

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 606

Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie

April 2023

Entwurf

Frist zur Stellungnahme: 30. Juni 2023

Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Einsprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheberrechtlich verwertet werden.

Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

VORSCHAU

Gemeinsames Merkblatt

der Deutschen Gesellschaft für Limnologie e. V. (DGL),

der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Gesetzgebung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2023

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-96862-573-7 (Print)

978-3-96862-574-4 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts darf vorbehaltlich der gesetzlich erlaubten Nutzungen ohne schriftliche Genehmigung der Herausgeberin in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Bilder und Tabellen, die keine Quellenangaben aufweisen, sind im Rahmen der Merkblätterstellung als Gemeinschaftsergebnis des DWA-Fachgremiums zustande gekommen. Die Nutzungsrechte obliegen der DWA.

1 Vorwort

2 Das 2006 erschienene Merkblatt DWA-M 606 „Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie“ hat
3 weite Verbreitung gefunden und dient Behörden, Verbänden, Ingenieurbüros aber auch Lokalpoliti-
4 kern und interessierten Privatpersonen als Orientierung. Das Merkblatt soll den aktuellen Stand der
5 Technik darstellen und damit Basis für Planung und Durchführung von Maßnahmen sein. Entspre-
6 chend wichtig ist die regelmäßige Prüfung der Aktualität. Der Bedarf für die vorliegende Überarbei-
7 tung ergab sich aus regulatorischen Neuerungen (die EG-Wasserrahmenrichtlinie ist seit vielen Jah-
8 ren etablierter Standard der Gewässerbewertung) und vor allem aus dem Zuwachs an Wissen und
9 Erfahrung zu gewässerökologischen Grundlagen und zur Planung, Durchführung und Erfolgsaussich-
10 ten von Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen.

11 Seentherapie muss zudem zunehmend die Folgen der Klimakrise mitberücksichtigen, denn die Ge-
12 wässergüte wird immer stärker durch Wassermengenprobleme und zahlreiche klimawandelbedingte
13 Effekte beeinflusst, wie zum Beispiel veränderte Saisonalität von Schichtung- und Eisbedeckung mit
14 Folgen für Sauerstoff- und Nährstoffverhältnisse, Veränderungen im gesamten Nahrungsnetz, insbe-
15 sondere Auswirkungen auf das Artenspektrum des Phytoplanktons und das Auftreten von Cyanobak-
16 terien. Insgesamt muss davon ausgegangen werden, dass die Folgen der Klimakrise die Effekte der
17 von Phosphor verursachten Eutrophierung noch verstärken, und daher Maßnahmen der Seentherapie
18 dringlicher werden.

19 Unverändert befasst sich das aktualisierte Merkblatt mit der Eutrophierung, denn dies ist nach wie
20 vor das dominierende Problem für Seen und Talsperren und eine der größten Bedrohungen unserer
21 Süßwasserressourcen in Deutschland und weltweit. Die Fokussierung auf den Nährstoff Phosphor
22 wird in den Grundlagen (Abschnitt 4) und weiteren Stellen begründet und die Bedeutung anderer Fak-
23 toren (Stickstoff, Kohlenstoff) erläutert. Während viele der internen Maßnahmen (Abschnitt 9) daher
24 darauf abzielen die Verfügbarkeit von Phosphor zu verringern, wird durch die meisten Maßnahmen im
25 Einzugsgebiet (Abschnitt 8) ebenso der Eintrag anderer problematischer Stoffe (Stickstoff, Schad-
26 stoffe) verringert.

27 Während der Bearbeitung stellte es sich als knifflig/schwierig heraus, zu definieren, für welche
28 Seengrößen die Aussagen des Merkblatts gelten sollen. Die großen Seen stehen zwar weithin im Fo-
29 kus des Merkblatts, jedoch lassen sich viele Aussagen auch auf kleinere Standgewässer übertragbar,
30 auch wenn konkrete Größen-Abgrenzungen bewusst nur selten aufgenommen wurden. Hier bedarf es
31 der Mitwirkung von Fachleuten mit limnologischen Sachverstand. Gleiches gilt für die eingeschränkte
32 Übertragbarkeit auf künstliche Gewässer. Es besteht dringender Bedarf, das Wissen zur Ökologie und
33 zur Bewirtschaftung auch kleinerer Seen und Kleingewässern in ähnlicher Form zusammenzufassen,
34 denn in der Praxis spielen diese Gewässer aufgrund ihrer Anzahl und Verbreitung eine große Rolle.

35 Das Merkblatt ist nicht als umfassendes „Handbuch der Seentherapie“ zu verstehen. Es soll aber hel-
36 fen, Fehlentscheidungen zu vermeiden, indem die Schritte eines fachlich fundierten Vorgehens und
37 die zahlreichen Optionen bei der Seentherapie aufgezeigt werden. Daraus wird auch deutlich, dass
38 Ursachenanalyse und Maßnahmenplanung im Regelfall nicht ohne die Expertise von Fachbehörden,
39 spezialisierten Büros oder wissenschaftlichen Einrichtungen möglich sind.

