

DIN EN 12255-6



ICS 13.060.30

Einsprüche bis 2021-08-04
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12255-6:2002-04

Entwurf

**Kläranlagen –
Teil 6: Belebungsverfahren;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12255-6:2021**

Wastewater treatment plants –
Part 6: Activated sludge process;
German and English version prEN 12255-6:2021

Stations d'épuration –
Partie 6: Procédé à boues activées;
Version allemande et anglaise prEN 12255-6:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naw@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 128 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12255-6:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 165 „Abwassertechnik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 119-05-36 AA „Kläranlagen (CEN/TC 165/WG 40)“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN12255-6:2002-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Norm wurde redaktionell überarbeitet;
- b) die Norm wurde an den aktuellen Stand der Technik angepasst;
- c) die Norm enthält nun eine Vielzahl informativer Anhänge mit Erläuterungen und Auslegungsinformationen.

Titel de: Kläranlagen — Teil 6: Belebungsverfahren

Titel en: Wastewater treatment plants — Part 6: Activated sludge process

Titel fr: Stations d'épuration — Partie 6: Procédé à boues activées

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	7
4.1 Symbole	7
4.2 Indizes	9
4.3 Abkürzungen	10
5 Anforderungen	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Planung	12
5.2.1 Grundlegende Informationen	12
5.2.2 Auswahl des Systems	13
5.2.3 Biologische Reaktoren	17
5.2.4 Nachklärbecken	17
5.2.5 Auswirkungen auf die Umwelt	18
5.3 Auslegung im Detail	18
5.3.1 Aufteilen des Volumenstroms	18
5.3.2 Biologische Reaktoren	18
5.3.3 Durchmischung	19
5.3.4 Belüftung	21
5.3.5 Nachklärbecken	26
5.3.6 Schlammrückführungs- und Überschussschlammssysteme	28
5.3.7 Interne Rezirkulation	29
5.3.8 Steuerung und Automatisierung	29
6 Prüfverfahren	31
Anhang A (informativ) Auslegung von biologischen Reaktoren	32
Anhang B (informativ) Kennwerte des Rohabwassers	33
Anhang C (informativ) Eliminationsgrad von Vorklärbecken	34
Anhang D (informativ) Externe Kohlenstoffquellen	35
Anhang E (informativ) Schlammalter MSRT und aerobes Schlammalter MASRT	36
E.1 Systeme nur für den Kohlenstoffabbau	36
E.2 Systeme für die Nitrifikation bei Mindesttemperaturen von 12 °C	36
E.3 Systeme zur Nitrifikation und Denitrifikation bei Temperaturen von mindestens 12 °C	36
E.4 Systeme zur N-Elimination und simultanen aeroben Schlammstabilisierung	37
Anhang F (informativ) Überschussschlammfall	38
Anhang G (informativ) Denitrifikationskapazität	40
Anhang H (informativ) Sauerstoffverbrauch	41

Anhang I (informativ) Iterative Berechnung des Volumenverhältnisses (V_D/V) in Denitrifikationsreaktoren	43
Anhang J (informativ) Reaktorvolumen (V)	44
Anhang K (informativ) Internes Rückführverhältnis (IRR)	45
Anhang L (informativ) Alkalinität.....	46
Anhang M (informativ) Aerobe Selektoren.....	48
Anhang N (informativ) Auslegung nach dem F/M-Verhältnis.....	49
Anhang O (informativ) Schlammindex (SVI).....	50
Anhang P (informativ) Feststoffkonzentration im Rücklaufschlamm ($C_{SS,RS}$).....	51
Anhang Q (informativ) Rücklaufschlammfluss (Q_{RS}) und Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe im biologischen Reaktor ($C_{SS,R}$)	52
Q.1 Allgemeines	52
Q.2 Flächenbeschickung (q_A) und Flächen-Schlammbeschickung (q_{SA})	52
Anhang R (informativ) Fläche (A_C) von Klärbecken	54
Anhang S (informativ) Tiefe (h_C) von Klärbecken.....	55
Anhang T (informativ) Räumerauslegung	56
Anhang U (informativ) Rücklaufschlammbilanz	58
Anhang V (informativ) Zuflussbauwerke	59
Anhang W (informativ) Auslegung eines Belüftungssystems zur feinblasigen Belüftung	60
Literaturhinweise.....	63

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12255-6:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 165 „Abwassertechnik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12255-6:2002 ersetzen.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

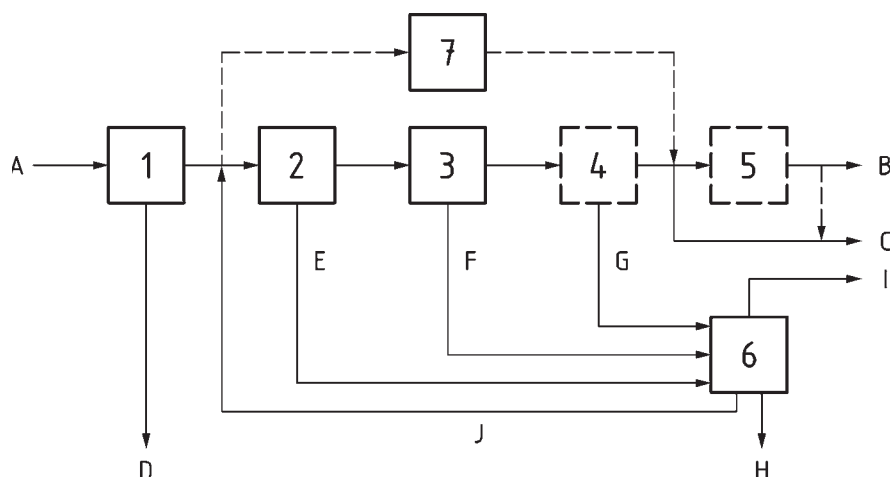
Es ist der sechste von der Arbeitsgruppe CEN/TC 165/WG 40 erarbeitete Teil, der sich auf allgemeine Anforderungen und Verfahren für Kläranlagen für über 50 Einwohnerwerte (EW) bezieht.

Die Normenreihe EN 12255 mit dem Haupttitel „Kläranlagen“ besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Baugrundsätze
- Teil 2 Storm management systems
- Teil 3: Abwasservorreinigung
- Teil 4: Vorklärung
- Teil 5: Abwasserbehandlung in Teichen
- Teil 6: Belebungsverfahren
- Teil 7: Biofilmreaktoren
- Teil 8: Schlammbehandlung und -lagerung
- Teil 9: Geruchsminderung und Belüftung
- Teil 10: Sicherheitstechnische Baugrundsätze
- Teil 11: Erforderliche allgemeine Angaben
- Teil 12: Steuerung und Automatisierung
- Teil 13: Chemische Behandlung — Abwasserbehandlung durch Fällung/Flockung
- Teil 14: Desinfektion
- Teil 15: Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen
- Teil 16: Abwasserfiltration

Einleitung

Die Unterschiede bei der Abwasserbehandlung in Europa haben zu einer Vielzahl von Systemen geführt. Dieses Dokument enthält grundsätzliche Angaben zu den Systemen; es trifft jedoch keine Festlegungen für alle verfügbaren Systeme. Nachfolgend ist die Auslegung einer typischen Kläranlage dargestellt.



Legende

- 1 Vorreinigung
- 2 Vorklärung
- 3 zweiter Reinigungsteil
- 4 dritter Reinigungsteil
- 5 weitergehende Behandlung (z. B. Desinfektion oder Entfernen von Mikroschadstoffen)
- 6 Schlammbehandlung
- 7 Abwasserteiche (als Alternative)
- A Rohabwasser
- B Abfluss zur Wiederverwendung (z. B. Bewässerung)
- C Abfluss aus der Kläranlage
- D Rechen- und Sandfanggut
- E Primärschlamm
- F Sekundärschlamm
- G Tertiärschlamm
- H Faulschlamm
- I Faulgas
- J Rückfluss aus der Entwässerung

Bild 1 — Schematische Darstellung einer Kläranlage

Diese Art der Kläranlage wird in erster Linie zur Reinigung von häuslichem und kommunalem Abwasser eingesetzt.

ANMERKUNG Für Anforderungen an Pumpanlagen in Kläranlagen siehe EN 752, *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden* und EN 16932, *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden — Pumpsysteme*:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen;
- Teil 2: Druckentwässerungssysteme;
- Teil 3: Unterdruckentwässerungssysteme.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Leistungsanforderungen an die Abwasserreinigung mit dem Belebungsverfahren in Kläranlagen für über 50 EW fest.

Es wurde mittlerweile eine Vielzahl an unterschiedlichen Belebungssystemen entwickelt. Dieses Dokument trifft jedoch keine Festlegungen für alle verfügbaren System. Es macht grundsätzliche Angaben zu einstufigen Anlagen.

Der informative Anhang A, der informative Anhang B und der informative Anhang C enthalten Angaben zur Planung und Auslegung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 16323, *Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik*

EN 12255-1, *Kläranlagen — Teil 1: Allgemeine Baugrundsätze*

EN 12255-10, *Kläranlagen — Teil 10: Sicherheitstechnische Baugrundsätze*

EN 12255-11, *Kläranlagen — Teil 11: Erforderliche allgemeine Angaben*

EN 12255-12, *Kläranlagen — Teil 12: Steuerung und Automatisierung*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 16323 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

erhöhte biologische Phosphorelimination

Belebungssystem zur vermehrten biologischen Phosphorelimination durch verstärkte Phosphoraufnahme der Mikroorganismen, sogenannten Luxury Uptake, wobei das Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch oder der Rücklaufschlamm abwechselnd anaeroben und aeroben Bedingungen ausgesetzt wird

3.2

internes Rückführverhältnis

IRR, en: internal recirculation ratio

Quotient aus dem Rückfluss von nitrathaltigem Abwasser zu einem Denitrifikationsreaktor und dem Abwasserzufluss

3.3

Selektor

erster kleiner Reaktor einer Belebungsanlage, in dem einfließendes Abwasser und Rücklaufschlamm vermengt und durchmischt werden, um durch eine hohe Schlammkonzentration die Bildung von Blähschlamm zu mindern

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Selektor kann ein aerobes oder anaerobes Becken sein, aerobe Selektoren sind üblicher. Ein anaerober Selektor kann auch zur Unterstützung der biologischen Phosphorelimination eingesetzt werden.

3.4

Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken

MLSS, en: mixed liquor suspended solids

Konzentration der Trockenmasse von abfiltrierbaren Stoffen im Gemisch aus Abwasser und belebtem Schlamm

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Trockenmasse von filtrierten Stoffen wird nach „Standard Methods of Wastewater (SMEWW)“, 23. Auflage, 2540, Teil D und Teil E bestimmt.

[QUELLE: EN 16323:2014, Begriff 2.3.10.24]

3.5

organische Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken

MLVSS, en: mixed liquor volatile suspended solids

Konzentration der organischen Trockenmasse von abfiltrierbaren Stoffen im Gemisch aus Abwasser und belebtem Schlamm

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Trockenmasse von filtrierten Stoffen wird nach „Standard Methods of Wastewater (SMEWW)“, 23. Auflage, 2540, Teil D und Teil E bestimmt.

