

Grundlagen für den Betrieb von Belebungsanlagen mit gezielter Stickstoff- und Phosphorelimination

4. Auflage

Neu-
auflage

*Peter Baumann, Thomas Bosler,
Martin Eschenhagen, Christian Locher,
Peter Maurer, Ralf Schneider*

Grundlagen für den Betrieb von Belebungsanlagen mit gezielter Stickstoff- und Phosphorelimination

Peter Baumann, Thomas Bosler,
Martin Eschenhagen, Christian Locher,
Peter Maurer und Ralf Schneider



Herausgeber:
DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e.V.
Landesverband Baden-Württemberg

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall ist in Deutschland Sprecher für alle übergreifenden Wasserfragen und setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliedstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Normung, Beruflicher Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die DWA-Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeit liegt auf der Erarbeitung und Aktualisierung eines einheitlichen technischen Regelwerkes sowie der Mitarbeiter bei der Aufstellung fachspezifischer Normen auf nationaler und internationaler Ebene. Hierzu gehören nicht nur die technisch-wissenschaftlichen Themen, sondern auch die wirtschaftlichen und rechtlichen Belange des Umwelt- und Gewässerschutzes.

Impressum:

4. Auflage, 2016

Herausgeber:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Landesverband Baden-Württemberg

Rennstraße 8

70499 Stuttgart

Tel.: 0711 896631-0

Fax: 0711 896631-111

E-Mail: info@dwa-bw.de

www.dwa-bw.de

© DWA-Landesverband Baden-Württemberg

ISBN 978-3-88721-372-5

Vorwort

Seit über 20 Jahren gibt es die „Nährstoffkurse“ im DWA-Landesverband Baden-Württemberg. Vor 12 Jahren konnte dann erstmals das vorliegende Buch erscheinen. Inzwischen wird dieses zum vierten Mal aufgelegt, wobei es sich an alle Fachleute der Branche richtet, unabhängig davon, ob sie den Nährstoffkurs besucht haben.

Abwasseranlagen bilden eines der größten Vermögenswerte im kommunalen Anlagenbestand. Damit wird auch die Verantwortung deutlich, die Betreiber dieser Anlagen haben. Dieses Vermögen, das die Bürger bezahlt haben und weiter finanzieren muss durch verantwortungsvolle Betriebsführung und Instandhaltung erhalten werden.

Die Kenntnis der verfahrenstechnischen Abläufe und das Wissen um die Wechselwirkungen der Prozesse, die besonders bei den biologischen Vorgängen in Klärwerken den Erfolg der Abwasserreinigung ausmachen sind Voraussetzung für die erfolgreiche Betriebsführung.

Vor dem Hintergrund weiter steigender Qualitätsziele beim Gewässerschutz nehmen die Anforderungen an die Leistung von Klärwerken zu. Im Gegensatz zu zahllosen diffusen Eintragspfaden für Schadstoffe über Oberflächen in Gewässer lassen sich Schadstoffeinträge über das Abwasser gezielt und messbar entfernen. Hier liegen der Reiz und die Herausforderung für Verbesserungen auch bei der Nährstoffentnahme.

Bei Stickstoff- und Phosphorelimination in Belebungsanlagen sind die wesentlichen Schritte beschrieben und die Prozessabläufe bekannt. Es gilt aber, Reinigungserfolg und Energieverbrauch zu optimieren. Und es gilt, das Reinigungsziel auch vor dem Hintergrund von zahlreichen Spurenstoffen wie

Medikamenten und weiteren biologisch schwer abbaubaren Stoffen sicherzustellen.

Das Buch liefert – auch vor dem Hintergrund der Kurse – das dazu notwendige Wissen und beschreibt die biologischen und die chemischen Zusammenhänge.

Ich freue mich sehr über den bisherigen Erfolg dieses Buches. Bei den Autoren bedanke ich mich für ihre Beiträge und bei Herrn Maurer vom Lehr- und Forschungslärwerk Stuttgart-Büsnau für sein Engagement bei der Kursleitung.