40 Eine kritische Analyse der in Deutschland durchgeführten Maßnahmen hat gezeigt, dass die tatsäch-
41 lichen Wirkungen oftmals weit unter den Erwartungen lagen. Die geringe Erfolgsquote, zu kurzzeitige
42 oder keine Wirkungen, ist darauf zurückzuführen, dass die Randbedingungen für einen wirksamen
43 Einsatz der Maßnahmen nicht bekannt waren oder durch Voruntersuchungen nicht ermittelt wurden
44 (LEWANDOWSKI et al. 2013, SCHAUSER et al. 2003). Unabhängig davon, ob ein Gewässer tatsächlich anth-
45 ropogen gestört oder geschädigt ist, ist leider festzustellen, dass sich die Forderungen nach Maßnah-
46 men oft ausschließlich an den Nutzungsansprüchen orientieren. Diese sind sehr vielfältig und kon-
47 kurrieren zum Teil miteinander. Entsprechend unterschiedlich sind daher auch die Erwartungen an
48 den Zustand eines Gewässers. Es ist also wichtig, realistische (d. h. wissenschaftlich begründete und
49 dem natürlichen Potenzial des Sees entsprechende) Ziele zu setzen (Abs. 4.2, Abs. 7), und Erfolgsaus-
50 sichten von Maßnahmen deutlich zu kommunizieren.

1 Im Vergleich zur vorherigen Ausgabe wurden im vorliegenden, aktualisierten Merkblatt die limnologi-
2 schen Grundlagen und die Grundlagen der Seentherapie inklusive der Nährstoffbilanzierung gestärkt,
3 denn Seentherapie beschränkt sich nicht auf die Auswahl von (technischen) Maßnahmen, sondern er-
4 fordert Expertenwissen, um die Randbedingungen für einen wirksamen Einsatz der Maßnahmen ab-
5 schätzen zu können.

6 Ausführlicher ist auch der Abschnitt zu Klassifikation und Bewertung von Seen, denn die ökologischen
7 Bewertungsmethoden der EG-Wasserrahmenrichtlinie sind weitaus komplexer als die bisher genutz-
8 ten Trophieklassifikationen. Die Bewertung von Seen nach EG-WRRL erfolgt zwar nach biologischen
9 Qualitätskomponenten, deren Beeinflussung im Rahmen von Therapiemaßnahmen jedoch nur über
10 die Nährstoffverfügbarkeit möglich ist. Erläutert sind daher auch die für die Praxis der Seentherapie
11 wichtigen Klassifikations- und Bewertungsverfahren der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
12 und die Oberflächengewässerverordnung, da hier konkrete Zielwerte für Nährstoffkonzentrationen
13 gegeben werden.

14 Der Abschnitt zu Stoffeinträgen soll nach grundlegender Überarbeitung eine Stoffeintragsbilanzie-
15 rung für viele Situationen in der Praxis ermöglichen, was durch die Auflistung und Erläuterung von
16 Stoffeintragsdaten für alle Pfade inklusive deren Unsicherheit und auch durch die Nennung zahlrei-
17 cher weiterführender Quellen erreicht wird.

18 Die Auswahl der im Merkblatt behandelten Maßnahmen sowie die Ausführlichkeit und Tiefe der Aus-
19 führungen steht in einem Verhältnis zur Relevanz, die die jeweilige Maßnahme in der Praxis hat oder
20 aus Sicht der Arbeitsgruppe haben sollte. Einige Maßnahmen der älteren Ausgabe werden daher nur
21 kurz erwähnt oder entfallen. Im Detail werden nur Maßnahmen behandelt, die (in der Regel auch in-
22 ternational) wissenschaftlich abgesichert und in der Praxis erprobt sind. Übersichtsartig beschrieben
23 und explizit gewarnt wird vor der Nutzung pseudowissenschaftlicher „alternativer“ Verfahren, die
24 zahlreich auf dem Markt angeboten werden. Kosten- und Umweltauswirkungen sowie Bezüge zur Kli-
25 makrise und Klimaanpassung sind nicht in einem separaten Abschnitt beschrieben, sondern werden
26 in den Einzelabschnitten erwähnt, sofern dies für eine spezielle Maßnahme relevant ist. Ausgewählte
27 Fallbeispiele sind ebenso in den Einzelabschnitten erwähnt; der in der älteren Ausgabe des Merkblatts
28 enthaltene Anhang mit Fallbeispielen inklusive konkreter Kostenangaben ist entfallen.

29 Obwohl der Fokus des Interesses oft bei den technischen internen Maßnahmen liegt, werden die Maß-
30 nahmen im Einzugsgebiet ausführlicher und detaillierter ausgeführt, denn Seentherapie ist keine ex-
31 klusiv gewässerökologische Zuständigkeit, sondern eine gesellschaftliche Querschnittsaufgabe. Denn
32 es ist fraglich, ob es sinnvoll ist am letzten Punkt der Kette – im See selbst – reparieren und kompen-
33 sieren zu wollen, was durch Strukturänderungen unserer Kulturlandschaft und deren nährstoffinten-
34 sive Nutzung verursacht wird. Das Merkblatt kann auch über limnologische Expertenkreise hinaus
35 Anregungen und quantitative Hinweise geben, warum Seen oft nicht dem gewünschten Zustand ent-
36 sprechen, und wie umfassend die Maßnahmen sein müssen, wenn Qualitätsverbesserungen erreicht
37 werden sollen.

38 Ein großer Dank gilt den Mitgliedern der Arbeitsgruppe, die mit viel Engagement ihr Wissen und ihre
39 Erfahrungen in mehrjähriger intensiver Arbeit eingebracht haben.

40 Berlin, im März 2023

Björn Grüneberg

41 In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personen-
42 bezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die
43 weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich,
44 wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise
45 auf alle Geschlechter.

