

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 606

Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie

August 2024

VORSCHAU

VORSCHAU

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 606

Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie

August 2024

Gemeinsames Merkblatt
der Deutschen Gesellschaft für Limnologie e. V. (DGL),
der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

VORSCHAU

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 2024

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-96862-729-8 (Print)

978-3-96862-730-4 (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 Datenverarbeitungsmaschinen, 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.

Vorwort

Das 2006 erschienene Merkblatt DWA-M 606 „Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie“ hat weite Verbreitung gefunden und dient Behörden, Verbänden, Ingenieurbüros aber auch Lokalpolitikern und interessierten Privatpersonen als Orientierung. Das Merkblatt stellt den aktuellen Stand der Technik dar und sollte damit Basis für Planung und Durchführung von Maßnahmen sein. Entsprechend wichtig ist die regelmäßige Prüfung der Aktualität. Der Bedarf für die vorliegende Überarbeitung ergab sich aus regulatorischen Neuerungen (die EG-Wasserrahmenrichtlinie ist seit vielen Jahren etablierter Standard der Gewässerbewertung) und vor allem aus dem Zuwachs an Wissen und Erfahrung zu gewässerökologischen Grundlagen und zur Planung, Durchführung und Erfolgsaussichten von Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen.

Seentherapie muss zudem zunehmend die Folgen der Klimakrise mitberücksichtigen, denn die Gewässergüte wird immer stärker durch Wassermengenprobleme und zahlreiche klimawandelbedingte Effekte beeinflusst, wie zum Beispiel veränderte Saisonalität von Schichtung und Eisbedeckung mit Folgen für Sauerstoff- und Nährstoffverhältnisse, Veränderungen im gesamten Nahrungsnetz, insbesondere Auswirkungen auf das Artenspektrum des Phytoplanktons und das Auftreten von Cyanobakterien. Insgesamt muss davon ausgegangen werden, dass die Folgen der Klimakrise die Effekte der von Phosphor verursachten Eutrophierung noch verstärken, und daher Maßnahmen der Seentherapie dringlicher werden.

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 Fokussierung auf den Nährstoff Phosphor wird in den Grundlagen (Abschnitt 4) und weiteren Stellen begründet und die Bedeutung anderer Faktoren (Stickstoff, Kohlenstoff) erläutert. Während viele der internen Maßnahmen (Abschnitt 9) daher darauf abzielen die Verfügbarkeit von Phosphor zu verringern, wird durch die meisten Maßnahmen im Einzugsgebiet (Abschnitt 8) ebenso der Eintrag anderer problematischer Stoffe (Stickstoff, Schadstoffe) verringert.

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

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

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

Im Vergleich zur vorherigen Ausgabe wurden im vorliegenden, aktualisierten Merkblatt die limnologischen Grundlagen und die Grundlagen der Seentherapie inklusive der Nährstoffbilanzierung gestärkt, denn Seentherapie beschränkt sich nicht auf die Auswahl von (technischen) Maßnahmen, sondern erfordert Expertenwissen, um die Randbedingungen für einen wirksamen Einsatz der Maßnahmen abschätzen zu können.

Ausführlicher ist auch der Abschnitt zu Klassifikation und Bewertung von Seen, denn die ökologischen Bewertungsmethoden der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) sind weitaus komplexer als die bisher genutzten Trophieklassifikationen. Die Bewertung von Seen nach EG-WRRL erfolgt zwar nach biologischen Qualitätskomponenten, deren Beeinflussung im Rahmen von Therapiemaßnahmen jedoch hauptsächlich über die Nährstoffverfügbarkeit möglich ist. Erläutert sind daher auch die für die Praxis der Seentherapie wichtigen Klassifikations- und Bewertungsverfahren der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und die Oberflächengewässerverordnung, da dort Orientierungswerte für die Parameter Gesamtphosphor und Sichttiefe aufgeführt sind.

Der Abschnitt zu Stoffeinträgen ermöglicht nach grundlegender Überarbeitung eine Stoffeintragsbilanzierung für viele Situationen in der Praxis, was durch die Auflistung und Erläuterung von Stoffeintragsdaten für alle Pfade inklusive deren Unsicherheit und auch durch die Nennung zahlreicher weiterführender Quellen erreicht wird.

