

# DWA- Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 210**

### **Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR)**

Juli 2009

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) 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 mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information 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: [kundenzentrum@dwa.de](mailto:kundenzentrum@dwa.de)

Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

### Satz:

DWA

### Druck:

Druckhaus Köthen

### ISBN:

978-3-941089-72-3

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2009

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblattes 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

Belebungsanlagen werden üblicherweise für den Durchlaufbetrieb konzipiert und haben sich als wirtschaftliches und leistungsstarkes Verfahren zur biologischen Reinigung von Abwasser weitgehend durchgesetzt. Die DWA hat mit den Arbeitsblättern ATV-A 122 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlußwerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten“, ATV-A 126 „Grundsätze für die Abwasserbehandlung in Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren mit gemeinsamer Schlammstabilisierung bei Anschlußwerten zwischen 500 und 5000 Einwohnerwerten“ und ATV-DVWK-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ die in Deutschland hierüber verfügbaren Erfahrungen für die Bemessung zusammengetragen. Bereits aus der Entwicklungszeit des Belebungsverfahrens ist bekannt, dass es auch mit einem einzelnen Becken im Aufstau, z. B. als Aufstauoxidationsgraben, betrieben werden kann.

Im Rahmen der intensiv geführten Diskussion über mögliche Kostensenkungen für die Abwasserreinigung wird verschiedentlich argumentiert, Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb seien wirtschaftlicher als Durchlaufanlagen. Ein Vergleich ist jedoch nur möglich, wenn die zu erfüllenden Anforderungen und die spezifischen Belastungen der Anlagen, z. B. die Schlammbelastung ( $B_{TS}$ ), gleich sind.

In Deutschland befinden sich zurzeit ca. 200 Aufstaubelebungsanlagen in Betrieb, weitere befinden sich im Bau. Weltweit befinden sich sogar einige tausend SBR-Anlagen in Betrieb [1].

Die ATV veröffentlichte 1997 das erste Merkblatt zu Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb. Seitdem konnten in Deutschland die Betriebserfahrungen mit diesen Anlagen erheblich erweitert werden. In der vorliegenden überarbeiteten Fassung nimmt das Merkblatt diese Betriebserfahrungen auf. Die Bemessung der Absetzphase wurde gegenüber der Erstveröffentlichung grundlegend überarbeitet.

In diesem Merkblatt werden die Bemessungsansätze aus dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 soweit technisch sinnvoll auf die SBR-Technologie angewendet. Für die Bemessung der Absetzphase wird ein ausschließlich für nicht durchflossene Becken entwickelter Ansatz genutzt.

Ein Prozessablauf der chemischen Fällung und Belüftung mit Aufstaubetrieb in Abwasserteichen wurde erstmals im Jahr 1898 von dem englischen Ingenieur Sir Thomas WARDLE [2] beschrieben. Es wurde zwischen einer Füllphase begrenzter Dauer, einer Belüftungs-, Sedimentations- und Entleerungsphase unterschieden.

Zwei Dekaden später arbeiteten ARDERN und LOCKETT [3] in Manchester im Rahmen ihrer Versuche, aus denen letztlich das Belebungsverfahren hervorgegangen ist, mit einer ganz ähnlichen Prozesstechnik. Die im Labormaßstab gewonnenen Ergebnisse waren so ermutigend, dass das Verfahren auf der Kläranlage der englischen Stadt Salford im Jahr 1914 zum großtechnischen Einsatz kam [4]. Ein Jahr später ging eine ähnlich konzipierte Anlage in Milwaukee, im Bundesstaat Wisconsin, in Betrieb. In Salford wurde das vorgeklärte Abwasser innerhalb von jeweils 45 Minuten in eines von zwei je 83 m<sup>3</sup> fassende Aufstaubecken eingeleitet und dann 3 Stunden lang belüftet. Der gebildete belebte Schlamm wurde anschließend während einer zweistündigen Sedimentationsphase abgesetzt und der Klarwasserüberstand während einer einstündigen Abzugsphase aus dem Becken abgeleitet. Bis zum Beginn der neuen Füllphase war eine 15-minütige Stillstandsphase vorgesehen. Es wird berichtet, dass das mit diesen Anlagen erzielte Reinigungsergebnis befriedigend war [5]. Es entstand jedoch eine Reihe technischer Probleme, die mit den damaligen Mitteln nicht zu bewältigen waren. Insbesondere war der Bedienungsaufwand für das Zu- und Abschalten der Pumpen, Schieber und Belüfter unverträglich hoch. Die Aggregate mussten zur damaligen Zeit weitestgehend von Hand bedient werden, was zu zahlreichen Fehlschaltungen führte [6]. Durch Umgestaltung in kontinuierlich durchflossene Anlagen mit nachgeschalteten Absetzbecken und Schlammrückführung konnten diese Probleme bewältigt werden. Das klassische Belebungsverfahren war erfunden.

