkale Streptokokken (Guderian & Gunkel, 2000). Auch badende Hunde selbst bergen ein zusätzliches Verschmutzungsrisiko für die Gewässer, da sie Parasiten auf der Haut bzw. im Fell tragen können (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016).

Der Umfang sowie die Kombination verschiedener Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags von Hundekot orientieren sich an der Risikoeinschätzung für die einzelne Badestelle und sind jeweils abgestimmt auf den Einzelfall festzulegen. Das Risiko der Belastung des Badegewässers durch Hundekot ist von der Stärke der Frequentierung des Gebiets durch Hundehalter sowie die Größe der Einzugsfläche abhängig. Das Belastungsrisiko steigt mit der Anzahl der im Gebiet ausgeführten Hunde pro Tag.

Die Ausstattung einzelner Flächen mit Hinweisschildern, Hundekotsammelbehältern und Tütenspendern zur Beseitigung von Hundekot ist entsprechend der räumlichen Gestaltung der Fläche individuell festzulegen. Die Hinweisschilder sind gut sichtbar an den Zugängen zum Gelände aufzustellen, um alle Besucher und Badegäste auf die Anleinplicht bzw. das Mitnahmeverbot von Hunden hinzuweisen. Spender für Hundekotbeutel und Abfallsammelbehälter sind ebenfalls an den Zugängen zum Gelände sowie im weitläufigen Gelände zusätzlich in zumutbaren Abständen zueinander flächig verteilt aufzustellen, um eine möglichst hohe Erfassungsquote

des Hundekots im Gebiet zu erreichen. Der Umwelteintrag der Beutel kann durch die Optimierung der Standorte von Abfallsammelbehältern auf ein Minimum reduziert werden (Krämer, 2016).

2.2 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Ein Ziel des gesundheitsbezogenen Umweltschutzes ist es, Hundekot möglichst komplett durch die verantwortlichen Hundehalter aufsammeln und entsorgen zu lassen. Rund 97 % der Halter verwenden hierzu Beutel aus dem Kunststoff Polyethylen (kurz PE). Das Material dieser Beutel ist biologisch nicht abbaubar und daher als problematisch anzusehen, wenn es in die Umwelt und in die Gewässer eingetragen wird. Aufgrund der geringen Materialdicken sind Kotbeutel aus PE mechanischen Beanspruchungen, wie z.B. der Einwirkung von Wind, gegenüber sehr empfindlich. Das Material begünstigt daher die Zerkleinerung zu Mikroplastik und verbleibt als unsichtbarer Abfall in der Umwelt. Bei der Aufnahme durch Tiere ruft der Kunststoff schwere gesundheitliche Schädigungen hervor und trägt zur Gewässer- und Meeresverschmutzung bei. Es wird daher empfohlen, bei der Auswahl der verwendeten Materialien auf eine gute biologische Abbaubarkeit unter den hiesigen Temperatur- und Klimabedingungen zu achten, um die Zersetzung der Tüten bei dem nicht gänzlich vermeidbaren Eintrag in die Umwelt zu gewährleisten (Krämer, 2016).

Eine medienwirksame Aufklärungskampagne mit dem Aufruf zur regelmäßigen Entwurmung von Hunden geht über die gewöhnliche Stadthygiene hinaus. Die Koordinierung der Aufklärungsarbeit kann bei Bedarf durch Hundehalterverbände oder die zuständigen Veterinärämter geleistet werden. Einrichtungen wie Tierarztpraxen oder Hundeschulen könnten hierbei als Multiplikatoren die Hundehalter direkt ansprechen und Informationsmaterialien herausgeben.

V.2.3 Größenordnung der Eliminationen

Parameter	log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	-
Intestinale Enterokokken	-	-	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-

Der Eintrag coliformer Bakterien und fäkaler Enterokokken aus Hundekot schwankt signifikant in Abhängigkeit der Frequentierung der an das Gewässer angrenzenden Flächen durch Hundehalter und ist zudem abhängig von der Größe der Flächen. Eine belastbare Quantifizierung der Eintragsreduzierung, die sich aus der Vermeidung des Eintrags von Hundekot ergibt, ist daher nicht möglich. Es ist unter Berücksichtigung der lokalen Begebenheiten eine Risikobewertung der angrenzenden Flächen vorzunehmen, auf deren Basis Flächen mit besonders hohen Verschmutzungsrisiken identifiziert und standortspezifische Maßnahmenkombinationen abgeleitet werden können.

V.2.4 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Größenordnung pro Fläche des Einzugsgebiets. Alle Kosten angegeben in EUR.			
Investitionskosten			
Sachkosten (einmalig für die Erstellung)	200 - 500 EUR je Schild	Aufstellen von Hinweistafeln zur Leinenpflicht: 200-500 EUR je Schild; Geringere Kosten bei Kombination verschiedener Hinweise auf einer Tafel	-
	1.100 EUR p.a. je Behälter	Aufstellen von Hundekotsammelbehältern inkl. Entleerung und Unterhaltung (umfasst Aufstellung, Unterhaltung, Entleerung und Entsorgung, Personalkosten, Fahrzeug und Geräte der Stadtreinigung, Betriebsstoffe, Reparaturen, Kommunikation) 1.100 EUR p.a. je Behälter (hier Anschaffung von 60 Behältern im Stadtgebiet Esslingen am Neckar)	Lauschke, 2014
	221,33 EUR je Behälter	Aufstellen von Hundekotsammelbehältern (Lieferung inkl. Montage; hier Anschaffung von 60 Behältern im Stadtgebiet Esslingen am Neckar)	Lauschke, 2014
	EUR	Spender zur Ausgabe kostenloser Hundekotbeutel	-
	EUR	Einrichten ausgewiesener Hundefreilaufflächen (inkl. Aufstellen eines Zauns und entsprechender Hinweisschilder)	-
Energiekosten	EUR	Es sind keine Maßnahmen vorgesehen, die Energiekosten verursachen.	-
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	0,5 - 8,0 ct je Beutel	Ausgabe von Hundekotbeuteln durch Bürgerbüros/Stadtverwaltungen bzw. durch Spender Anschaffungskosten der Hundekotbeutel <u>Herkömmlicher Kunststoff</u> (Polyethylen; nicht biologisch abbaubar) <u>Biokunststoff</u> (biologisch abbaubar) <u>Papier</u> (biologisch abbaubar)	Krämer, 2016
		0,5 – 1,3 ct je Beutel	
		ab 1,7 ct je Beutel	
		ab 8,0 ct je Beutel	
Personalkosten	EUR	Kontrollen zur Durchsetzung der Hundehalterpflichten durch das Ordnungsamt	-
Sonstige Kosten	EUR	Konzeption und Durchführung von Aufklärungskampagnen zur Gesundheitsprävention bei Hunden	-

V.2.5 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

V.2.6 Mögliche Konflikte

Das zu erwartende Konfliktpotenzial, welches sich aus der Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen seitens der Bürger ergibt, ist als gering zu betrachten. In allen Bereichen des öffentlichen Lebens bestehen Regelungen zum Führen sowie zur Mitnahme von Hunden. Die Durchsetzung einer Anleinplicht bzw. eines Mitnahmeverbotes in bestimmten Bereichen kann Hundehalter geringfügig in ihrer Bewegungsfreiheit und in der freien Wahl ihres Aufenthaltsortes einschränken. Diese Einschränkungen sollten durch das Angebot alternativer, hundefreundlicher Flächen im Abstrom der ausgewiesenen Badestelle kompensiert werden.