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 aus Sicht der Arbeitsgruppe haben sollte. Einige Maßnahmen der älteren Ausgabe werden daher nur kurz erwähnt oder entfallen. Im Detail werden nur Maßnahmen behandelt, die (in der Regel auch international) wissenschaftlich abgesichert und in der Praxis erprobt sind. Übersichtsartig beschrieben und explizit gewarnt wird vor der Nutzung pseudowissenschaftlicher „alternativer“ Verfahren, die zahlreich auf dem Markt angeboten werden. Kosten- und Umweltauswirkungen sowie Bezüge zur Klimakrise und Klimaanpassung sind nicht in einem separaten Abschnitt beschrieben, sondern werden in den Einzelabschnitten erwähnt, sofern dies für eine spezielle Maßnahme relevant ist. Ausgewählte Fallbeispiele sind ebenso in den Einzelabschnitten erwähnt; der in der älteren Ausgabe des Merkblatts enthaltene Anhang mit Fallbeispielen ist entfallen. Wenn möglich und sinnvoll werden in einzelnen Abschnitten auch Kostenangaben gemacht. Diese dienen der Orientierung und sind im Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen zu verwenden. Die genannten Zahlen beziehen sich auf das Jahr der Erhebung.

Obwohl der Fokus des Interesses oft bei den technischen internen Maßnahmen liegt, werden die Maßnahmen im Einzugsgebiet ausführlicher und detaillierter ausgeführt, denn Seentherapie ist keine exklusiv gewässerökologische Zuständigkeit, sondern eine gesellschaftliche Querschnittsaufgabe. Denn es ist fraglich, ob es sinnvoll ist am letzten Punkt der Kette – im See selbst – reparieren und kompensieren zu wollen, was durch Strukturänderungen unserer Kulturlandschaft und deren nährstoffintensive Nutzung verursacht wird. 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 müssen.

Wir danken der DWA für die hervorragende organisatorische und fachliche Betreuung der Gremienarbeit, insbesondere auch dem ehemaligen stellvertretendem Leiter der Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft Herrn Schrenk, dessen unermüdlicher Einsatz maßgeblich zum Gelingen des Merkblatts beigetragen hat. Ein großer Dank gilt den Mitgliedern der Arbeitsgruppe, die mit viel Engagement ihr Wissen und ihre Erfahrungen in mehrjähriger intensiver Arbeit eingebracht haben.

Berlin, im Juli 2024

Björn Grüneberg

Änderungen

Gegenüber dem Merkblatt DWA-M 606 (12/2006) wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anpassung an die europäische Normung und zwischenzeitlich eingetretene Veränderungen hinsichtlich Gesetzen und Verordnungen, insbesondere der EG-Wasserrahmenrichtlinie;
- b) weitergehende Ausführungen zu limnologischen Grundlagen und Grundlagen der Seentherapie sowie zur Klassifikation und Bewertung von Seen;
- c) Aktualisierung und Neufassung der Ausführungen zu Auswirkungen des Klimawandels;
- d) Grundlegende Überarbeitung des Abschnitts zu Stoffeinträgen;
- e) Wesentliche Erweiterung des Abschnitts zu externen Maßnahmen;
- f) grundlegende Überarbeitung des Abschnitts zur Restaurierung sowie Neubewertung der Relevanz interner Maßnahmen.

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

Frühere Ausgaben

Merkblatt DWA-M 606 (12/2006)

DWA-Klimakennung

Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung ausgezeichnet. Über diese Klimakennung können Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach erkennen, in welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Klimaschutz auseinandersetzt. Das vorliegende Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

KA2 = Das Merkblatt hat direkten Bezug zur Klimaanpassung

KS2 = Das Merkblatt hat direkten Bezug zu Klimaschutzparametern

Einzelheiten zur Ableitung der Bewertungskriterien sind im „Leitfaden zur Einführung der Klimakennung im DWA-Regelwerk“ erläutert, der online unter www.dwa.info/klimakennung verfügbar ist.

Verfasserinnen und Verfasser

Dieses Merkblatt wurde im DWA-Hauptausschuss „Gewässer und Boden“ (HA GB) von der gemeinsamen DWA/DGL-Arbeitsgruppe GB-3.6 „Seentherapie“ im Auftrag des DWA/DGL-Fachausschusses GB-3 „Natürliche und künstliche Seen“ erstellt.

