

DWA-Regelwerk

Arbeitsblatt DWA-A 268

Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen

August 2016



DWA-Regelwerk

Arbeitsblatt DWA-A 268

Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen

August 2016



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 Regelsetzung, 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

Herausgeber und Vertrieb:

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

Satz:

DWA

Druck:

Druckhaus Köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-88721-363-3 (Print)
978-3-88721-364-0 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2016

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

Vorwort

Die weitgehende Nährstoffelimination und die oftmals höheren Anforderungen über die Mindestanforderungen der Abwasserverordnung (AbwV) hinaus erfordern vor allem bei Anlagen der Größenklasse 3 bis 5 zur Einhaltung von Überwachungswerten in der qualifizierten Stichprobe geeignete Steuerungs- und Regelungsstrategien. Darüber hinaus gewinnt die Automatisierung der Stickstoffentfernung auch bei kleineren Anlagen zur Erhöhung der Energieeffizienz, zur Reduzierung des Personalaufwands und der Kosten für die Abwasserabgabe weiter an Bedeutung. Da sich zudem die Automatisierung der Teilprozesse der N- und P-Elimination, der Sauerstoffzufuhr wie des Feststoffmanagements zunehmend gegenseitig beeinflussen, erfolgt durch das neu erarbeitete Arbeitsblatt DWA-A 268 eine ganzheitliche Betrachtung. Die bisherigen Merkblätter ATV-DVWK-M 265 „Regelung der Sauerstoffzufuhr beim Belebungsverfahren“, DWA-M 268 „Steuerung und Regelung der Stickstoffelimination beim Belebungsverfahren“ und ATV-M 266 „Steuern und Regeln des Trockensubstanzgehaltes beim Belebungsverfahren“ werden mit Erscheinen des Arbeitsblattes DWA-A 268 zurückgezogen, die maßgeblichen Inhalte integriert und überarbeitet. Besonderes Gewicht wird weiterhin auf die Darstellung der Steuerungs- und Regelungskonzepte gelegt, wobei vor allem praktischen Aspekten breiter Raum gewährt wurde.

Die Ausführungen zur Projektabwicklung und Wirtschaftlichkeit ergänzen die technischen Aspekte.

Der DWA-Fachausschuss KA-13 „Automatisierung von Kläranlagen“ formuliert damit in diesem Arbeitsblatt die dem derzeitigen Stand der Entwicklung entsprechenden Anforderungen an Verfahren und Einrichtungen zur Automatisierung der Nährstoffelimination beim Belebungsverfahren. Dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, da immer wieder neue Entwicklungen oder Verfahren auf den Markt gebracht und Verbesserungen an vorhandenen Systemen vorgenommen werden.

Für ergänzende Hinweise, die bei einer Novellierung des Arbeitsblattes berücksichtigt werden können, ist der Fachausschuss dankbar. Sie werden über die DWA-Bundesgeschäftsstelle an den Obmann erbeten.

Änderungen

Gegenüber dem Merkblatt DWA-M 268 (06/2006) wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Zusammenführen der Inhalte aus den Merkblättern ATV-DVWK-M 265 (03/2000), ATV-M 266 (06/1997) und DWA-M 268 (06/2006) in ein gemeinsames Arbeitsblatt;
- Aktualisierung und Neufassung der Ausführung zur Automatisierung der O₂-Zufuhr und zur Projektabwicklung.

In diesem Arbeitsblatt wird im Hinblick auf einen gut verständlichen und lesefreundlichen Text für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verallgemeinernd die männliche Form verwendet. Alle Informationen beziehen sich in gleicher Weise auf beide Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Merkblatt DWA-M 268 (06/2006)

Merkblatt ATV-M 268 (02/1997)

Merkblatt ATV-M 266 (06/1997)

Merkblatt ATV-DVWK-M 265 (03/2000)

Verfasser

Das Arbeitsblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-13.4 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“ im DWA-Fachausschuss KA-13 „Automatisierung von Kläranlagen“ erstellt.

Der DWA-Arbeitsgruppe KA-13.4 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“ gehören folgende Mitglieder an:

ARNOLD, Jan-Dirk	Dipl.-Ing., Bergisch Gladbach
BAUMANN, Peter	Dr.-Ing., Pforzheim
HARTWIG, Peter	Prof. Dr.-Ing., Hannover (Sprecher)
JUMAR, Ulrich	Prof. Dr.-Ing., Magdeburg
SCHEIERMANN, Thomas	Dipl.-Ing., Essen
THÖLE, Dieter	Dr.-Ing., Essen
WEDI, Detlef	Dipl.-Ing., Braunschweig

Dem DWA-Fachausschuss KA-13 „Automatisierung von Kläranlagen“ gehören folgende Mitglieder an:

ARNOLD, Jan-Dirk	Dipl.-Ing., Bergisch Gladbach
BAUMANN, Peter	Dr.-Ing., Pforzheim
GAHR, Achim	Dr. rer. nat., Gerlingen
HANSEN, Joachim	Prof. Dr.-Ing., Luxemburg
HARTWIG, Peter	Prof. Dr.-Ing., Hannover
JUMAR, Ulrich	Prof. Dr.-Ing., Magdeburg
OBENAU, Frank	Dr.-Ing., Essen (Obmann)
PACHALY, Uta	Dipl.-Ing., Berlin
REICHERT, Joachim	Dr.-Ing., Berlin
SCHEIERMANN, Thomas	Dipl.-Ing., Essen
THÖLE, Dieter	Dr.-Ing., Essen

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

WILHELM, Christian	Dr.-Ing., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
--------------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Benutzerhinweis	9
1 Anwendungsbereich	9
1.1 Vorbemerkungen	9
1.2 Zielsetzung.....	10
1.3 Geltungsbereich.....	10
1.4 Struktur des Arbeitsblattes	10
2 Begriffe	11
2.1 Definitionen.....	11
2.2 Abkürzungen.....	13
2.3 Formelzeichen	15
3 Grundlagen	17
3.1 Umweltauswirkungen und Qualitätsziele bezüglich Stickstoff, Phosphor und Feststoffen	17
3.2 Verfahrenstechnische Grundlagen.....	17
3.2.1 Feststoffmanagement	17
3.2.2 Stickstoffelimination.....	19
3.2.2.1 Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation	19
3.2.2.2 Verfahren zur Nitrifikation/Denitrifikation.....	22
3.2.3 Phosphorelimination	23
3.2.4 Stützung der Säurekapazität	24
3.3 Regelungstechnische Grundlagen	25
3.3.1 Ziele der Regelung und Steuerung.....	25
3.3.2 Unterschied von Regelung und Steuerung	26
3.3.3 Elemente des Regelkreises.....	27
3.3.4 Vermaschte Regelkreise	28
3.3.5 Fortgeschrittene Methoden der Prozessregelung.....	29
3.3.6 Schritte des Regelungsentwurfs	30
3.3.7 Simulation als Entwurfsunterstützung	31
3.3.8 Implementierungsaspekte	31
4 Messgrößen und -orte	32
4.1 Messgrößen	32
4.1.1 Wesentliche Messgrößen	32
4.1.2 Ersatzgröße Sauerstoffzehrung	32
4.1.3 Ersatzgröße Redoxpotenzial.....	32
4.2 Messort	33
4.2.1 Allgemeines	33

4.2.2	Messort für die O ₂ -Konzentration.....	34
4.2.3	Messort für die Ammonium-Konzentration	34
4.2.4	Messort für die Konzentration oxidierter Stickstoffverbindungen	35
4.2.5	Messort für die Konzentration der Phosphatverbindungen.....	35
4.2.6	Messorte für andere Messgrößen	35
4.3	Ersatzwertstrategien	35
5	Stellgrößen und Stellglieder	36
5.1	Stellgrößen	36
5.1.1	Sauerstoffzufuhr als Stellgröße	36
5.1.2	Zeit (Nitrifikationsdauer, Denitrifikationsdauer).....	36
5.1.3	Raum (Nitrifikationsvolumen/Denitrifikationsvolumen/Bio-P-Volumen)	38
5.1.4	C-Fracht als Stellgröße	38
5.1.5	Schlammrückführung	39
5.1.5.1	Rücklaufschlammstrom	39
5.1.5.2	Rezirkulationsstrom als Stellgröße	39
5.1.6	Überschussschlammabzug	39
5.1.7	Fällmitteldosierung	40
5.1.8	Alkaliendosierung als Stellgröße für die Stabilisierung der Säurekapazität	40
5.1.9	Stickstofffracht als Stellgröße zum Frachtausgleich	40
5.1.10	Zulaufverteilung als Stellgröße.....	41
5.2	Stellglieder	42
5.2.1	Anforderungen an Stellglieder	42
5.2.2	Stellglieder für O ₂ -Eintrag in das Belebungsbecken	42
5.2.3	Stellglieder für andere Fluidströme	43
6	Automatisierung der Sauerstoffzufuhr	43
6.1	Vorbemerkungen	43
6.2	Regelung eines Einzelbeckens.....	44
6.3	Konstantdruckregelung der Sammelleitung	45
6.4	Gleitdruckregelung der Sammelleitung	46
6.5	Luftverteilregelung	47
6.6	Bewertung der Varianten	48
7	Verfahrensorientierte Zusammenstellung der Steuerungen und Regelkreise	48
7.1	Übersicht.....	48
7.2	Feststoffmanagement	51
7.2.1	Rücklaufschlamm.....	51
7.2.2	Überschussschlamm.....	52
7.3	Stickstoffelimination.....	54
7.3.1	Anlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation	54
7.3.2	Anlagen mit simultaner Nitrifikation/Denitrifikation	56
7.3.3	Anlagen mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation.....	58
7.3.4	Anlagen mit alternierender Nitrifikation/Denitrifikation	61
7.3.5	Anlagen mit Aufstau-Betrieb (z. B. SBR-Verfahren).....	62
7.3.6	Anlagen mit nachgeschalteter Denitrifikation	64
7.3.7	Verfahrensunabhängige Aspekte	65