[QUELLE: EN 16323:2014, Begriff 2.3.10.25]

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Symbole

Symbol	Bedeutung	Einheit
<i>A</i>	Fläche	m ²
<i>C</i>	Massenkonzentration	mg/l
<i>D</i>	Durchmesser	m
<i>F</i>	Faktor	(dimensionslos)
<i>F/M</i>	Quotient aus Schmutzfracht und Masse (z. B. kg BSB ₅ /d je kg MLSS)	kg/(kg·d)
HRT	hydraulische Verweilzeit (en: hydraulic retention time) (= V/Q)	d
IRR	internes Rückführverhältnis (für die Nitratrückführung) (en: internal recirculation ratio)	(dimensionslos)
<i>L</i>	Länge	m
<i>M</i>	Masse	kg
MSRT	mittlere Feststoffverweilzeit = Schlammalter (en: mean solids retention time)	d oder h
OC	Sauerstoffverbrauch (en: oxygen consumption)	kg/h

Symbol	Bedeutung	Einheit
OTE	Sauerstoffausnutzung unter Betriebsbedingungen (en: oxygen transfer efficiency)	kg/kWh
P	Leistung	W oder kW
Q_x	spezifischer Volumenstrom je x , z. B. je Einwohner	$\text{m}^3/(\text{h} \cdot x)$
Q	Durchfluss	m^3/h oder l/s
RSR	Rücklaufverhältnis = Quotient aus Rücklaufschlammfluss und Abwasserzufluss (en: return sludge ratio)	(dimensionslos)
S	Konzentration der gelösten Stoffe	mg/l
SOTR	Standard-Sauerstoffzufuhr (en: standard oxygen transfer rate)	kg/h
SSOTR	spezifische Standardsauerstoffzufuhr (en: specific standard oxygen transfer rate)	$\text{g}/(\text{Nm}^3 \cdot \text{h})$
SOTE	Standard-Sauerstoffausnutzung (en: standard oxygen transfer efficiency)	kg/kWh
SSOTE	spezifische Standard-Sauerstoffausnutzung (en: specific standard oxygen transfer efficiency)	%/m
SSP	Überschussschlammfall (en: surplus sludge production)	kg/d
SVI	Schlammindex (en: sludge volume index)	ml/g
SSVI	Rührschlammindex (en: stirred sludge volume index)	ml/g
T	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$ oder K
V	Volumen	m^3
W	Breite (en: width)	m
X	Feststoffkonzentration	mg/l
Y	Ertrag	kg/kg
a	Anzahl der Räumearme	—
c	Konzentration	mmol/l
h	Höhe oder Tiefe	m
l	spezifische Schmutzfracht je Einwohner oder der Gesamtbevölkerung und je Tag	$\text{g}/(\text{P} \cdot \text{d})$
n	Anzahl	—
p	Druck	kPa
t	Zeit	h oder s
v	Fließgeschwindigkeit	m/s
α	Alpha-Faktor = Verhältnis der Belüftungskoeffizienten von Abwasser und Prüfwasser	—
β	Salinitätsfaktor des Prüfwassers	—
Δp	Druckverlust	kPa

4.2 Indizes

A	Fläche
Air	Luft
Al	Aluminium
Al(III)	dreiwertiges Aluminium (Al^{3+})
AR	aerober Reaktor
BioP	erhöhte biologische Phosphorelimination
B	unten (en: bottom)
Bl	Gebläse (en: blower)
BM	Biomasse
BSB ₅	biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
Cl	Klärbecken (en: clarifier)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
D	Tiefe (en: depth)
Den	Denitrifikation
Dif	Druckbelüfter (en: diffuser)
Dos	Dosierung
DS	getrocknete Feststoffe (en: dried solids)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk, synthetischer Kautschuk
Fe	Eisen
Fe(II)	zweiwertiges Eisen (Fe^{2+})
Fe(III)	dreiwertiges Eisen (Fe^{3+})
F	Beckenboden (en: floor)
MAP	Magnesium-Ammonium-Phosphat, auch Struvit genannt
MLSS	Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken
MLVSS	organische Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken
N	Stickstoff
Nitr	Nitrifikation
NH ₄	Ammonium
NO ₃	Nitrat
N ₂ O	Distickstoff[mon]oxid oder Lachgas
O ₂	Sauerstoff
OTC	Sauerstoffzufuhrvermögen (en: oxygen transfer capacity)
OT	Sauerstoffzufuhr (oxygen transfer)

P	Phosphor
PE-HD	Polyethylen mit hoher Dichte
PL	Rohrleitung (en: pipeline)
PostD	nachgeschaltete Denitrifikation
PreD	vorgeschaltete Denitrifikation
PP	Polypropylen
EW	Einwohnerwert = Einwohnerzahl + Einwohnergleichwert
PVC	Polyvinylchlorid
R	Reaktor
RS	Rücklaufschlamm
SA	Feststoffe je Flächeneinheit (en: solids per area)
SBR	Sequencing Batch Reactor
S	Schlamm
SC	Kurzschlussströmung (en: shortcut)
Scr	Räumer (en: scraper)
SimD	simultane Denitrifikation
SR	Schlammrücklauf
SS	abfiltrierbare Stoffe, Trockenmasse (en: suspended solids)
St	Standard
T	temperaturabhängig
TDS	Gesamtgehalt an gelöstem Salz (en: total dissolved salt)
TKN	Gesamtgehalt an Kjeldahl-Stickstoff (en: total Kjeldahl nitrogen)
TW	Prüfwasser (en: test water)
WW	Abwasser (en: wastewater)
WWTP	Kläranlage (en: wastewater treatment plant)

4.3 Abkürzungen

alk	Alkalinität
amb	umgebungsbezogen
bw	rückwärts, zurück
cy	Zyklus
dis	gelöst
deg	abbaubar oder abgebaut
des	Auslegung
fw	vorwärts, vor
geo	geodätisch

hor	horizontal
h	auf die Stunde bezogen
im	Eintauchen
in	Zufluss
inert	nicht abbaubar
inorg	anorganisch
int	intermittierend
max	Maximum, Höchst-
min	Minimum, Mindest-, Tiefst-
org	organisch oder flüchtig
orgN	organischer Stickstoff
out	Abfluss
p	partikelbezogen
prec	ausgefällt
redeg	leicht abbaubar ohne vorherige Hydrolyse, verfügbar für die Denitrifikation
sal	Salinität
sat	Sättigung
th	eingedickt
tot	gesamt
vert	vertikal, senkrecht
20	20 °C

5 Anforderungen

5.1 Allgemeines

Die biologischen Reaktoren und Nachklärbecken bilden in Verbindung mit den Schlammrückführungen ein einheitliches System, das als Belebungsverfahren bezeichnet wird. Die Wirksamkeit des Belebungsverfahrens hängt sowohl von den biologischen und chemischen Vorgängen im Belebungsbecken als auch vom Absetzvorgang des Schlammes im Nachklärbecken ab. Belebungsanlagen umfassen Bauwerke wie Belebungs- und Absetzbecken sowie technische Einrichtungen wie Belüftungssysteme und Schlammräumer.

Die biologische Behandlung und Nachklärung (Klarwasserabzug) dürfen in einem Sequencing Batch Reactor (SBR) mit intermittierenden Belüftungs- und Sedimentationszyklen kombiniert werden.

Die Auslegung muss die in EN 12255-1, EN 12255-10, EN 12255-11 und EN 12255-12 festgelegten Anforderungen erfüllen.

5.2 Planung

5.2.1 Grundlegende Informationen

Der Auslegung der Belebungsanlage müssen mindestens folgende Angaben zugrunde gelegt werden:

- 1) die Höchst- und Mindestabwassertemperaturen und die temperaturabhängigen Anforderungen an die Qualität des Abflusses;
- 2) die Höchst-, Mindest- und Jahresdurchschnittswerte des Abwasserzuflusses sowie der Zwei-Stunden-Höchstwert des Abwasserzuflusses bei Trockenwetterbedingungen;
- 3) Anlagenschmutzfrachten abhängig von der Vorklärung (wo vorgesehen) einschließlich Schwankungen des CSB (oder BSB) und der Feststoff-, P- und TKN-Konzentrationen. Für die Anlagenauslegung sollten die 85-%-Quantile und für die Berechnung der Betriebskosten und die Auslegung von Schlammbehandlungsanlagen die 50-%-Quantile (d.h. Mediane) oder arithmetische Mittelwerte angegeben werden;
- 4) wenn möglich, ist dem Planer die Zusammensetzung des einfließenden Gesamt-CSB, getrennt nach abbaubarem gelöstem CSB, nicht abbaubarem gelöstem CSB, abbaubarem Schweb- und Schwimm-CSB, nicht abbaubarem Schweb- und Schwimm-CSB und leicht abbaubarem CSB mitzuteilen;

ANMERKUNG Als Standardverfahren wird der CSB durch Oxidation mithilfe von Dichromat analysiert. Bei Chrom handelt es sich um ein Schwermetall. Für mehr Nachhaltigkeit könnte Dichromat durch ein anderes Oxidationsmittel ersetzt werden.

- 5) mindestens 40 Proben müssen für die Gesamtheit der Parameter analysiert werden;
- 6) die Einleitwerte in Bezug auf den CSB und die N- und P-Konzentrationen im Abfluss.

Die Rücklauffracht aus der Schlammbehandlung muss berücksichtigt werden, vor allem die Ammoniumfracht im Rücklauf. In einigen Fällen ist es unter Umständen erforderlich, eine separate Behandlung von Filtrat oder Zentrifugat aus der Schlammentwässerung vorzusehen, z. B. durch ein Deammonifikationsverfahren.

Die Abbaurate der Schmutzfracht während der Vorklärung muss berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, die Abbauraten bei Trockenwetterbedingungen zu untersuchen. Wo dies nicht möglich ist, dürfen die Abbauraten aus Anhang C verwendet werden.

Biologische Kläreinheiten sollten vor hydraulischer Überlastung z. B. durch Überlaufeinrichtungen und/oder Regenwasserbecken geschützt werden, um die erforderlichen Einleitwerte zu erreichen. Die Häufigkeit und die Menge von Abwassereinleitungen sollten begrenzt werden (siehe EN 752).

Es wird empfohlen, eine halbtechnische Pilotprüfung über einen Zeitraum von mindestens einem halben Jahr (einschließlich der Kälteperiode) durchzuführen, um Daten für die Anlagenauslegung näher untersuchen zu können. Durch die Langzeitprüfung können die Auslegung optimiert und notwendige Sicherheitsfaktoren einer allgemeineren Auslegung vermieden werden.

Bei Fällen, wo dies nicht möglich ist, können die grundlegenden Leitlinien der Anlagenauslegung in Anhang A zugrunde gelegt werden.

Folgende Faktoren müssen bei der Planung einer Belebungsanlage bestimmt werden:

- Fassungsvermögen und Maße der biologischen Reaktoren;
- Vermeidung von Totzonen und störenden Ablagerungen in den Becken und Kanälen;

- Einbau mehrerer Leitungen oder Einheiten oder anderer technischer Einrichtungen, um die geforderte Abflussqualität auch dann einhalten zu können, wenn Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden;
- Belüftungs- und/oder Mischeinrichtungen in den biologischen Reaktoren mit ausreichender Kapazität;
- Fläche, Volumen und Tiefe der Nachklärbecken;
- Schlammräumanlage in den Klärbecken;
- Einrichtungen zur Schlammrückführung und zum Überschussschlammabzug;
- internes Rückführverhältnis und Rückführeinrichtungen;
- ausreichende Stabilisierung des abgezogenen Überschussschlamm (falls erforderlich);
- Mess- und Steuersysteme;
- Geruchsminderung;
- Lärm- und Schwingungsbegrenzung;
- hydraulischer Druckverlust.

5.2.2 Auswahl des Systems

Die Anordnung, Anzahl, Form und das Fassungsvermögen der Becken für die biologischen Hauptreaktionen können erheblich variieren. Sie sind abhängig von

- der Anlagengröße,
- der zu erreichenden Wasserqualität, z. B. nur Abbau der organischen Schmutzlast (BSB), Nitrifikation, Denitrifikation und/oder Phosphorelimination,
- der Notwendigkeit, gleichzeitig den aeroben Schlamm zu stabilisieren (z. B. das erforderliche aerobe Schlammalter),
- der Wahl eines einstufigen oder mehrstufigen Systems,
- falls biologischer Stickstoffabbau erforderlich ist: der Auswahl der Art der Denitrifikation (z. B. vorgeschaltete, Kaskaden-, simultane, alternierende, intermittierende oder nachgeschaltete Denitrifikation),
- der Vorgabe von anaeroben und aeroben Selektoren zur Minderung von Blähschlamm Bildung,
- der Vorgabe von anaeroben und aeroben Reaktoren zur erhöhten biologischen Phosphorelimination,
- der Vorgabe von Reaktoren zur anoxischen oder aeroben Behandlung (abhängig von der Schmutzfracht und der Temperatur),
- der Notwendigkeit, chemische Phosphate durch Zugabe von Metallsalzen abzubauen (z. B. Eisensalz, Eisen(II)-Salz oder Aluminiumsalz), und
- den Höchst- und Tiefsttemperaturen und den temperaturabhängigen Anforderungen (z. B. an den Stickstoffabbau).