46 **Änderungen:**

47 a) Anpassung an die europäische Normung und zwischenzeitlich eingetretene Veränderungen hin-
48 sichtlich Gesetzen und Verordnungen, insbesondere der EG-Wasserrahmenrichtlinie;

- 1 b) weitergehende Ausführungen zu limnologischen Grundlagen und Grundlagen der Seentherapie
- 2 sowie zur Klassifikation und Bewertung von Seen;
- 3 c) Aktualisierung und Neufassung der Ausführungen zu Auswirkungen des Klimawandels;
- 4 d) Grundlegende Überarbeitung des Abschnitts zu Stoffeinträgen;
- 5 e) Wesentliche Erweiterung des Abschnitts zu externen Maßnahmen;
- 6 f) grundlegende Überarbeitung des Abschnitts zur Restaurierung sowie Neubewertung der Relevanz
- 7 interner Maßnahmen.

8 **Frühere Ausgaben**

9 Ersetzt bei Erscheinen des Weißdrucks Merkblatt DWA-M 606 (12/2006)

10 **DWA-Klimakennung**

11 Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung aus-
12 gezeichnet. Über diese Klimakennung können Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach
13 erkennen. In welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Kli-
14 maschutz auseinandersetzt. Das vorliegende Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

15 **KA2** = Das Merkblatt hat direkten Bezug zur Klimaanpassung

16 **KS2** = Das Merkblatt hat direkten Bezug zu Klimaschutzparametern

17 Einzelheiten zur Ableitung der Bewertungskriterien sind im „Leitfaden zur Einführung der Klimaken-
18 nung im DWA-Regelwerk“ erläutert, der online unter www.dwa.de/klimakennung verfügbar ist.

Frist zur Stellungnahme

Dieses Merkblatt wird bis zum

30. Juni 2023

zur Diskussion gestellt. Für den Zeitraum des öffentlichen Beteiligungsverfahrens
kann der Entwurf kostenfrei im DWA-Entwurfsportal (DWA-direkt):
www.dwa.de/entwurfsportal eingesehen werden.

Dort und unter www.dwa.de/Stellungnahmen-Entwurf
finden Sie eine digitale Vorlage für Ihre Stellungnahme.

Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Ein-
sprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheber-
rechtlich verwertet werden. Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende
Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme
unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person
wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

Stellungnahmen sind zu richten – gerne auch per E-Mail – an:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef
schrenk@dwa.de

1 Verfasserinnen und Verfasser

2 Dieses Merkblatt wurde von der DWA/DGL-Arbeitsgruppe GB-3.6 „Seentherapie“ im Auftrag des DWA-
3 Hauptausschusses „Gewässer und Boden“ (HA GB) im DWA/DGL-Fachausschuss GB-3 „Natürliche
4 und künstliche Seen“ erarbeitet.

5 An der Erarbeitung dieses Merkblatts haben mitgewirkt:

GRÜNEBERG, Björn	Dr. rer. nat., Landeslabor Berlin-Brandenburg, Institut für Lebensmittel, Arzneimittel, Tierseuchen und Umwelt, Abteilung IV, Fachbereich IV-2, Berlin, vormals: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Gewässerökologie, Bad Saarow (Sprecher)
EPE, Tim	Dipl.-Landsch.-Ökol., Institut Dr. Nowak GmbH & Co. KG, Ottersberg
GÖRING, Holger	Dipl.-Biol., KLS Gewässerschutz GmbH, Hamburg
HEGEWALD, Tilo	Dr. rer. nat., Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Referat Wassergüte, Pirna
HUPFER, Michael	Prof. Dr. rer. nat., Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverband Berlin e.V., Ökohydrologie und Biogeochemie, Berlin
KORCZYNSKI, Ilona	Dipl.-Biol., Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung 4 / Referat 420, Schwerin
KRAUSE, Dieter	Dr. rer. nat., Aurach (vormals Wasserwirtschaftsamt Ansbach)
NIXDORF, Brigitte	Prof. Dr. rer. nat., Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Gewässerökologie, Bad Saarow
RUSTIGE, Heribert	Dipl.-Ing., AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner mbB, Berlin
SCHUSTER, Hans-Heinrich	Dipl.-Biol., Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Sulingen
TROMMER, Gabriele	Dr. rer. nat., Wasserwirtschaftsamt Ansbach, Ansbach
WILLUWEIT, Thomas	Dipl.-Chem., SÖLL GmbH, Hof

Als Gast der Arbeitsgruppe hat mitgewirkt

SANDROCK, Stefan	Dr. rer. nat., bioplan – Institut für angewandte Biologie und Landschaftsplanung GmbH, Ostseebad Nienhagen
------------------	--

6 Dem DWA/DGL-Fachausschuss GB-3 „Natürliche und künstliche Seen“ gehören folgende Mitglieder an:

SOMMERHÄUSER, Mario	Dr. rer. nat., EMSCHERGENOSSENSCHAFT, Abteilungsleiter Fluss und Landschaft, Essen (Obmann)
ROSE, Udo	Dr. rer. nat. Dipl.-Biol., Erftverband, Bergheim (stellv. Obmann)
GRÜNEBERG, Björn	Dr. rer. nat., Landeslabor Berlin-Brandenburg, Institut für Lebensmittel, Arzneimittel, Tierseuchen und Umwelt, Abteilung IV, Fachbereich IV-2, Berlin
KRAUSE, Dieter	Dr. rer. nat., Aurach (vormals Wasserwirtschaftsamt Ansbach)
LANG, Ulrich	Dr.-Ing., Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH, Leinfelden-Echterdingen
SPIEKER, Jürgen	Dr. rer. nat., KLS Gewässerschutz GmbH, Hamburg

7 Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg J. A.	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
----------------------	--

