
HANDBUCH FÜR TAUCHRÜHRWERKE UND STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER

be
think
innovate

GRUNDFOS 

Haftungsausschluss

Die Anfertigung des vorliegenden Dokuments erfolgte mit größter Sorgfalt.

Dennoch kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass das Dokument inhaltliche Fehler aufweist. Für direkte oder indirekte Schäden, die sich aus der Nutzung des Handbuchs im Vertrauen auf den Inhalt ergeben, kann die GRUNDFOS Management A/S nicht haftbar gemacht

VORWORT

In der modernen Abwasserbehandlung ist das Mischen von Medien mit unterschiedlichen Eigenschaften in Becken unterschiedlicher Größe und Form ein wichtiger Betriebsprozess. Für diese Aufgabe ist eine entsprechende Ausrüstung erforderlich, die z. B. in Prozessbecken mit Trägermedium oder Belüftersystem installiert ist. Zudem sind bei der Abwasserbehandlung spezielle Betriebsbedingungen einzuhalten, die bei der Auswahl der Ausrüstung zu beachten sind.

Die richtige Auswahl und Anordnung der Tachrührwerke ist für die einzelnen Prozessschritte in einem Klärwerk ein wichtiger Punkt, der in diesem Handbuch ausführlich behandelt wird. Die Grundlagen des Mischens und Rührens sowie die allgemeinen Installationsregeln gelten jedoch nicht nur für Klärwerke, sondern auch für andere Anwendungen.

Die richtige Installation der Tachrührwerke in den Prozessbecken eines Klärwerks ermöglicht die vollständige Nutzung des gesamten Beckenvolumens sowie eine schnelle Durchmischung der unterschiedlichen Zuflüsse in das Becken. Zudem können der biologische und chemische Prozess unabhängig von einer Belüftung stattfinden. Dies ist z. B. bei Klärwerken von Bedeutung, die die strengen Anforderungen zur Nährstoffeliminierung erfüllen müssen.

Die richtige Auswahl und Anordnung der Tachrührwerke ist aber auch für eine optimale Durchmischung und einen geringen Stromverbrauch wichtig. Gleichzeitig werden der Verschleiß und die Betriebskosten der Tachrührwerke reduziert. Mithilfe des vorliegenden Handbuchs möchte Grundfos den Anlagenplanern entsprechende Hilfestellung geben. Beschrieben werden zudem die Grundlagen des Mischens und Rührens.

Wir hoffen, dass Ihnen unser Handbuch bei Ihrer täglichen Arbeit mit nützlichen Anregungen weiterhilft.



EINLEITUNG

Seit Jahrhunderten ist das Mischen verschiedener Fluide, wie z. B. Flüssigkeiten, Feststoffe und Gase, ein wichtiger Bestandteil des menschlichen Handelns. Dazu gehören die Zubereitung von Nahrungsmitteln und Getränken, die Herstellung von Chemikalien und Naturheilmitteln sowie die Verteilung und Verdünnung von Fluiden zur Herstellung von homogenen Stoffen für die Nutzung in der Industrie oder als Baustoff.

Seit Beginn der Abwasserbehandlung gibt es in diesem Bereich ähnliche Anforderungen, d. h. Erreichen des bestmöglichen Homogenisierungsgrades zwischen verschiedenen Fluiden und Feststoffen, Feststoffe in Schwebelag halten oder wieder in Schwebelag bringen sowie das Erzeugen einer Strömung unter Einbeziehung des gesamten Flüssigkeitsvolumens, usw.

Um diesen Aufgaben gerecht werden zu können, müssen zum einen die physikalischen Grundlagen zur Fluidströmung und zum anderen die Regeln zur Anordnung von geeigneter Ausrüstung sowie Fachkenntnisse über die Anwendung bekannt sein, um bestimmte Ziele zu erreichen.

Der Ausrüstung, zu denen Rührwerke mit trocken installierten Motoren sowie Tauchrührwerke gehören, kommt eine zentrale Bedeutung bei der Gestaltung von Klärwerken zu. Sie ist häufig entscheidend für ein positives Ergebnis des Klärprozesses.

2002 hat Grundfos die Arnold AG übernommen - ein Schweizer Unternehmen mit jahrzehntelanger Erfahrung in der Herstellung von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern. Damit ist Grundfos in der Lage, neben Abwasserpumpen auch Tauchrührwerke für Kläranlagen, die Landwirtschaft und für Biogasanlagen anbieten zu können.

In diesem Handbuch werden die wichtigsten Themen und Anwendungen rund um das Rühren und Mischen behandelt - mit besonderem Augenmerk auf Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger. Das Handbuch wendet sich an Klärwerksmeister, Planer, Klärwerksbetreiber, Vertriebsmitarbeiter und alle, die mit dem Rühren und Mischen in Berührung kommen.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	1
-------------------	----------

[1] GRUNDLAGEN

Einführung in das Mischen	8
----------------------------------	----------

Kurzer historischer Rückblick: Vom Rührwerk zum Tauchrührwerk	8
--	----------

Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger im Klärwerk	10
--	-----------

Erste Klärstufe	11
-----------------	----

Zweite Klärstufe	11
------------------	----

Dritte Klärstufe	11
------------------	----

Schlammbehandlung	12
-------------------	----

Unterschiede bei den Mischaggregaten	13
---	-----------

Grundlegende Parameter für das Mischen	14
---	-----------

Gemeinsamkeiten von Tauchrührwerken und Pumpen	14
--	----

Leistung und Druck	15
--------------------	----

Volumenstrom	17
--------------	----

Schub	17
-------	----

Strömungslehre	19
-----------------------	-----------

Dynamische und kinematische Viskosität	20
--	----

Newtonsche und nichtnewtonsche Flüssigkeiten	21
--	----

Reynoldszahl und Newtonzahl	22
-----------------------------	----

Anforderungen an eine optimale hydrodynamische Gestaltung	24
---	----

Numerische Strömungsmechanik für Mischvorgänge	26
---	-----------

Numerische Strömungsmechanik für die Simulation von Mischvorgängen	26
--	----

Rührwerksentwicklung mithilfe der numerischen Strömungsmechanik	30
---	----

Simulation der Strömungsverhältnisse mithilfe der numerischen Strömungsmechanik	32
---	----

Schuberzeugung und -verteilung	33
--------------------------------	----

[2] ANWENDUNGEN UND RICHTLINIEN

Einsatzbedingungen für Rührwerke und Strömungsbeschleuniger	36
<hr/>	
Auswahl der Mischaggregate	36
Aufgabe des Mischens	36
Medieneigenschaften	36
Beckenform	37
Einsatz von Belüftersystemen	38
Anordnung des Beckenzulaufs und -ablaufs	38
Zugang zum Becken für die Installation	38
Das richtige Mischaggregat für den jeweiligen Zweck	38
Ziele des Mischens und Anwendungsbeispiele	38
Vermischung, Suspension und Homogenisierung	38
Ausgleichsbecken	40
Biologische Klärstufe	41
Reinigen von Regenrückhaltebecken	42
Zeitlich begrenzter Rührbetrieb in mittelgroßen/großen Pumpstationen	44
Homogenisieren von Stapelschlamm (Primär- und Überschussschlamm)	45
Verteilen von Chemikalien im Abwasser/Schlamm	45
<hr/>	
Richtlinien	46
<hr/>	
Allgemeine Empfehlungen zur Anordnung	46
Verhindern von Kurzschlussströmung	47
Intensives und sofortiges Mischen unterschiedlicher Zuflüsse	47
Vermeiden von Verwirbelungen an der Wasseroberfläche durch gleichmäßiges Rühren	47
Vermeiden von Totwasserräumen	48
Allgemeine Regeln zur Anordnung	48
Mindesteintauchtiefe zur Vermeidung von Verwirbelungen	48
Mindestabstand zum Beckenboden und zu den Seitenwänden	49
Mindestabstand zur Rückwand	54
Mindestabstand zu Hindernissen	58
Nach oben und unten ausgerichtete Rührwerke	58
Anordnung in der Draufsicht	59

Allgemeine Regeln zur Anordnung in belüfteten Becken	76
Allgemeines	76
Senkrechte Anordnung von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern	77
Besondere Regeln zur Anordnung in Umlaufbecken	80
Anordnung von Strömungsbeschleunigern in Oxidationsgräben	80
Beispiel: Bildung einer Rückströmung – CFD-Simulation für das Klärwerk La Feysine-Lyon	84
Maßnahmen bei beengten Platzverhältnissen	84
Anordnung von Strömungsbeschleunigern in belüfteten Ringbecken	85