Das Verfahren für Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb geriet in der Folge für viele Jahre in Vergessenheit, bis es 1952 von HOOVER and PORGES [7] sowie 1959 von PASVEER [8] in Form des Aufstauoxidationsgrabens quasi wieder entdeckt wurde. Im Unterschied zu der ursprünglichen Betriebstechnik wurde von den genannten Autoren vorgeschlagen, das Abwasser bei zunächst geschlossenem Ablaufwehr kontinuierlich in das Aufstaubecken einzuleiten. In dem Becken kam es dadurch zu einem Aufstau.

Nachdem eine obere Wasserstandsmarke erreicht war, wurde die Belüftung abgeschaltet. Der belebte Schlamm konnte nun sedimentieren und das Klarwasser durch Absenken des Ablaufwehrs abgezogen werden.

Der von PASVEER entwickelte Aufstauoxidationsgraben wurde seit den sechziger Jahren weltweit angewandt. Probleme traten dabei vor allem wegen überhöhter hydraulischer Belastung der Anlage bei Mischwasserzulauf auf. Um bei dem kontinuierlich mit Abwasser beschickten Becken die Vermischung von ungereinigtem Zulauf mit gereinigtem Ablauf zu vermindern, wurde von GORONZY [9] vorgeschlagen, die Einlaufzone des Beckens durch eine Tauchwand von dem restlichen Beckenraum abzutrennen. Aus dieser Idee entwickelten sich eine Reihe spezieller, z. T. patentrechtlich geschützter Firmenlösungen.

Die ursprüngliche, von ARDERN und LOCKETT eingeführte Betriebstechnik, die auf eine strikte Trennung der Prozessphasen „Füllen“ und „Klarwasserabzug“ aufbaute, wurde von IRVINE [10, 11, 12, 13] aufgegriffen. Durch systematische Arbeiten im Labor- und im großtechnischen Maßstab wurden in den USA wie auch später in Deutschland [14, 15, 16, 17] die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für das von Irvine mit dem Kürzel „SBR“ (Sequencing Batch Reactor) bezeichnete Verfahren erarbeitet und vertieft. Es soll darauf hinweisen, dass das Abwasser chargenweise behandelt wird (batch reactor), dass die dazu benötigten Prozesse, wie biologischer Abbau und Sedimentation, in einer zeitlichen Folge (Sequenz) ablaufen und dass diese Sequenz stetig wiederholt wird (sequencing).

## Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-6.2 „SBR-Anlagen“ im DWA-Fachausschuss „Aerobe biologische Abwasserreinigungsverfahren“ erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe KA-6.2 „SBR-Anlagen“ gehören folgende Mitglieder an:

TEICHGRÄBER, Burkhard	Dr.-Ing., Essen (Sprecher)
HOLM, Nils Christian	Dr. rer. nat., Hille
KEUDEL, Lars	Dr.-Ing., Wolfsburg
OLES, Jürgen	Dr.-Ing., Gladbeck
SCHREFF, Dieter	Dr.-Ing., Weyarn
SCHULZ, Andreas	Prof. Dr.-Ing., Essen
STEINMETZ, Heidrun	Prof. Dr.-Ing., Stuttgart
WIESE, Jürgen	Dr.-Ing., Bad Oeynhausen

Projektbetreuerin in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

THALER, Sabine	Dipl.-Biol., Hennef Abteilung Abwasser und Gewässerschutz
----------------	--