Wolfgang Schanz

Vorsitzender des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg

EINFÜHRUNG

Kläranlagen mit gezielter Stickstoff- und Phosphorelimination stellen hohe Ansprüche an das Betriebspersonal. Die empfindlichen Reinigungsprozesse müssen nicht nur ständig an die sich verändernden Bedingungen angepasst und optimiert werden, es gilt auch, Funktionsstörungen aller Art vorzubeugen und bei eingetretenen Störungen schnell und richtig zu reagieren. Gleichzeitig sollen die Kosten des laufenden Betriebes und die Abwasserabgabe möglichst gering gehalten werden.

Diesen Forderungen können die verantwortlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf Dauer nur dann gerecht werden, wenn sie über ihre praktischen Erfahrungen hinaus auch über fundierte naturwissenschaftliche und verfahrenstechnische Grundkenntnisse verfügen, auf die sie ihre betrieblichen Entscheidungen stützen.

Das Werk beinhaltet eine Sammlung in sich abgeschlossener Einzelbeiträge, welche die wichtigsten Aspekte der Stickstoff- und der Phosphorelimination behandeln und zwar jeweils in der Reihenfolge naturwissenschaftliche Grundlagen, Verfahrenstechnik und Betrieb. Grundsätzlich gilt, dass Anschaulichkeit Vorrang vor strenger Wissenschaftlichkeit hat. Die Autoren sind für den Inhalt und das Bildmaterial ihrer Beiträge selbst verantwortlich. Die Ausführungen beschränken sich im Wesentlichen auf einstufige Belebungsanlagen. Viele der Hinweise können jedoch sinngemäß auf andere biologische Verfahren übertragen werden. Nicht explizit behandelt wird auch der mittlerweile umfängliche Komplex der qualitätsgesicherten Eigenkontrolle. Hier wird auf die einschlägigen Merkblätter und Handlungsempfehlungen der DWA bzw. der verschiedenen Bundesländer verwiesen.

Das vorliegende Buch richtet sich nicht nur an das interessierte Betriebspersonal. Es bietet sich auch als Ergänzung des Lehrmaterials bei der Ausbildung zur Fachkraft für Abwassertechnik an. Außerdem zielt es auf die Kolleginnen und Kollegen aus dem Ingenieurbereich ab, die sich näher mit der betrieblichen Seite der Stickstoff- und Phosphorelimination befassen wollen.

Peter Maurer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3	
Einführung	5	
1	Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Abwasser – Herkunft und Auswirkungen	13
1.1	Einführung in die Thematik	14
1.2	Gesetzliche Forderungen	14
1.2.1	Abwasserabgabengesetz	15
1.2.2	Abwasserverordnung	15
1.2.3	Eigenkontrollverordnung	16
1.2.4	Weitere Entwicklung	17
1.3	Chemische Grundlagen	17
1.3.1	Wesentliche Elemente und Verbindungen	17
1.3.2	Begriffserklärungen	19
1.3.3	Säurekapazität	22
1.3.4	Angaben nach der Trinkwasserverordnung	23
1.4	Abwasserinhaltsstoffe und ihre Auswirkungen im Gewässer	24
1.4.1	Allgemeiner Überblick	24
1.4.2	Stickstoff-Komponenten	24
1.4.3	Phosphor-Komponenten	26
1.4.4	Kohlenstoffkreislauf und Photosynthese	28
1.4.5	Stickstoff	29
1.4.6	Phosphor	34
1.5	Die Löslichkeit von Sauerstoff im Abwasser	40
1.6	Hinweise zur Betriebsanalytik	42
1.6.1	Allgemeines	42
1.6.2	Fehlerquellen	43
1.6.3	Messwerte und Qualitätssicherung	45