Wenn biologischer Stickstoffabbau erforderlich ist, müssen Nitrifikations- und Denitrifikationsreaktoren vorgesehen werden. Es gibt sechs unterschiedliche Systeme (siehe Bild 1):

- 1) vorgeschaltete Denitrifikation in einem oder mehreren anoxischen Reaktoren, die (in der Regel) nicht belüftet sind;
- 2) Kaskadendenitrifikation mit abwechselnd anoxischen und aeroben Reaktoren, wobei der Zufluss in einen anoxischen Reaktor geleitet wird;
- 3) simultane Denitrifikation in einem Schlaufenreaktor (Umlaufbecken) mit abwechselnd aeroben und anoxischen Zonen;
- 4) alternierende Denitrifikation mit parallelen Reaktoren, die phasenweise belüftet und nicht belüftet werden, wobei der Zufluss immer in einen nicht belüfteten Reaktor geleitet wird;
- 5) intermittierende Belüftung sorgt dafür, dass in einem Reaktor aerobe auf anoxische Bedingungen folgen, z. B. in einem SBR; intermittierende Belüftung erfordert eine erheblich höhere Kapazität des Belüftungssystems;
- 6) nachgeschaltete Denitrifikation mit Zugabe einer Kohlenstoffquelle im anoxischen Reaktor und einem nachgeschalteten Belüftungsreaktor (dieses System darf verwendet werden, wenn das C/N-Verhältnis im Zufluss so gering ist, dass auf jeden Fall eine Kohlenstoffquelle zugegeben werden muss).

Die vorgeschaltete und Kaskadendenitrifikation erfordern eine Rückführung des nitrathaltigen Abwassers vom Nitrifikationsreaktor bzw. von der Nitrifikationszone zum Denitrifikationsreaktor bzw. zur Denitrifikationszone. Das interne Rückführverhältnis hängt vom erforderlichen Denitrifikationsverhältnis ab, d. h. dem Verhältnis von abzubauenem Stickstoff zu erzeugtem Stickstoff. Dieses Verhältnis hängt wiederum von den Einleitwerten für Stickstoff ab.

Es darf eine erhöhte biologische Phosphorelimination vorgesehen werden. Diese bietet unter Umständen folgende Vorteile:

- Einsparung von Fällungsmitteln;
- Verringerung der Trockenmasse des Überschussschlamm;
- Verbesserung der Möglichkeiten zur Phosphorwiederverwendung;
- geringere Senkung der Alkalinität des Abwassers, abhängig vom eingesetzten Fällungsmittel;
- niedrigere Anionenkonzentration (z. B. Chloride) im Abfluss.

Folgende Bedingungen begünstigen den erhöhten biologischen Phosphorabbau:

- hoher Anteil an leicht abbaubarem CSB im Verhältnis zum P-Gehalt im Zufluss;
- geringe Sauerstoff- und Nitratkonzentrationen in den Zuflüssen zum anaeroben Reaktor;
- wenn der Strömungsverlauf des anaeroben Reaktors dem eines Pfropfenstromreaktors nahekommt oder wenn es sich um einen Kaskadenreaktor handelt.

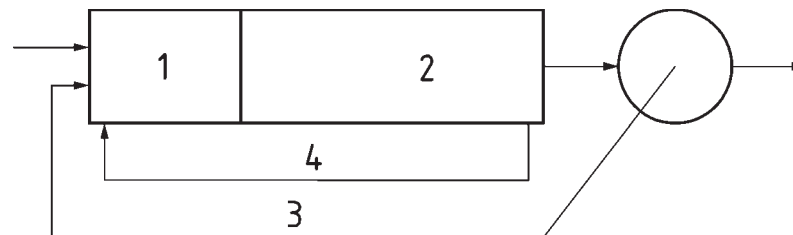
Die erhöhte biologische Phosphorelimination in Anlagen mit anaerober biologischer Schlammstabilisierung weist folgende Nachteile auf:

- manchmal tritt in anaeroben Faulbecken und der zugehörigen technischen Ausrüstung starke Fällung von Struvit (MAP = Magnesium-Ammonium-Phosphat) auf;
- gelöster Phosphor bindet Wasser, wodurch die Wirksamkeit von Flockungsmitteln verringert und die Entwässerung beeinträchtigt wird.

In der Regel ist eine Zugabe von Fällungsmitteln für den Phosphorabbau erforderlich. Daher müssen immer Möglichkeiten zum Anbringen von Dosiereinrichtungen für Fällungsmittel vorgesehen werden, auch wenn sie ursprünglich nicht geplant waren.

Die Belebungsanlage darf mithilfe der dynamischen Modellierung ausgewählt und ausgelegt werden. Dieses Verfahren kann vor allem bei der Aufrüstung bestehender Anlagen hilfreich sein.

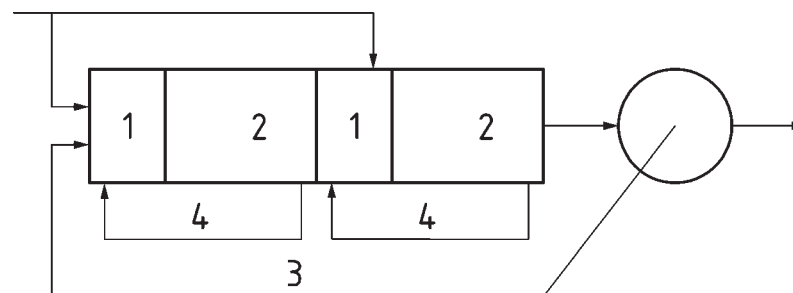
Bild 2 bis Bild 7 zeigen mögliche Anlagen zum Stickstoffabbau (Nitrifikation plus Denitrifikation) (Quelle: DWA-A 131).



Legende

- 1 Denitrifikation
- 2 Nitrifikation
- 3 Rücklaufschlamm
- 4 interne Rezirkulation (NO_3)

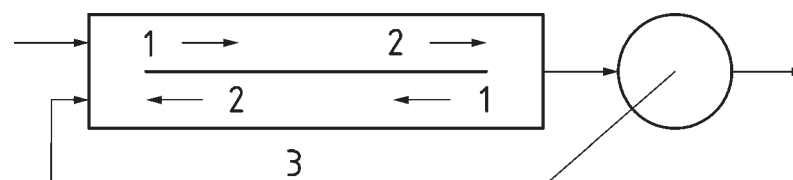
Bild 2 — Vorgeschaltete Denitrifikation



Legende

- 1 Denitrifikation
- 2 Nitrifikation
- 3 Rücklaufschlamm
- 4 interne Rezirkulation (NO_3)

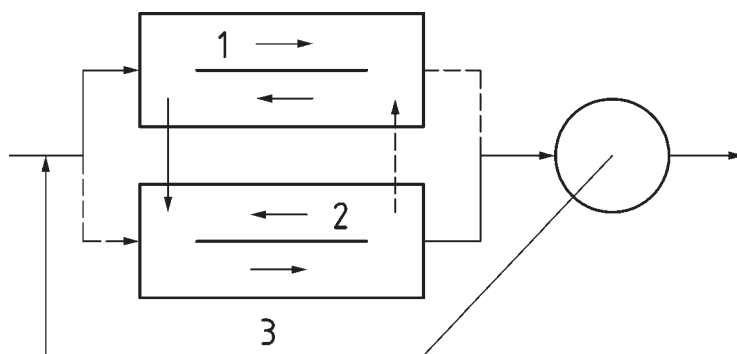
Bild 3 — Kaskadendenitrifikation



Legende

- 1 Denitrifikation
- 2 Nitrifikation
- 3 Rücklaufschlamm

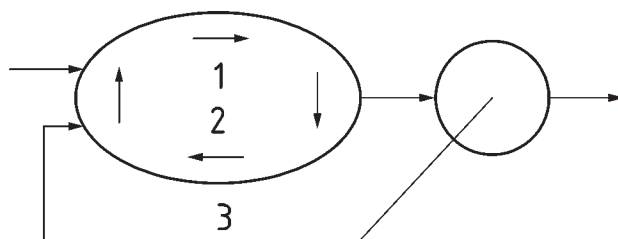
Bild 4 — Simultane Denitrifikation



Legende

- 1 Denitrifikation
- 2 Nitrifikation
- 3 Rücklaufschlamm

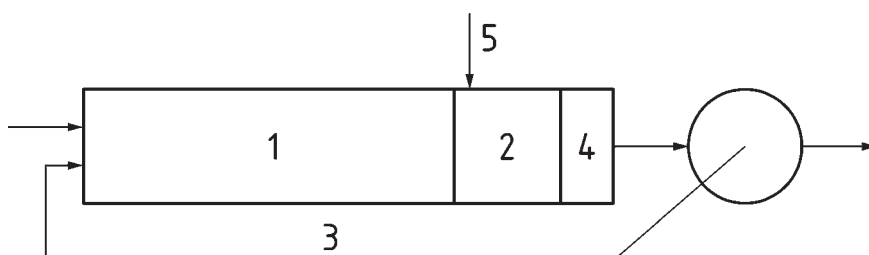
Bild 5 — Alternierende Denitrifikation



Legende

- 1/2 Denitrifikation oder Nitrifikation
- 3 Rücklaufschlamm

Bild 6 — Intermittierende Denitrifikation



Legende

- 1 Nitrifikation
- 2 Denitrifikation
- 3 Rücklaufschlamm
- 4 nachgeschaltete Belüftung
- 5 organischer Kohlenstoff

Bild 7 — Nachgeschaltete Denitrifikation

5.2.3 Biologische Reaktoren

Der Auslegung des Verfahrens muss je nach der geforderten Abwasser- oder Schlammbehandlungsqualität einer der folgenden Auslegungsparameter zugrunde gelegt werden:

- Schlammalter; oder
- Schlammbelastung (F/M-Verhältnis).

Beide Werte hängen von der Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken (MLSS) bzw. der organischen Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken (MLVSS) ab. Diese Konzentrationen hängen vom Schlammindex (SVI) und der Reinigungsleistung der Nachklärbecken ab.

Die Reinigungsleistung von biologischen Reaktoren und Nachklärbecken hängen voneinander ab. Aus diesem Grund muss ein Belebungssystem als vollständige Anlage ausgelegt werden.

Beispielangaben zur Auslegung können dem informativen Anhang A und der Fachliteratur (siehe Literaturhinweise) entnommen werden.

Es kann sinnvoll sein, einen belüfteten oder unbelüfteten Selektor vorzusehen, um die Entwicklung von Blähschlamm (der durch das Wachstum fadenförmiger Bakterien, wie z. B. *Mikrothrix* oder *Nocardia* entsteht) zu mindern.

Bei intermittierendem Pumpen müssen Zufluss und Rücklaufschlamm gleichzeitig an einem Selektor ankommen.

Eine andere oder zusätzliche Möglichkeit, die Entstehung von Blähschlamm zu mindern, ist der zeitweilige Einsatz von Aluminiumsalzen anstelle von Eisen- oder Eisen(II)-Salzen zur Phosphorfällung.

5.2.4 Nachklärbecken

Für Nachklärbecken muss eine technische Ausrüstung zum Abzug von Schwimmschlamm und Schaum vorgesehen werden.

Nachklärbecken müssen folgende Aufgaben erfüllen:

- Abscheidung der Feststoffe des Belebtschlamms aus dem Abfluss zur Verbesserung der Abflussqualität;
- Lagerung von Rücklaufschlamm, um bei steigender Schmutzfracht ausreichend Rücklaufschlammfluss zur Verfügung zu haben;
- Schwerkrafteindickung des Überschussschlamms.

Jede Aufgabe erfordert eine eigene Zone in den Nachklärbecken. Angaben zu den Höhen der Zonen sind in Anhang S aufgeführt.

Der Schlammabzug muss am Boden der Schlammeindickungszone langsam erfolgen, um die Entstehung von Turbulenzen zu verhindern, die die Schlammeindickung gefährden könnten.