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	.....	<b>3</b>
<b>Verfasser</b>	.....	<b>4</b>
<b>Bilderverzeichnis</b>	.....	<b>6</b>
<b>Benutzerhinweis</b>	.....	<b>7</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b>	.....	<b>7</b>
1.1	Vorbemerkung .....	7
1.2	Zielsetzung.....	7
1.3	Geltungsbereich .....	8
<b>2 Begriffe</b>	.....	<b>9</b>
2.1	Definitionen .....	9
2.2	Abkürzungen.....	11
<b>3 Technik des Belebungsverfahrens mit Aufstaubetrieb</b>	.....	<b>12</b>
3.1	Allgemeines Anlagenkonzept .....	12
3.2	Verfahrens- und Betriebsvarianten .....	12
3.3	Anlagentechnik .....	15
3.3.1	Vorspeicher und Pumpstation .....	15
3.3.2	Aufstaubecken.....	16
3.3.2.1	Belüftung/Gebälsestation.....	16
3.3.2.2	Umwälzung.....	16
3.3.2.3	Klarwasserabzugsvorrichtung.....	17
3.3.2.4	Überschussschlammabzug .....	18
3.3.2.5	Schwimmschlammabzugsvorrichtung .....	19
3.3.2.6	Rohrleitungen und Armaturen .....	19
3.3.3	Ablaufspeicher .....	19
3.4	Messtechnische Ausrüstung.....	19
3.4.1	Vorspeicher/Ablaufspeicher .....	19
3.4.2	Aufstaubecken.....	19
3.5	Steuerungstechnik .....	19
<b>4 Bemessung von Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb</b>	.....	<b>20</b>
4.1	Bemessungsgrundlagen und Bemessungsgang .....	20
4.2	Festlegung der Zyklusdauer nach Erfahrungswerten.....	23
4.3	Ermittlung der Volumina .....	24
4.3.1	Grundsätzliches.....	24
4.3.2	Bestimmung des erforderlichen Schlammalters.....	25
4.3.3	Berechnung der erforderlichen Masse an Schlamm .....	26
4.3.4	Volumen der Aufstaubecken .....	26
4.3.5	Absetzverhalten und Überprüfung des Volumenaustauschverhältnisses .....	27
4.3.6	Technische Bedingungen für die Denitrifikation .....	29
4.3.7	Berechnung des Sauerstoffbedarfes.....	30
4.3.8	Überschussschlammfall .....	31
4.3.9	Volumen eines Vorspeichers.....	31
4.3.10	Phosphorelimination .....	31

4.4	Dynamische Simulation.....	32
4.4.1	Grundlagen.....	32
4.4.2	Anwendung.....	32
<b>5</b>	<b>Betrieb</b> .....	<b>33</b>
5.1	Betriebseinstellungen.....	33
5.2	Betriebsüberwachung.....	34
<b>6</b>	<b>Kosten- und Umweltauswirkungen</b> .....	<b>35</b>
<b>Literatur</b>	.....	<b>35</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Berechnungsbeispiel für eine kleine SBR-Anlage</b> .....	<b>37</b>
A.1	Belastung und Anforderungen.....	37
A.2	Festlegung und Berechnung der Prozessparameter nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131.....	37
A.3	Festlegung der Prozessgestaltung.....	37
A.4	Zyklusstrategie und Bemessungsparameter.....	37
A.5	Volumina und Höhen.....	38
A.6	Nachweis der hinreichenden Klarwasserhöhe.....	38
A.7	Nachweis der Denitrifikation.....	39
A.8	Nachweis zur vermehrten biologischen Phosphorelimination.....	39
A.9	Bemessung eines Vorlagebehälters.....	39
A.10	Ausgleich des Ablaufes.....	39
A.11	Maschinentechnische Berechnungen.....	40

## Bilderverzeichnis

Bild 1:	Prinzipskizze einer Aufstaubelebungsanlage.....	9
Bild 2:	Beispiel für die Aufeinanderfolge von Prozessphasen während eines Zyklus.....	10
Bild 3:	Fließbild für eine Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb vom Typ: „kontinuierliche Beschickung“, dargestellt ist eines von ggf. mehreren Aufstaubecken.....	12
Bild 4:	Zyklusplan für eine Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb vom Typ: „kontinuierliche Beschickung“.....	13
Bild 5:	Fließbild für eine Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb vom Typ: „schubweise Beschickung ohne Vorseicher“, Beispiel: 2 Parallelbecken.....	13
Bild 6:	Zyklusplan für eine Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb vom Typ: „schubweise Beschickung ohne Vorseicher“, Beispiel mit 2 Becken.....	13
Bild 7:	Fließbild für eine Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb vom Typ: „schubweise Beschickung aus einem Vorseicher“, Beispiel mit 2 Becken.....	13
Bild 8:	Zyklusplan für eine Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb vom Typ: „schubweise Beschickung aus einem Vorseicher“, Beispiel mit 2 Becken.....	14
Bild 9:	Betriebsweisen des Aufstau-Belebungsverfahrens, gezeigt anhand von Füllstandsganglinien.....	15
Bild 10:	Klarwasserabzugsvorrichtungen.....	18
Bild 11:	Ganglinien des Wasserstandes $H_W$ und Höhe des Schlammspiegels $H_S$ während der Sedimentations- und Abzugsphase für VSV = 600 ml/l.....	28
Bild 12:	Denitrifikations- und Nitrifikationsphasen bei verschiedenen Beschickungs- und Betriebsweisen.....	29

## Benutzerhinweis

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 dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes 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.