2	Grundlagen der Stickstoffelimination	53
2.1	Gesetzliche Anforderungen	54
2.2	Stickstoffverbindungen an der Abwasseranfall- stelle und im Zulauf zur Kläranlage	56
2.2.1	Abwasseranfallstelle	56
2.2.2	Vorgänge im Kanal – Stickstoffverbindungen im Zulauf zur Kläranlage	58
2.3	Elimination von Stickstoff in der Kläranlage	60
2.3.1	Prozesse zur Stickstoffelimination	60
2.3.2	Vorgänge in der mechanischen Reinigung	61
2.3.3	Einbau von Stickstoff in die Biomasse	61
2.3.4	Biologische Reinigung mit Nitrifikation	63
2.3.5	Biologische Reinigung mit Nitrifikation und Denitrifikation	66
2.3.6	Kläranlagen mit separater Schlammwasserbehandlung	68
2.4	Bilanzierung der Stickstoffelimination	70
3	Technische Möglichkeiten der Nitrifikation/Denitrifikation	77
3.1	Forderungen des Gesetzgebers	78
3.2	Nitrifikation	78
3.3	Denitrifikation	88
3.3.1	Zweck der Denitrifikation	88
3.3.2	Vorgänge	88
3.3.3	Vorgeschaltete Denitrifikation	90
3.3.4	Intermittierende Denitrifikation	94
3.3.5	Simultane Denitrifikation	95
3.4	Beispiel: Vorgeschaltete Denitrifikation	98
3.5	Kontrolle von Nitrifikation und Denitrifikation	99

4	Betriebliche Aspekte bei Anlagen mit Nitrifikation	103
4.1	Einführung	104
4.2	Aerobes Schlammalter	105
4.2.1	Bestimmung des Schlammalters	105
4.2.2	Mindestschlammalter	107
4.2.3	Betriebliche Einflussnahme auf das Schlammalter	107
4.2.4	Vor- und Nachteile eines höheren Schlammalters	109
4.3	Sauerstoffversorgung	110
4.4	Säurekapazität	112
4.5	Nitrifikationszeit	115
4.6	Stickstoffstoßbelastungen	119
4.7	Überschussschlammabzug	125
4.8	Nitrifikationshemmende Stoffe	126
4.9	Erhöhte Nitritkonzentrationen im Ablauf	130
5	Betriebliche Aspekte bei Anlagen mit Denitrifikation	133
5.1	Einführung	134
5.2	Ursachen für erhöhte Nitratkonzentrationen im Ablauf	135
5.3	Belastung mit oxidiertem Stickstoff	136
5.3.1	TKN-Spitzen im Zulauf	136
5.3.2	Oxidierter Stickstoff im Zulauf	137
5.4	Sauerstoffzufuhr in den Denitrifikationsteil	138
5.5	Schlammgehalt in der Denitrifikationszone	143
5.6	BSB:N _{ges} -Verhältnis im Zulauf zur Biologie	145
5.6.1	Allgemeines	145
5.6.2	Verkleinerung der Vorklärung	147
5.6.3	Rechen- und Siebgutwäsche sowie Sandwäsche	149
5.6.4	Dosierung von kohlenstoffhaltigem Konzentrat	149
5.7	Denitrifikationszeit	153