[3] INSTALLATION, BETRIEB UND OPTIMIERUNG

Installation und Betrieb	88
Montagevorrichtung für Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger	88
Führungsrohre, Halterungen, Kräne	88
Montagevorrichtung für Tauchrührwerke	89
Montagevorrichtung für Strömungsbeschleuniger	91
Betrieb	92
Überprüfungen vor der Installation der Mischaggregate	92
Installation der Mischaggregate	93
Inbetriebnahme	94
Wartung	94
Voraussetzung für einen effizienten Betrieb	94
Vorteile einer regelmäßigen Wartung	94
Fehlersuche und Fehlerbehebung	94
Anpassung an den Bedarf mithilfe eines Frequenzumrichters	95
Beispiel: Feinabstimmung eines Strömungsbeschleunigers AFG mithilfe eines FU im Klärwerk La Feysine-Lyon	96

Leistungsmessungen	99
<hr/>	
Messen des Trockensubstanzgehalts	99
Messverfahren	99
Messausrüstung	99
Messen der Strömungsgeschwindigkeit	99
Messausrüstung	100
Messen der mittleren Leistung	100
Anordnen des Messnetzes in Umlaufbecken	101
Berechnung der mittleren horizontalen Strömungsgeschwindigkeit	102
Grundfos Leistungsprüfstand für Mischaggregate	103
<hr/>	
Anlagenoptimierung	105
<hr/>	
Allgemeines	105
Vorteile einer optimalen Beckengestaltung	105
Vergleich quadratischer Becken oder Rechteckbecken mit Rundbecken	105
Einfluss unterschiedlicher Bauformen bei Umlaufbecken	107
Vorteile einer optimalen Produktwahl	111
Ersetzen von Tachrührwerken durch Strömungsbeschleuniger	111
Beispiel: Ersetzen der Tachrührwerke durch Strömungsbeschleuniger im Klärwerk Douchy, Frankreich	114
BEZEICHNUNGEN, SYMBOLE UND MASSEINHEITEN	
Bezeichnungen, Symbole und Maßeinheiten	118
Definitionen	119





[1]

GRUNDLAGEN

EINFÜHRUNG IN DAS MISCHEN

Kurzer historischer Rückblick: Vom Rührwerk zum Tauchrührwerk

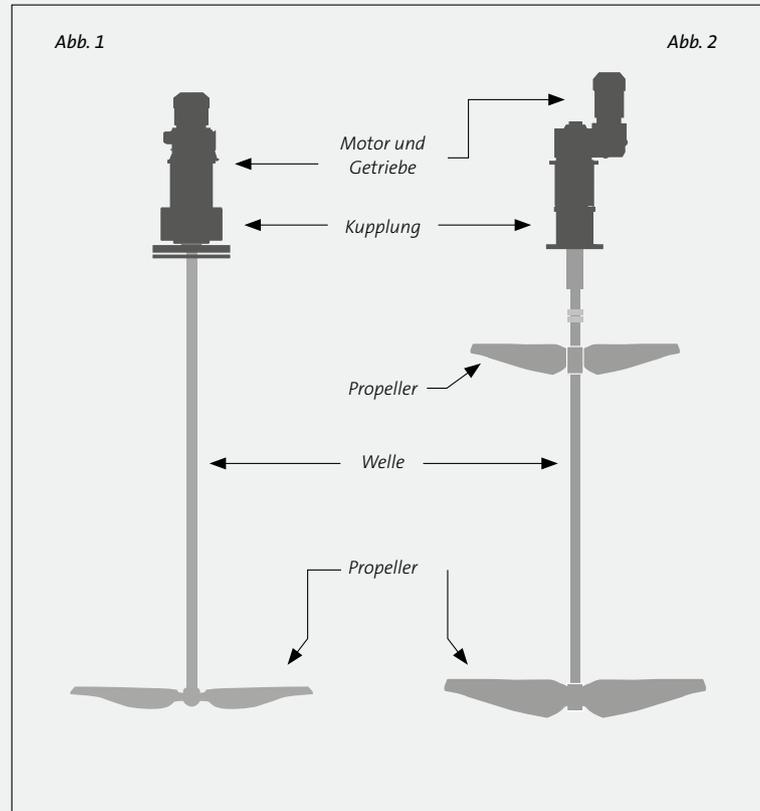
Allgemein dient das Mischen zur Verbesserung des Homogenisierungsgrads eines Flüssigkeits-Partikel-Gemisches. Dazu sind umfassende technische Kenntnisse erforderlich - angefangen von der Strömungslehre bis zu anwendungsspezifischem Fachwissen.

Historisch gesehen geht das Mischen von Fluiden sowie von Fluiden und Feststoffen auf industrielle Prozesse zurück.

In der Industrie gehört das Mischen zu den grundlegenden Verfahren. Es ist z. B. für die Herstellung von Papier, Chemikalien sowie Arzneimitteln von großer Bedeutung. Aber auch in Klärwerken gehört das Mischen zu den wichtigsten Prozessen, um ein gutes Kläresultat zu erreichen.

Die zu mischenden Medien und die Aufgaben können je nach Anwendung sehr unterschiedlich sein. In der Chemieindustrie z. B. dient das Mischen zur Herstellung eines homogenen Fluids in kürzestmöglicher Zeit. In Klärwerken hingegen sorgt das Mischen dafür, dass Feststoffe sich nicht absetzen. Dabei muss der Stromverbrauch so gering wie möglich gehalten werden.

Um die vielfältigen Anforderungen der verschiedenen Anwendungen erfüllen zu können, wurden und werden immer noch entsprechende Mischaggregate entwickelt.



In der Industrie wird unter einem Mischaggregat das Zusammenfügen eines herkömmlichen (trocken installierten) Motors, eines Getriebes (falls erforderlich), einer Kupplung, einer Welle und eines oder mehrerer Propeller, die eine axiale oder radiale Strömung erzeugen können, zu einer Funktionseinheit verstanden.

Auch in Klärwerken wurde diese Art von Mischaggregaten, die als Rührwerke bezeichnet werden, lange Zeit eingesetzt (siehe Abb. 3).

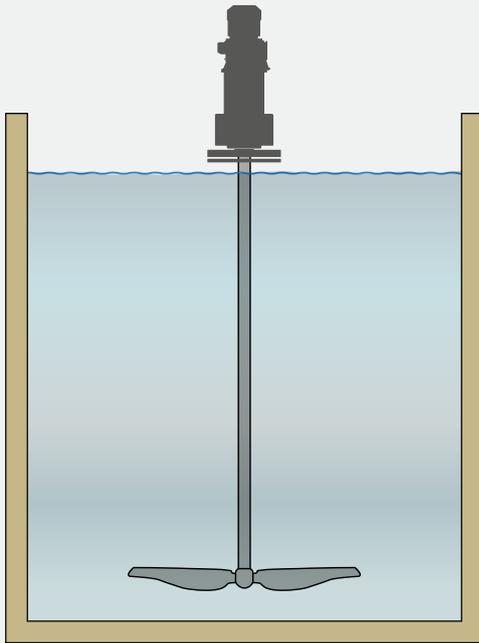


Abb. 3

Heute beschränkt sich ihr Einsatz auf spezielle Prozesse, wie z. B. die anaerobe Schlammfäulung, die Homogenisierung von Dickschlamm sowie die Chemikaliendurchmischung für die Schlammeindickung oder Abwasserneutralisation. Denn durch die moderne Abwasserbehandlung ergeben sich heute zahlreiche neue Anforderungen hinsichtlich der Arbeitsprozesse und der Betriebskosten.

Um diese Anforderungen erfüllen zu können, werden deshalb Tauchrührwerke eingesetzt, bei denen ein Tauchmotor (mit oder ohne Getriebe) mit einem Propeller verbunden wird. Siehe Abb. 4 und 5.

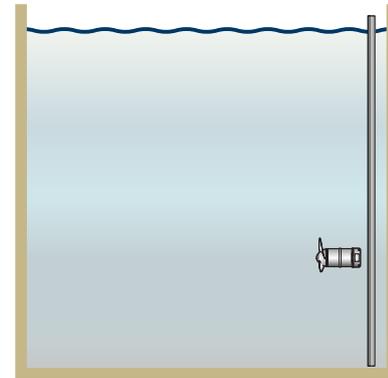
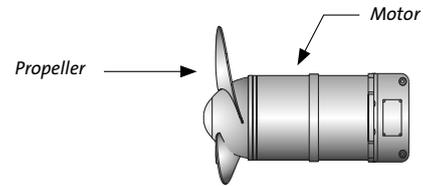