Klärbecken können für Aufwärtsströmung (sogenannte Dortmundbecken), Horizontalströmung oder Lamellenabscheidung ausgelegt sein (siehe EN 12255-4). Becken mit Aufwärtsströmung sind auf eine Oberfläche von etwa 100 m² begrenzt.

Für allgemeine Konstruktionsprinzipien, die Auslegung von Räubern und deren Laufflächen sowie für deren Lebensdauer siehe EN 12255-1.

Sequencing Batch Reactor (SBR)-Systeme benötigen kein Nachklärbecken und keine Schlammrückführung, da Belüften, Sedimentation und Klarwasserabzug in einem SBR intermittierend erfolgen. Es sollten mindestens zwei SBR-Reaktoren vorgesehen werden, um Durchfluss und Belüftung anzugleichen.

5.2.5 Auswirkungen auf die Umwelt

Belebungsanlagen können Gerüche, Lärm, und Aerosole freisetzen. Dies trifft besonders auf Anlagen mit Oberflächenbelüftung zu. Diese Auswirkungen sollten durch bauliche Maßnahmen gemindert werden.

Noch problematischer könnten Emissionen von Treibhausgasen sein. Belebungsanlagen haben einen hohen Energiebedarf (50 % bis 80 % des Bedarfs der gesamten Kläranlage). Im Belebungsverfahren wird Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid umgewandelt und in die Atmosphäre freigesetzt. Auch geringe Mengen der äußerst klimaschädlichen Gase Distickstoffoxid (N_2O) und Methan (CH_4) werden freigesetzt.

Vor der Auswahl eines Klärsystems sollte eine Umweltverträglichkeitsstudie durchgeführt werden.

5.3 Auslegung im Detail

5.3.1 Aufteilen des Volumenstroms

Wenn die Anlage aus mehreren Klärstraßen oder parallelen Kläreinheiten besteht, muss der Zufluss über einstellbare Verteiler (z. B. Wehre, Schieber oder Ventile) verteilt werden. Diese Verteiler können auch zur Abspernung jeweils einer Kläreinheit genutzt werden.

Die Ansammlung von Schweb- und Schwimmstoffen und deren Entfernung müssen bei der Planung der Zuflussverteiler berücksichtigt werden.

5.3.2 Biologische Reaktoren

Biologische Durchflussreaktoren sollten für eine phasenweise Reaktionscharakteristik (z. B. ähnlich wie beim Pfropfenstromreaktor) ausgelegt werden. Dies kann entweder durch eine Reihe gemischter Reaktoren (Kaskade) oder durch lange Reaktoren mit einem Länge-zu-Breite-Verhältnis von ungefähr 15 : 1 erreicht werden.

Reaktoren mit feinblasiger Druckbelüftung sollten mindestens eine Tiefe von 4 m haben. Falls die Reaktoren tiefer als 6 m sind, sollte eine Vorrichtung zum Gasabzug vom Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch zwischen den biologischen Reaktoren und den Nachklärbecken vorgesehen werden.

Für Anlagen, bei denen Denitrifikation erforderlich ist, müssen mindestens drei Reaktorzonen vorgesehen werden. Je nach Schmutzfracht und Temperatur können die ersten beiden anoxisch oder aerob betrieben werden. Das erfordert den Einbau sowohl von Belüftungs- als auch Mischeinrichtungen.

Für alle Kläranlagen mit einem EW über 10 000 sollten mindestens zwei parallele biologische Reaktoren vorgesehen werden. Jeder Reaktor muss mit Absperreinrichtungen ausgestattet werden. Für kleinere Kläranlagen sind Umführungen vorzusehen.

Wenn die Anlage so ausgelegt ist, dass für routinemäßige Wartungsarbeiten ein oder mehrere Reaktoren außer Betrieb gesetzt werden, müssen die in Betrieb verbleibenden Reaktoren und die zugehörigen Rohrleitungen, Kanäle usw. über die Kapazität verfügen, den Bemessungsabwasserstrom aufzunehmen und die erforderliche Abflussqualität zu gewährleisten. NB Lokale oder nationale Vorschriften dürfen unter bestimmten Bedingungen vorübergehend weniger strenge Anforderungen als im Normalbetrieb zulassen.

Die Becken müssen so ausgelegt werden, dass eine Entleerung entweder im Freispiegelabfluss oder über Pumpen möglich ist. Bauwerke müssen so ausgelegt werden, dass eine Entleerung ihre Standsicherheit unabhängig vom Grundwasserspiegel nicht beeinträchtigt. Es sind alle erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, z. B. durch Schotterbeton, um ein Aufschwimmen zu vermeiden.

Die Böden der Becken sollten ein Gefälle zu einem tiefsten Punkt hin aufweisen, um das Entleeren zu erleichtern. Beim Einsatz einer Pumpe für die Entleerung sollte am tiefsten Punkt ein Pumpensumpf vorgesehen werden.

Die hydraulische Auslegung muss die Minimierung von Kurzschlussströmen sicherstellen. Es ist wünschenswert, dass der Durchfluss durch die Reaktoren einem Pfropfenstrom nahekommt. Dies kann in Rechteckbecken durch einen mäandernden Strömungsverlauf oder mithilfe der teilweisen Behinderung der Längsströmung erreicht werden.

Im Falle eines Zulaufs an mehreren Stellen (z. B. Stufenbelüftung) sind geeignete Vorrichtungen (z. B. Wehre, Schieber oder Ventile) zur Änderung der ursprünglichen Zuflussverteilung vorzusehen. Das gilt auch für Anlagen, in denen der Rücklaufschlamm an mehreren Stellen zugeführt wird.

Der Wasserstand in biologischen Reaktoren kann durch feste oder einstellbare Überlaufwehre geregelt werden.

Der Freibord von Belebungsbecken muss ausreichend groß sein, um ein Überlaufen des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs oder des Schwimmschlamm (oder Schaums) unter normalen Betriebsbedingungen zu verhindern. Es ist ein Freibord von mindestens 0,5 m vorzusehen.

Es kann sich Schaum mit unterschiedlicher Stabilität und Viskosität bilden, insbesondere wenn fadenförmige Bakterien vorherrschen. Die Anzahl potenzieller Sammelstellen muss auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Schaum und Schwimmschlamm müssen von einem Reaktor in den nächsten und schließlich in das Nachklärbecken fließen können, wo entsprechende Einrichtungen zum Abzug vorzusehen sind. Zusätzlich müssen unten an den Trennwänden der Wasserkammern in Reaktoren Öffnungen vorgesehen werden, um einen hohen Wasserdruck auf die Trennwände beim Entleeren des Reaktors zu vermeiden.

Alle von den Reaktoren freigesetzten Emissionen müssen den nationalen Anforderungen entsprechen.

Werden Reaktoren abgedeckt (z. B. aus Umweltschutzgründen), müssen die Werkstoffe der aggressiven Atmosphäre standhalten können. Dies ist besonders dort zu berücksichtigen, wo angefaulte Abwässer (H_2S -Korrosion) oder aggressive Industrieabwässer anfallen können. In diesen Fällen müssen auch die Beckenwände oberhalb des Wasserspiegels bis zu 0,3 m unterhalb des niedrigsten Betriebswasserspiegels geschützt werden. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass Ammoniak nichtrostenden Stahl korrodieren kann.

In diesen Fällen kann Zwangsbelüftung eingesetzt werden, um die Aggressivität der Atmosphäre zu begrenzen und die Lebensdauer von Bauwerken und der technischen Ausrüstung zu erhöhen. Zwangsbelüftung muss eingebaut werden, wenn Personal die geschlossenen Räume begehen muss.

5.3.3 Durchmischung

Das Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch muss in allen Reaktoren aufgerührt werden, um das Absetzen von Belebtschlamm und die Bildung störender Ablagerungen zu verhindern. Die Auslegung von Becken, Rohrleitungen und Rührwerken sollte Kurzschlussströme verhindern. Die einfließenden Volumenströme, z. B. einströmendes Abwasser, Schlammrücklauf und rezirkuliertes Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch, sollten mit dem gesamten Beckeninhalt durchmischt werden. Die Durchmischung kann durchgeführt werden mit

- Belüftungssystemen oder -geräten (z. B. Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung oder Oberflächenbelüfter),
- grobblasiger Belüftung zur Erzeugung von Rotationsströmung (mit geringer Sauerstoffzufuhr), und
- mechanischen Mischern (z. B. Flügelrührwerke oder Strahlmischer).

Eine Kombination aus mehreren Systemen ist möglich.

Der intermittierende Betrieb von Motorrührwerken oder der Betrieb mit variabler Drehzahl kann Energie sparen.

Mechanische Rührwerke müssen so ausgelegt sein, dass Ansammlungen von Schmutzstoffen und die Umwicklung mit Faserstoffen auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Mechanische Rührwerke müssen ohne vorherige Entleerung des Beckens entnommen werden können.

Alle Mischsysteme müssen so ausgelegt sein, dass Feststoffablagerungen vermieden und abgesetzte Feststoffe wieder aufgewirbelt werden. In Anlagen ohne Vorklärbecken hängt die Auslegung der Rührwerke von der Wirksamkeit der vorgeschalteten Sandfänge ab (siehe EN 12255-3).

Die Auswahl der Mischsysteme hängt von den Eigenschaften des aufzubereitenden Abwassers, der geometrischen Auslegung des Reaktors und möglichen Kurzschlussströmungen ab. Die Leistungsaufnahme von mechanischen Motorrührwerken liegt in der Regel bei 1 W/m³ bis 5 W/m³. Eine Leistungsaufnahme von lediglich 0,3 W/m³ kann ausreichend sein, wenn die Abwasservorbehandlung, die Geometrie des Beckens und die Auslegung des Rührwerks optimiert wurden.

Die Leistungsaufnahme von mechanischen Motorrührwerken ist ein schwacher Indikator für die Mischleistung. Der von dem Motorrührwerk erzeugte Impuls bietet in Verbindung mit der Einbaugeometrie ein besseres Kriterium für das zu erwartende Mischergebnis. Für axiale Tauchmotorrührwerke ist nach ISO 21630:2007 der Impuls durch den Rührwerksschub gegeben. Axialrührwerke mit langer Welle können nach dem gleichen Prinzip ausgelegt werden. Für Radialrührwerke wäre der Radialschub in gleicher Weise aussagekräftig, aber diese Herstellerangabe fehlt in der Regel für diesen Mischertyp.

Der für den Antrieb der Mischströmung erforderliche Impuls kann von großen und langsam drehenden Flügeln energieeffizienter erzeugt werden als von kleinen und schnell drehenden Flügeln. Die Flügelgestaltung und der Motorwirkungsgrad an den Betriebspunkten haben zusätzlichen Einfluss auf die Energieeffizienz. Große Flügelrührwerke erfordern in der Regel eine starke Befestigung, da sie einen starken Schub und ein hohes Drehmoment erzeugen. Große Flügelräder können empfindlicher auf Turbulenzen entgegen der Fließrichtung reagieren.

Schub- und Drehmomentschwankungen könnten bei Flügelrührwerken zu Leistungsabfall und Materialermüdung führen. Es kommt zu solchen Schwankungen, wenn Luftblasen oder Schrägströmungen im Saugbereich des Flügelrads auftreten. Um dies zu vermeiden, muss der Planer oder der Systemlieferant (falls sowohl die Belüftung als auch die Mischer von ihm geliefert werden) einen ausreichenden Abstand in alle Richtungen zwischen den Rührflügeln und der Belüftungseinrichtung sicherstellen. Eine Platzierung des Flügelrads in starker oder schräger Strömung, z.B. ausgelöst durch Rohre, Wehreinslässe, Leitbleche bzw. -schaufeln oder andere Mischer, muss vermieden werden.

Eine Beratung durch die Anbieter von Rührwerken wird empfohlen.

Die Leistungsaufnahme von Systemen zur fein- oder grobblasigen Druckbelüftung, berechnet als isotherme Expansionsenergie, muss mindestens 2 W/m³ betragen:

$$P/V = Q_1 \cdot p_1 \cdot \ln(p_1/p_2) \geq 2 \text{ W/m}^3 \quad [\text{W/m}^3] \quad (1)$$

Dabei ist

- P die bei der Expansion freigesetzte Energie in W;
- V das Beckenvolumen in m³;
- Q_1 der Volumenstrom der Luft am Punkt p_1 in m³/s;
- p_1 der Druck bei der Eintauchtiefe in Pa;
- p_2 der Atmosphärendruck in Pa.