1	Inhalt	
2	Vorwort	3
3	Verfasserinnen und Verfasser	6
4	Bilderverzeichnis	10
5	Tabellenverzeichnis	12
6	Hinweis für die Benutzung	13
7	1 Anwendungsbereich	13
8	2 Begriffe	14
9	2.1 Allgemeines	14
10	2.2 Definitionen.....	14
11	2.3 Symbole, Abkürzungen und Formelzeichen	20
12	3 Einführung in die Seentherapie	22
13	3.1 Eutrophierung.....	22
14	3.2 Zu hohe diffuse Einträge und die Notwendigkeit externer und interner Maßnahmen	23
15	3.3 Synergien und monetäre Bedeutung von Eutrophierung und Seentherapie.....	24
16	4 Grundlagen der Limnologie und der Seentherapie	25
17	4.1 Limnologische Grundlagen	25
18	4.1.1 Einteilung stehender Gewässer	25
19	4.1.2 Morphometrische Kenndaten.....	26
20	4.1.3 Wärmehaushalt und thermische Schichtung.....	26
21	4.1.4 Lebensräume in Seen.....	28
22	4.1.5 Nährstoffhaushalt und Limitation	30
23	4.1.5.1 Allgemeines	30
24	4.1.5.2 Phosphor- und Stickstoff-Limitation.....	30
25	4.1.5.3 Kohlenstoff (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht)	31
26	4.1.6 Unterschiede zwischen Seen und Talsperren.....	33
27	4.1.7 Eutrophierung: Ursachen und Auswirkungen.....	35
28	4.1.8 Klimawandel	39
29	4.2 Grundlagen der Seentherapie	39
30	4.2.1 Seendiagnose und Ziele der Seentherapie.....	39
31	4.2.2 P-Bilanz und prinzipielle Steuerungsmöglichkeiten	40
32	4.2.3 Phosphorbindungsformen und Rücklösungsprozesse	41
33	4.2.4 Reaktion von Seen auf Laständerung und Bedeutung der internen Belastung	42
34	4.2.4.1 Unterschied zwischen P-Rücklösung und interner Belastung.....	42
35	4.2.4.2 Bilanzzeitraum und Unterscheidung zwischen kurzfristiger und langfristiger Relevanz der P-Rücklösung	43
36	4.2.4.3 Berücksichtigung von Flux- und Poolgrößen und der Wasserverweilzeit.....	44
37	4.2.5 P-Bilanzmodelle	45
38	4.2.5.1 Nutzung von P-Bilanzmodellen für Diagnosen und Prognosen	45
39	4.2.5.2 Wasser- und Phosphorbilanz von Seen.....	46
40		
41		

1	4.2.5.3	Einboxmodell und Bilanzberechnungen	47
2	4.2.5.4	Empirische Eutrophierungsmodelle und deren Grenzen	49
3	4.2.5.5	Nichtlineare Reaktion auf Laständerung – Bistabilität von Flachseen	50
4	4.2.6	Empfehlungen für die Anwendung von Phosphorbilanz- und Modellrechnungen....	51
5	4.2.7	Anwendungskriterien für Maßnahmen der Seentherapie	52
6	5	Klassifizierung und Bewertung des trophischen und ökologischen	
7		Zustands von Seen	53
8	5.1	Grundlagen und Ziele der Bewertung von Seen	53
9	5.2	Bewertung entsprechend der EG-WRRL für Seen > 50 ha	54
10	5.2.1	Typisierung von Standgewässern entsprechend der EG-WRRL.....	54
11	5.2.2	Belastungen und biologische und unterstützende chemisch-physikalische	
12		Qualitätskomponenten in Seen	55
13	5.2.3	Herleitung trophischer und typspezifischer Referenzzustände aus dem	
14		Trophie-Index von Seen	57
15	5.2.4	Ökologische Bewertung und Kenngrößen zur Ermittlung des	
16		Phyto-See-Index (PSI) für natürliche Seen	58
17	5.3	Klassifikations- und Bewertungsverfahren für Standgewässer	
18		< 50 ha nach LAWA	60
19	6	Gewässerbelastungen durch Stoffeinträge.....	62
20	6.1	Allgemeines	62
21	6.2	Entwicklung der Phosphorbelastung von Seen in der Vergangenheit	62
22	6.3	Quellen und Pfade der Phosphoreinträge in Seen.....	64
23	6.4	Quantifizierung von Phosphoreinträgen in Seen.....	65
24	6.4.1	Methodische Ansätze	65
25	6.4.2	Diffuse Einträge	66
26	6.4.2.1	Allgemeines	66
27	6.4.2.2	Eintrag über die Atmosphäre	67
28	6.4.2.3	Eintrag über das Grundwasser.....	67
29	6.4.2.4	Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen	68
30	6.4.3	Direkteinträge in den See	69
31	6.4.3.1	Einträge durch Gänse	69
32	6.4.3.2	Einträge durch Laub und Nadelstreu	70
33	6.4.3.3	Einträge durch Gewässernutzungen: Bade- und Wassersportnutzung,	
34		fischereiliche Nutzung.....	71
35	6.4.4	Direkte und indirekte Einträge aus Abwasseranlagen	71
36	6.4.4.1	Vorbemerkung	71
37	6.4.4.2	Eintrag aus zentralen Kläranlagen	72
38	6.4.4.3	Eintrag aus dezentralen Kleinkläranlagen und Sammelgruben	73
39	6.4.4.4	Eintrag aus Misch- und Regenwassereinleitung	74
40	7	Planung, Genehmigung und Durchführung von Therapiemaßnahmen.....	75
41	7.1	Einführung	75
42	7.2	Projektstart.....	76
43	7.3	Zustandsanalyse	76
44	7.3.1	Auswertung vorhandener Daten	76
45	7.3.2	Bestandsaufnahme.....	76