Die Kostenübernahme für die Einrichtung sowie den Betrieb des Systems zur Erfassung von Hundekot kann über die Straßenreinigungsbetriebe oder die zuständigen Ämter für Grünflächenmanagement erfolgen.

Das Verhängen von Bußgeldern bei Verstößen gegen die Anleinplicht oder die Verpflichtung zur unverzüglichen Entsorgung des Hundekots obliegt den zuständigen Ordnungsbehörden. Zusätzliche Kontrollen der Hun-

dehalter erfordern einen erhöhten Personalaufwand. Sie sind jedoch ein zentraler Erfolgsfaktor für die Reduzierung des Eintrags von Hundekot, da sie das Bewusstsein der Hundehalter für ihre Pflichten stärken und damit maßgeblich die Erfassungsquote erhöhen können.

V.2.7 Mögliche Umsetzungsbeispiele

Im Rahmen des umweltbezogenen Gesundheitsschutzes wird vielerorts ein Mitnahmeverbot von Hunden bei der Benutzung von Badestellen und Liegewiesen ausgesprochen. So soll die Übertragung von Wurm- und Durchfallerkrankungen sowie von Erkrankungen der Haut von Hunden auf Menschen (Zoonosen) vermieden werden. An den Berliner EU-Badegewässern Schlachtensee und Krumme Lanke wurde 2015 durch die Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales das Mitnahmeverbot von Hunden ausgesprochen. Seitdem sind Hunden der Zugang zum See sowie das Baden ausdrücklich nicht mehr gestattet. Anlass für das Verbot war die massive Nutzung der Badegewässer durch Hundebesitzer und ihre Hunde und die damit einhergehende hygienische Belastung von Wasser und Boden (*Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin, 2015*). Eine Bewertung des Erfolgs dieser Maßnahme seitens des Landesamts für Gesundheit und Soziales liegt zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vor.

Im November 2007 führten die Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) im Rahmen eines Pilotprojekts in den Bezirken Tempelhof-Schöneberg und Charlottenburg-Wilmersdorf das Hundekot-Entsorgungssystem *Dog Service* der Wall GmbH ein. In Berlin wurden 50 Säulen aus pulverbeschichtetem Aluminium, Edelstahl und Acrylglas aufgestellt. In die Säulen sind Spender für die kostenlose Ausgabe von Papptüten integriert. Die ausgegebenen Tüten sind aus Recycling-Material hergestellt und verfügen über eine integrierte Schaufelfunktion zur hygienischen Aufnahme von Hundekot. Die Entsorgung der Tüten erfolgt in einem geruchversiegelten Abfallsammelbehälter im unteren Teil der Stele. Die Bedienung erfolgt ohne Hautkontakt per Fußpedal. Eine Bedienungsanleitung sowie ein Hinweis auf die Entsorgungspflicht sind gut sichtbar auf Augenhöhe platziert (*Wall GmbH, 2016*). Die Entleerung, Reinigung und Wartung übernehmen wahlweise die Stadtreinigungsbetriebe oder die Wall GmbH (*Berliner Stadtreinigungsbetriebe, 2007*). Die in Berlin aufgestellten *Dog Stations* gehören zum Stadtmöblierungs-Sortiment der Wall GmbH und werden der BSR kostenfrei inkl. Reinigungs- und Wartungsservice zur Verfügung gestellt. Die Finanzierung erfolgt seitens der Wall GmbH durch die Vermarktung von Werbeflächen auf den Stadtmöbeln (*Wall GmbH, 2016*)

V.2.8 Literatur

- **Barutzki, D., & Schaper, R.** (August 2011). Results of Parasitological Examinations of Faecal Samples from Cats and Dogs in Germany between 2003 and 2010. *Parasitology Research*(109), S. 45-60. doi:10.1007/s00436-011-2402-8
- **Berliner Stadtreinigungsbetriebe.** (18. November 2007). Wall AG und BSR präsentieren "Dog Service". Abgerufen am 22. November 2016 von Berliner Stadtreinigungsbetriebe: <https://www.bsr.de/wall-ag-und-bsr-praesentieren-dog-service-22718.php>
- **Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.** (Juni 2016). Merkblatt DWA-M 624. Risiken an Badestellen und Freizeitgewässern aus gewässerhygienischer Sicht. 64. (A. u. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Hrsg.) Hennef.
- **European Scientific Counsel Companion Animal Parasites.** (2013). Basisvorsorge. Abgerufen am 23. November 2016 von European Scientific Counsel Companion Animal Parasites (ESCCAP): <http://www.esccap.de/start/>
- **Guderian, R., & Gunkel, G.** (2000). Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie (Bde. 3. Aquatische Systeme. B. Biogene Belastungsfaktoren, Organische Stoffeinträge, Verhalten von Xenobiotika). (G. Gunkel, Hrsg.) Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-642-57104-6
- **Krämer, A.** (Januar 2016). Hintergrundpapier Hundekotbeutel. (A. Krämer, Hrsg.) Abgerufen am 22. November 2016 von Hundekotbeutel - The Poop Bag Map: <http://www.poopmap.de/deutsch/hintergrundpapier/>
- **Lauschke, R.** (24. Juni 2014). Vorlage für den Ausschuss für Technik und Umwelt am 30.06.2014. Abgerufen am 28. November 2016 von Tiefbauamt. Stadt Esslingen am Neckar.
- **Pfeiffer, H.** (1983). Zur Kontamination von öffentlichen Grünanlagen und Kinderspielsand in Wien mit Dauerstadien humanpathogener Parasiten von Hund und Katze. (I. f. Wien, Hrsg.) *Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Tropenmedizin und Parasitologie*(5), S. 83-87. Abgerufen am 28. November 2016 von http://www.zobodat.at/pdf/MOGTP_5_0083-0087.pdf
- **Rimhanen-Finne et al.** (30. April 2007). Evolution of immunofluorescence microscopy and enzyme-linked immunosorbent assay of *Cryptosporidium* and *Giardia* infections in asymptomatic dogs. (E. B.V., Hrsg.) *Veterinary Parasitology*, 145(3-4), S. 345-348. doi:10.1016/j.vetpar.2007.01.008
- **Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales Berlin.** (13. Januar 2015). Informationen zu hygienischen Gründen für ein Mitnahmeverbot von Hunden an den EU-Badegewässern Schlachtensee und Krumme Lanke. Berlin. Abgerufen am 22. September 2016 von <https://www.berlin.de/suche/?q=Hundekot>
- **Verband für bürgernahe Verkehrspolitik e.V.** (2016). Bußgeldkataloge der einzelnen Bundesländer für Hundekot auf öffentlichen Plätzen. (V. f. Verkehrspolitik e.V., Herausgeber) Abgerufen am 22. November 2016 von Bußgeldkatalog 2016: <https://umwelt.bussgeldkatalog.org/hundekot/>
- **Verband für das Deutsche Hundewesen.** (2016). Verband für das Deutsche Hundewesen. Abgerufen am 28. Juli 2016 von Zahlen zur Hundehaltung und -zucht: <http://www.vdh.de/presse/daten-zur-hundehaltung/>
- **Wall GmbH.** (2016). Dog Service. (W. GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 22. November 2016 von Wall GmbH: http://www.wall.de/de/street_furniture/case_studies/dog_service
- **Wall GmbH.** (2016). Geschäftsmodell. Abgerufen am 28. November 2016 von Wall GmbH: http://www.wall.de/de/street_furniture/business_model
- **Weber, A., & Schwarzkopf, A.** (2003). Heimtierhaltung - Chancen und Risiken für die Gesundheit. (R. Koch-Institut, Hrsg.) *Gesundheitsberichterstattung des Bundes*, 19. Abgerufen am 22. September 2016 von http://edoc.rki.de/documents/rki_fv/reUzuR53Jx9JI/PDF/25uDLpnVUj7Y_53.pdf