Diese Anforderung ist in der Regel erfüllt, wenn der Luftvolumenstrom von Systemen zur feinblasigen oder großblasigen Druckbelüftung mindestens $1 \text{ Nm}^3/\text{h je m}^2$ Oberfläche beträgt. Die Leistungsaufnahme des Gebläses ist weitaus höher als die Expansionsenergie P .

Der Einbau von Rohrbelüftern zur grobblasigen Druckbelüftung ist ein einfaches Verfahren zur Durchmischung in Denitrifikationsreaktoren. Der intermittierende Betrieb von Mischern kann zu Energieeinsparungen führen.

Stärkere Mischer mit etwa doppelt so hoher Energieaufnahme sind erforderlich, wenn dem Belebungsverfahren keine Vorklärung oder andere wirkungsvolle Vorreinigung (durch besonders wirksame Sandfänge) vorgeschaltet ist.

Der Planer muss sicherstellen, dass die Leistungsaufnahme von Systemen zur feinblasigen Druckbelüftung beim kleinsten Luftvolumenstrom nicht geringer ist als die zur ausreichenden Durchmischung erforderliche Leistung. Der Luftstrom könnte jedoch für eine ausreichende Durchmischung intermittierend erhöht werden.

5.3.4 Belüftung

5.3.4.1 Allgemeines

Bei der Planung müssen die Schwankungen des Sauerstoffverbrauchs zwischen den Reaktoren und innerhalb eines Reaktors berücksichtigt werden.

Der Planer muss für jeden Reaktor die Sauerstoffzufuhr (OTR) in Reinwasser für die folgenden Schmutzfrachtbedingungen berechnen und festlegen:

- höchste in Zukunft zu erwartende Schmutzfracht;
- höchste aktuelle Schmutzfracht;
- durchschnittliche aktuelle Schmutzfracht;
- niedrigste aktuelle Schmutzfracht.

Der Planer muss den α -Faktor des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs und des festgelegten Belüftungssystems (z. B. feinblasige Druckbelüfter) festlegen. Hierzu kann eine vorherige Prüfung erforderlich sein. Je höher die MLSS und das F/M-Verhältnis, desto geringer ist der α -Faktor. Ein hoher Salzgehalt, z. B. in Küstengebieten, erhöht den α -Faktor. Der α -Faktor hängt auch von der Art des Belüftungssystems ab.

Der Planer muss auch die folgenden Bedingungen am Einbauort, für die das System ausgelegt wurde, festlegen:

- Atmosphärendruck;
- Lufttemperatur;
- Luftfeuchte.

Die Belüftungssysteme oder -einrichtungen müssen für die erforderliche höchste Sauerstoffzufuhr je Stunde OC_h (in $\text{kg O}_2/\text{h}$) in jedem Reaktor ausreichen. Sie müssen auch in der Lage sein, die niedrigste Sauerstoffzufuhr sicherzustellen, wobei die Belüftung intermittierend betrieben werden darf.

Belüftungssysteme müssen redundant ausgelegt sein, entweder durch eingebaute oder vorgehaltene Ressourcen.

Belüftungssysteme müssen für den Betrieb unter den härtesten Umgebungsbedingungen ausgelegt sein (z. B. extreme Temperaturen und Luftfeuchte).

Sofern nichts anders vereinbart ist, muss die rechnerische Lebensdauer (siehe EN 12255-1) der technischen Belüftungsausrüstung den folgenden Klassen entsprechen:

- Klasse 5: für die Getriebe und Lager von Oberflächenbelüftern;
- Klasse 3: für alle elektrischen Antriebe;
- Klasse 4: für Mischer und Gebläse.

Weitere Informationen zur Auslegung von Belüftungssystemen sind im informativen Anhang A angegeben.

Teil 15 dieser Normenreihe enthält Angaben zur Prüfung der Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit von Belüftungssystemen mit Reinwasser.

Es gibt noch weitere Verfahren zur Überprüfung der Systemkonformität, z. B. die Analyse der beim Betrieb freigesetzten Gase oder eine Langzeitbilanzierung der Zu- und Abflüsse von CSB und Stickstoff. Mit diesen Prüfverfahren kann nur die Wirksamkeit der Belüftungssysteme bestätigt werden. Sie eignen sich nicht zum Nachweis für die Ablehnung eines Systems. Falls ein Belüftungssystem nicht die gewünschte Leistung erbringt, muss eine Reinwasserprüfung durchgeführt werden. Diese Einschränkung besteht deshalb, weil die Anbieter von Belüftungssystemen keine Ansprüche aufgrund des Alpha-Faktors von Abwasser-Belebtschlamm-Gemischen anerkennen.

5.3.4.2 Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung

Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung haben sich in Europa durchgesetzt. Systeme zur grobblasigen Druckbelüftung sind nicht energieeffizient und werden daher in Europa nur selten eingebaut.

Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung weisen einen α -Faktor zwischen 0,35 und 0,9 auf. Der α -Faktor ist besonders niedrig, wenn die Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken oder das F/M -Verhältnis hoch ist.

Tabelle 1 darf als Richtlinie für die Auswahl von α -Faktoren für Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung verwendet werden.

Tabelle 1 — Typische α -Faktoren je nach Art des Verfahrens und Schmutzfracht

Verfahrensart	α bei niedriger Fracht	α bei mittlerer Fracht	α bei hoher Fracht
Nur C-Elimination	0,6	0,5	0,35
N-Elimination (Nitrifikation + Denitrifikation)	0,85	0,75	0,6
SBR-Systeme mit N-Elimination	0,8	0,65	0,5
Simultane aerobe Stabilisierung	0,9	0,8	0,7

Da die niedrigste und die höchste Sauerstoffzufuhr oft weit auseinander liegen (z. B. 8 : 1) und der Luftvolumenstrom der feinblasigen Druckbelüfter in der Regel auf einen Bereich von 6 : 1 begrenzt ist, dürfen Belüftungssysteme intermittierend betrieben werden. Dazu sind allerdings Membranbelüfter erforderlich, da sie ohne Verstopfungsgefahr abgeschaltet werden können. Die Belüftungszeit sollte sich mindestens auf einen Anteil von 50 % belaufen, und die Zeit ohne Belüftung sollte jeweils 15 min nicht überschreiten.

Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung sollten Luftblasen mit einem Durchmesser von etwa 2 mm erzeugen. Obwohl kleinere Blasen eine größere Oberfläche haben und langsamer aufsteigen, haftet ihnen eine stabile Grenzschicht aus Wasser an, durch die die Luft diffundieren muss. Die Vereinigung von feinen zu größeren Blasen kann nicht verhindert werden.

Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung sollten verteilt über dem Beckenboden eingebaut werden, um das Entstehen einer schnellen senkrechten Aufwärtsströmung über nahe beieinanderliegenden Druckbelüftern zu vermeiden, da dadurch die Verweilzeit der Blasen verkürzt wird. Der Bereich, in dem Blasen freigesetzt werden, erstreckt sich in der Regel über 10 % bis 20 % der Bodenfläche. Der Anteil ist größer in Reaktoren mit starker Schmutzfracht oder dort, wo eine besonders hohe Energieeffizienz erforderlich ist. In Systemen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung kann er niedriger sein. Solche Systeme sind oft als Schlaufenreaktoren ausgelegt, wobei auf belüftete Zonen nicht belüftete folgen.

Anbieter von Druckbelüftersystemen müssen Systemkonfigurationen vorschlagen und Garantien für die Standard-Sauerstoffzufuhr (SOTR) und die Standard-Sauerstoffausnutzung (SOTE) jeweils bei Höchst-, Durchschnitts- und Mindestfracht übernehmen (siehe EN 12255-15).

Kleine Gruppen von Druckbelüftern sollten in Schlaufenreaktoren vermieden werden. Sie erzeugen nicht nur eine starke Aufwärtsströmung oberhalb der Auslassfläche, sondern stellen auch ein Hindernis für die umlaufende Strömung dar. Die Standardprüfverfahren für die Standard-Sauerstoffzufuhr (SOTR) und die Standard-Sauerstoffausnutzung (SOTE) sind möglicherweise nicht anwendbar, da keine ausreichende Durchmischung in den Reaktoren stattfindet. Im informativen Anhang zu EN 12255-15 ist ein Prüfverfahren für Schlaufenreaktoren mit unzureichender Durchmischung beschrieben.

Je geringer der Luftvolumenstrom je Druckbelüfter, desto höher ist die Belüfterdichte, und je tiefer die Reaktoren, desto höher ist die Standard-Sauerstoffausnutzung (SOTE) in Reinwasser (siehe EN 12255-15).

Beim Einbau von Druckbelüftern darf ein Grenzabmaß von ± 6 mm in horizontaler Richtung nicht überschritten werden, um eine gleichmäßige Luftverteilung zu gewährleisten. Ihre Einbauhöhe kann eingestellt werden, während der Reaktor mit Reinwasser bis zur Höhe der Auslassflächen befüllt wird.

Häufig werden Membranbelüfter eingesetzt. Im Vergleich zu keramischen Druckbelüftern bieten sie den Vorteil, dass bei ihrer Abschaltung keine Verstopfungsgefahr besteht. Am gebräuchlichsten sind Membranen aus EPDM. Für spezielle Anwendungen sind auch Silikon- oder Polyurethan-Membranen erhältlich.

Die Anzahl der Belüftungsgitter, die jeweils von einer Zuleitung versorgt werden und ein gemeinsames Absperrventil haben, muss je Reaktor festgelegt werden.

Druckbelüftersysteme müssen über eine technische Einrichtung zur Ableitung von Kondenswasser verfügen. Dabei handelt es sich in der Regel um ein kleines Rohr mit einem handbetätigten Kugelhahn, das vom tiefsten Punkt des Belüftungsgitters nach oben führt und etwa 20 cm über dem Wasserspiegel endet. Alternativ darf ein System zur fortlaufenden Ableitung von Kondensat eingesetzt werden.

Systeme zur feinblasigen Druckbelüftung sollten die Zugabe von Ameisensäure in den Luftstrom ermöglichen. Die Ameisensäure dient zur Entfernung von Ausfällungen, z. B. Kalziumkarbonat, aus den Schlitten der Membranen und kann so den Druckverlust der Druckbelüfter verringern.

Gebläse, die das Belüftungssystem mit Druckluft versorgen, müssen so ausgelegt sein, dass sie den niedrigsten und den höchsten Luftvolumenstrom liefern können. Heute werden in der Regel Frequenzumrichter als Antriebe verwendet. Der Verlauf des Gebläsewirkungsgrads in Bezug auf die Luftmenge hängt vom gewählten Gebläsetyp ab (z. B. Drehkolbengebläse, Schraubenverdichter oder Turbogebälse). Es wird empfohlen, die Gebläse so zu bemessen, dass ihr durchschnittlicher Jahresstromverbrauch minimiert wird. Die höchste erforderliche Luftzufuhr muss auch bei Ausfall eines Gebläses bereitgestellt werden können.

Gebläse müssen mit einem den örtlichen Gegebenheiten angemessenen Lärm- und Vibrationsschutz versehen werden.

Jedes Gebläse muss mit einem Absperrventil an der Druckleitung ausgestattet sein.

Die in die Gebläse einströmende Luft muss gefiltert werden, um Staub und Öl abzuscheiden, da diese Stoffe die Belüfter verstopfen könnten.

Die Druckluft kann, je nach Druckerhöhung durch die Gebläse, warm oder heiß sein. Die Luftleitungen sollten jedoch nicht thermisch isoliert werden, da der Luftstrom bei Abkühlung langsamer wird und zu heiße Luft die Membranbelüfter beschädigen könnte. Aus Sicherheitsgründen kann ein Berührungsschutz für die Rohrleitungen erforderlich sein.

Wenn die Eintauchtiefe der Druckbelüfter in allen Reaktoren gleich ist, sollte es einen gemeinsamen Verteiler für alle Gebläse geben. Dadurch wird größtmögliche Flexibilität beim Gebläsebetrieb erreicht und Redundanzanforderungen können mit weniger Ressourcen erfüllt werden.