1	7.3.3	Bewertung, Defizitanalyse, Ursachenermittlung.....	78
2	7.4	Festlegung des Entwicklungsziels.....	78
3	7.5	Zusammenstellung geeigneter Sanierungs- oder Restaurierungsmaßnahmen.....	78
4	7.6	Festlegung der Therapiemaßnahme(n).....	79
5	7.7	Genehmigungsplanung.....	79
6	7.8	Ausführungsplanung.....	79
7	7.9	Auftragsvergabe.....	80
8	7.10	Durchführung der Maßnahme(n).....	80
9	7.11	Erfolgskontrolle.....	80
10	8	Maßnahmen im Einzugsgebiet (Sanierung).....	81
11	8.1	Einführung.....	81
12	8.2	Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge aus diffusen Quellen.....	82
13	8.2.1	Landwirtschaftliche Maßnahmen zur Verminderung von großflächigen	
14		Nährstoffemissionen.....	82
15	8.2.1.1	Allgemeines.....	82
16	8.2.1.2	Maßnahmen.....	83
17	8.2.2	Gewässerrandsteifen.....	89
18	8.2.3	Wiedervernässung von Mooren.....	92
19	8.3	Maßnahmen zur Reduzierung der stofflichen Einträge aus Abwässern	
20		(Punktquellen).....	95
21	8.3.1	Stoffliche Belastungen über Eintragspfade aus dem urbanen Bereich.....	95
22	8.3.2	Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen.....	95
23	8.3.3	Nachrüstung von Kleinkläranlagen.....	96
24	8.3.4	Abwasserumleitung (Ringkanalisationen).....	97
25	8.3.5	Optimierung Mischwasserkanalisation.....	98
26	8.3.6	Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	99
27	8.3.7	Retentionsbodenfilter.....	102
28	8.4	Nährstoffrückhalt im Zulauf von Gewässern.....	104
29	8.4.1	Vorsperren, Sedimentationsbecken und Tauchwände.....	104
30	8.4.2	Verlegung von Zuläufen.....	108
31	8.4.3	P-Rückhalt in Hauptzuläufen durch P-Fällung in Großanlagen.....	110
32	8.4.4	P-Elimination an kleinen Zuläufen mittels P-Fällung.....	112
33	8.4.5	Schilfpolder („constructed wetlands“).....	114
34	9	Interne Restaurierungsmaßnahmen.....	118
35	9.1	Einleitung.....	118
36	9.2	Maßnahmen mit direktem Einfluss auf den Phosphorhaushalt.....	118
37	9.2.1	Chemische Phosphorfällung.....	118
38	9.2.2	Entschlammung.....	120
39	9.2.3	Tiefenwasserableitung.....	121
40	9.2.4	Externe Phosphorelimination.....	122
41	9.3	Maßnahmen ohne direkten Einfluss auf den Phosphorhaushalt.....	123
42	9.3.1	Sauerstoffeintrag in das Tiefenwasser.....	123
43	9.3.2	Zwangszirkulation.....	124
44	9.3.3	Biomanipulation/Steuerung des Nahrungsnetzes.....	124
45	9.3.3.1	Nahrungsnetzsteuerung/Nahrungskettenmanipulation.....	124

1	9.3.3.2	Steuerung des Makrophytenbestands.....	125
2	9.4	Zusätzliche Maßnahmeoptionen bei Talsperren.....	128
3	9.5	Sonstige Materialien und Verfahren.....	129
4	9.6	Sofortmaßnahmen in kritischen Situationen	130
5	9.6.1	Sofortmaßnahmen bei Fischsterben.....	130
6	9.6.2	Blüten von Cyanobakterien.....	131
7	9.7	Pseudowissenschaftliche Verfahren	131
8	9.8	Unterhaltungsmaßnahmen und Umgang mit Nutzungskonflikten	132
9		Quellen und Literaturhinweise	134