V.3 Reduzierung des Eintrags infolge der Ausbringung von Wirtschaftsdünger

V.3.1 1. Beschreibung

Die Verwendung von Wirtschaftsdünger stellt im ländlich geprägten Raum den größten Eintragspfad diffuser Belastungen in Oberflächengewässern dar. Wirtschaftsdünger sind organische Substanzen, die in der Land- und Forstwirtschaft erzeugt und als Nährstoffquelle für Pflanzen in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Neben Gülle, Jauche und Mist werden auch Stroh, Futterreste, Rindenmulch sowie Pflanzenrückstände und Gärreste aus Biogasanlagen als Dünger genutzt. Bevor diese Düngemittel auf die Felder ausgebracht werden, werden sie hygienisiert, d.h. in einem speziellen Verfahrensschritt in einen nicht mehr ansteckenden Zustand überführt. Bei unzureichender Hygienisierung können pathogene Keime im Material verbleiben. In diesem Fall können Keime in die Umwelt eingetragen werden, die ein mikrobiologisch-hygienisches Risiko darstellen.

Insbesondere die Oberflächenabschwemmungen und Dränleitungen von landwirtschaftlichen Nutzflächen, auf denen organischer Dünger tierischer Herkunft (Gülle, Jauche, Mist) kurz vor darauffolgenden Starkregenereignissen ausgebracht wurde, stellen einen wichtigen Belastungspfad für Oberflächengewässern dar (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*). Da bis zum Niederschlagsereignis nicht ausreichend Zeit für die Inaktivierung der Krankheitserreger durch UV-Strahlung oder Austrocknung bzw. für die Diffusion der Keime in die Bodenaggregate zur Verfügung steht, werden pathogene Keime durch den Oberflächenabfluss in die Gewässer eingetragen (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004). Bei Regenereignissen ab 20 mm/h ist eine Beeinträchtigung der mikrobiologisch-hygienischen Qualität der Oberflächengewässern im Einzugsgebiet landwirtschaftlich genutzter Flächen zu erwarten (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*). Beregnungsversuchen zeigten, dass bis zu 14 % der aufgebrauchten Fäkalbakterien über den Dränabfluss ausgetragen werden (Weiß, 2002).

Makroporen entstehen im Boden durch biogene Aktivität (z.B. Regenwürmer, Pflanzenwurzeln) bzw. durch die Quell-Schrumpfdynamik tonhaltiger Bodenbestandteile. Die Ausbildung von Makroporen ermöglicht eine schnelle Wasserbewegung im Boden. Durch die sehr kurze Kontaktzeit zwischen Bodensubstanz und Wasser werden Nährstoffe sowie Fäkalbakterien nicht vom Boden aufgenommen. Makroporen begünstigen daher die schnelle Verlagerung von Fäkalbakterien in der Bodenpassage. Über diesen Kurzschluss im Wasser- und Stoffkreislauf erfolgen rund 60 % der Stofftransporte (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004).

Die Überlebensdauer fäkalbürtiger Mikroorganismen im Boden variiert in Abhängigkeit von Bodentyp, Temperatur sowie Wassergehalt des Bodens und beträgt mehrere Monate. Vier Monate nach Ausbringung der Gülle ist im Dränabfluss keine eindeutig erhöhte Belastung mit Fäkalbakterien mehr nachzuweisen. Die *Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)* geht davon aus, dass die zuvor genannten Aussagen auch auf Viren und Parasiten zu übertragen sind, sofern diese keine Dauerstadien ausbilden (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*).

Feldstudien, welche unter natürlichen Niederschlags- und Abflussbedingungen in Fließgewässeroberläufen durchgeführt wurden, zeigen den Einfluss der Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf die hygienische Gewässerqualität. Für den Fäkalindikator *E. coli* wurden in Teileinzugsgebieten unter Ackernutzung Mediankonzentrationen von 10^1 KBE/100 ml ermittelt. Die maximal nachgewiesene *E. coli*-Konzentration übersteigt 2.000 KBE/100 ml (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016*). Die Auschwemmungspotenziale aus Festmist und Gülle liegen im gleichen Größenbereich (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004).

Mikrobiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass Gärreste aus Biogasanlagen geringer mit Krankheitserregern belastet sind, als unvergorene Wirtschaftsdünger (Fachverband Biogas e.V., 2014). Das Keimspektrum

der Gärreste hängt maßgeblich von dem den umgesetzten Ausgangssubstraten ab. Einer Studie im Auftrag des *Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)* zufolge wird die Keimbelastung durch den Prozess der Biogasgewinnung um bis zu 8 \log_{10} -Stufen reduziert. Eine Keimreduktion findet selbst bei mesophilen Prozessen, d.h. im mittleren Temperaturspektrum von 38 bis 43 °C, statt, jedoch ist die Inaktivierung der Bakterien im thermophilen Temperaturbereich (45-60 °C) wesentlich effizienter. Das hygienische Risiko bei der Düngung mit Gärresten ist nicht höher als das bei der Verwendung von Gülle (Pospiech et al., 2014).