Der DWA/DGL-Arbeitsgruppe GB-3.6 /Seentherapie“ gehören folgende Mitglieder an:

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	Dr. rer. nat., 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 Biochemie, 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 Gäste haben mitgewirkt:

SANDROCK, Stefan	Dr. rer. nat., bioplan – Institut für angewandte Biologie und Landschaftsplanung GmbH, Ostseebad Nienhagen
ZAK, Dominik Henrik	Prof. Dr. rer.nat., Institut for Ecoscience, Aarhus University, Silkeborg, Denmark

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., 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

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BREUER, Lutz	M. Sc., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
--------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasserinnen und Verfasser	6
Bilderverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	13
Hinweis für die Benutzung	14
1 Anwendungsbereich	14
2 Begriffe	15
2.1 Allgemeines	15
2.2 Definitionen	15
2.3 Symbole, Abkürzungen und Formelzeichen	21
3 Einführung in die Seentherapie	23
3.1 Eutrophierung	23
3.2 Zu hohe diffuse Einträge und die Notwendigkeit externer und interner Maßnahmen	24
3.3 Synergien und monetäre Bedeutung von Eutrophierung und Seentherapie	25
4 Grundlagen der Limnologie und der Seentherapie	26
4.1 Limnologische Grundlagen	26
4.1.1 Einteilung stehender Gewässer	26
4.1.2 Morphometrische Kenndaten	27
4.1.3 Wärmehaushalt und thermische Schichtung	27
4.1.4 Lebensräume in Seen	29
4.1.5 Nährstoffhaushalt und Limitation	31
4.1.5.1 Allgemeines	31
4.1.5.2 Phosphor- und Stickstoff-Limitation	31
4.1.5.3 Kohlenstoff (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht)	32
4.1.6 Unterschiede zwischen Seen und Talsperren	34
4.1.7 Eutrophierung: Ursachen und Auswirkungen	36
4.1.8 Klimawandel	40
4.2 Grundlagen der Seentherapie	41
4.2.1 Seendiagnose und Ziele der Seentherapie	41
4.2.2 P-Bilanz und prinzipielle Steuerungsmöglichkeiten	41
4.2.3 Phosphorbindungsformen und Rücklösungsprozesse	42
4.2.4 Reaktion von Seen auf Laständerung und Bedeutung der internen Belastung	43
4.2.4.1 Unterschied zwischen P-Rücklösung und interner Belastung	43
4.2.4.2 Bilanzzeitraum und Unterscheidung zwischen kurzfristiger und langfristiger Relevanz der P-Rücklösung	44
4.2.4.3 Berücksichtigung von Flux- und Poolgrößen und der Wasserverweilzeit	45
4.2.5 P-Bilanzmodelle	46
4.2.5.1 Nutzung von P-Bilanzmodellen für Diagnosen und Prognosen	46
4.2.5.2 Wasser- und Phosphorbilanz von Seen	47