Luftversorgungsleitungen sollten aus einer geeigneten nichtrostenden Stahlsorte gefertigt werden, um geringen Wartungsaufwand und eine lange Lebensdauer sicherzustellen. Die über der Wasseroberfläche geführten Rohrleitungen sollten aus nichtrostendem Stahl 1.4307 (X2CrNi18-9), AISI 304 bestehen. Bei hoher Chloridkonzentration müssen im Wasser geführte Rohrleitungen unter Umständen aus nichtrostendem Stahl 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2), AISI 316L bestehen. Da Rohrleitungen aus nichtrostendem Stahl eine geringe Wanddicke von 2 mm bis 3 mm haben, können Resonanzschwingungen zu Lärmentwicklung führen. Aus diesem Grund und um hohe Druckverluste zu vermeiden, darf die Luftgeschwindigkeit in den Luftversorgungsleitungen 15 m/s nicht überschreiten, außer in kurzen Fallleitungen zu Belüftungsgittern. Hier ist eine höhere Geschwindigkeit als 15 m/s zulässig. Die Luftgeschwindigkeit in Verteilerleitungen muss auf 8 m/s begrenzt werden, um eine gleichmäßige Luftverteilung zu gewährleisten.

Es dürfen auch PE-HD- oder PP-Rohrleitungen verwendet werden; ihr Nenndruck sollte 0,6 MPa betragen.

Der Druckverlust in den Luftleitungen sollte bei der maximalen Luftmenge 2 kPa bis 3 kPa nicht überschreiten. Je nach Belüftertyp ist in der Regel ein zusätzlicher Druck von 2 kPa bis 3 kPa erforderlich, um den Druckverlust der Belüfter bei der maximalen Luftmenge auszugleichen. Zusätzlich können 2 kPa aufgrund der Alterung oder allmählichen Verschmutzung des Belüfters erforderlich sein. Der Wasserdruck in der Eintauchtiefe muss bei Höchstwasserstand berechnet werden. Die Summe dieser Drücke (in der Regel 0,7 kPa) bestimmt die mindestens erforderliche Druckerhöhung durch die Gebläse.

Ein Beispiel für die Auslegung eines Druckbelüfters zur feinblasigen Belüftung ist in Anhang W angegeben.

Es muss ein bestimmter Abstand zwischen den Druckbelüftern und den mechanischen Rührwerken eingehalten werden. Eine sehr starke Wasserströmung kann die Druckbelüfter beschädigen. Es ist jedoch nicht möglich, allgemeine Richtwerte anzugeben. Der Anbieter der Druckbelüfter muss Richtwerte für die höchste Fließgeschwindigkeit angeben, der die Belüfter standhalten können. Der Planer muss sicherstellen, dass die Druckbelüfter keinen höheren Fließgeschwindigkeiten durch mechanische Rührwerke ausgesetzt sind.

Planer sollten sich von den Anbietern von Rührwerken und Druckbelüftern zu den Kennwerten und der Verwendung ihrer Produkte beraten lassen.

5.3.4.3 Oberflächenbelüfter (Kreiselbelüfter und Stabwalzenbelüfter)

Oberflächenbelüfter erzeugen Plätschergeräusche und setzen Aerosole frei. Je nach Umgebung sind angemessene Schutzmaßnahmen erforderlich. Obwohl Oberflächenbelüfter einen α -Faktor von 0,8 bis 1,1 aufweisen, ist ihre Energieeffizienz geringer als die von feinblasigen Belüftersystemen, dafür ist aber der Einbau kostengünstiger und die Wartung einfacher, außer in folgenden Fällen:

- wenn in der Kälteperiode Frost auftritt;

- wenn Sand oder andere Partikel durch Wind eingebracht werden;
- wenn sommerliche Hitze die Schmierung beeinträchtigt.

Oberflächenbelüfter mit vertikal angeordneter Welle (Kreiselbelüfter) werden in der Regel in quadratische Becken mit einer Tiefe von bis zu 4,5 m eingebaut. Die Kantenlänge des Beckens sollte mindestens das Vierfache der Tiefe betragen. Die Sauerstoffzufuhr und der Stromverbrauch dieser Belüfter werden über unterschiedliche Wasserstände und Geschwindigkeiten geregelt. Diese Belüfter können auch an den am weitesten auseinanderliegenden Enden eines Schlaufenreaktors (an beiden Enden der Trennwand) eingebaut werden, wo sie auch eine Umlaufsströmung durch den Schlaufenreaktor erzeugen.

Beim Einsatz von Kreiselbelüftern muss Kavitationserosion am Beckenboden vermieden werden. In der Regel werden als Schutz Stahlplatten vorgesehen.

Kreiselbelüfter haben in der Regel einen Durchmesser von 1,5 m bis 4 m. Ihre Umfangsgeschwindigkeit beträgt üblicherweise 4 m/s bis 6 m/s. Um die starke Freisetzung von Aerosolen zu mindern, müssen die Belüfter mit einer umlaufenden Schürze versehen werden.

Stabwalzenbelüfter mit horizontalen Wellen sind sowohl für die Belüftung als auch für die Umwälzung in Schlaufenreaktoren ausgelegt. Der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Stabwalzenbelüftern sollte mindestens 20 m betragen. Der Abstand eines Stabwalzenbelüfters zum Ende eines geraden Kanals sollte 4,5 m betragen bzw. gleich der Kanalbreite sein, je nachdem, welcher Wert größer ist.

Die Tiefe von Schlaufenreaktoren mit Oberflächenbelüftern ist auf etwa 2,5 m begrenzt, um eine ausreichende Strömungsgeschwindigkeit am Boden zu gewährleisten. Wenn die Reaktoren mit Stabwalzenbelüftern und geeigneten Leitblechen ausgestattet sind, darf das Becken bis zu 3,5 m tief sein. Die Becken dürfen jedoch noch tiefer sein, wenn zusätzliche Flügelräder für eine ausreichende horizontale Strömungsgeschwindigkeit sorgen.

In Schlaufenreaktoren mit Stabwalzenbelüftern ist simultane Denitrifikation möglich, da in den unteren Zonen eine geringe Sauerstoffkonzentration herrscht. Es ist jedoch schwierig, dieses Verfahren zu steuern.

Stabwalzenbelüfter weisen in der Regel einen Durchmesser von 1 m und eine Länge von bis zu 9 m auf. Die Eintauchtiefe beträgt höchstens 0,3 m. Ihre Umfangsgeschwindigkeit beträgt in der Regel 3 m/s bis 4 m/s. Die Welle wird über eine elastische Torsionskupplung von einem Motor angetrieben.

Um die Geräuschentwicklung und Aerosolemissionen einzudämmen, müssen Stabwalzenbelüfter mit einer Abdeckung versehen werden. Die Luft tritt durch die Lücke zwischen der Abdeckung und der Wasseroberfläche ein und aus. Auf der stromabwärts gelegenen Seite der Stabwalzenbelüfter muss ein Leitblech eingebaut werden, um Wasser von der Oberfläche in tiefere Zonen zu leiten. Das Leitblech kann die Effizienz eines Stabwalzenbelüfters um bis zu 20 % steigern.

Der Auslegung von Getrieben und Lagern von Oberflächenbelüftern muss ein Anwendungsfaktor (siehe EN 12255-1) von $K_A = 2$ zugrunde gelegt werden. Flügelräder und Hauptwellen müssen auf die Ermüdungsfestigkeit bei Nennlast ausgelegt sein. Die maximale Durchbiegung der horizontalen Welle eines Stabwalzenbelüfters durch Last und Gewicht muss weniger als 1/1 000 der Länge der Welle betragen.

5.3.4.4 Strahlpumpen

Injektoren saugen Luft durch eine Bohrung in ihrer Welle an, die ein Flügelrad antreibt. Sie sind aufgrund ihres geringen Gewichts und ihrer Flexibilität für Kleinkläranlagen geeignet. Sie können auch zur Schlammbelüftung und Durchmischung eingesetzt werden. Sie haben jedoch einen relativ geringen energetischen Wirkungsgrad.

Ejektoren bestehen aus einer Pumpe, die das Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch entweder durch eine Tauchpumpe oder über eine externe Rezirkulationsschleife umwälzt. Sie verfügen über eine Venturi-Düse, die Außenluft durch ein Rohr ansaugt und mit Flüssigkeit vermischt. Der Luftstrom kann mithilfe eines

Gebläses verstärkt werden. Das Luft-Flüssigkeits-Gemisch wird in das Becken ausgestoßen und sorgt für die Sauerstoffzufuhr und die Durchmischung. Tauchejektoren eignen sich für den schnellen Einbau ohne Beckenentleerung.

5.3.5 Nachklärbecken

Für alle Kläranlagen mit einem EW über 20 000 sollten mindestens zwei parallele Klärbecken vorgesehen werden. Jedes Klärbecken muss mit Absperreinrichtungen ausgestattet werden, damit es außer Betrieb genommen werden kann. Für Kläranlagen mit nur einem Klärbecken ist eine Umführung vorzusehen.

Entgasungsbauwerke können vor Klärbecken eingesetzt werden, um deren Reinigungsleistung durch die Entgasung des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs zu verbessern, insbesondere bei tiefen Belebungsbecken. Diese Bauwerke müssen gegebenenfalls zwischen dem letzten biologischen Reaktor und dem Klärbecken angeordnet werden. Sie sind auch der geeignete Ort für die Entfernung von Schwimmstoffen.

Neben dem vorgesehenen Verfahren und der geforderten Abscheideleistung hängen die Bemessungsgrößen auch von der Art des Klärbeckens und insbesondere von der Mindestabsetzgeschwindigkeit ab. Dieser Wert hängt von den spezifischen hydraulischen Eigenschaften der Klärbecken mit Aufwärts- bzw. Horizontalströmung ab und davon, ob für das gewählte Verfahren Lamellenmodule vorgesehen sind oder nicht.

Der Auslegung müssen die beiden folgenden Werte zugrunde gelegt werden:

- die Flächenbeschickung; und
- die Flächenbelastung.

Zusätzlich hängen Fläche und Tiefe der Klärbecken von folgenden Faktoren ab:

- den Kennwerten des Schlamms, ausgedrückt durch den Schlamminde (SVI) oder den Rührschlamminde (SSVI);
- der Trockenmassenkonzentration im einströmenden Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch (MLSS);
- der geforderten Reinigungsleistung der Klärbecken, d. h. der geforderten Trockenmassenkonzentration im Abfluss;
- der Art und Form des Klärbeckens.

ANMERKUNG Jedes Gramm abfiltrierbare Stoffe im Kläranlagenabfluss hat einen CSB von etwa 2 g.

In einem Nachklärbecken können fünf Zonen unterschieden werden:

- die Einlaufzone, hier tritt die einströmende Flüssigkeit in das Becken ein und wird weitergeleitet;
- die Klarwasserzone, hier setzen sich vereinzelte Focken ab;
- die Trennzone, hier findet die Schwarm- oder ungehinderte Sedimentation statt;
- die Speicherzone, hier lagert sich der Schlamm ab und bildet ein Schlammbett;
- die Eindickzone, hier wird der Schlamm durch sein Gewicht verdichtet.

In der Einlaufzone muss Folgendes sichergestellt werden:

- Abbau der Einfließenergie;
- gleichmäßige Verteilung;
- Entgasung;
- Flockung der Biomasse.

Die Schlamm-speicherzone wird für eine ausreichende Schlammbevorratung ausgelegt, um bei kurzfristig stark ansteigendem Zufluss den erhöhten Bedarf an Rücklaufschlamm decken zu können. Dies ist besonders in Systemen mit Mischwasserkanälen wichtig, wo hohe Durchfluss- und Frachtschwankungen eine proportionale Erhöhung des Rücklaufschlammflusses erfordern.

Die Schlammeindickungszone muss so bemessen werden, dass der Rücklaufschlamm eine hohe Feststoffkonzentration aufweist.