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Die wirksamste Maßnahme zur Reduzierung diffuser Fäkaleinträge aus der Landwirtschaft besteht darin, die Belastung des Sickerwassers mit Fäkalbakterien zu verringern. Einzelne Maßnahmen zur Verringerung der Sickerwasserbelastung sind im Nachfolgenden nach Methodikfeldern geordnet aufgeführt.

Anpassung der Einzugsgebietsbewirtschaftung

- Zur Entlastung der Oberflächengewässer ist die Reduzierung der Düngemenge auf das für die Bodenfruchtbarkeit absolut notwendige Maß erforderlich (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016). Vor Ausbringung des Düngers ist der Düngebedarf der einzelnen landwirtschaftlichen Nutzfläche nach den Vorgaben der Düngeverordnung (DüV) zu ermitteln.
- Grundsätzlich ist im Sinne einer umweltgerechten Düngung auf die Ausbringung von Wirtschaftsdünger zu verzichten, wenn kurz darauf Niederschläge zu erwarten sind bzw. der Boden aufgrund von Frost den Dünger nicht aufnehmen kann (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016).

Hygienisierung des Wirtschaftsdüngers zur Verringerung der Belastung

- Um die Belastung des Sickerwassers mit Fäkalbakterien zu reduzieren und damit die Oberflächengewässer zu entlasten, wird der Einsatz hygienisierter Düngemittel empfohlen. Die Reduzierung der Keimbelastung wird durch Lagerung oder Behandlung des Düngers erzielt. Bei Gülle und Mist reduziert sich die Konzentration der Fäkalbakterien bei einer Lagerungsdauer von sechs Monaten um ca. 2 \log_{10} -Stufen (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016).

Verbot der Ausbringung innerhalb der Badesaison

- Um die hygienische Belastung des Gewässers mit pathogenen Keimen aus der Ausschwemmung bzw. Auswaschung von Wirtschaftsdüngern zu minimieren, kann ein Ausbringungsverbot für belastete Düngemittel verordnet werden. Das Verbot sollte unter Berücksichtigung der Fließzeiten im Einzugsgebiet des Gewässers bereits vor Beginn der Badesaison (15.05.-15.09., regionale Abweichungen möglich) in Kraft treten und bis zum Ende der Badesaison gelten.

Ausweitung unbewirtschafteter Gewässerrandstreifen (Randstreifenprogramme)

- Die Einrichtung unbewirtschafteter Gewässerrandstreifen zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und dem Ufer von Oberflächengewässern soll das Gewässer vor Verunreinigungen durch Ausschwemmung (Eintrag von Fäkalbakterien, Nährstoffen und Bodenmaterial) schützen.

Acker- und pflanzenbauliche Gestaltung landwirtschaftlicher Flächen

- Der Eintrag hygienisch relevanter Mikroorganismen aus der obersten Bodenschicht ist verstärkt in Verbindung mit Vorgängen der Bodenerosion zu beobachten. Der Eintrag von Fäkalbakterien, Nährstoffen und Bodenmaterial kann durch Maßnahmen zum Schutz vor Bodenerosion reduziert werden. Hierzu gehören u.a. pflanzenbauliche Maßnahmen wie der Anbau von Zwischenfrüchten, um einen möglichst hohen Bedeckungsgrad des Bodens zu erzielen, der der Bodenerosion vorbeugt (Hiller, 2007).
- Die Bearbeitungsrichtung der Ackerflächen sollte in Hanglagen, sofern die Schlaggeometrie dies zulässt, quer zum Gefälle gewählt werden. So kann die erosive Kraft des Oberflächenabflusses geschwächt und die Bodenerosion reduziert werden. Empfehlenswert ist zudem die Umrandung der Ackerflächen mit einem Grasfilterstreifen, in dem abgetragenes Bodenmaterial sedimentieren kann, so dass es nicht in benachbarte Oberflächengewässer eingetragen wird (Hiller, 2007).

1.4 Leitfäden und Vorgaben

Bei dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern sind die Grundsätze der Düngeverordnung (DüV) verbindlich einzuhalten. Ausbringungszeitpunkt und –menge der Düngung sind so zu planen, dass die Verfügbarkeit der Nährstoffe sich mit dem Nährstoffbedarf der Pflanze möglichst deckt. Zur Ermittlung des Düngebedarfs einzelner Flächen sind umfangreiche Bodenuntersuchungen durchzuführen.

Zum Schutz der Gewässer vor Stoffeinträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen ist ein Mindestabstand von drei Metern zwischen der Ausbringungsfläche und der Böschungsoberkante des Oberflächengewässers einzuhalten. Bei einer durchschnittlichen Hangneigung von mehr als zehn Prozent ist die Pufferzone auf bis zu 20 m auszuweiten (DüV).

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft empfiehlt die Durchführung einer Qualitätsprüfung zwei Wochen vor Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008). Die Belastung des hygienisierten Gärrests sollte dieser Empfehlung nach die folgenden Konzentrationen nicht überschreiten:

Parameter	Maximalkonzentration [KBE/ml]
Intestinale Enterokokken	150
Fäkalcoliforme Bakterien	5
Coliforme Bakterien	100

Eine rechtsverbindliche Verpflichtung zur Hygienisierung von Wirtschaftsdünger gibt es derzeit nicht in Deutschland. Gülle sowie andere organische Düngemittel aus Land- und Forstwirtschaftsbetrieben dürfen ohne Hygienisierung eingesetzt werden.

V.3.2 Bemessung und Auslegung

2.1 Kenngrößen

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Fäkalbakterien (frische Gülle)	MPN/100 ml	$10^9 - 10^{13}$	-	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004
Fäkalcoliforme Bakterien (frischer Rinderkot)	MPN/100 g Faeces	$2,3 \cdot 10^8$	-	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004
Fäkale Streptokokken (frischer Rinderkot)	MPN/100 g Faeces	$1,3 \cdot 10^8$	-	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004

Der Umfang sowie die Kombination verschiedener Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags fäkalbürtiger Belastungen im Einzugsgebiet sind anhand einer Risikobewertung für die potenzielle Badestelle zu wählen und für die einzelnen Landwirtschaftsflächen festzulegen. Das Verschmutzungsrisiko für das Badegewässer durch den Eintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen ist abhängig von der Landnutzung im Einzugsgebiet des Gewässers. Einen maßgeblichen Einfluss auf den Eintrag pathogener Keime haben Größe und durchschnittliche Hangneigung der landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen sowie die Anwendungsart, -menge und Zusammensetzung der eingesetzten Wirtschaftsdünger sowie ihr Hygienestatus.