4.2.5.3	Einboxmodell und Bilanzberechnungen	48
4.2.5.4	Empirische Eutrophierungsmodelle und deren Grenzen	50
4.2.5.5	Nichtlineare Reaktion auf Laständerung – Bistabilität von Flachseen	51
4.2.6	Empfehlungen für die Anwendung von Phosphorbilanz- und Modellrechnungen....	52
4.2.7	Anwendungskriterien für Maßnahmen der Seentherapie	53
5	Klassifikation und Bewertung des trophischen und ökologischen Zustands von Seen	54
5.1	Grundlagen und Ziele der Bewertung von Seen.....	54
5.2	Bewertung entsprechend der EG-WRRL für Seen > 50 ha	55
5.2.1	Typisierung von Standgewässern entsprechend der EG-WRRL	55
5.2.2	Belastungen und biologische und unterstützende chemisch-physikalische Qualitätskomponenten in Seen	56
5.2.3	Herleitung typspezifischer trophischer Referenzzustände aus dem Trophie-Index von Seen	59
5.2.4	Ökologische Bewertungsverfahren für natürliche Seen	61
5.3	Klassifikations- und Bewertungsverfahren für Standgewässer < 50 ha nach LAWA.....	62
6	Gewässerbelastungen durch Stoffeinträge	64
6.1	Allgemeines.....	64
6.2	Entwicklung der Phosphorbelastung von Seen in der Vergangenheit.....	64
6.3	Quellen und Pfade der Phosphoreinträge in Seen.....	66
6.4	Quantifizierung von Phosphoreinträgen in Seen.....	67
6.4.1	Methodische Ansätze	67
6.4.2	Diffuse Einträge	68
6.4.2.1	Allgemeines.....	68
6.4.2.2	Eintrag über die Atmosphäre	69
6.4.2.3	Eintrag über das Grundwasser	69
6.4.2.4	Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen	70
6.4.3	Direkteinträge in den See.....	71
6.4.3.1	Einträge durch Gänse	71
6.4.3.2	Einträge durch Laub und Nadelstreu	72
6.4.3.3	Einträge durch Gewässernutzungen: Bade- und Wassersportnutzung, fischereiliche Nutzung.....	73
6.4.4	Direkte und indirekte Einträge aus Abwasseranlagen	73
6.4.4.1	Vorbemerkung	73
6.4.4.2	Eintrag aus zentralen Kläranlagen	74
6.4.4.3	Eintrag aus dezentralen Kleinkläranlagen und Sammelgruben.....	75
6.4.4.4	Eintrag aus Misch- und Regenwassereinleitung	76
7	Planung, Genehmigung und Durchführung von Therapiemaßnahmen	77
7.1	Einführung.....	77
7.2	Projektstart	78
7.3	Zustandsanalyse	78
7.3.1	Auswertung vorhandener Daten	78
7.3.2	Bestandsaufnahme	78
7.3.3	Bewertung, Defizitanalyse, Ursachenermittlung	80
7.4	Festlegung des Entwicklungsziels.....	80

7.5	Zusammenstellung geeigneter Sanierungs- oder Restaurierungsmaßnahmen.....	81
7.6	Festlegung der Therapiemaßnahme(n).....	81
7.7	Genehmigungsplanung	81
7.8	Ausführungsplanung	82
7.9	Auftragsvergabe	82
7.10	Durchführung der Maßnahme(n)	82
7.11	Erfolgskontrolle.....	83
8	Maßnahmen im Einzugsgebiet (Sanierung).....	84
8.1	Einführung.....	84
8.2	Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge aus diffusen Quellen	84
8.2.1	Landwirtschaftliche Maßnahmen zur Verminderung von großflächigen Nährstoffemissionen in der landwirtschaftlichen Praxis.....	84
8.2.1.1	Allgemeines	84
8.2.1.2	Maßnahmen	86
8.2.2	Gewässerrandsteifen.....	92
8.2.3	Wiedervernässung von Mooren	96
8.3	Maßnahmen zur Reduzierung der stofflichen Einträge aus Abwässern (Punktquellen)	98
8.3.1	Stoffliche Belastungen über Eintragspfade aus dem urbanen Bereich	98
8.3.2	Optimierung kommunaler Kläranlagen	99
8.3.3	Nachrüstung von Kleinkläranlagen.....	100
8.3.4	Abwasserumleitung (Ringkanalisationen)	101
8.3.5	Optimierung Mischwasserkanalisation	102
8.3.6	Niederschlagswasserbewirtschaftung.....	103
8.3.7	Retentionsbodenfilter	105
8.4	Nährstoffrückhalt im Zulauf von Gewässern	108
8.4.1	Vorsperren, Sedimentationsbecken und Tauchwände	108
8.4.2	Verlegung von Zuläufen.....	112
8.4.3	P-Rückhalt in Hauptzuläufen durch P-Fällung in Großanlagen	113
8.4.4	P-Elimination an kleinen Zuläufen mittels P-Fällung	115
8.4.5	Schilfpolder („constructed wetlands“)	117
9	Interne Restaurierungsmaßnahmen.....	121
9.1	Einleitung	121
9.2	Maßnahmen mit direktem Einfluss auf den Phosphorhaushalt	121
9.2.1	Chemische Phosphorfällung.....	121
9.2.2	Entschlammung.....	123
9.2.3	Tiefenwasserableitung	124
9.2.4	Externe Phosphorelimination	125
9.3	Maßnahmen ohne direkten Einfluss auf den Phosphorhaushalt.....	126
9.3.1	Vorbemerkung	126
9.3.2	Sauerstoffeintrag	126
9.3.3	Zwangszirkulation	127
9.3.4	Biomanipulation/Steuerung des Nahrungsnetzes.....	127
9.3.4.1	Vorbemerkung	127
9.3.4.2	Nahrungsnetzsteuerung/Nahrungskettenmanipulation.....	127