## 1 Anwendungsbereich

### 1.1 Vorbemerkung

Mit Belebungsanlagen ist eine weitgehende Entfernung der gelösten organischen Abwasserinhaltsstoffe sowie Stickstoff- und Phosphorelimination zu erzielen.

Aufstaubelebungsanlagen werden kontinuierlich oder diskontinuierlich (schubweise) mit Abwasser beschickt. Das Aufstaubelebungsverfahren mit einer Abwasserzufuhr über einen zeitlich begrenzten Zeitraum (Füllphase) wurde entwickelt, um die Prozessführung weitgehend von den Schwankungen von Volumenstrom und Schmutzstofffracht im Kläranlagenzulauf unabhängig zu machen sowie die Absetzbarkeit des belebten Schlammes zu verbessern [18]. Das Verfahren entspricht bei diskontinuierlicher Beschickung einem kaskadenförmig durchströmten Belebungsbecken mit der Besonderheit, dass die einzelnen Prozessphasen (aerobe, anoxische und anaerobe Mischung sowie Sedimentation) entlang einer Zeitachse im selben Becken ablaufen.

In Becken, die innerhalb eines begrenzten Zeitintervalls befüllt werden, haben die nach Abschluss der Füllphase eintretenden Veränderungen des Kläranlagenzulaufs keinen Einfluss auf das Prozessgeschehen. Die Dauer der einzelnen Prozessphasen lassen sich entsprechend den momentanen Bedingungen verlängern oder verkürzen, so dass die gewünschten Ablaufgrenzwerte sicher eingehalten werden. Zu beachten ist allerdings, dass diese Strategie nur zum Erfolg führen kann, wenn die Aufstaubelebungsanlage über eine genügend hohe hydraulische Aufnahmekapazität verfügt und sichergestellt ist, dass die Mess- und Regeleinrichtungen zuverlässig arbeiten. Im praktischen Betrieb wird deshalb diese Verfahrensweise bisher selten angewandt.

### 1.2 Zielsetzung

Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb sind für die Reinigung solcher Abwässer anwendbar, deren Inhaltsstoffe einer biologischen Behandlung zugänglich sind. Insofern ergeben sich keine grundsätzlichen Unterschiede zu dem klassischen Belebungsverfahren mit Durchlaufbetrieb.

- Aufstauanlagen sind modular aufgebaut. Reaktion und Sedimentation finden zeitlich getrennt in einem Becken statt. Bei kleinen Kläranlagen ist es somit möglich, ohne größeren Mehraufwand redundante Systeme zu betreiben. Außerdem ermöglicht der modulare Aufbau ein einfaches Erweitern der Kläranlage.
- Änderungen an der Betriebstechnik werden in Aufstaubelebungsanlagen durch Modifikation der Dauern und Abfolgen der einzelnen Phasen innerhalb eines Zyklus realisiert und durch Anpassung der Zeitsteuerung umgesetzt, d. h. ohne Baumaßnahmen.

Die Zykluszeiten können manuell vom Kläranlagenpersonal aufgrund von Erfahrungen (aktuelle Analysenwerte oder vorhersehbare Änderungen im Kläranlagenzulauf, z. B. bei Saisonbetrieben im Einzugsgebiet), verändert werden. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, den Betrieb der Aufstauanlage rechnergestützt zu steuern und so flexibel auf Schwankungen im Kläranlagenzulauf zu reagieren. Voraussetzungen dafür sind jedoch: (1) hoch qualifiziertes Kläranlagenpersonal, (2) eine verlässliche Messtechnik und (3) eine Zyklusgestaltung, die variable Zyklusdauern zulässt.

Die rechnergestützte Steuerung/Regelung empfiehlt sich insbesondere bei hochbelasteten Anlagen mit wenig oder gar keinem Reservevolumen, die nach der Verfahrensvariante 3 betrieben werden (siehe Abschnitt 3.2).

- Bei niedriger Belastung der Kläranlage können einzelne Aufstaubecken außer Betrieb genommen werden, indem die Stillstandszeit im Zyklus auf Stunden bis Tage verlängert wird. Der belebte Schlamm kann in zeitlichen Abständen belüftet oder durchmischt werden, um ihn aktiv zu halten.