Für kleine und tiefe Klärbecken (Dortmundbecken), mit einem Durchmesser unter 15 m, werden keine Räumer benötigt. Ihre Boden-neigung darf 60° nicht unterschreiten (bei pyramidenförmigen Schlammtrichtern gilt diese Neigung für eine Linie zwischen geraden Flächen).

Rundklärbecken dürfen einen Durchmesser von 50 m nicht überschreiten. Das Bodengefälle muss eine Neigung von mindestens 7° haben. In Klärbecken mit großem Durchmesser können Störungen bei starkem Wind auftreten.

Bei größeren Klärbecken mit flachem oder leicht geneigtem Boden ist eine Schlammräumvorrichtung erforderlich. Folgende Typen sind möglich:

- umlaufende Räumschilde, die den abgesetzten Schlamm in Richtung eines Trichters in der Mitte des Klärbeckens schieben (runde oder rechteckige Klärbecken);
- Räumbalken, die mit Ketten verbunden sind und den Schlamm zu einem Schlammtrichter am Einlaufende des Beckens (nur bei rechteckigen Klärbecken) befördern;
- Saugräumer, die an fahrbaren Brücken befestigt sind und den Schlamm vom Boden des Beckens absaugen (runde oder rechteckige Klärbecken).

Der Überlauf kann über Wehre erfolgen, mit einer maximalen Durchflussmenge von 20 m³/h je m Wehrlänge bzw. von 10 m³/h je m bei Überlaufrinnen mit einem Wehr auf jeder Seite. Überlaufwehre müssen zur Verteilung des Durchflusses in gezackter Form ausgeführt werden. Um ein Überlaufen des Schwimmschlammes zu verhindern, sind in der Regel Schlammleitbleche vorgesehen.

Der äußere Rand von Rundklärbecken ist in der Regel mit einem Überlaufwehr ausgestattet. Einseitige und zweiseitige Überlaufwehre dürfen vorgesehen werden. Die Länge der Stirnwand von rechteckigen Klärbecken ist dafür meist zu kurz. Aus diesem Grund dürfen Überlaufwehre auch an den Abschnitten der Seitenwände nahe der Stirnwand angebracht werden. Als Alternativen zu Überlaufwehren bieten sich unter anderem perforierte Tauchrohre oder Ablaufrinnen unter der Wasseroberfläche an, durch die das geklärte Wasser abfließt. Die Rohrenden werden in Kammern mit Überlaufwehren geführt, die den Wasserstand bestimmen. Schwimmschlamm kann nicht in diese Tauchrohre gelangen. Außerdem bieten sie den Vorteil, dass Klarwasser aus einem großen Bereich abgezogen werden kann, allerdings dürfen sie den Betrieb der Schlammräumer nicht behindern.

Die Schlammräumanlage muss so ausgelegt sein, dass eine ausreichende Schlammrückgewinnung gewährleistet ist, die erforderliche Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken eingehalten wird und anaerobe Bedingungen vermieden werden. Die Geschwindigkeit der Räumer muss so niedrig sein, dass Turbulenzen auf ein Mindestmaß begrenzt werden.

Außerdem müssen Einrichtungen zum Sammeln und Abzug von Schwimmschlamm und Schaum vorgesehen werden. Der Schwimmschlamm sollte in ein Überschussschlammbecken fließen, das mit einem Mischer ausgestattet ist.

In Rundklärbecken ist ein rundes Einlaufbauwerk vorzusehen, um die Fließgeschwindigkeit herabzusetzen. Die Einströmgeschwindigkeit in Klärbecken darf 7 cm/s nicht überschreiten.

Durch höhenverstellbare Zuflusseinrichtungen kann der Wasserspiegel an den Zufluss angepasst werden, d. h. bei starkem Zufluss liegt er höher als bei schwachem Zufluss.

Die Trichterwand muss eine Neigung von mindestens 60° aufweisen.

Eine automatische Reinigung der Überlaufrinnen und Leitbleche, z. B. mithilfe von Strahlwasser oder Bürsten, darf festgelegt werden.

Weitere Informationen zur Auslegung von Klärbecken sind in Anhang R und Anhang S angegeben. Konstruktionsprinzipien sind in Teil 1 dieses Dokuments aufgeführt.

5.3.6 Schlammrückführungs- und Überschussschlammssysteme

Die Schlammrückführung führt den Schlamm aus den Klärbecken zu den Reaktoren zurück, so dass die für die biologische Reinigung erforderliche Konzentration des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs aufrechterhalten werden kann.

Das System ist so auszulegen, dass der Rücklaufschlammfluss angepasst werden kann. Der Anteil des Rücklaufschlammflusses muss in einem Bereich zwischen 50 % und 100 % des maximalen Abwasserzuflusses bei nassem Wetter liegen. Es müssen mindestens zwei drehzahlgeregelte Pumpen vorgesehen werden. Eine davon wird als Reservepumpe vorgehalten. Eine weitere Option sind Schraubenspindelpumpen, die keine Frequenzumrichter benötigen.

Das System sollte so ausgelegt werden, dass die Belüftung von Rücklaufschlamm, der in eine anaerobe oder anoxische Zone zurückgeführt wird, auf ein Mindestmaß begrenzt wird.

Zentrifugal- bzw. Kreiselpumpen müssen den Rücklaufschlamm direkt aus den Schlammtrichtern der Klärbecken ansaugen, um die erforderliche Förderhöhe zu verringern. In den Rohrleitungen, die den Trichter und die Pumpen verbinden, sind unter Umständen Durchflussregler erforderlich.

Für das System müssen Reservepumpen vorgehalten werden. Bei Kleinkläranlagen darf es sich um tragbare Pumpen handeln.

Der während des Belebungsverfahrens anfallende Überschussschlamm muss abgezogen werden, um für eine Trockenmassenkonzentration in den biologischen Reaktoren zu sorgen, die ein Überlaufen von Biomasse aus den Nachklärbecken verhindert.

Die Masse und das Volumen des aus dem System abzuziehenden Schlamms hängen in erster Linie von der Zusammensetzung des Abwassers, der Art des Verfahrens, dem Schlammalter und dem Schlammindex (SVI) bzw. Rührschlammindex (SSVI) ab. Außerdem hängen diese Parameter von der Auslegung des Nachklärbeckens ab.

Es sind mindestens zwei Überschussschlampumpen vorzusehen (falls Überschussschlampumpen erforderlich sind). Eine davon ist als Reservepumpe vorzuhalten. Die Kapazität jeder Pumpe muss für mindestens 120 % des berechneten Überschussschlammfalls ausgelegt sein. Dort, wo Überschussschlamm zur mechanischen Schlammeindickung gepumpt wird, müssen drehzahlgeregelte Pumpen vorgesehen werden.

Überschussschlamm wird in der Regel vom Rücklaufschlamm abgezogen. Überschussschlamm sollte vorzugsweise bei niedrigem Zufluss und niedriger Fracht abgezogen werden.

Überschussschlamm darf zur gemeinsamen Eindickung mit Primärschlamm in Vorklärbecken zurückgeführt werden; vorzugweise sollte jedoch eine separate (mechanische) Eindickung des Überschussschlammes vorgesehen werden.

Das Speichern von Überschussschlamm muss auf ein Mindestmaß begrenzt werden, wenn erhöhte biologische Phosphorelimination eingesetzt wird, da anaerober Schlamm schnell Phosphat freisetzt. In diesem Fall kann der Überschussschlamm nicht durch Schwerkraft eingedickt werden. Eine mechanische Eindickung ist erforderlich.

Der Schwimmschlamm darf nicht in die Belebungsbecken zurückgeführt werden, sondern muss mit dem Überschussschlamm vermischt werden. Im Überschussschlamm-speicher oder in der Schlamm-eindickung ist unter Umständen ein Öl- und Fettfang erforderlich.

5.3.7 Interne Rezirkulation

Pumpen für die interne Rezirkulation brauchen nur für eine geringe Förderhöhe ausgelegt zu werden. Häufig werden Kreiselpumpen eingesetzt. Der Durchfluss sollte durch Frequenzumrichter oder Regler geregelt und über die Nitratmessung im Abfluss gesteuert werden.

5.3.8 Steuerung und Automatisierung

Es muss mindestens die Sauerstoffkonzentration in jedem Reaktor gemessen werden und mithilfe der Messwerte die Sauerstoffzufuhr durch das Belüftungssystem oder die Belüftungsgeräte gesteuert werden. Die Konzentration an gelöstem Sauerstoff muss in belüfteten Reaktoren bei etwa 1 mg/l und in Nitrifikationsreaktoren bei etwa 2 mg/l gehalten werden.

Schleifenreaktoren müssen mit mehreren Sonden zur Messung der Sauerstoffkonzentration ausgestattet werden. Erfolgt in diesen Reaktoren eine simultane aerobe Stabilisierung, müssen mindestens 65 % des Reaktorvolumens eine Sauerstoffkonzentration von mindestens 1 mg/l aufweisen.

Die Betreiber sollten nicht versuchen, die Leistungsaufnahme von Systemen zur simultanen aeroben Stabilisierung unter den oben genannten Grenzwert zu senken. Die Anforderungen an den Abfluss der Kläranlage werden zwar möglicherweise immer noch erfüllt, aber der Überschussschlamm stabilisiert sich nicht, ist geruchsintensiv und kann schlecht entwässert werden. In diesem Fall kostet die Betreiber die Schlammentsorgung mehr, als durch den geringeren Stromverbrauch eingespart wird.

Die Gebläse zur Versorgung der feinblasigen Druckbelüftung, die mehrere Reaktoren versorgen, benötigen eine Durchflussregelung in der Luftversorgungsleitung zu jedem Reaktor. Die Steuerung muss so ausgelegt werden, dass jeweils mindestens ein Durchflussregler vollständig geöffnet ist.

Die automatische Rotation der Gebläse muss sichergestellt werden.

Normalerweise ist es nicht erforderlich, die Luftmenge zu messen. Die Leistungsaufnahme jedes Gebläses muss an die Steuerzentrale übermittelt werden.

Das Steuersystem sollte die automatische Luftspülung der Druckbelüfter vorsehen, d. h. eine kurzfristige Erhöhung des Luftstroms auf etwa 125 % des Bemessungsstroms für einige Minuten täglich, normalerweise während der Nacht. Dafür ist es unter Umständen erforderlich, die Luftzufuhr zu einem Reaktor abschalten zu können, um einen ausreichenden Luftstrom für die Spülung in einem anderen Reaktor zu erreichen.

Systeme zum Stickstoffabbau sollten über Einrichtungen zur Online-Messung der Ammonium- und Nitratkonzentrationen im Abfluss verfügen, um mithilfe dieser Messwerte das Belüftungssystem und die interne Rezirkulation zu steuern.

Unter Umständen können Sensoren für die Konzentration des Abwasser-Belebtschlamm-Gemischs in Reaktoren und für die Kontrolle des Schlammbetts in den Nachklärbecken erforderlich sein. Sie werden zur Steuerung der Schlammrücklauf- und Überschussschlammräumpumpen eingesetzt.

Ein Sensor, der die Drehgeschwindigkeit eines nicht angetriebenen Rades eines Räumers erfasst, kann zur Überwachung der Funktion des Räumers gefordert werden.

Die Systeme müssen so weit automatisiert sein, dass sie, ohne Überwachung durch einen Bediener, zuverlässig und effizient arbeiten.

Überlaufwehre müssen einfach eingestellt werden können. Überlaufwehre von Reaktoren mit Kreislaufbelüftung müssen automatisch über die Sauerstoffkonzentration im Reaktor gesteuert und eingestellt werden.

Alle Systemzustände (z. B. Stellung der Ventile, Einstellungen und Status der technischen Geräte, Sauerstoffkonzentration oder andere Messwerte) sollten an das zentrale Steuersystem übertragen werden. Systemfehler, wie z. B. ungeeignete Sauerstoff-, Ammonium- oder Nitratkonzentrationen oder Geräteausfälle, müssen über ein Alarmsignal gemeldet werden.

Das System muss so ausgelegt sein, dass es bei Ausfall des automatischen Steuerungssystems in einen ausfallsicheren Modus wechselt.