9.3.4.3	Steuerung des Makrophytenbestands	129
9.4	Zusätzliche Maßnahmeoptionen bei Talsperren	131
9.5	Sonstige Materialien und Verfahren	132
9.6	Sofortmaßnahmen in kritischen Situationen.....	133
9.6.1	Fischsterben.....	133
9.6.2	Massenentwicklung von Cyanobakterien	134
9.7	Pseudowissenschaftliche Verfahren.....	135
9.8	Unterhaltungsmaßnahmen und Umgang mit Nutzungskonflikten.....	136
Quellen und Literaturhinweise		137

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Typische Abfolge von Stagnations- und Zirkulationsperioden in einem tieferen See der gemäßigten Breiten	28
Bild 2:	Schematische Darstellung der Lebensräume in einem See	29
Bild 3:	Schematische Darstellung der trophischen Ebenen im Wasserkörper eines Sees	30
Bild 4:	Links: Zusammenhang zwischen Gesamtphosphor (TP) und Chlorophyll a in 30 abwasserbelasteten Seen	32
Bild 5:	Links: Übersicht zu den wichtigsten Prozessen zur Umsetzung von anorganischem Kohlenstoff in Seen. Rechts: Hägg-Diagramm zur Abhängigkeit des pH-Werts vom molaren Verhältnis der gelösten anorganischen Kohlenstoffformen	33
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	35
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	37
Bild 8:	Massenentwicklung von Cyanobakterien („Blaualgenblüte“), die nach dem Absterben die typische blaue Farbe annehmen.....	39
Bild 9:	Darstellung der wichtigsten Pool- und Fluxgrößen einer Phosphorbilanz	42
Bild 10:	Seesedimente als P-Quelle in einer Bilanz (gelb). 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.....	44
Bild 11:	Illustration der Anpassung der P-Retention beziehungsweise Freisetzung im See nach Änderungen der externen Last. Die Größe der Pfeile symbolisiert das relative Ausmaß der Transportraten; vertikale Pfeile sind P-Nettosedimentation..	45
Bild 12:	Beispiele für die Nutzung empirischer P-Bilanzmodelle für eine Diagnose mit Hilfe des OECD (1982) Modells und für eine Prognose des zeitlichen Verlaufs der seeinternen P-Konzentration mittels des Einboxmodells	47
Bild 13:	Nach einer plötzlichen Reduzierung der P-Zulaufkonzentration vermindert sich die seeinterne P-Konzentration, wobei die Anpassungszeit von der Wasseraufenthaltszeit abhängt	50
Bild 14:	Anwendungskriterien für seeinterne Maßnahmen	54