Abb. 4

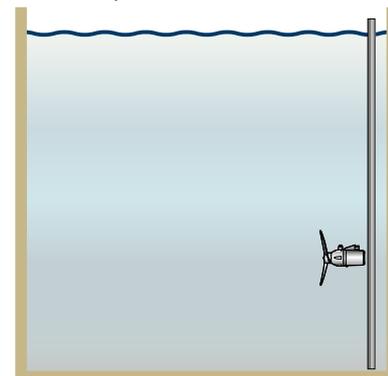
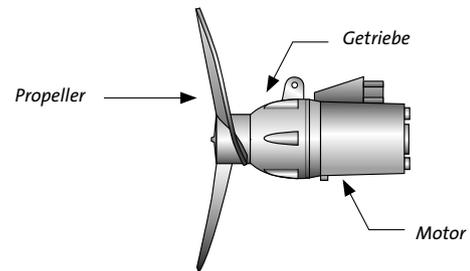
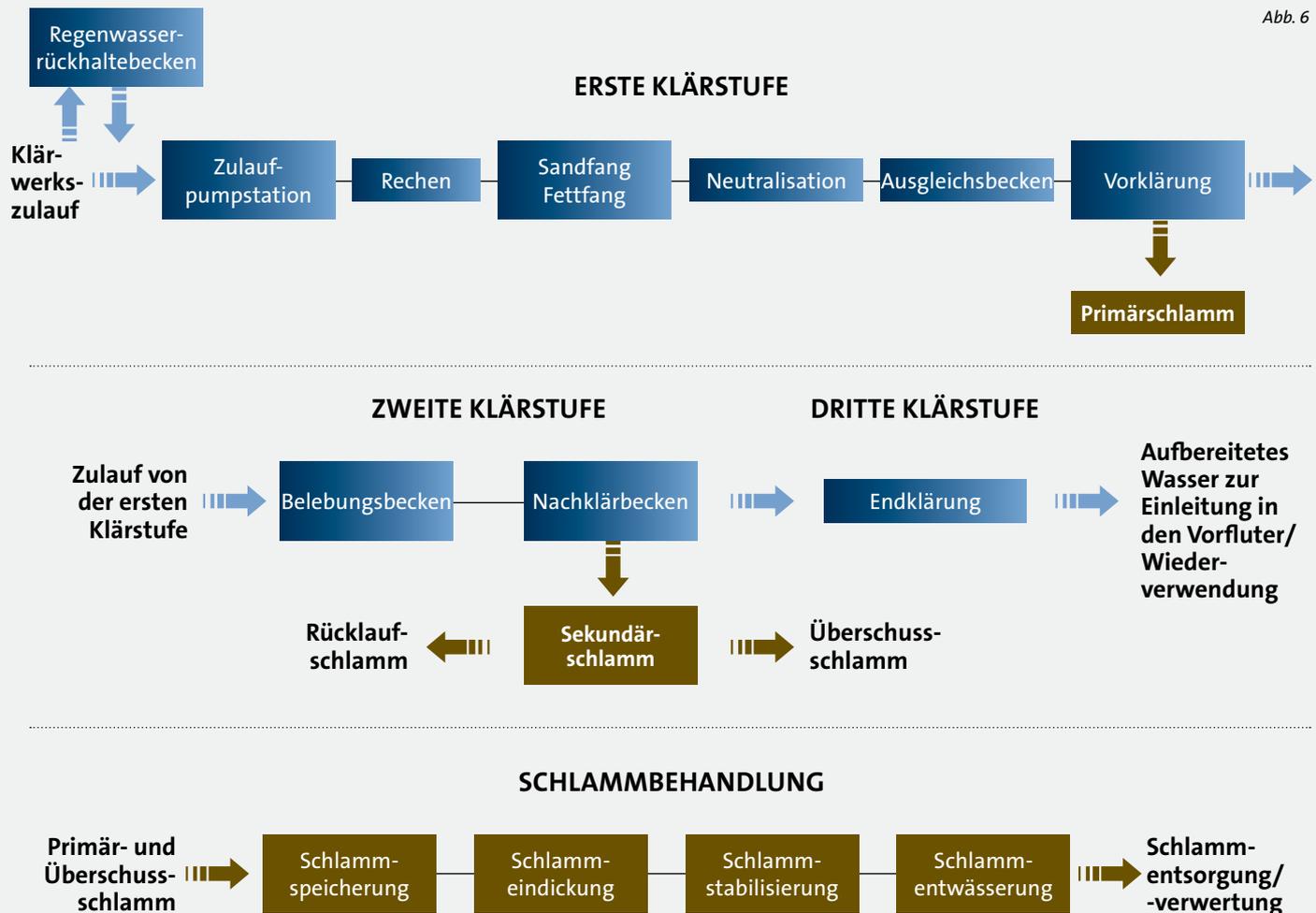


Abb. 5

Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger im Klärwerk

Ein Klärwerk, das nach dem herkömmlichen Belebtschlammverfahren (siehe das Ablaufdiagramm in Abb. 6) arbeitet, besteht aus vier Behandlungsstufen. In der ersten, zweiten und dritten Klärstufe erfolgt die eigentliche Abwasserbehandlung, während es bei der Schlammbehandlung darum geht, die biologische Aktivität des Schlammes zu unterbinden.

In allen vier Behandlungsstufen kommen Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger zum Einsatz - und zwar immer, wenn eine Homogenisierung, Vermischung oder eine langsame bzw. schnelle Durchmischung erforderlich ist oder Feststoffe in Schwebelage gehalten werden müssen.



ERSTE KLÄRSTUFE

In jeder Klärstufe können schnelldrehende Mischaggregate (Grundfos Tauchrührwerke) und langsamdrehende Mischaggregate (Grundfos Strömungsbeschleuniger) eingesetzt werden. Siehe Abb. 7.

Grundfos Tauchrührwerke sind installiert in:

- Regenwasserrückhaltebecken
- Zulaufpumpstationen
- Ausgleichsbecken.

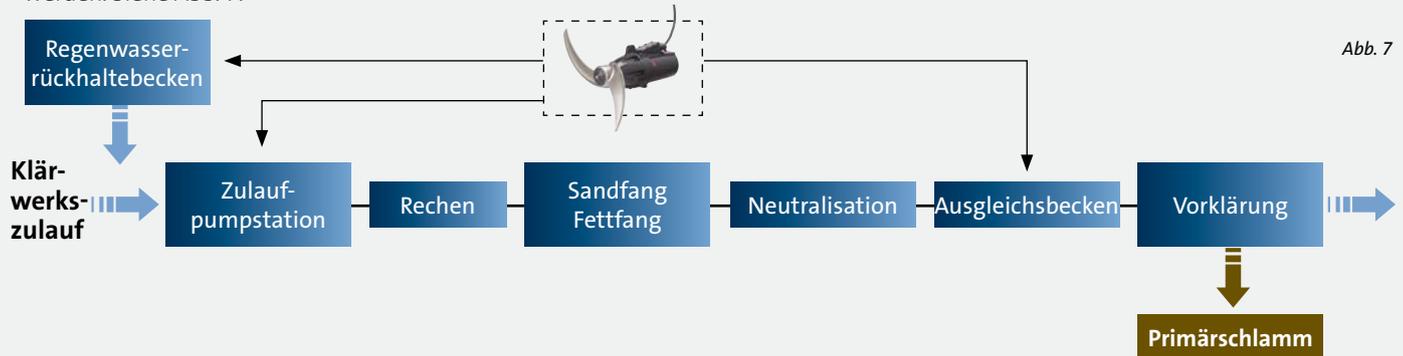


Abb. 7

ZWEITE KLÄRSTUFE

In den Belebungsbecken finden die grundlegenden biologischen Prozesse statt. Hier kommen wie in Abb. 8 dargestellt sowohl Grundfos Tauchrührwerke als auch Strömungsbeschleuniger zum Einsatz für die:

- Selektierung von Mikroorganismen
- Phosphatelimination
- Denitrifikation
- Oxidation
- Nitrifikation.

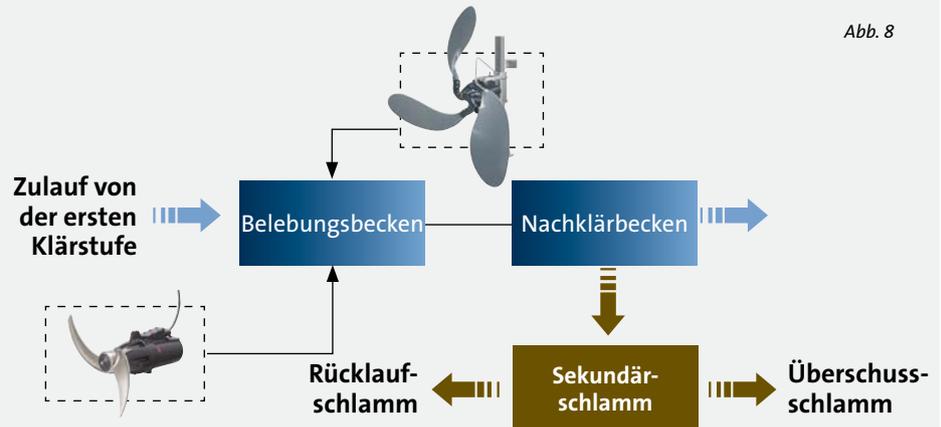


Abb. 8

DRITTE KLÄRSTUFE

Eine dritte Klärstufe im Anschluss an die zweite Klärstufe ist immer dann vorhanden, wenn die organischen und anorganischen Stoffe im Wasser weiter reduziert werden müssen. Dazu werden Grundfos Tauchrührwerke und in bestimmten Fällen auch Grundfos Strömungsbeschleuniger installiert. Siehe Abb. 9.