Bilderverzeichnis

11	Bild 1:	Typische Abfolge von Stagnations- und Zirkulationsperioden in einem tieferen See der gemäßigten Breiten	27
12			
13	Bild 2:	Lebensräume in einem See.....	28
14	Bild 3:	Schematische Darstellung der trophischen Ebenen im Wasserkörper eines Sees	29
15	Bild 4:	Links: Zusammenhang zwischen Gesamtphosphor und Chlorophyll a in 30 abwasserbelasteten Seen; Rechts: Zusammenhang zwischen TP und Algenbiomasse in Seen der norddeutschen Tiefebene.....	31
16			
17			
18	Bild 5:	Links: Übersicht zu den wichtigsten Prozessen zur Umsetzung des Kohlenstoffs in Seen. Rechts: Hägg-Diagramm zur Abhängigkeit des pH-Werts vom molaren Verhältnis der gelösten anorganischen Kohlenstoffformen.....	32
19			
20			
21	Bild 6:	Schematische Darstellung der Längszonierung von Talsperren mit Angaben zur Veränderung der Hydromorphometrie und limnologischem Reaktionsverhalten eines Rinnenstausees von der Stauwurzel bis zur Staumauer	34
22			
23			
24	Bild 7:	links: Hysterese-Beziehung zwischen Phosphor-Konzentration und Phytoplankton-Biomasse, die zur Bistabilität in Flachseen führt, rechts: 1: stabiler makrophytendominierter Klarwasserzustand, 2-4: instabiler Bereich der alternativen Zustände bei moderater Nährstoffverfügbarkeit, 5: stabiler phytoplanktondominierter Zustand	36
25			
26			
27			
28			
29	Bild 8:	Massenentwicklung von Cyanobakterien („Blualgenblüte“), die nach dem Absterben die typische blaue Farbe annehmen.....	38
30			
31	Bild 9:	Darstellung der wichtigsten Pool- und Fluxgrößen einer Phosphorbilanz.....	41
32	Bild 10:	Seesedimente als P-Quelle in einer Bilanz. Links: saisonale interne Belastung aufgrund der jahreszeitlichen Verzögerung zwischen Sedimentation und Rücklösung; Rechts: langfristige interne Belastung aus einem historischen P-Pool nach einer externen Lastsenkung.....	43
33			
34			
35			
36	Bild 11:	Illustration der Anpassung der P-Retention bzw. Freisetzung im See nach Änderungen der externen Last. Die Größe der Pfeile symbolisiert das relative Ausmaß der Transportraten (Fluxe); vertikale Pfeile sind P-Nettosedimentation ...	44
37			
38			
39	Bild 12:	Beispiele für die Nutzung empirischer P-Bilanzmodelle für eine Diagnose mit Hilfe des OECD Modells und für eine Prognose des zeitlichen Verlaufs der seeinternen P-Konzentration mittels des Einboxmodells.....	46
40			
41			
42	Bild 13:	Nach einer plötzlichen Reduzierung der P-Zulaufkonzentration (P_{in}) vermindert sich die seeinterne P-Konzentration (P_{see}), wobei die Anpassungszeit von der Wasseraufenthaltszeit abhängt.....	49
43			
44			
45	Bild 14:	Anwendungskriterien für seeinterne Maßnahme	52
46	Bild 15:	Einteilung des chemischen und ökologischen Gewässerzustands für Oberflächengewässer in Zustandsklassen für die Gesamtbewertung nach EG-WRRL	53
47			
48			

1	Bild 16:	Auswahl der biologischen Qualitätskomponenten und ihrer	
2		Bewertungsverfahren entsprechend der vorherrschenden Belastung bzw.	
3		Nutzung von natürlichen und künstlichen Seen	56
4	Bild 17:	Vergleich der Entwicklung der Jahresmittelwerte für die	
5		Gesamtphosphorkonzentrationen in sechs deutschen Beispielseen über	
6		die Jahre 1975/1989 –2018	63
7	Bild 18:	Entwicklung der Phosphor-Einträge in deutsche Gewässer von 1987 bis 2016.....	63
8	Bild 19:	Mögliche Quellen und Pfade für Stoffeinträge in Gewässer	64
9	Bild 20:	Darstellung der einzelnen von den Modellen MEPhos und MONERIS	
10		betrachteten Exportpfade	65
11	Bild 21:	Modellierte, absolute Anteile der einzelnen Eintragspfade am	
12		Gesamtphosphor-Eintrag in das Einzugsgebiet der oberen Altmühl oberhalb	
13		des Zuflusses zum Altmühlsee und Fränkischen Seenland	66
14	Bild 22:	Übersicht über die Zugzeiten ausgewählter Gänsearten in Mitteleuropa.....	70
15	Bild 23:	Idealer Ablauf von Therapiemaßnahmen	75
16	Bild 24:	Links: Anfänglich lange anhaltende, geringe Bodenbedeckung bei	
17		Reihenkulturen wie Mais, die zu Verschlammung des Bodens und zu einem	
18		hohen Phosphor- und Sedimenteintrag ins Oberflächengewässer führen.	
19		Rechts: Übertritt von stark mit erodiertem Material aus dem Einzugsgebiet	
20		beladenem Wasser innerhalb einer Seenkette im Verlauf eines Maihochwassers	82
21	Bild 25:	Landwirtschaftliche Flächen im Einzugsgebiet des Altmühlsees	86
22	Bild 26:	Schematische Darstellung der vier Systeme, die an der Höhe der Phosphor-	
23		Austräge beteiligt sind, mit den Kategorien der Minderungs-Maßnahmen	87
24	Bild 27:	Retentionsleitung von bewachsenen Gewässerrandstreifen in Abhängigkeit	
25		von der Breite	90
26	Bild 28:	Gewässerrandstreifen sollen an Partikel gebundene Stoffe in der Vegetation	
27		zurückhalten, und gelöste Nährstoffe und Pestizide durch Adsorption,	
28		Aufnahme in die Biomasse und mikrobiellen Abbau	92
29	Bild 29:	Moore liegen oft an der Schnittstelle zwischen Land und Wasser und wirken	
30		unter naturnahen Bedingungen als Kohlenstoff- und Nährstoffsensen.....	93
31	Bild 30:	a) Mahd von Schilfbeständen auf nassen Moorböden mit spezieller	
32		Erntetechnik zur Reduzierung der Nährstoffüberschüsse im Boden.	
33		Eine wirtschaftliche Nutzung der Biomasse in Form von Paludikultur	
34		wird bereits teilweise praktiziert. b) Flachabtorfung in der Lehtsee-Niederung	
35		bei Templin	94
36	Bild 31:	Spezifische Kosten für P-Elimination in Kläranlagen in Abhängigkeit	
37		der Anschlussgröße.....	96
38	Bild 32:	Sanierung punktförmiger Einträge durch Ableitung aus dem Einzugsgebiet.....	98
39	Bild 33:	Schematische Darstellung eines Retentionsbodenfilters	102
40	Bild 34:	Schema eines vertikal durchströmten Retentionsbodenfilters.....	102
41	Bild 35:	Spezifische Nettoinvestitionskosten für Retentionsbodenfilter im Trennsystem	104
42	Bild 36:	(a) Wasserseite der entleerten Vorsperre der Talsperre Klingenberg mit	
43		höhenregulierbarem Ablaufschütz und Einlaufbauwerk für den	
44		Hochwasserentlastungsstollen, (b) Lage sowie (c) technischer Längsschnitt	
45		des Hochwasserentlastungsstollens, (d) Auslaufbauwerk des	
46		Hochwasserentlastungsstollens in den Unterlauf.....	108
47	Bild 37:	Links: Ehemaliger Mündungsbereich des Bornbachs in die Hunte.	
48		Rechts: Umleitung des Bornbachs am Dümmer	109
49	Bild 38:	Karte des Tegeler Sees (Berlin) mit der Lage der Zu- und Abflüsse,	
50		Trinkwasserbrunnen sowie der OWA/PEP Tegel.....	110
51	Bild 39:	Schematischer Aufbau einer Anlage zur Fällung von Phosphor im Zulauf	
52		eines Sees	113