Bild 15:	Auswahl der biologischen Qualitätskomponenten und ihrer Bewertungsverfahren entsprechend der vorherrschenden Belastung beziehungsweise Nutzung von natürlichen und künstlichen Seen	57
Bild 16:	Einteilung des chemischen und ökologischen Gewässerzustands für Oberflächengewässer in Zustandsklassen für die Gesamtbewertung nach EG-WRRL	58
Bild 17:	Vergleich der Entwicklung der Jahresmittelwerte für die Gesamtposphorkonzentrationen in sechs deutschen Beispielseen über die Jahre 1975/1989 – 2018	65
Bild 18:	Entwicklung der Phosphor-Einträge in deutsche Gewässer von 1987 bis 2016	65
Bild 19:	Mögliche Quellen und Pfade für Stoffeinträge in Gewässer	66
Bild 20:	Darstellung der einzelnen von den Modellen MEPhos und MONERIS betrachteten Exportpfade.....	67
Bild 21:	Modellierte, absolute Anteile der einzelnen Eintragspfade am Gesamtposphor-Eintrag in das Einzugsgebiet der oberen Altmühl oberhalb des Zuflusses zum Altmühlsee und Fränkischen Seenland	68
Bild 22:	Übersicht über die Zugzeiten ausgewählter Gänsearten in Mitteleuropa.....	72
Bild 23:	Idealer Ablauf von Therapiemaßnahmen	77
Bild 24:	Links: Anfänglich lange anhaltende, geringe Bodenbedeckung bei Reihenkulturen wie Mais, die zu Verschlammung des Bodens und zu einem hohen Phosphor- und Sedimenteintrag ins Oberflächengewässer führen. Rechts: Übertritt von stark mit erodiertem Material aus dem Einzugsgebiet beladenem Wasser innerhalb einer Seenkette im Verlauf eines Maihochwassers.....	85
Bild 25:	Landwirtschaftliche Flächen im Einzugsgebiet des Altmühlsees. Links: Umbruch bleibt ohne weitere Bearbeitung über den Winter bestehen und ermöglicht maximalen Nährstoffaustrag; rechts: Feld mit Winterbegrünung, die einen erhöhten Nährstoffaustrag verhindert	89
Bild 26:	Schematische Darstellung der vier Systeme, die an der Höhe der Phosphor-Austräge beteiligt sind, mit den Kategorien der Minderungs-Maßnahmen.....	90
Bild 27:	Retentionsleitung von bewachsenen Gewässerrandstreifen in Abhängigkeit von der Breite	93
Bild 28:	Durch parallel zum Fließgewässer verlaufende Gräben kann der Stoffrückhalt sowohl von gelösten als auch partikulären Stoffen erheblich erhöht werden, da Dränrohre unterbrochen werden und nährstoffangereichertes Wasser langsam versickert.....	94
Bild 29:	Gewässerrandstreifen können an Partikel gebundene Stoffe in der Vegetation zurückhalten und gelöste Nährstoffe und Pestizide durch Adsorption, Aufnahme in die Biomasse und mikrobiellen Abbau	95
Bild 30:	Moore liegen oft an der Schnittstelle zwischen Land und Wasser und wirken unter naturnahen Bedingungen als Kohlenstoff- und Nährstoffsensen.....	97
Bild 31:	a) Mahd von Schilfbeständen auf nassen Moorböden mit spezieller Erntetechnik zur Reduzierung der Nährstoffüberschüsse im Boden. Eine wirtschaftliche Nutzung der Biomasse in Form von Paludikultur wird bereits teilweise praktiziert. b) Flachabtorfung in der Lehtsee-Niederung bei Templin.....	98
Bild 32:	Spezifische Kosten für P-Elimination in Kläranlagen in Abhängigkeit der Anschlussgröße.....	100
Bild 33:	Sanierung punktförmiger Einträge durch Ableitung aus dem Einzugsgebiet	102
Bild 34:	Schematische Darstellung eines Retentionsbodenfilters	106
Bild 35:	Schema eines vertikal durchströmten Retentionsbodenfilters	106
Bild 36:	Spezifische Nettoinvestitionskosten für Retentionsbodenfilter im Trennsystem.....	108