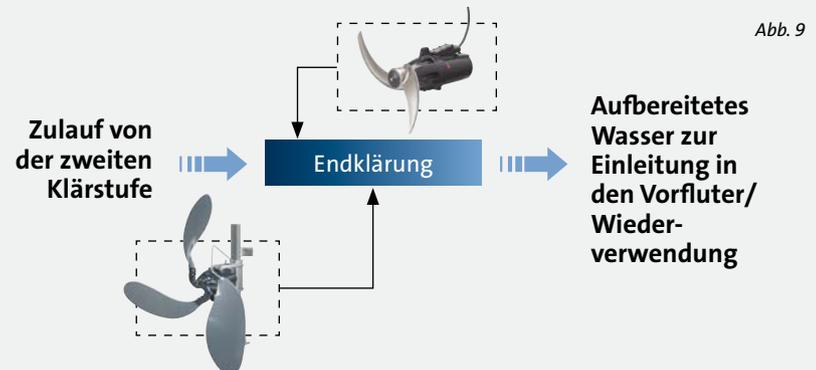


Abb. 9

SCHLAMMBEHANDLUNG

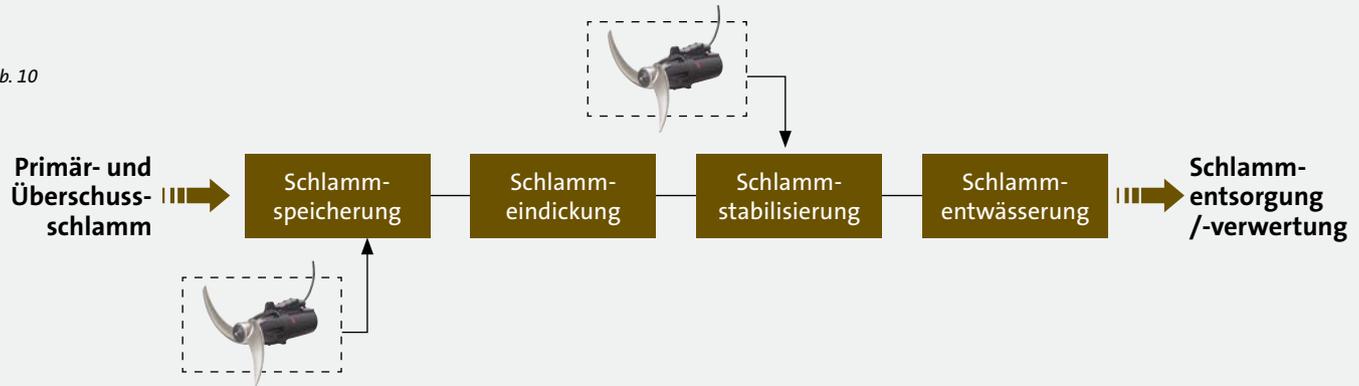
Im Bereich der Schlammbehandlung werden Grundfos Tauchrührwerke für die folgenden, in Abb. 10 dargestellten Behandlungsschritte eingesetzt:

- **Schlamm-speicherung**
- **Schlamm-stabilisierung.**

Auch beim Sequencing-Batch-Reactor-Verfahren (SBR), Membranbelebungsreaktorverfahren (MBR) und Moving-Bed-Bio-Reactor-Verfahren (MBBR) ist das Mischen erforderlich.

Insbesondere beim MBR- und MBBR-Verfahren muss die Auslegung der Mischgeräte mit großer Sorgfalt erfolgen, weil der Feststoffgehalt hier hohe Werte erreichen kann.

Abb. 10



Unterschiede bei den Mischaggregaten

Die Hauptunterschiede zwischen den beiden gängigsten Mischaggregaten – den Rührwerken und Tauchrührwerken – ergeben sich aus den verschiedenen Anforderungen, die im Rahmen der einzelnen Prozessschritte der Abwasserbehandlung an die Mischaggregate gestellt werden.

1) Senkrecht und waagrecht frei ausrichtbar

Im Gegensatz zu Rührwerken, bei denen der Propeller fest angeordnet ist, können die Tauchrührwerke entsprechend der Prozessanforderungen, der Beckengeometrie, der Wassertiefe, usw. senkrecht und waagrecht frei ausgerichtet werden. Siehe Abb. 11 und 12.

2) Erzeugen einer hocheffizienten Strömung

Während der Propeller eines Rührwerks eine stark gerichtete Strömung mit einer ungleichmäßigen Verteilung innerhalb des Wasservolumens erzeugt (siehe Abb. 13) und der Rührgrad mithilfe der Strömungsgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche ermittelt wird, sorgen Tauchrührwerke für eine gleichmäßig starke Strömung im gesamten Flüssigkeitsvolumen (siehe Abb. 14).

3) Geräuscharm

Die extern angeordnete Motor-Getriebe-Einheit eines Rührwerks ist immer eine Geräuschquelle, während im Becken eingetauchte Tauchrührwerke geräuschlos arbeiten.

4) Einfache und schnelle Wartung

Alle Wartungsarbeiten - egal ob geplant oder außerplanmäßig - erfordern das Zerlegen einer oder mehrerer Komponenten, wie z. B. Motor/Getriebe, Kupplung, Welle oder Propeller. Der Zeitaufwand für das Zerlegen, die Wartung und den Wiederausbau ist entsprechend hoch. Tauchrührwerke können in sehr viel kürzerer Zeit ausgebaut, gewartet und wieder installiert werden als Rührwerke. Außerdem gestaltet sich ihr Transport in eine Reparaturwerkstatt einfacher.

5) Geringere Wartungskosten

Da die Tauchrührwerke schneller und einfacher zu warten sind, können die Wartungskosten erheblich gesenkt werden.

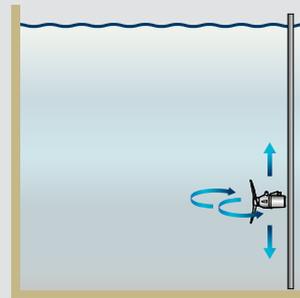


Abb. 11: Senkrechte Anordnung und waagerechte Ausrichtung

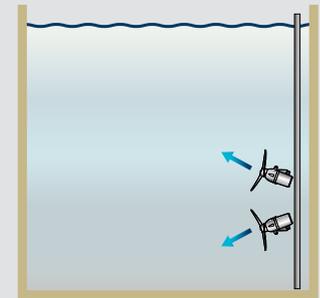


Abb. 12: Senkrechte Ausrichtung und waagerechte Ausrichtung

Die Tauchrührwerke erzeugen eine starke Strömung, die das gesamte Beckenvolumen erfasst.

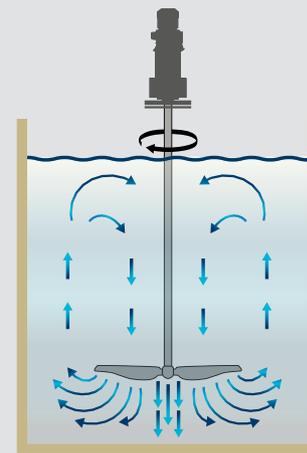


Abb. 13

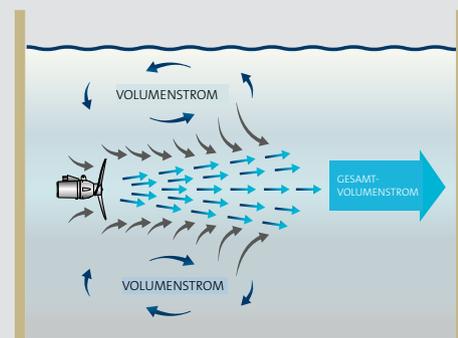


Abb. 14

Grundlegende Parameter für das Mischen

Wichtige Parameter zur Beschreibung des Mischvorgangs sind z. B.:

- LEISTUNG
- VOLUMENSTROM
- DRUCK ODER SCHUBSPANNUNG
- SCHUB

Bei einem vorgegebenen Beckenvolumen muss die vom Mischaggregat erzeugte Strömung das größtmögliche Flüssigkeitsvolumen erfassen. Das heißt mit anderen Worten, dass das vom Tachrührwerk oder Strömungsbeschleuniger erzeugte Strömungsmuster auf das größtmögliche Volumen übertragen werden muss. Dadurch wird die Strömungsgeschwindigkeit und die Schubspannung optimal auf das Wasservolumen verteilt.

GEMEINSAMKEITEN VON TAUCHRÜHRWERKEN UND PUMPEN

Bei der Stromaufnahme und der Stromumwandlung verhalten sich Tachrührwerke ähnlich wie Pumpen (siehe Abb. 15), weil:

- elektrische Energie aus dem Netz gezogen wird
- elektrische (1) in mechanische (2) Energie umgewandelt wird
- mechanische in hydraulische (3) Energie umgewandelt wird
- die hydraulische Energie auf ein Flüssigkeitsvolumen übertragen wird - und zwar bei Mischaggregaten zum Durchmischen einer Flüssigkeit und bei Pumpen zum Anheben der Flüssigkeit auf ein höheres Niveau.