1	Bild 40:	Phosphatfällanlage an einem Zulauf zum Teterower See.	
2		Links: äußerer Aufbau einer PFA, rechts: Sprühbalken im Gewässer	114
3	Bild 41:	Schematische Darstellung der Retention von Trüb- und Nährstoffen,	
4		Phosphor und Stickstoff in einem Schilfpolder	116
5	Bild 42:	Schematische Darstellung der Tiefenwasserentnahme mit Ableitung des	
6		Wassers in einen natürlichen Abfluss sowie in eine mobile P-Eliminations-	
7		anlage zwecks Aufbereitung und Rückführung des entnommenen Wassers	122
8	Bild 43:	Funktionsskizze einer Phosphateliminierungsanlage und eines Bodenfilters	
9		am Beispiel des Phönix-See, Dortmund; Adsorptionsreaktor enthält	
10		Eisenhydroxidgranulat	123
11	Bild 44:	Beispiele für Technologien, die zur Behandlung eutrophierter	
12		Standgewässer eingesetzt werden	127
13	Bild 45:	Tiefenvariable Entnahme-/Abgabeeinrichtungen in den Talsperren	
14		(a) Carlsfeld und Muldenberg; (b) Blick von der Wasserseite auf den in die	
15		Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Saidenbach integrierten	
16		höhenbeweglichen Schütz; (c) und (d) Blick auf die Luftseite der Talsperre	
17		Saidenbach bei einer über den Schütz realisierten Mengenerlastung	128

18 Tabellenverzeichnis

19	Tabelle 1:	Vereinfachte Einteilung stehender Gewässer nach ihrer Entstehung	
20		und thermischen Schichtung	25
21	Tabelle 2:	Gesamtphosphor-Konzentrationen und Sichttiefen für den Grenzbereich	
22		gut bis mäßig für alle Seetypen in Anlehnung an die Vorgaben von LAWA	
23		als Saisonmittelwerte	56
24	Tabelle 3:	Seetyp-spezifische Klassengrenzen für die ökologische Bewertung	
25		abgeleitet aus den LAWA-Trophie-Indices. Die Referenztrophy entspricht	
26		der H/G (high/good oder sehr gut/gut) Klassengrenze.	
27		Ökologische Qualitätsklasse (ÖQ) von 1 nach 5	58
28	Tabelle 4:	Aktuelle Bewertungsverfahren in Deutschland für die unterschiedlichen	
29		biologischen Qualitätsparameter in Seen	59
30	Tabelle 5:	Zuweisung des Trophiegrades für die Biomasseparameter	
31		Chlorophyll a-Konzentration und Sichttiefe nach LAWA	61
32	Tabelle 6:	Phosphoraustragsraten aus Böden	68
33	Tabelle 7:	Vergleich der Angaben unterschiedlicher Untersuchungen zu	
34		anfallenden Mengen von Laub- und Nadelstreu in Waldbeständen	
35		und deren Phosphorgehalten	70
36	Tabelle 8:	Auszug aus dem LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog. Zehn Maßnahmen	
37		gegen den diffusen Stoffeintrag aus der Landwirtschaft	84
38	Tabelle 9:	Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphor-Austräge aus landwirt-	
39		schaftlichen Flächen, mit Angaben zur Wirkung auf den Wasserpfad,	
40		einer Einschätzung der räumlichen und zeitlichen Wirksamkeit	87
41	Tabelle 10:	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung mit Kategorisierung	
42		des Effekts auf Oberflächengewässer	101
43	Tabelle 11:	Im Dränablauf erzielbare Ablaufkonzentrationen von Retentionsbodenfiltern	103
44	Tabelle 12:	Beispiele für künstliche Freiwasserfeuchtgebiete ergänzt mit den Daten	
45		des Versuchsschilfpolders an der Oberen Hunte (Dümmerzulauf)	114

Hinweis für die Benutzung

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für ein Merkblatt besteht eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jeder Person steht die Anwendung des Merkblatts frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Normen und sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderer Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Regeln der DWA gleich, wenn mit ihnen dauerhaft das gleiche Schutzniveau erreicht wird.

1 Anwendungsbereich

Das in der interdisziplinär zusammengesetzten Arbeitsgruppe erarbeitete Merkblatt „Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie“ richtet sich vor allem an Behörden, Verbände, Ingenieurbüros sowie Besitzer und Pächter von Seen und Talsperren, für die eine Therapie notwendig oder erwünscht ist. Bei großen Seen sind wegen der gesetzlich geregelten Zuständigkeit durch obere Behörden und des Finanzvolumens von Gewässertherapiemaßnahmen eine sach- und fachgerechte Vorbereitung, Begleitung und Nachuntersuchungen durch Fachbehörden und Büros mit gewässer-ökologischem Schwerpunkt oder wissenschaftliche Institutionen gegeben. Bei „kleineren“ Standgewässern ist dagegen die Mitwirkung qualifizierter Fachleute wegen des geringen technischen und finanziellen Aufwands oder wegen der Eigentumsverhältnisse weniger gegeben. Zielgruppen des Merkblatts sind daher auch Akteure in der Lokalpolitik, Mitarbeiter der Landkreise und Kommunen sowie interessierte Privatpersonen.