Bild 37:	(a) Wasserseite der entleerten Vorsperre der Talsperre Klingenberg mit höhenregulierbarem Ablaufschütz und Einlaufbauwerk für den Hochwasserentlastungsstollen, (b) Lage sowie (c) technischer Längsschnitt des Hochwasserentlastungsstollens, (d) Auslaufbauwerk des Hochwasserentlastungsstollens in den Unterlauf.....	111
Bild 38:	Links: Ehemaliger Mündungsbereich des Bornbachs in die Hunte. Rechts: Umleitung des Bornbachs am Dümmer	113
Bild 39:	Karte des Tegeler Sees mit der Lage der Zu- und Abflüsse, Trinkwasserbrunnen sowie der OWA/PEP Tegel	114
Bild 40:	Schematischer Aufbau einer Anlage zur Fällung von Phosphor im Zulauf eines Sees	117
Bild 41:	Phosphatfällanlage an einem Zulauf zum Teterower See. Links: äußerer Aufbau einer Phosphatfällanlage, rechts: Sprühbalken im Gewässer .	117
Bild 42:	Schematische Darstellung der Retention von Trüb- und Nährstoffen, Phosphor und Stickstoff in einem Schilfpolder	119
Bild 43:	Schematische Darstellung der Tiefenwasserentnahme mit Ableitung des Wassers in einen natürlichen Abfluss sowie in eine mobile P-Eliminationsanlage zwecks Aufbereitung und Rückführung des entnommenen Wassers	125
Bild 44:	Funktionsskizze einer Phosphateliminierungsanlage und eines Bodenfilters am Beispiel des Phönix-See, Dortmund; Adsorptionsreaktor enthält Eisenhydroxidgranulat.....	126
Bild 45:	Beispiele für Technologien, die zur Behandlung eutrophierter Standgewässer eingesetzt werden. a) Selektive Abfischung durch Zugnetze am Altmühlsee; b) Polyaluminiumchlorid (PAC)-Applikation am Feldberger Haussee; c) LMB (Lanthanmodifiziertes Bentonit)-Applikation am Behlendorfer See; d) LMB-Applikation am Goldap-See, Polen; e) Externe Phosphoreliminationsanlage am Phönix-See; f) Entschlammung am Altmühlsee; g) Tiefenwasserbelüftung am Schmalen Luzin; h) Mahd von Makrophyten am Bärensee, Hanau.....	130
Bild 46:	Tiefenvariable Entnahme-/Abgabeeinrichtungen in den Talsperren (a) Carlsfeld und Muldenberg; (b) Blick von der Wasserseite auf den in die Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Saidenbach integrierten höhenbeweglichen Schütz; (c) und (d) Blick auf die Luftseite der Talsperre Saidenbach bei einer über den Schütz realisierten Mengenerlastung	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vereinfachte Einteilung stehender Gewässer nach ihrer Entstehung und thermischen Schichtung	26
Tabelle 2:	Gesamtphosphor-Konzentrationen und Sichttiefen für den Grenzbereich gut bis mäßig für alle Seetypen nach OGewV in Anlehnung an die Vorgaben von LAWA als Saisonmittelwerte	58
Tabelle 3:	Seetyp-spezifische Klassengrenzen für die ökologische Bewertung abgeleitet aus den LAWA-Trophie-Indices. Die Referenztrophy entspricht der H/G (<i>high/good</i> oder sehr gut/gut), G/M (<i>good/moderate</i> oder gut/moderat), M/P (<i>moderate/poor</i> oder moderat/unbefriedigend), P/B (<i>poor/bad</i> oder unbefriedigend/schlecht) Klassengrenze. Ökologische Qualitätsklasse von 1 nach 5.....	60
Tabelle 4:	Aktuelle Bewertungsverfahren in Deutschland für die unterschiedlichen biologischen Qualitätskomponenten in Seen	61
Tabelle 5:	Phosphorausstragsraten aus Böden	70
Tabelle 6:	Vergleich der Angaben unterschiedlicher Untersuchungen zu anfallenden Mengen von Laub- und Nadelstreu in Waldbeständen und deren Phosphorgehalten.....	72
Tabelle 7:	Auszug aus dem LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog. Zehn Maßnahmen gegen den diffusen Stoffeintrag aus der Landwirtschaft	87
Tabelle 8:	Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphor-Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen, mit Angaben zur Wirkung auf den Wasserpfad, einer Einschätzung der räumlichen und zeitlichen Wirksamkeit	90
Tabelle 9:	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung mit Kategorisierung des Effekts auf Oberflächengewässer	105
Tabelle 10:	Im Dränablauf erzielbare Ablaufkonzentrationen von Retentionsbodenfiltern ..	107
Tabelle 11:	Beispiele für künstliche Freiwasserfeuchtgebiete ergänzt mit den Daten des Versuchsschilfpolders an der Oberen Hunte.....	118

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 Fachbehörden und des Finanzvolumens von Gewässertherapiemaßnahmen eine sach- und fachgerechte Vorbereitung, Begleitung und Nachuntersuchungen durch Behörden und Büros mit gewässerökologischem 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 präserter 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.

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.

Das vorliegende Merkblatt 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 weithin 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 ermöglicht nach grundlegender Überarbeitung eine Stoffeintragsbilanzierung für viele Situationen in der Praxis.

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 müssen.

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: 978-3-96862-729-8 (Print)
978-3-96862-730-4 (E-Book)

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef
Telefon: 02242 872-333 · info@dwa.de · www.dwa.de