Im Hinblick auf das Energiegleichgewicht (Lage- und Bewegungsenergie) hingegen unterscheiden sich Tachrührwerke und Pumpen, weil bei Tachrührwerken

- der hydrostatische Druck h (geodätische Höhe bei Pumpen) immer null ist.
- der dynamische Druck $v^2/2g$ (oder die kinetische Energie) ausschlaggebend für das Energiegleichgewicht ist.

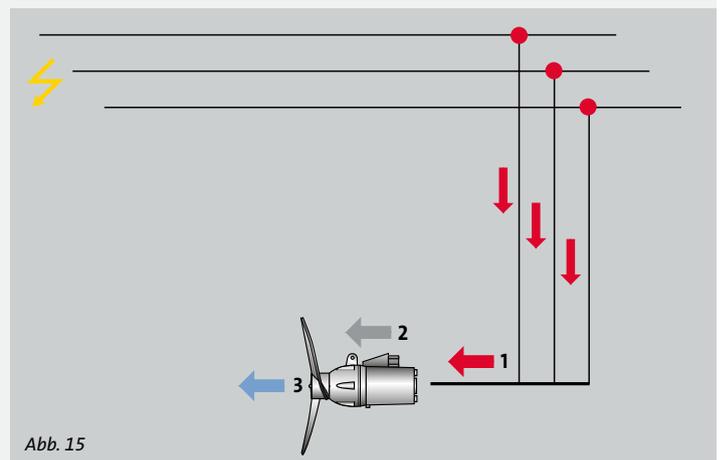


Abb. 15

Bei einem Blick auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit vor dem Tachrührwerk v_1 (Abschnitt 1) und hinter dem Tachrührwerk v_2 (Abschnitt 2) ist zu erkennen, dass die Wellenleistung theoretisch – wie in Abb. 16 dargestellt – entsprechend der Bernoulli-Gleichung (Energieerhaltungssatz) für die reibungsfreie Strömung vollständig in kinetische Energie umgewandelt und auf die Flüssigkeit übertragen wird.

$$v_1^2 / 2g \cong v_2^2 / 2g$$

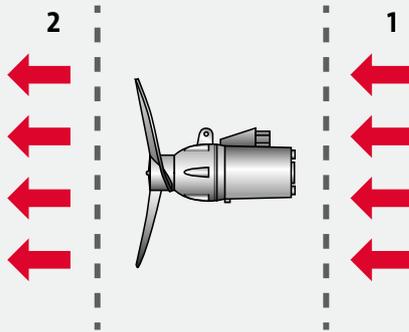


Abb. 16

LEISTUNG UND DRUCK

Wie bei den Pumpen besteht auch bei den Tachrührwerken ein proportionaler Zusammenhang zwischen der Leistung P , dem Förderstrom q und der Förderhöhe H , die bei Tachrührwerken als dynamischer Druck oder Schubspannung bezeichnet wird:

$$P \propto qH$$

Die vom Netz aufgenommene und über das Mischaggregat auf das Wasser übertragene Energie (siehe Abb. 17) erzeugt einen Volumenstrom q und einen dynamischen Druck (oder eine Schubspannung) H . Ein Teil der Energie geht jedoch als Wärme verloren. Der Wirkungsgrad bei der Homogenisierung, Vermischung und dem Suspendieren von Feststoffen ist abhängig von der Energieübertragung und Umwandlung in dynamischen Druck und Volumenstrom.

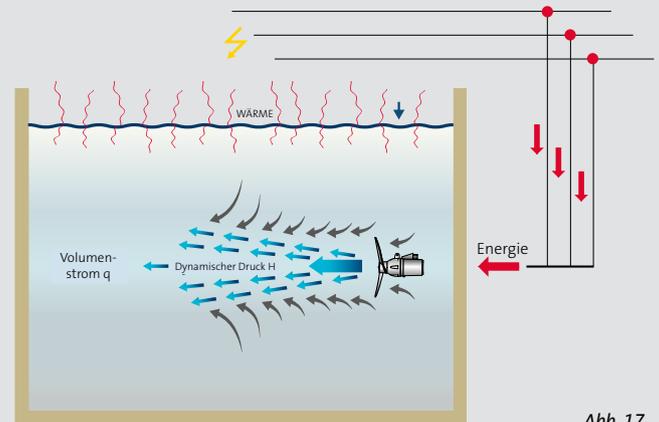


Abb. 17

Die zuvor erwähnte Proportionalität zwischen P und qH führt zu der Newtonzahl N_p , die auf Seite 22 definiert ist.

Der **Volumenstrom** ist $q = \text{Geschwindigkeit} \times \text{Querschnitt } A$. Mit $n \times D \times D^2 = n \times D^3$ ist er $\propto n \times D^3$. Dabei ist n die Drehzahl in U/min und D der Propellerdurchmesser.

Der **dynamische Druck** H ist $\propto v^2$. Damit ist $H \propto n^2 \times D^2$.

Die Leistung P ist somit $\propto n \times D^3 \times n^2 \times D^2 = n^3 \times D^5$ und genauer $P = N_p \times n^3 \times D^5 \times \rho$, wobei N_p die dimensionlose **Newtonzahl** ist, die die Widerstandskraft mit der Trägheitskraft in Beziehung setzt.

Für **Tachrührwerke** gelten die folgenden **Leistungsbegriffe** (siehe Abb. 18):

- $P_{1\text{nenn}}$ = maximale Leistungsaufnahme des Motors
- $P_{1\text{ist}}$ = Leistungsaufnahme am Betriebspunkt
- $P_{2\text{nenn}}$ = Wellenleistung (Nennleistung)
- $P_{2\text{ist}}$ = Wellenleistung am Betriebspunkt
- P_p = Propellerausgangsleistung am Betriebspunkt

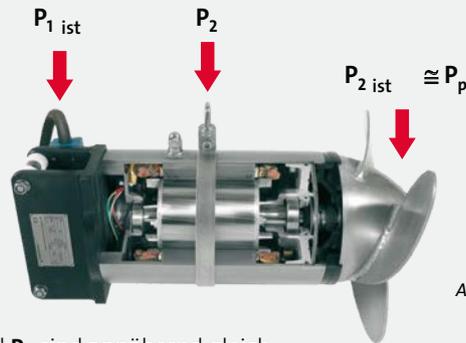


Abb. 18

$P_{2\text{ist}}$ und P_p sind annähernd gleich.

Der **elektrische** und **hydraulische Wirkungsgrad** an einem bestimmten Betriebspunkt kann über die vorherigen Leistungsbegriffe ausgedrückt werden:

- Der **elektrische Wirkungsgrad** η_E ist das Verhältnis zwischen der Wellenleistung am Betriebspunkt $P_{2\text{ist}}$ und der Leistungsaufnahme am Betriebspunkt $P_{1\text{ist}}$:

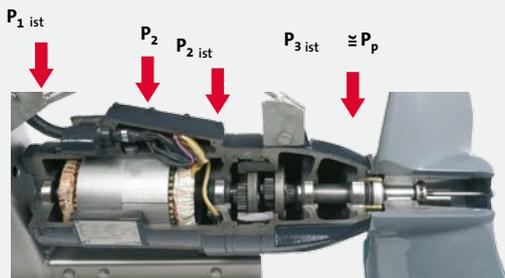
$$\eta_E = P_{2\text{ist}} / P_{1\text{ist}}$$

- Der hydraulische Wirkungsgrad η_H ist das Verhältnis zwischen der Propellerleistung am Betriebspunkt P_p ($\cong P_{2\text{ist}}$) und der Wellenleistung P_2 :

$$\eta_H = P_p / P_2$$

Der **Gesamtwirkungsgrad** η_T oder der Leiter-zu-Wasser-Wirkungsgrad η_{W2W} ergibt sich zu: $\eta_T = \eta_{W2W} = \eta_E \times \eta_H$

Bei **Tauchrührwerken** mit **Getriebe** ist als weiterer Wert $P_{3\text{ist}}$ zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrads zu berücksichtigen.



Ein weiterer wichtiger Parameter ist die **Mischdichte** oder **spezifische Mischleistung Smp**. Er beschreibt das **Verhältnis zwischen der Propellerleistung P_p und dem zu mischenden Flüssigkeitsvolumen**. Der Wert ist unabhängig vom Rührwerkstyp, der Anordnung und anderen Faktoren, die Einfluss auf die Leistung haben. Die spezifische Mischleistung **Smp** wird in **W/m³** angegeben.

In den unterschiedlichen Abwasserreinigungsprozessen, wie z. B. in Ausgleichsbecken, der Denitrifikation, Phosphateleinierung und Nitrifikation, liegt der **Smp-Wert** für die eingesetzten Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger zwischen **1,0** und **6,0 W/m³**. Höhere Smp-Werte werden bei besonders hohen Feststoffkonzentrationen im Abwasser erreicht.