7.4	Ausgleich von Belastungsschwankungen	66
7.5	Phosphorelimination	67
7.6	Stützung der Säurekapazität	67
7.7	Aspekte des Zusammenwirkens von Kanalnetz und Kläranlage	68
8	Projektentwicklung	69
8.1	Zielrichtung	69
8.2	Projektphase Projektdefinition	69
8.3	Projektphase Planungsprozess	70
8.4	Projektphase Vergabe der Leistungen	74
8.5	Projektphase Realisierung	74
8.6	Projektphase Abschluss und Dokumentation	76
9	Wirtschaftlichkeit	77
10	Zusammenfassung	80
	Quellen und Literaturhinweise	82

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Arbeitsblatt DWA-A 268 im Kontext des DWA-Regelwerks	11
Bild 2:	Relative Geschwindigkeiten des Abbaus organischer Kohlenstoffverbindungen und der Nitrifikation in Abhängigkeit von der Sauerstoffkonzentration im Reaktor	21
Bild 3:	Blockschaltbild eines Regelkreises	26
Bild 4:	Blockschaltbild einer Steuerung	26
Bild 5:	Blockschaltbild einer kombinierten Steuerung und Regelung	27
Bild 6:	Regelstrecke mit Mess- und Stellglied und Betrachtung des Störgrößeneingriffs	27
Bild 7:	Übergangsfunktion eines idealen PID-Reglers	28
Bild 8:	Kaskadenregelung als Beispiel einer vermaschten Regelung	29
Bild 9:	Regelkreis Sauerstoff-Zufuhr	36
Bild 10:	Einzelkreisregelung	45
Bild 11:	Konstantdruckregelung/Gleitdruckregelung	46
Bild 12:	Schema Luftverteilregelung	47
Bild 13:	Fließgleichgewicht zwischen Belebungsbecken und Nachklärung	52
Bild 14:	Vorgeschaltete Denitrifikation; Messgröße: O ₂ -Konzentration; Stellgröße: O ₂ -Zufuhr	54
Bild 15:	Vorgeschaltete Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration; Stellgröße: O ₂ -Zufuhr	54
Bild 16:	Vorgeschaltete Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, V_N/V_{BB}	55
Bild 17:	Vorgeschaltete Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration, NO _x -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, V_N/V_{BB}	55
Bild 18:	Vorgeschaltete Denitrifikation; Messgröße: NO _x -N-Konzentration; Stellgröße: dosierte C-Fracht	55
Bild 19:	Vorgeschaltete Denitrifikation; Messgröße: NO _x -N-Konzentration; Stellgröße: Rezirkulationsstrom	56
Bild 20:	Simultane Nitrifikation/Denitrifikation; Messgröße: O ₂ -Konzentration; Stellgröße: O ₂ -Zufuhr	56