2.2 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

Nachgewiesener Haupteintragspfad für Krankheitserreger und Nährstoffe ist der Zwischenabfluss aus gewässerfernen Teileinzugsgebieten. Das Netz der Dränleitungen bewirkt unterirdisch einen Kurzschluss, der den Eintragspfad aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer verkürzt und beschleunigt (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016). Das Risiko des Stoffaustrags in Oberflächengewässer ist bei Entwässerung in Form der Dränage erhöht (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004). Im Hinblick auf den Eintrag hygienisch relevanter Mikroorganismen aus gewässerentfernten Teileinzugsgebieten verlieren Förderprogramme zur Einrichtung von Gewässerrandstreifen daher zunehmend an Bedeutung (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016).

V.3.3 Größenordnung der Eliminationen

Die nachfolgende Tabelle fasst die in verschiedenen Studien nachgewiesene Reduktion mikrobieller Parameter in der Biogasproduktion (thermophile Behandlung) bzw. bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern zusammen.

Parameter	log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quelle
Fäkalbakterien (in Gülle bzw. Mist)	2	Lagerung von Gülle bzw. Mist für sechs Monate	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2016
Intestinale Enterokokken	> 4	Thermophil anaerobe Vergärung von Rinder-Flüssigmist in Biogasanlagen (Verweilzeit > 4 h; Prozesstemperatur > 55 °C)	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008
	> 2,5 – 3,0	Thermophile Behandlung in Biogasanlage (Verweilzeit 8-9 h; Prozesstemperatur 55 °C)	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008
Fäkalcoliforme	4,8 – 6,0	Thermophile Behandlung in Biogasanlage (Verweilzeit 8-9 h; Prozesstemperatur 55 °C)	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008
Thermophile	> 1		
Campylobacter			
Coliforme (<i>Serratia marcescens</i>)	3,5 – 5,6		
<i>Cryptosporidium parvum</i> (Oozysten)	> 5	Thermophile anaerobe Vergärung von Rindergülle in Biogasanlagen (Verweilzeit 4 h; Prozesstemperatur 55 °C)	Pospiech et al, 2014

Der Summenparameter der Intestinalen Enterokokken ist laut Einschätzung der *Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft* am besten als Hygienisierungs-Indikator geeignet, da er alle für wasserwirtschaftlich sensible Gebiete relevanten mikrobiellen Parameter umfasst. Virale Tierseuchenerreger, die im Gärrest enthalten sein können, zeigten sich in Bezug auf die Temperatur empfindlicher als intestinale Enterokokken (*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008*).

Die Auswirkungen der beschriebenen Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags pathogener Keime auf die tatsächliche Pathogenkonzentration im Gewässer können aufgrund der komplexen Wechselwirkungen innerhalb der Bodenmatrix nicht abgeschätzt werden. Es ist zu erwarten, dass der Eintrag in die Gewässer sich proportional zu der mit dem Wirtschaftsdünger ausgebrachten Keimmenge reduziert.

V.3.4 4. Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitions-kosten (einmalig für die Erstellung)	EUR	Einrichtung unbewirtschafteter Gewässerrandstreifen bzw. Grasfilterstreifen entlang gewässernaher Landwirtschaftsflächen	-
Energiekosten	EUR	-	-
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel. Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR	-	-
Personalkosten	EUR	Beschäftigung eines Kooperationsberaters zur Aufklärung und Beratung der Landwirte zur Etablierung einer ökologisch nachhaltigen, gewässerschonenden Landwirtschaft Personalkosten rd. 70.000 EUR p.a. (reine Personalkosten ohne Personalinfrastruktur); Zusätzliche Kosten entstehen für Räumlichkeiten, EDV, Fahrzeuge etc.)	-
Sonstige Kosten	EUR	-	-

Die beschriebenen Maßnahmen sind jeweils durch die Landwirte umzusetzen und finanziell zu tragen. Maßnahmen, die zur ökologisch nachhaltigen und umweltschonenden Bewirtschaftung beitragen, sind im Rahmen verschiedener Landwirtschaftsprogramme förderfähig, für die EU-Finanzmittel zur Verfügung stehen. Die Landwirtschaftskammern der Länder informieren über aktuelle Fördermöglichkeiten und bieten praktische Hilfestellung bei der Beantragung der Fördermittel.

Regional können zudem für das Einzugsgebiet eines Gewässers zuständige Kooperationsberater eingesetzt werden, die mit der Vermittlung zwischen den Interessen aus Land- und Wasserwirtschaft beauftragt sind. Die Kooperationsberater können z.B. durch lokal ansässige Interessengemeinschaften bzw. Verbänden der Land- bzw. Wasserwirtschaft beauftragt und bezahlt werden.

V.3.5 Vergleich zu anderen Verfahren

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

V.3.6 Mögliche Konflikte

Dränagesysteme werden in der Landwirtschaft oftmals eingesetzt, um durch die gezielte Entwässerung der Ackerflächen die Bodeneigenschaften in Bezug auf die Fruchtbarkeit zu verbessern. Die Dränage kann jedoch zur Ausbildung von Kurzschlussströmen führen und erhöht das Risiko für den Eintrag hygienisch relevanter Mikroorganismen und Nährstoffe in die angrenzenden Oberflächengewässer.

V.3.7 Mögliche Umsetzungsbeispiele

Die *Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen* informiert in ihrem „Ratgeber Förderung 2016“ über die aktuellen Veränderungen der EU-Agrarreform und bietet Landwirten Hilfestellung bei der Antragsstellung für landwirtschaftliche Förderprämien. Neben dem ausführlichen Ratgeber bietet die Landwirtschaftskammer auch Beratungstermine zur Unterstützung bei der Antragsstellung durch ihre Kreisstellen an. Bei Erfüllung der Anforderungen an eine ökologische und nachhaltige Landwirtschaft werden verschiedene Prämien ausgezahlt, welche die umweltfreundliche Ausrichtung der Betriebe fördern soll. Die Höhe der Basisprämie ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt. Der Schätzwert für das Jahr 2016 liegt zwischen 154,00 EUR/ha (Rheinland-Pfalz) und 190,00 EUR/ha förderfähiger Fläche (Niedersachsen). Eine bundeseinheitliche Prämien i.H.v. 176,00 EUR/ha soll bis 2019 eingeführt werden (Landwirtschaftskammer NRW, 2014).