Früher wurde für die Auslegung von Mischaggregaten in Klärwerksanwendungen ein Referenzwert zwischen **20** und **30 W/m³** angenommen. Die Folge war ein Mischaggregat mit zu groß gewähltem Motor im Vergleich zum tatsächlichen Bedarf.



VOLUMENSTROM

Der Propeller des Rührwerks erzeugt eine **Strömung** durch einen **direkten** (oder primären) Volumenstrom und einen **indirekten** (oder induzierten) Volumenstrom, siehe Abb. 19.

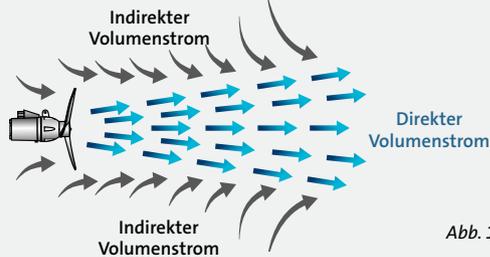


Abb. 19

Aus der Summe des **primären Volumenstroms** (direkter Volumenstrom) und des **sekundären Volumenstroms** (indirekter oder induzierter Volumenstrom) ergibt sich der **Gesamtvolumenstrom**, siehe Abb. 20.

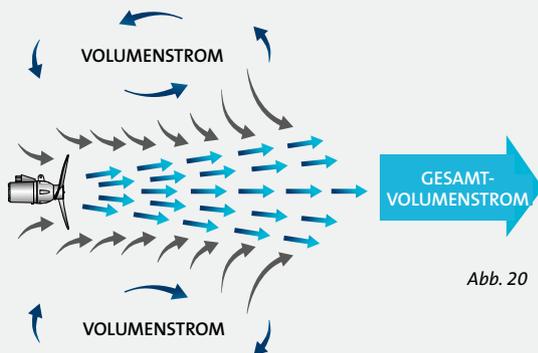


Abb. 20

Der **primäre Volumenstrom** wird vom Propeller und der **sekundäre Volumenstrom** von der Verwirbelung erzeugt.

In der Strömungslehre wird dieses Verhalten als **Vena Contracta** bezeichnet (siehe Abb. 21). Allgemein tritt die als **Vena Contracta** bezeichnete Einschnürung an der Stelle der Fluidströmung auf, wo der Durchmesser am geringsten und die Strömungsgeschwindigkeit am größten ist. Dies ist in Abb. 21 der **Abschnitt x**.

Das Verhalten ist zu beobachten, wenn z. B. ein Strahl aus einer Düse, Blende oder einem Propeller austritt. In Abb. 21 wird der Strahl im **Abschnitt x** nahezu horizontal dargestellt.

Der Propeller selbst wirkt als Einschnürung im Bereich zwischen der Zuströmung und Abströmung. Vor dem Propeller laufen die Strömungslinien zusammen. Hinter dem Propeller erfolgt nach der Einschnürung wieder eine Aufweitung.

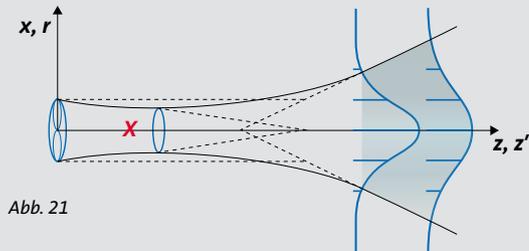


Abb. 21

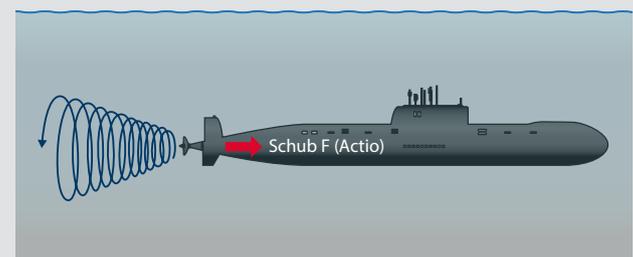
SCHUB

Der **Schub** ist zusammen mit der Schubspannung ein Schlüsselparameter für Tauchrührwerke. **Nach der Norm ISO 21630** für Tauchrührwerke ist der **Schub F** der wichtigste Parameter bei der Abnahmeprüfung.

Die Leistung eines Tauchrührwerks wird heute als $R_{FP} = F/P_1$ ausgedrückt. Dies ist das Verhältnis zwischen dem **Schub F** und der **Leistungsaufnahme P_1** .

Im Bereich des Strahlantriebs ist der Schub die Kraft, die wie in Abb. 22 dargestellt auf ein Schiff oder Uboot ausgeübt wird. Der Schub wirkt dabei entgegengesetzt des Impulses, der vom Propellerstrahl aufgebracht wird.

Abb. 22



Das Hauptziel beim Mischen ist das Bewegen einer Flüssigkeit. Der **Schub wirkt somit auf eine Flüssigkeit**. Der **Schub** ist definiert als die **Summe des axialen Impulses pro Zeiteinheit, die auf die Flüssigkeit übertragen wird**. Die Reaktionskraft auf das Rührwerk entspricht in der Größe dem Schub, wirkt jedoch in entgegengesetzter Richtung. Siehe Abb. 23.

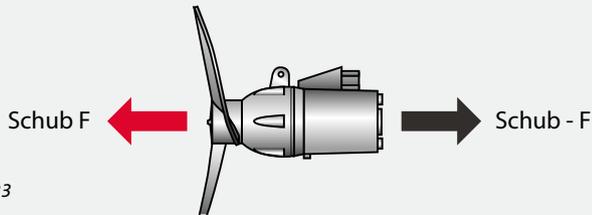


Abb. 23

Im Labor wird der Schub mithilfe der Reaktionskraft **F** ermittelt. Die **Maßeinheit** für den **Schub**, der als auf die Flüssigkeit übertragener linearer Gesamtimpuls definiert ist und sich aus der Gleichung **Masse x Geschwindigkeit/Zeit** ergibt, ist somit:

$$F \text{ [kg x m x s}^{-2} \text{]}$$

Dies entspricht der Masse mal Beschleunigung. Das Ergebnis ist also eine Kraft. Deshalb wird der **Schub** in **Newton [N]** angegeben. Im SI-Einheitensystem steht **Newton [N]** für die Kraft, die erforderlich ist, um eine Masse von 1 kg auf 1 m/s^2 zu beschleunigen. Da eine Masse von 1 kg durch die Schwerkraft eine Kraft von **9,8 N** ausübt, wird üblicherweise gesagt, dass **10 N** einer **Gewichtskraft von 1 kg** entsprechen. Somit kann der Schub **F** auch als **Gewichtskraft** in [kg] ausgedrückt werden.

Bei Abnahmeprüfungen muss das Verhältnis R_{FP} von **Schub F** zur **Leistungsaufnahme P_1** in **[N/W]** als Hauptparameter zur Kennzeichnung der Rührwerksleistung ermittelt werden. Siehe Abb. 24.

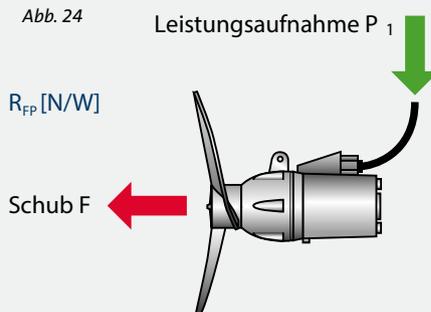


Abb. 24

SPEZIFISCHE SCHUBLEISTUNGSZIFFER (ISO 21630)

Die internationale Norm ISO 21630 "Pumpen - Prüfungen - Rührwerke für Abwasser und ähnliche Anwendungen" wurde im August 2007 herausgegeben. Der Inhalt lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Definieren einheitlicher Kenngrößen, um Rührwerke miteinander vergleichen zu können
- Vereinfachen der Kommunikation zwischen Kunden und Lieferanten
- Verbraucherschutz
- Reduzieren des Dokumentationsaufwands
- Erhöhen der Qualität und der Effizienz der Aggregate und der Prozesse.

Ein sehr wichtiger Leistungsparameter ist das in der internationalen Norm ISO 21630 als spezifische Schubleistungsziffer definierte Verhältnis von Schub zu Leistungsaufnahme $R_{FP} = F/P_1$.

Die Bedeutung dieser Kenngröße kann anhand eines Beispiels veranschaulicht werden. Ein Tauchrührwerk erzeugt eine längsgerichtete Strömungsgeschwindigkeit u in einem geschlossenen Umlaufbecken, wie z. B. einem Oxidationsgraben. Der Impulsverlust der Strömung bei einer Umrundung des Grabens entspricht dem vom Tauchrührwerk erzeugten Impuls bei nahezu gleichförmigen Zustandsbedingungen, der durch den Schub des Rührwerks ausgedrückt wird. Die aufgewendete Leistung als Ergebnis des Impulsverlustes beträgt $P = F \times u$. Sie ist die mindestens erforderliche Leistung des Rührwerks, um die Strömungsgeschwindigkeit u konstant zu halten. Somit ergibt sich der Anlagenwirkungsgrad aus dem Verhältnis zwischen der Verlustleistung und der Leistungsaufnahme des Rührwerks, d. h. $P/P_1 = F \times u/P_1$.