Bild 21:	Simultane Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, V _N /V _{BB}	57
Bild 22:	Simultane Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NO _x -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, V _N /V _{BB}	57
Bild 23:	Simultane Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, Redoxpotenzial/NO ₃ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, V _N /V _{BB}	58
Bild 24:	Simultane Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration, NO _x -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, V _N /V _{BB}	58
Bild 25:	Intermittierende Nitrifikation/Denitrifikation; Messgröße: O ₂ -Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, t _N /(t _N + t _{DN}).....	60
Bild 26:	Intermittierende Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, t _N /(t _N + t _{DN}).....	60
Bild 27:	Intermittierende Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, Redoxpotenzial/NO ₃ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, t _N /(t _N + t _{DN}).....	61
Bild 28:	Alternierende Nitrifikation/Denitrifikation; Messgröße: O ₂ -Konzentration; Stellgröße: O ₂ -Zufuhr.....	61
Bild 29:	Alternierende Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, Redoxpotenzial/NO ₃ -N-Konzentration; Stellgröße: O ₂ -Zufuhr.....	62
Bild 30:	Alternierende Nitrifikation/Denitrifikation; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration, NO _x -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, Zulaufverteilung.....	62
Bild 31:	SBR-Verfahren; Messgröße: O ₂ -Konzentration; Stellgröße: O ₂ -Zufuhr.....	63
Bild 32:	SBR-Verfahren; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, NH ₄ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, t _N /(t _N + t _{DN}).....	63
Bild 33:	SBR-Verfahren; Messgrößen: O ₂ -Konzentration, Redoxpotenzial/NO ₃ -N-Konzentration; Stellgrößen: O ₂ -Zufuhr, t _N /(t _N + t _{DN}).....	64
Bild 34:	Nachgeschaltete Denitrifikation; Messgröße: NO _x -N-Konzentration; Stellgröße: dosierte C-Fracht.....	64
Bild 35:	Nachgeschaltete Denitrifikation; Messgrößen: NO _x -N-Konzentration, Zulaufstrom; Stellgröße: dosierte C-Fracht.....	65
Bild 36:	Ausgleich von Belastungsschwankungen; Messgröße: NH ₄ -N-Konzentration; Stellgröße: Stickstofffracht.....	66
Bild 37:	Ausgleich von Belastungsschwankungen; Messgrößen: NH ₄ -N-Konzentration, Zulaufstrom; Stellgröße: Stickstofffracht.....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über Steuerungs- und Regelungsstrategien zur N-Elimination.....	49
Tabelle 2:	Übersicht über Steuerungs- und Regelungsstrategien beim Feststoffmanagement..	50
Tabelle 3:	Übersicht über Steuerungs- und Regelungsstrategien zur P-Elimination.....	50
Tabelle 4:	Zuordnung der Projektziele und Projektinhalte zur HOAI.....	70
Tabelle 5:	Verantwortlichkeiten im Projektverlauf – Teil 1: Planung.....	73
Tabelle 6:	Verantwortlichkeiten im Projektverlauf – Teil 2: Realisierung.....	76
Tabelle 7:	Kosten und Nutzen der Automatisierung von Belebungsanlagen.....	79

Benutzerhinweis

Dieses Arbeitsblatt 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 dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig sowie allgemein anerkannt ist.

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

Dieses Arbeitsblatt 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 Arbeitsblatt aufgezeigten Spielräumen.

1 Anwendungsbereich

1.1 Vorbemerkungen

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben (Abwassertverordnung AbwV) ist im Ablauf kommunaler Kläranlagen mit einem Anschlusswert $EW > 5.000$ E die Konzentration von Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) und zusätzlich bei Anschlusswerten $EW > 10.000$ E die Konzentration des gesamten anorganischen Stickstoffs ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$) zu begrenzen. Dies erfordert die Oxidation des im Abwasser vorwiegend in reduzierter Form vorliegenden Stickstoffs (als organisch gebundener Stickstoff und Ammonium) durch die Nitrifikation sowie eine anschließende Entfernung des Stickstoffs aus dem Abwasser mit dem Verfahren der Denitrifikation. Phosphor ist im Ablauf von Kläranlagen > 10.000 E zu begrenzen. Dieses erfolgt in der Regel mit einer Kombination aus biologischer und chemischer Phosphorelimination.

Damit die biologische Reinigung in der Kläranlage effektiv durchgeführt werden kann, ist ein entsprechendes Schlammmanagement erforderlich. Um Störungen der Reinigungskapazität wegen salzhaltigen Zulaufs oder aufgrund geringer Wasserhärte im Kläranlagenzulauf zu vermindern, ist gegebenenfalls eine Anhebung der Säurekapazität im biologischen Reaktor durch die Zugabe von Kalk oder Kreide erforderlich.

Das Arbeitsblatt stellt zunächst die wesentlichen Grundlagen der Stickstoffelimination, der Phosphorelimination, der Säurekapazitätspufferung und des Schlammmanagements und die im praktischen Einsatz bewährten Verfahrenstechniken zusammen. Im Anschluss wird auf die wichtigsten Messeinrichtungen eingegangen, wobei bezüglich der Stickstoffelimination neben den Online-Messgeräten zur direkten Bestimmung der relevanten Stickstofffraktionen auch auf Einrichtungen zur Messung von Ersatzgrößen verwiesen wird. Der Schwerpunkt des Arbeitsblattes liegt auf der verfahrensorientierten Zusammenstellung der Steuerungs- und Regelungsstrategien, wobei die Zielgrößen, die Regel- und Messgrößen, die möglichen Messorte und die Stellgrößen detailliert beschrieben werden. Damit unterstützt das Arbeitsblatt die Entscheidung über die Steuerungs- und Regelungskonzepte, an die sich später im Planungsprozess die Wahl der Algorithmen für die Steuerung und Regelung, die Reglerparametrierung und die Instrumentierung anschließen. Als Grundlage für die Auswahl der jeweiligen Automatisierungsstrategie kann unter Berücksichtigung der gewählten Verfahrenstechnik der Abschnitt 9 „Wirtschaftlichkeit“ herangezogen werden.