V.3.8 Literatur

- **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.** (September 2008). Biogastechnologie für Hygiene und Umwelt in wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten. Abgerufen am 6. Dezember 2016 von Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_32441.pdf
 - **Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.** (2004). Quantifizierung der diffusen Belastung von Gewässern mit Fäkalbakterien aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Schlussbericht, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München.
 - **Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.** (Juni 2016). Merkblatt DWA-M 624. Risiken an Badestellen und Freizeitgewässern aus gewässerhygienischer Sicht. 64. (A. u. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Hrsg.) Hennef.
 - **Fachverband Biogas e.V.** (19. April 2014). Hygienepapier - Verhalten von Krankheitserregern in Biogasanlagen. Abgerufen am 30. November 2016 von http://www.gaerprodukte.de/downloads/14-04-19_Hygienepapier1.pdf
 - **Hiller, D. A.** (2007). Bodenerosion durch Wasser. Bodenerosion durch Wasser - Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW, 37. (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Hrsg., D. A. Hiller, G. Jacobs, & D. Elhaus, Redakteure) Münster: Eigenverlag LWK NRW. Von <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/broschuere-bodenerosion.pdf> abgerufen
 - **Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.** (24. März 2016). Ratgeber Förderung 2016, LZ Rheinland. 76. (B. Rüb, Redakteur) Bonn: Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH. Abgerufen am 15. Dezember 2016 von <https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/pdf/ratgeber-foerderung-2016.pdf>
 - **Landwirtschaftskammer NRW.** (Dezember 2014). Düngung. (L. Nordthein-Westfalen, Hrsg.) Abgerufen am 27. November 2016 von Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/wirtschaftsduenger-pdf.pdf>
 - **Pospiech et al.** (3. Dezember 2014). Hygienisierung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten. Möglichkeiten zur Hygienisierung von Wirtschaftsdünger und Gärresten, 109. (L. u. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Hrsg.) Dresden. Abgerufen am 1. Dezember 2016 von http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/16184/LfULG_Schriftenreihe_Heft_37_2014_Hygienisierung_von_Wirtschaftsduenger_und_Gaerresten.pdf
- Weiß, K. (Juni 2002). Einträge von Fäkalbakterien in Oberflächengewässer aus gedränten Flächen. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 49(06/2002), S. 834-836.

V.4 Reduzierung des Eintrags infolge des nicht ordnungsgemäßen Betriebs von Gülletanks, Mist- und Futterflächen

V.4.1 Beschreibung

Die Verwendung von Wirtschaftsdünger stellt im ländlich geprägten Raum den größten Eintragspfad diffuser Belastungen in Oberflächengewässer dar. Wirtschaftsdünger sind organische Substanzen, die in der Land- und Forstwirtschaft erzeugt und als Nährstoffquelle für Pflanzen in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Neben Gülle, Jauche und Mist werden auch Stroh, Futterreste, Rindenmulch sowie Pflanzenrückstände und Gärreste aus Biogasanlagen als Dünger genutzt. Bevor diese Düngemittel auf die Felder ausgebracht werden, werden sie hygienisiert, d.h. in einem speziellen Verfahrensschritt in einen nicht mehr ansteckenden Zustand überführt. Bei unzureichender Hygienisierung können pathogene Keime im Material verbleiben. In diesem Fall können Keime in die Umwelt eingetragen werden, die ein mikrobiologisch-hygienisches Risiko darstellen (vgl. Maßnahmensteckbrief „Reduzierung des Eintrags infolge der Ausbringung von Wirtschaftsdünger“).

Bei unsachgemäßem Betrieb von Anlagen für die Sammlung, Lagerung sowie Bereitstellung flüssiger und fester Wirtschaftsdünger ergeben sich potenziell Risiken der Gewässergefährdung: die Düngemittel sind fäkalbürtige Produkte und als solche mit hygienisch relevanten Mikroorganismen belastet.

Der Einsatz der Wirtschaftsdünger von Jauche, Gülle und Silagesickersäften (kurz JGS) ist in der Landwirtschaft weit verbreitet. Aufgrund der wassergefährdenden Eigenschaften der Stoffe ist der Betrieb von JGS-Anlagen so zu gestalten, dass die Stoffe nicht unbeabsichtigt in die Umwelt entweichen können.

Die wichtigsten Belastungspfade für Oberflächengewässer stellen der unsachgemäße Umgang bei Sammlung bzw. Abfüllen der JGS sowie Undichtigkeiten in Folge baulicher Mängel oder mechanischer bzw. chemischer Beanspruchungen der Anlagen dar. Aufgrund der starken Keimbelastung der Düngemittel von bis zu 10^{13} MPN/100 ml (vgl. Tabelle 2.1) reichen bereits geringe Volumina aus, um trotz starker Verdünnungseffekte im Gewässer große Wassermengen zu kontaminieren und nachteilig zu verändern.

1.1 Anwendungsbereich

- Klärwerk
- Mischwasserkanalisation
- Trennkanalisation
- Gewässer/Schifffahrt
- Gewässerumland

1.2 Primäres Ziel

- Inaktivierung/Entfernung hygienisch relevanter Mikroorganismen
- Verringerung der Häufigkeit/Dauer/Menge von Abwasserentlastungen
- Verringerung des Eintrags hygienisch relevanter Mikroorganismen

1.3 Funktions- und Wirkungsweise

Betreiber von JGS-Anlagen sind laut § 5 der *JGS-AnlagenV* im Rahmen der Eigenüberwachung zum ordnungsgemäßen Betrieb und zur regelmäßigen Überprüfung von Dichtheit, Füllstand sowie baulichem Zustand der Anlage verpflichtet, um das Austreten wassergefährdender Flüssigkeiten zu verhindern. Im Einzelnen sind beim Betrieb der Anlagen die folgenden Maßnahmen umzusetzen:

Standortanforderungen für JGS-Anlagen

- Es sind die in den Technischen Regeln für wassergefährdende Stoffe (TRwS 792) der DWA genannten Mindestabstände zu Quellen, Brunnen und Oberflächengewässern einzuhalten (DWA, 2015).

Mindestens erforderliche Lagerkapazität von JGS-Anlagen

- Zur Sammlung und Lagerung von Gülle, Jauche und Silagesickersäften fordert die JGS-Anlagenverordnung (vgl. Punkt 1.4) eine erforderliche Lagerkapazität von mindestens sechs Monaten für flüssigen Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft. Das erforderliche Lagervolumen orientiert sich an dem Gülle- und Jaucheanfall des betrachteten landwirtschaftlichen Betriebs.
- Bei der Bestimmung der Lagerkapazität ist der am Standort der Anlage zu erwartende Niederschlag zu berücksichtigen. Die maßgebliche Regenspende für den Ort ist auf Basis der Daten aus dem Starkregenkatalog KOSTRA-DWD 2000 zu ermitteln ($T = 2 \text{ a}$; $D = 5 \text{ min}$).