Das Merkblatt befasst sich ausschließlich mit dem Problem der Eutrophierung in Seen und Talsperren, insbesondere mit den Ursachen und Folgen zu hoher Phosphoreinträge. Es vermittelt einen Überblick über das Spektrum von Therapiemöglichkeiten und gibt Hinweise, wie Maßnahmen durchzuführen sind, angefangen von der Voruntersuchung und Planung bis zur Erfolgskontrolle und Dokumentation. Das Merkblatt enthält wissenschaftlich anerkannte Maßnahmen, die in vergleichbar großen Seen erprobt und dokumentiert sind. Der Umfang der Beschreibung der Maßnahmen steht in einem Verhältnis zu Relevanz, die diese Maßnahmen aktuell in Deutschland und international für die Seentherapie haben. Es werden aber auch Hinweise zu Maßnahmen gegeben, die sich noch in Beprobung und wissenschaftlicher Anerkennung befinden. Gewarnt wird vor der Anwendung einer großen Anzahl und am Markt sehr präsenter pseudowissenschaftlicher Ansätze.

Die Ausführungen des Merkblatts beziehen sich schwerpunktmäßig auf stofflich belastete natürliche Seen; eine Reihe von Aussagen, wie zum Beispiel zu Stoffeinträgen und externen Maßnahmen im Einzugsgebiet ist auch auf andere stehende Gewässer wie künstliche Seen und Talsperren unmittelbar übertragbar. Einige der für Talsperren spezifischen Möglichkeiten (zum Beispiel der Wassermengenbewirtschaftung) sind im Merkblatt nicht vollständig behandelt. Die Übertragbarkeit auf künstliche Seen ist nur gegeben, sofern diese natürlichen Seen gleichen und in Größe und Problem (Eutrophierung) den im Merkblatt behandelten Seen entsprechen.

VORSCHAU

Seen sind wesentliche Elemente unserer Landschaft. Sie im bestmöglichen Zustand zu erhalten ist ein dringendes Gebot. Seen sind vielfältigen Nutzungsansprüchen ausgesetzt. Gleichzeitig erfahren sie Belastungen, die unerwünschte Auswirkungen auf das Ökosystem haben und ihren guten Zustand bzw. angestrebte Nutzungen einschränken. Insbesondere die Eutrophierung dieser Gewässer kann erhebliche Störungen verursachen, deren Beseitigung oder Minderung oft aufwendige und teure Therapiemaßnahmen erfordern. Seentherapie muss zudem zunehmend die Folgen der Klimakrise mitberücksichtigen, denn die Gewässergüte wird immer stärker durch Wassermengenprobleme und zahlreiche klimawandelbedingte Effekte beeinflusst.

Der vorliegende Merkblatt-Entwurf gibt einen Überblick über die zur Verfügung stehenden Methoden und Möglichkeiten zur Therapie eutrophierter Seen und ihre Anwendung. Unverändert befasst sich das aktualisierte Merkblatt mit der Eutrophierung, denn dies ist nach wie vor das dominierende Problem für Seen und Talsperren und eine der größten Bedrohungen unserer Süßwasserressourcen in Deutschland und weltweit. Die großen Seen stehen zwar weiterhin im Fokus des Merkblatts, jedoch lassen sich viele Aussagen auch auf kleinere Standgewässer übertragen.

Im Vergleich zur vorherigen Ausgabe wurden im vorliegenden, aktualisierten Merkblatt die limnologischen Grundlagen und die Grundlagen der Seentherapie inklusive der Nährstoffbilanzierung gestärkt. Ausführlicher ist auch der Abschnitt zu Klassifikation und Bewertung von Seen, denn die ökologischen Bewertungsmethoden der EG-Wasserrahmenrichtlinie sind weitaus komplexer als die bisher genutzten Trophieklassifikationen. Der Abschnitt zu Stoffeinträgen soll nach grundlegender Überarbeitung eine Stoffeintragsbilanzierung für viele Situationen in der Praxis ermöglichen.

Die Auswahl der im Merkblatt behandelten Maßnahmen sowie die Ausführlichkeit und Tiefe der Ausführungen steht in einem Verhältnis zur Relevanz, die die jeweilige Maßnahme in der Praxis hat oder haben sollte.

Obwohl der Fokus des Interesses oft bei den technischen internen Maßnahmen liegt, werden die Maßnahmen im Einzugsgebiet ausführlicher und detaillierter aufgeführt. Das Merkblatt kann auch über limnologische Expertenkreise hinaus Anregungen und quantitative Hinweise geben, warum Seen oft nicht dem gewünschten Zustand entsprechen, und wie umfassend die Maßnahmen sein müssen, wenn Qualitätsverbesserungen erreicht werden sollen.

Das Merkblatt richtet sich an all jene, die mit der Planung und Durchführung von Seentherapien befasst sind, insbesondere an Behörden, Verbände, Ingenieurbüros, aber auch an Besitzer oder Pächter stehender Gewässer.

ISBN: 978-3-96862-573-7 (Print)
978-3-96862-574-4 (E-Book)

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef

Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100

info@dwa.de · www.dwa.de