In der oberen Betrachtung können die Rührwerkseigenschaften von den Anlagenanforderungen isoliert werden. Das Ergebnis ist die spezifische Schubleistungsziffer R_{FP} . Die Kenngröße ist nicht dimensionslos, weil sie vom Propellerdurchmesser und der Drehzahl abhängig ist und nicht nur von der Propellergeometrie. Die Vielzahl der in der Praxis erhältlichen Propellerdurchmesser und Drehzahlen lässt den Schluss zu, dass eine effiziente längsgerichtete Strömung nicht immer das alleinige Ziel ist. Die Messung von Schub, Leistung und R_{FP} sowie die Messunsicherheiten und zugehörigen Toleranzen sind in der Norm ISO 21630 beschrieben. Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Grundfos.

STRÖMUNGSLEHRE

Den Eckpfeiler der Strömungslehre bildet das Beschreiben von Stoffeigenschaften sowie das Aufstellen von Kenngrößen und Gesetzmäßigkeiten. Dazu gehören die Viskosität, newtonsche und nichtnewtonsche Flüssigkeiten, Reynoldszahl und Newtonzahl, die auch für das Mischen von Bedeutung sind.

Die Strömungslehre befasst sich hauptsächlich mit der Strömung von Flüssigkeiten. Einbezogen sind aber auch weiche Feststoffe, die mit plastischem Fließen statt mit elastischer

Verformung reagieren, wenn eine Schubspannung (Schubkraft) aufgebracht wird.

Die Gesetze der Strömungslehre gelten für Stoffe, die eine komplexe Molekularstruktur besitzen, wie z. B. Schlamm, Suspensionen, Polymere oder andere Kristallbildner (z. B. Silikate) sowie zahlreiche Nahrungsmittel und Körperflüssigkeiten (z. B. Blut) und andere biologische Stoffe.



DYNAMISCHE UND KINEMATISCHE VISKOSITÄT

Eine vielfach bekannte Möglichkeit zur Darstellung der Schubspannung ist in Abb. 25 abgebildet, bei der zwei Platten relativ zueinander bewegt werden. Eine Platte wird dabei mit konstanter Geschwindigkeit in x-Richtung parallel zu einer ruhenden Platte bewegt. Dadurch wird auch das Fluid zwischen den Platten in Bewegung gesetzt. Durch die Bewegung wird ein Geschwindigkeitsgradient dv/dy sowie eine **Schubspannung τ** in der Flüssigkeit erzeugt. Der Geschwindigkeitsgradient dv/dy steht senkrecht zur Strömungsrichtung.

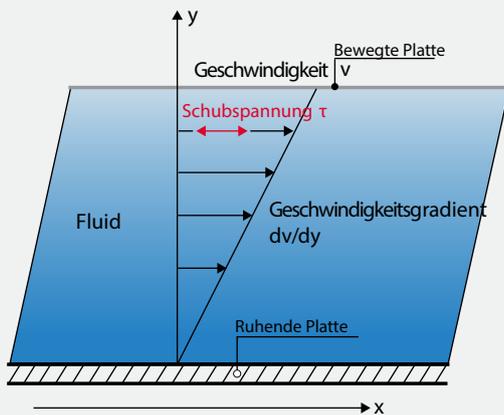


Abb. 25

Nach Isaac Newton ist die Schubspannung τ für die geradlinige und gleichmäßige Parallelströmung zwischen den Schichten in senkrechter Richtung proportional zum Geschwindigkeitsgradienten dv/dy .

$$\tau = \mu \, dv/dy$$

Die Proportionalitätskonstante μ wird als **Viskosität** bezeichnet. Die Viskosität ist eine Fluideigenschaft, die als innere Reibung oder als Widerstand gegen Verformung bei Aufbringen einer Schubspannung beschrieben werden kann. Die Viskosität ändert sich von Fluid zu Fluid und mit der Fluidtemperatur. Die Viskosität nimmt ab, wenn die Temperatur steigt. Bei Gasen hingegen steigt die Viskosität mit zunehmender Temperatur.

Die **Viskosität μ** wird als **dynamische (oder absolute) Viskosität** bezeichnet. Im weiteren Sinne ist die Viskosität ein Maß für den "Zusammenhalt" des Fluids. In der Gleichung $\tau = \mu \, dv/dy$ wird die **dynamische Viskosität μ** in der Einheit **[N x s/m²]** oder **[Pa x s]** angegeben, wobei:

$$\begin{aligned} \tau &= \text{Schubspannung [N/m}^2\text{]} \\ dv &= \text{Geschwindigkeitsänderung [m/s]} \\ dy &= \text{Abstand zwischen den Schichten [m]} \\ dv/dy &= \text{Geschwindigkeitsgradient [1/s]} \end{aligned}$$

In der Praxis wird als Maßeinheit für die **dynamische Viskosität μ** **mPa x s** (Millipascal pro Sekunde) oder **cP** (Centipoise) verwendet, wobei **1 cP = 1 mPa x s = Pa x s x 10⁻³** ist. Die dynamische Viskosität für einige Fluide ist in in Tabelle 1 aufgeführt.

Fluid	t° [°C]	μ [mPa x s]
Kraftstoffe	20	0,65 - 0,70
Leitungswasser	20	1
Olivenöl	20	85
Blut	37	4 - 25
Glyzerin	20	1.500
Honig	20	10.000
Sirup	20	100.000

Eine weitere Kenngröße für Fluide ist die **kinematische Viskosität ν** , die als Verhältnis zwischen der dynamischen Viskosität μ und der Fluidichte ρ definiert ist.

$$\nu = \mu/\rho \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

wobei: μ = dynamische Viskosität [N x s/m²]
 ρ = Dichte [N x s²/m⁴]

Die kinematische Viskosität ist ein Maß für den Widerstand eines Fluidstroms gegenüber einer Strömung unter dem Einfluss der Schwerkraft. Sie ist abhängig von der dynamischen Viskosität und der Dichte des Fluids.

NEWTONSCHE UND NICHTNEWTONSCHE FLÜSSIGKEITEN

Fluide, für die das Newton'sche Gesetz gilt, werden als newtonsche Flüssigkeiten bezeichnet. Bei diesen Flüssigkeiten ändert sich die dynamische Viskosität mit der Temperatur, jedoch nicht mit der Schubspannung oder dem Geschwindigkeitsgradienten.

Typische newtonsche Flüssigkeiten sind **Wasser**, Mineralöl, Glycerin und Teer. Da sich die Leistungsangabe für Rührwerke auf den Betrieb in **klarem Wasser** bezieht, gilt sie somit für newtonsche Flüssigkeiten. Bei der Auslegung des Rühraggregats bestimmen die physikalischen Eigenschaften des zu durchmischenden Abwassers die Motorleistung und die Abmessungen sowie die Auswahl der Hydraulikkomponenten.

Fluide, bei denen sich die dynamische Viskosität in Abhängigkeit der aufgebrachten Schubspannung ändert, werden als nichtnewtonsche Flüssigkeiten bezeichnet. Je nach Fließverhalten werden die nichtnewtonschen Flüssigkeiten in strukturviskos, dilatant, viskoelastisch, thixotrop oder rheopex eingeteilt. Bei den nichtnewtonschen Flüssigkeiten ist die dynamische Viskosität μ von der Belastung abhängig.

Die am häufigsten verwendete Gleichung zur Beschreibung nichtnewtonscher Flüssigkeiten ist das Potenzgesetz:

$$\mu = k (dv/dy)^{n-1}$$

wobei **k** die **Konsistenz** und **n** der **Fließindex** ist.

Die meisten **nichtnewtonsche Fluide** sind **strukturviskos**, d. h. durch die z. B. beim Mischen auf die Flüssigkeit wirkende Schubspannung nimmt die Viskosität ab. Bei strukturviskosen Fluiden **ist n kleiner als 1**. Dies ist z. B. bei Zahnpasta der Fall, wo die Feststoffpartikel unter Schubspannung in Einzelpartikel zerfallen, die sich in Strömungsrichtung ausrichten. Dadurch ist die Flüssigkeit weniger widerstandsfähig gegen Fließen. Bei **dilatanten nichtnewtonschen Flüssigkeiten** steigt die Viskosität durch das Aufbringen einer Schubspannung, d. h. **n ist größer als 1**.

Einige Beispiele für dilatante Flüssigkeiten sind **Schlamm aus der Abwasserbehandlung**, Suspensionen im Wasser, Sand und Treibsand, wo die Partikel auseinandergedrückt werden. Dadurch entstehen Hohlräume, durch die das Fließen der Flüssigkeit gebremst wird. Siehe die nachfolgende Abb. 26.