Bauliche Gestaltung der JGS-Anlagen und zugehöriger Flächen

- In Fahr- und Rangierbereichen um JGS-Anlagen (Behälter, Rohrleitungen, Armaturen etc.) herum sind bauliche Maßnahmen zum Schutz vor Beschädigungen durch Anfahren zu treffen (DWA, 2015).
- Abfüllflächen sowie Festmistplatten, auf denen mit JGS umgegangen wird, sind mit einem Gefälle $\geq 1 \%$ in Richtung der Sammeleinrichtung zu befestigen. Verunreinigtes Niederschlagswasser dieser Flächen ist zu sammeln und in den Sammel- bzw. Lagerbehälter einzuleiten. Unbelastetes Niederschlagswasser angrenzender Flächen ist durch geeignete Maßnahmen von verunreinigten Flächen fernzuhalten und den wasserrechtlichen Vorgaben entsprechend zu beseitigen (DWA, 2015).
- Abfüllflächen sind so zu gestalten, dass Tropfverluste bzw. Verluste bei Leckagen zurückgehalten werden und nicht in die Umwelt gelangen können. Die erforderliche Auffangkapazität ist abhängig von der verwendeten Abfülltechnik (Saugbefüllung, Druckbefüllung, Saug-Druckbefüllung) und der damit verbundenen maximal möglichen Austrittsmenge (DWA, 2015). Das Volumen der Rückhalteeinrichtung ist so zu bemessen, dass die im Schadensfall maximal austretende Menge der allgemein wassergefährdenden Stoffe vollständig zurückgehalten wird (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, AwSV). Die Flächen sind mit Entwässerungsrinnen und Abläufen auszustatten, die die gezielte Ableitung von Flüssigkeiten gewährleistet (DWA, 2015).
- Die Anlagen sind mit Schnellschlussschiebern auszustatten. Alle Schieber sind gegen die Bedienung durch Unbefugte zu sichern, um fahrlässigen oder bewusst herbeigeführten Schäden vorzubeugen.
- Bestehende landwirtschaftliche Betriebe, welche die Anforderungen der JGS-Anlagenverordnung nicht erfüllen, sind durch geeignete Maßnahmen nachzurüsten. Die Nachrüstung einer bestehenden Anlage ohne Leckageerkennungssystem, bei der aus technischen oder betrieblichen Gründen eine Füllstandsmessung nicht möglich ist, ist die Errichtung von Grundwassermessstellen, an denen regelmäßige Grundwasserproben gezogen und analysiert werden. Alternativ ist hier die Nachrüstung des Behälters mit einer innenliegenden Beschichtung genannt (DWA, 2015).

Befüllen und Entleeren von Lagerbehältern

- Der Behälterfüllstand ist vor jedem Befüllvorgang durch Inaugenscheinnahme bzw. anhand einer Füllstandsanzeige zu kontrollieren, um eine Überfüllung und das damit verbundene Austreten wassergefährdender Stoffe zu verhindern. Alle Abfüllvorgänge sind kontinuierlich durch den Betreiber der Anlage zu überwachen (JGS-AnlagenV).
- Das Beladen von Transport- und Verteilungsfahrzeugen mit JGS hat auf einer für Flüssigkeiten undurchlässigen Festmistplatte bzw. Abfüllfläche zu erfolgen.
- Behälter dürfen nicht über den maximal zulässigen Füllstand hinaus befüllt werden. Insbesondere bei offenen Behältern ist ein Mindestfreibord von 20 cm einzuhalten, um ein Überlaufen durch etwaigen Wellenschlag vorzubeugen (DWA, 2015).

Überprüfung der Funktionalität und Dichtigkeit der JGS-Anlage

- Der Betreiber einer JGS-Anlage ist zur regelmäßigen Kontrolle der Anlage auf Undichtigkeiten und sichtbare Mängel verpflichtet. Mindestens einmal im Jahr ist eine gründliche Sicht- und Funktionskontrolle aller sichtbaren und zugänglichen Teile der Behälter, Rohrleitungen und weiterer Anlagenteile vorzunehmen und entsprechend zu dokumentieren. Anlagenteile sind zudem entsprechend der Herstellerangaben zu warten und instand zu halten (DWA, 2015).
- Eine Kontrolle des Leckageerkennungssystems ist mindestens einmal wöchentlich durchzuführen.
- Bei automatisierten Prozessen sind wöchentliche Funktionsprüfungen der Überfüllsicherung sowie der Leckageanzeigergeräte bzw. -erkennungssysteme erforderlich (JGS-AnlagenV).

1.4 Leitfäden und Vorgaben

Die Verordnung zur Umsetzung von Artikel 4 und 5 der Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (*JGS-AnlagenV*) reguliert die Lagerung von flüssigen Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft. Sie gibt eine erforderliche Lagerkapazität von mindestens sechs Monaten vor. Durch die richtige Bemessung des Fassungsvermögens von Lageranlagen wird gewährleistet, dass selbst in Zeiten, in denen die Ausbringung bzw. Verwertung der Wirtschaftsdünger lt. Düngeverordnung (DüV) sachgerecht nicht möglich ist, ausreichend große Lagerkapazitäten bestehen. Landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Oberflächengewässer werden hierdurch vor Überdüngung sowie vor dem Eintrag hygienischer Belastungen geschützt. Die Bemessung der erforderlichen Lagerkapazität erfolgt pro Tiereinheit entsprechend der fachwissenschaftlichen Praxis. Sie ist abhängig von der Art der Nutztiere, der Bestandsgröße sowie der Futterzusammensetzung der Tiere und ist individuell auf den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb abzustimmen. Angaben zum Gülle- und Jaucheanfall bei landwirtschaftlichen Nutztieren sind der Düngeverordnung zu entnehmen.

Die DWA gibt in ihrem Entwurf der *Technischen Regeln für wassergefährdende Stoffe (TRWS 792) JGS-Anlagen* Anforderungen zur Lagerung sowie zum Abfüllen von Jauche, Gülle, Silagesickersaft und Festmist (kurz JGS) vor. Das *DWA-Arbeitsblatt 792* gilt für ortsfeste und ortsfest genutzte Anlagen. Die Vorgaben beziehen sich jeweils auf die Errichtung und den Betrieb von Lageranlagen (Behälter, Erdbecken, Güllekeller und -wannen, Siloanlagen) sowie auf weitere Einrichtungen, in denen JGS regelmäßig eingestaut werden (Entmistungskanäle und -leitungen, Gruben zur Sammlung bzw. Förderung von JGS; DWA, 2015).

V.4.2 Bemessung und Auslegung

2.1 Kenngrößen

Die Größenordnung der hygienischen Belastung von Wirtschaftsdüngern ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Sie variiert zwischen verschiedenen Nutztierarten teils stark und ist hier lediglich exemplarisch angegeben.

Parameter	Einheit	Zahlenwert	Kommentar	Quelle
Fäkalbakterien (frische Gülle)	MPN/100 ml	$10^9 - 10^{13}$	-	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004
Fäkalcoliforme Bakterien (frischer Rinderkot)	MPN/100 g Faeces	$2,3 \cdot 10^8$	-	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004
Fäkale Streptokokken (frischer Rinderkot)	MPN/100 g Faeces	$1,3 \cdot 10^8$	-	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004

Die Anforderungen zur Dimensionierung der Lagerbehälter für JGS geben die unter *Punkt 1.4* angegebene Verordnung bzw. die technische Regeln der DWA vor. Grundsätzlich sind Behälter so zu bemessen, dass die in

einem Zeitraum von sechs Monaten im landwirtschaftlichen Betrieb anfallende Gülle- und Jauchemenge aufgenommen werden kann.

