

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 Nährstoff-verfügbarkeit, 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