5.8	Rückführverhältnis bei vorgeschalteter Denitrifikation	156
5.9	Mischwasserzufluss und erhöhter Fremdwasserzufluss	159
5.10	Schlussbemerkungen	161
6	Grundlagen der Phosphatelimination	163
6.1	Gesetzliche Grundlagen	164
6.2	Abkürzungen	167
6.3	Entnahme der Phosphorverbindungen	168
6.4	Gezielte biologische Phosphatelimination	171
6.5	Chemische Phosphatelimination	177
6.5.1	Fällung/Flockung	177
6.5.2	Wirkungsmechanismen bei Metallverbindungen	178
6.5.3	Wirkungsmechanismen bei Kalkhydrat	179
6.5.4	Chemische Konkurrenzreaktion	180
6.5.5	Molverhältnis (β_{Fall} -Wert)	181
6.5.6	Veränderung der Säurekapazität	186
6.5.7	Schlammfall durch chemische Fällung	187
6.5.8	Suspensa-Entnahme	189
6.5.9	Aufsalzung	189
6.5.10	Aufgabe 3 – Beispielrechnung zur chemischen Phosphatelimination	190
6.5.11	Lösungen	192
7	Technische Möglichkeiten der Phosphatelimination	199
7.1	Verfahren	200
7.1.1	Vorfällung	200
7.1.2	Simultanfällung	202
7.1.3	Nachfällung	203
7.2	Messtechnik	205
7.3	Steuern und Regeln	206
7.4	Fällmittel	206

8	Betriebliche Erfahrungen mit der chemischen Fällung	209
8.1	Planung neuer Fällmittelstationen	210
8.1.1	Fällmittelauswahl	211
8.1.2	Auslegung der Lagertanks	211
8.1.3	MSR-Technik der Lagertanks	212
8.1.4	Die Phosphat-Messung	213
8.1.5	Dosierstation	215
8.2	MSR-Technik für die Fällmittel-Dosierung	217
8.2.1	Anbindung der Fällmittelstation an die bestehende MSR-Technik	219
8.2.2	Einfluss der Denitrifikation auf die Phosphatelimination	220
9	Zukunft der Nährstoffelimination/ Ausblick	223
9.1	Forderungen des Gesetzgebers	224
9.2	Maßnahmen bei Punktquellen	225
9.2.1	Verringerung des Sauerstoffbedarfs	226
9.2.2	Verringerung der Nährstoffe (ortho-Phosphat)	227
9.2.3	Chemischer Zustand (Spurenstoffe)	227
	Autorenverzeichnis	229

1 STICKSTOFF- UND PHOSPHOR- VERBINDUNGEN IM ABWASSER – HERKUNFT UND AUSWIRKUNGEN

Ralf Schneider, Karlsruhe

1.1 Einführung in die Thematik

Stickstoff (N) und Phosphor (P) sind seit langem als wesentliche Bestandteile von pflanzlichen und tierischen Organismen bekannt. Sie sind für das Wachstum von Pflanzen und Tieren zwingend erforderlich. Deshalb wirken die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor im Gewässer eutrophierend (ernährend) – sie steigern das Algenwachstum, dessen Auswirkungen vielschichtig sein können. Unter entsprechenden Bedingungen kann dies in einer »Kettenreaktion« bis zur extremen Sauerstoffarmut im Gewässer führen, mit tödlichen Folgen für viele Fische und Wasserorganismen. Um diese Folgen zu vermeiden oder zumindest gering zu halten, war und ist eine Minimierung des N- und P-Eintrags in Gewässer zwingend erforderlich.

Besonders effektiv kann bei punktuellen Einleitungen eingegriffen werden. Durch die Erweiterung der Kläranlagen auf P- und N-Eliminierung wurde in den letzten 25 Jahren hier schon vieles erreicht. Dennoch sind weitere Anstrengungen notwendig, zu denen auch die Optimierung der betrieblichen N- und P-Eliminierung auf Kläranlagen gehört.

Im folgenden Beitrag werden u.a. die Herkunft von N- und P-Verbindungen sowie ihre Auswirkungen im Gewässer näher betrachtet.

1.2 Gesetzliche Forderungen

Vorbemerkung: Im Folgenden wird mitunter nur von Kohlenstoff, Stickstoff oder Phosphor gesprochen. Diese Elemente kommen bei den uns interessierenden Überlegungen jedoch nie frei vor, sondern immer nur in ihren Verbindungen. Der Einfachheit halber werden aber teilweise nur die jeweiligen Elemente genannt.