2.2 Hinweise zu möglichen Einschränkungen der Anwendung

/

V.4.3 Größenordnung der Eliminationen

Parameter	Log ₁₀ -Stufen	Kommentar (z.B. Spezifikation Organismus, Spezifikation Betriebsbedingungen)	Quellen
Koloniezahl	-	-	-
Coliforme Bakterien	-	-	-
E. coli	-	-	-
Intestinale Enterokokken	-	-	-
Somatische Coliphagen	-	-	-
F+ Phagen	-	-	-
Parasiten	-	-	-
Viren	-	-	-

Belastbare Rückschlüsse auf eine Reduzierung der hygienischen Belastung im Gewässer sind aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich des Gesamteintrags und der Abbaumechanismen bzw. die Inaktivierung der Mikroorganismen innerhalb der Bodenmatrix bzw. auf dem Eintragspfad bis ins Gewässer bei der vorhandenen Literaturlage nicht möglich.

V.4.4 Größenordnung der Kosten

Kostenart	Einheit	Kommentar	Quelle
Investitionskosten (einmalig für die Erstellung)	EUR	Bau bzw. Nachrüstung von JGS-Anlagen entsprechend den Technischen Regeln für wassergefährdende Stoffe (TRwS 792) der DWA (durch den Anlagenbetreiber)	-
Energiekosten	EUR	-	-
Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)	EUR	-	-
Personalkosten	EUR	Regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit und Dichtigkeit der JGS-Anlagen (durch den Anlagenbetreiber)	-
Sonstige Kosten	EUR	-	-

Die beschriebenen Maßnahmen sind jeweils durch die Landwirte umzusetzen und finanziell zu tragen. Mit der Umsetzung der Anforderungen unter Punkt 1.3 sind keine zusätzlichen Kosten für die öffentliche Hand verbunden. Die Kontrolle der Anforderungen nach der JGS-AnlagenV ist durch die zuständigen Überwachungsbehörden zu leisten.

V.4.5 Vergleich zu anderen Verfahren

/

Alternativverfahren	Vorteile	Nachteile	Quelle
-	-	-	-

V.4.6 Mögliche Konflikte

/

V.4.7 Mögliche Umsetzungsbeispiele (optional)

/

V.4.8 Literatur

- **Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.** (2004). Quantifizierung der diffusen Belastung von Gewässern mit Fäkalbakterien aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Schlussbericht, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München.
- **DWA.** (März 2015). Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS) JGS-Anlagen - Entwurf. Arbeitsblatt DWA-A 792 - Entwurf. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Abgerufen am 3. Januar 2017

V.4.9 Rechtliche Grundlagen

- **Düngeverordnung.** (24. Februar 2012). Abgerufen am 28. November 2016 von Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf
- **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen.** (26. Februar 2014). Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV). Berlin. Abgerufen am 4. Januar 2017 von http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/awsv_verordnung_bf.pdf

IMPRESSUM UND KONTAKT

IMPRESSUM

Titel des Verbundprojektes

FLUSSHYGIENE - Hygienisch relevante Mikroorganismen und Krankheitserreger in multifunktionalen Gewässern und Wasserkreisläufen: 02WRS1278A

Beteiligte Institutionen

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Berliner Wasserbetriebe
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Dr. Schumacher – Ingenieurbüro für Wasser und Umwelt inter 3 GmbH – Institut für Ressourcenmanagement
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH (IWW)
Ruhrverband
Umweltbundesamt
Universität zu Köln

Gefördert durch

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Fördermaßnahme

Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland ReWaM

Laufzeit

01.06.2015 – 30.11.2018

Fördervolumen des Verbundprojektes

2.797.839 €

An der Erstellung der Maßnahmensteckbriefe waren beteiligt

Berliner Wasserbetriebe
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH (IWW)
Universität zu Köln

Redaktion

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH
Moritzstraße 26 | D-45476 Mülheim an der Ruhr
Verena Thöne | Tel.: +49 208 40303 343
v.thoene@iww-online.de

Zitierbar als

Thöne, V. et al. (2018): Maßnahmensteckbriefe: Maßnahmen zur Verbesserung der hygienischen Badegewässerqualität in Fließgewässern, BMBF-Forschungsprojekt FLUSSHYGIENE

KONTAKT

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Cicerostraße 24 | D-10709 Berlin
Dr. Pascale Rouault | Tel.: +49 30 53653 816
pascale.rouault@kompetenz-wasser.de

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Bürgermeister-Ulrich-Str. 160 | D-86179 Augsburg
Dr. Margit Schade | Tel.: +49 821 9071 5871
margit.schade@lfu.bayern.de

Berliner Wasserbetriebe

Neue Jüdenstraße 1 | D-10179 Berlin
Regina Gnirß | Tel.: +49 30 86 44 1628
regina.gnirss@bwb.de

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Referat U2: Mikrobielle Ökologie
Am Mainzer Tor 1 | D-56068 Koblenz
Dr. Helmut Fischer | Tel.: +49 261 1306 5458
helmut.fischer@bafg.de

Dr. Schumacher – Ingenieurbüro für Wasser und Umwelt

Südwestkorso 70 | D-12161 Berlin
Dr.-Ing. Frank Schumacher | Tel.: +49 30 269329 90
schumacher@wasserundumwelt.de

inter 3 GmbH

Otto-Suhr-Allee 59 | D-10585 Berlin
Dr. Susanne Schön | Tel.: +49 30 3434 7452
schoen@inter3.de

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH (IWW)

Moritzstraße 26 | D-45476 Mülheim an der Ruhr
Dipl.-Volksw. Andreas Hein | Tel.: +49 208 40303 340
a.hein@iww-online.de

Ruhrverband

Planungsabteilung
Kronprinzenstraße 37 | D-45128 Essen
Annika Schönfeld | Tel.: +49 201 178 2377
asf@ruhrverband.de

Umweltbundesamt |

FG II1.4 Mikrobiologische Risiken
Wörlitzer Platz 1 | D-06844 Dessau-Roßlau
PD Dr. rer. nat. Hans-Christoph Selinka
Tel.: +49 30 8903 1303
hans-christoph.selinka@uba.de

Universität zu Köln

Biozentrum der Universität zu Köln
Zoologisches Institut
Zülpicher Str. 47b | D-50674 Köln
Prof. Dr. Hartmut Arndt | Tel.: +49 221 470 3100
hartmut.arndt@uni.koeln.de