In Systemen mit Oberflächenbelüftung kann ein schwallartiger Zufluss durch die wasserhaltungs- und schmutzfrachtgesteuerte Regelung verstärkt werden. Der Wasserstand und der Sauerstoffbedarf steigen typischerweise gleichzeitig an. Letzteres führt zu einer zusätzlichen Anhebung des Überlaufwehrs. Das Zusammentreffen dieser Reaktionen kann die Funktion der Oberflächenbelüfter gefährden.

In Kläranlagen mit einem EW über 10 000 müssen folgende Informationen aufgezeichnet werden:

- Volumenstrom des Abwassers;
- Abwassertemperatur;
- Sauerstoffkonzentration in allen Reaktoren;
- Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken (MLSS);
- Trübung des Abflusses;
- pH-Wert des Zu- und Abflusses;
- Ammonium- und Nitratkonzentrationen im Abfluss;
- Stellung der automatischen Ventile;
- Druck im Gebläseverteiler;
- Stellung der automatischen Regelventile;
- Drehzahl und Leistungsaufnahme der einzelnen Gebläse;
- Leistungsaufnahme der einzelnen Mischer;
- Rücklaufschlammfluss;
- Überschussschlammfluss;
- Räumerbewegungen.

Eine Alarmmeldung höchster Priorität muss abgesetzt werden, wenn

- eine Schlammrückführ- oder Überschussschlammpumpe ausfällt, oder
- ein Gebläse oder ein Mischer ausfällt.

Eine Alarmmeldung zweithöchster Priorität muss abgesetzt werden, wenn

- die Sauerstoffkonzentration in einem Reaktor einen eingestellten Mindest- oder Höchstwert überschreitet,
- die Trockenmassenkonzentration im Belebungsbecken unter den eingestellten Mindestwert fällt, oder
- die Ammonium- oder Nitratkonzentration oder die Trübung im Abfluss einen eingestellten Höchstwert überschreitet.

Ein Alarm höchster Priorität erfordert sofortiges Handeln, ein Alarm zweithöchster Priorität erfordert routinemäßiges Handeln.

6 Prüfverfahren

Siehe EN 12255-15 für die Prüfung der Standard-Sauerstoffzufuhr (SOTR) und der Standard-Sauerstoffausnutzung (SOTE) in Reinwasser.

Anhang A (informativ)

Auslegung von biologischen Reaktoren

Tabelle A.1 zeigt typische Bemessungswerte. Es sollte beachtet werden, dass diese Werte abhängig von der Temperatur sind [20].

Tabelle A.1 — Übliche Kennwerte zur Auslegung des Verfahrens

Erforderliche Behandlung	Schlammalter (MSRT) ^a	FM-Verhältnis (BSB ₅) ^a
	d	kg/(kg·d)
Teilbehandlung	≤ 2	≥ 0,5
CSB-Abbau	2 bis 4	0,25 bis 0,5
Nitrifikation ^b	7 bis 10	0,1 bis 0,15
Stickstoffabbau ^{b,c} (Nitrifikation + Denitrifikation)	10 bis 15	0,07 bis 0,1
Simultane aerobe Schlammstabilisierung ^{b,c,d}	25 bis 30	0,03 bis 0,05
^a Die Wertebereiche gelten für Bemessungsabwassertemperaturen von 10 °C bzw. 12 °C. ^b Wenn eine erhöhte biologische Phosphorelimination erwünscht ist, ist im Vorfeld eine anaerobe Kontaktzeit von 0,5 h bis 2 h erforderlich. ^c Für den Stickstoffabbau können, je nach Fracht und Temperatur, 20 % bis 60 % des Reaktorvolumens anoxisch sein. ^d Für eine ausreichende aerobe Stabilisierung muss der aerobe Schlamm ein Alter von mindestens 20 d haben.		

Anhang B (informativ)

Kennwerte des Rohabwassers

Es wird empfohlen, das einfließende Rohabwasser zu analysieren und die Kennwerte festzustellen. Wenn für kommunales Abwasser keine Messdaten verfügbar sind, dürfen die folgenden Zuflusskennwerte verwendet werden. Die folgenden Werte sind 80-%-Perzentile der einfließenden Schmutzfracht und keine Median- oder Durchschnittsfrachten, die kleiner sein sollten. Es wird angenommen, dass der Glühverlust, d. h. das Verhältnis von flüchtigen Feststoffen zur Gesamtfeststoffmasse im Zulauf 80 % beträgt.

- $C_{CSB,in}$: 120 g/(P·d)
- $C_{CSB,deg,in}$: 108 g/(P·d)
- $C_{CSB,reddeg,in}$: 22 g/(P·d)
- $C_{CSB,inert,in}$: $(120 - 108) \text{ g/(P·d)} = 12 \text{ g/(P·d)}$
- $C_{CSB,in}$: 30 g/(P·d)
- $S_{CSB,inert,in}$: 9 g/(P·d)
- $S_{CSB,deg,in}$: $(30 - 9) \text{ g/(P·d)} = 21 \text{ g/(P·d)}$
- $X_{SS,in}$: 70 g/(P·d)
- $X_{SS,anorg,in}$: 14 g/(P·d)
- $X_{SS,org,in}$: $(70 - 14) \text{ g/(P·d)} = 56 \text{ g/(P·d)}$
- $X_{CSB,in}$: 90 g/(P·d)
- $X_{CSB,inert,in}$: 27 g/(P·d)
- $C_{KN,in}$: 11 g/(P·d)
- $C_{P,in}$: 1,8 g/(P·d)

ANMERKUNG Nationale oder regionale Vorschriften können abweichende Zuflusskennwerte vorsehen. Abwässer mit einem erheblichen Anteil an gewerblichem oder industriellem Zufluss könnten andere Eigenschaften aufweisen.

Die Symbole sind folgende:

- C: Konzentration an gelösten und ungelösten Stoffen in g/(P·d);
- S: Konzentration an gelösten Stoffen in g/(P·d);
- X: Konzentration an ungelösten (Fest-)Stoffen in g/(P·d).

Die Indizes stehen für:

- CSB: chemischer Sauerstoffbedarf;
- SS: abfiltrierbare Stoffe, Trockenmasse;
- KN: Kjeldahl-Stickstoff;
- in: Zufluss;
- inert: reaktionsträge; nicht abbaubar;
- deg: abbaubar;
- redeg: leicht abbaubar.

Anhang C (informativ)

Eliminationsgrad von Vorklärbecken

Die Eliminationsgrade von Vorklärbecken sind in Tabelle C.1 angegeben.

Tabelle C.1 — Eliminationsgrade von Vorklärbecken (DWA-A 131 modifiziert)

	Eliminationsgrad η in %				
Verweilzeit im Vorklärbecken, berechnet anhand des durchschnittlichen Trockenwetterzuflusses	0,75 h bis 1 h	1 h bis 1,5 h	1,5 h bis 2 h	2 h bis 2,5 h	> 2,5 h
C _{CSB}	30 %	32,5 %	35 %	37,5 %	40 %
X _{CSB}	45 %	50 %	55 %	57,5 %	60 %
X _{SS}	50 %	55 %	60 %	62,5 %	65 %
C _{TKN}	10 %				
C _P	10 %				

Anhang D (informativ)

Externe Kohlenstoffquellen

Wenn das CSB/TKN-Verhältnis für eine zuverlässige (ggf. erforderliche) Denitrifikation nicht ausreicht, in der Regel, wenn es unter 6 : 1 liegt, und genauer, wenn das $C_{\text{CSB,red,deg,in}}/\text{TKN}$ -Verhältnis unter 1 : 1,2 liegt, kann es erforderlich sein, leicht abbaubaren CSB als Kohlenstoffquelle zuzusetzen (z. B. Methanol). Tabelle D.1 zeigt die Kennwerte einiger Kohlenstoffquellen.

Tabelle D.1 — Kennwerte von Kohlenstoffquellen für die Denitrifikation (DWA-A 131)

Parameter	Einheit	Methanol	Ethanol	Acetat
Dichte	kg/m ³	790	780	1 060
CSB/M	kg/kg	1,50	2,09	1,07
CSB/V	kg/m ³	1 185	1 630	1 135
$Y_{\text{CSB,Dos}}$	kg/kg	0,45	0,42	0,42

M ist die Masse in kg und V ist das Volumen in m³ der Kohlenstoffquelle. $Y_{\text{CSB,Dos}}$ ist der Ertrag an zusätzlichem CSB in kg in der Biomasse je kg CSB der Kohlenstoffquelle.

Anhang E (informativ)

Schlammalter MSRT und aerobes Schlammalter MASRT

E.1 Systeme nur für den Kohlenstoffabbau

Das aerobe Schlammalter *MASRT* in Anlagen ohne Nitrifikation sollte 4 Tage bis 5 Tage betragen, abhängig von der Größe der Anlage und der Auslegungstemperatur T_D . Diese beträgt in der Regel 10 °C oder 12 °C.

E.2 Systeme für die Nitrifikation bei Mindesttemperaturen von 12 °C

Das aerobe Schlammalter *MASRT* von Anlagen mit Nitrifikation, aber ohne Denitrifikation, muss wie folgt berechnet werden:

$$MASRT \geq PF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15^\circ\text{C}-T_D)} \quad [d] \quad (E.1)$$

Dabei ist

PF ein dimensionsloser Verfahrenswert zwischen 1,5 und 2,1, abhängig von der Größe der Anlage, Schwankungen des Durchflusses, der Fracht, der Temperatur und des pH-Wertes; das höhere Schlammalter gilt für Kläranlagen mit einem EW unter 20 000. Das niedrigere Schlammalter gilt für Kläranlagen mit einem EW über 100 000;

T_D die Auslegungstemperatur in Abhängigkeit von den Anforderungen an den Ammoniumabbau. Wenn die Abwassertemperatur während der kalten Jahreszeit unter T_D fallen kann, ist in Gleichung (E.1) ein um 2 °C bis 4 °C niedrigerer Wert für T_D einzusetzen, um eine ausreichende Nitrifikationskapazität zu gewährleisten, wenn die Abwassertemperatur auf den T_D -Wert angestiegen ist. Diese Temperatur ist proportional zur Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs am Ende der kalten Jahreszeit.

E.3 Systeme zur Nitrifikation und Denitrifikation bei Temperaturen von mindestens 12 °C

Wenn Nitrifikation und Denitrifikation erforderlich sind, sollte das Schlammalter t_{SS} wie folgt berechnet werden:

$$MSRT \geq PF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15^\circ\text{C}-T_D)} / [1 - (V_D/V)] \quad [d] \quad (E.2)$$

Dabei ist

V_D/V das Verhältnis des anoxischen Denitrifikationsvolumens V_D zum Gesamtvolumen V . Dieses Verhältnis ist das Ergebnis eines iterativen Bemessungsverfahrens. Es sollte in einem Bereich von 0,2 bis 0,6 liegen und mit steigender Temperatur erhöht werden können, um die Denitrifikation und damit den Stickstoffabbau zu steigern.

E.4 Systeme zur N-Elimination und simultanen aeroben Schlammstabilisierung

Das aerobe Schlammalter MASRT muss wie folgt berechnet werden:

$$MASRT \geq 25 \cdot 1,072^{(12\text{ °C} - T_{\min})} \quad [\text{d}] \quad (\text{E.3})$$

Das Schlammalter muss eventuell höher sein, wenn der Stickstoff bei niedriger Temperatur abgebaut werden muss.

Der Überschussschlamm ist ausreichend stabil, wenn das BSB₅/CSB-Verhältnis 0,15 nicht überschreitet [22]. Eine Belebung des Überschussschlammes kann erforderlich sein.

BEISPIEL 1 ohne Belebung:

$T_{\min} = 10\text{ °C}$: MASRT = 29 d.

$T = 12\text{ °C}$: Stickstoffabbau und daher $V_D/V \approx 0,3$ erforderlich. MASRT = 25 d. MSRT = $25\text{ d} / (1 - V_D/V) = 36\text{ d}$.

BEISPIEL 2 mit Belebung über 10 d:

$T_{\min} = 10\text{ °C}$: MASRT = 19 d.

$T = 12\text{ °C}$: Stickstoffabbau und daher $V_D/V \approx 0,3$ erforderlich. MASRT = 15 d. MSRT = $15\text{ d} / (1 - V_D/V) = 22\text{ d}$.