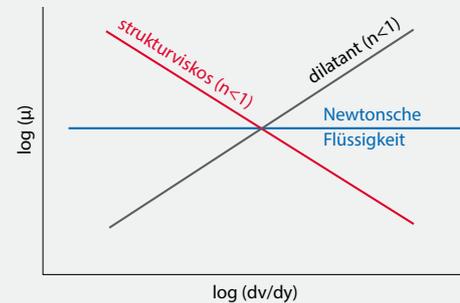


Abb. 26

Bei einigen Fluiden ist das Verhalten der Viskosität nicht nur abhängig von der aktuellen Temperatur und Schubspannung, sondern auch von bereits früher aufgetretenen Schubspannungen und Temperaturen. Durch die aufgebrachte Schubspannung wird die Fluidstruktur verändert. Bei den thixotropen und rheopexen Fluiden kehrt die Struktur nicht wieder in ihren früheren Zustand zurück, sobald die Schubspannung nicht mehr auf das Fluid wirkt. Ein Beispiel für ein thixotropes Fluid ist Joghurt. Fluide, bei denen die Viskosität mit der Zeit bei konstanter Schubspannung zunimmt, sind rheopex. Dazu gehören flüssiger Gips und Druckerfarbe.



REYNOLDSZAHL UND NEWTONZAHL

Wie in der Strömungslehre üblich werden auch die Vorgänge beim Mischen durch dimensionslose Kennzahlen beschrieben, zu denen die **Reynoldszahl** und **Newtonzahl** gehören.

Reynolds definierte 1883 eine dimensionlose Kennzahl, mit deren Hilfe ermittelt werden kann, ob eine Strömung **laminar** oder **turbulent** ist. Dazu führte er ein Experiment mit einem Glasrohr durch, bei dem die Stärke der Wasserströmung eingestellt werden konnte. Über eine Düse wurde Farbstoff in das Glasrohr eingespritzt (siehe Abb. 27). Solange der Farbstoff geradlinig durch das Rohr strömt, ist die Strömung **laminar**. Dann wurde die Strömungsintensität schrittweise erhöht. An einem bestimmten Punkt änderte sich das Strömungsmuster des Farbstoffes erheblich. Nach Durchlaufen eines **Übergangsbereichs** wird die Strömung **turbulent**. Als Ausdruck für das Strömungsverhalten hat Reynolds eine dimensionlose Kennzahl eingeführt, die das Verhältnis zwischen den Trägheitskräften und den Zähigkeitskräften beschreibt. Die Kennzahl R_e wurde nach Reynolds benannt und ergibt sich wie folgt:

$$R_e = \rho UL/\mu = UL/\nu$$

wobei:

U	= mittlere Fluidgeschwindigkeit	[m/s]
μ	= dynamische Viskosität	[N x s/m ²]
ν	= kinematische Viskosität	[m ² /s]
ρ	= Dichte des Fluids	[N x s ² /m ⁴]
L	= charakteristische Länge	[m]

Für quadratische, rechteckige oder ringförmige Kanäle, deren Höhen- und Breitenverhältnisse ähnlich sind, beträgt die charakteristische Länge L:

$$L = 4 \Omega/W$$

wobei: Ω = Querschnitt

W = benetzter Umfang (Gesamtlänge der medienberührten Wände)

Ω/W wird als **hydraulischer Radius** bezeichnet. Bei einer **Rohrströmung** entspricht L dem Rohrdurchmesser D, weil:

$$L = 4 \pi r^2 / 2 \pi r = 2 r = D$$

Bei einer **Gerinneströmung**, bei der häufig Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger eingesetzt werden, ist der hydraulische Radius aus dem Verhältnis zwischen dem Kanalquerschnitt Ω und seinem benetzten Bereich W zu bilden.

$R_e \leq 2.000$: **laminare Strömung**, bei der die Zähigkeitskräfte die Strömung im Rohr wirbelfrei halten

$2.000 \leq R_e \leq 10.000$: **Übergang** zur turbulenten Strömung

$R_e \geq 10.000$: **turbulente Strömung**

Bei der Abwasserbehandlung erfolgt das **Mischen** und die **Strömungserzeugung** im **turbulenten Bereich**.

Die **Newtonzahl (Leistungszahl)** als weitere Kennzahl ergibt sich zu

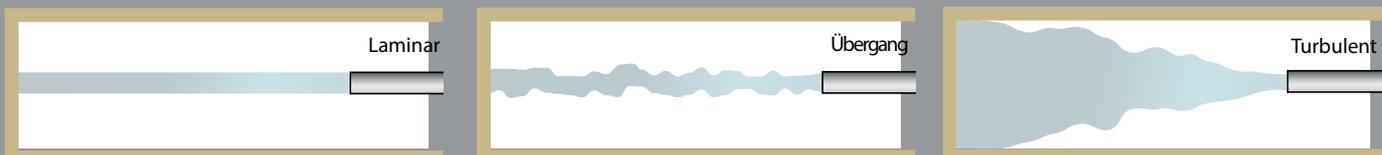
$$N_p = P/\rho n^3 D^5$$

wobei:

ρ	= Dichte des Fluids	[N x s ² /m ⁴]
P	= Leistung	[kW oder N m/s]
n	= Drehzahl	[1/s]
D	= Laufraddurchmesser	[m]

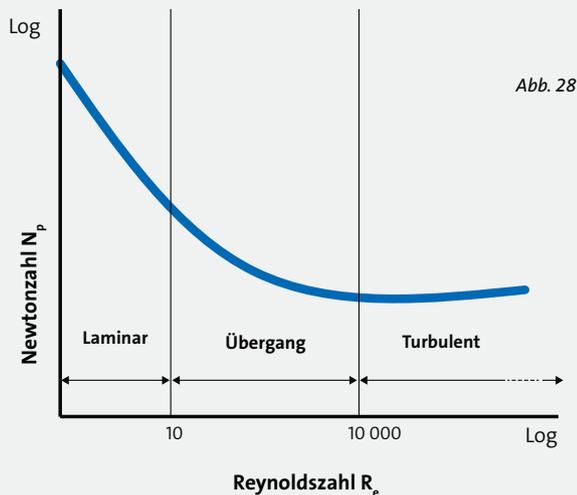
Mithilfe der Newtonzahl können unterschiedlich große Anwendungen miteinander verglichen werden, indem die Widerstandskraft und die Trägheitskraft zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Abb. 27



Der Propellerdurchmesser D , die Propellerdrehzahl und die Bauform des Propellers (Steigung, Flügelzahl, Flügelform, usw.) sind die Hauptkriterien, die maßgeblichen Einfluss auf die **Gestaltung eines Rührwerkspropellers** haben. Deshalb wird die zuvor erwähnte Newtonzahl zur **geometrischen Optimierung ähnlicher Rührwerkspropeller** verwendet.

Die Newtonzahl verschiedener Propellerbaureihen liegt je nach den vorliegenden Strömungsverhältnissen (d. h. abhängig von der Reynoldszahl) zwischen 0,3 und 1,35. Die Propeller für **Tauchrührwerke** und **Strömungsbeschleuniger**, die im turbulenten Bereich arbeiten, haben eine Newtonzahl von 0,3 bis 0,35, wenn die **Reynoldszahl** mehr als 10.000 beträgt.



Seit mehreren Jahrzehnten ist bekannt, dass die **Newtonzahl** eine Funktion der **Reynoldszahl** für geometrisch ähnliche Systeme ist. Dieser Zusammenhang wurde ausführlich untersucht und gehört heute zu den **grundlegenden Gesetzmäßigkeiten bei der Ermittlung der Propellerleistung**. Das Verhältnis zwischen Reynoldszahl und Newtonzahl bezieht die Auswirkungen der **Dichte, Viskosität, Drehzahl** und des **Durchmessers** mit ein. Es wurde für zahlreiche Propellertypen experimentell untersucht und ist in Abb. 28 dargestellt.

Bei allen Strömungszuständen können **turbulente und laminare** Bereiche sowie ein **Übergangsbereich** auftreten. Mithilfe der Reynoldszahl kann ein Betriebsbereich für den Propeller definiert werden, für den dann die Leistungscharakteristik angegeben wird.

Im Bereich der **turbulenten Strömung** dominieren die Trägheitskräfte und im Bereich der **laminaren Strömung** die Zähigkeitskräfte.

Zwischen der turbulenten und laminaren Strömung gibt es einen **Übergangsbereich**. Hier erfolgt der Übergang von der durch die Trägheit bestimmten Strömung zur durch die Zähigkeit bestimmten Strömung.

Im Bereich der **turbulenten Strömung** muss weniger Energie für das Mischen der Flüssigkeit aufgewendet werden. Im Bereich der **laminaren Strömung** besitzt die Flüssigkeit eine höhere Viskosität, so dass mehr Energie zum Mischen der Flüssigkeit benötigt wird.



ANFORDERUNGEN AN EINE OPTIMALE HYDRODYNAMISCHE GESTALTUNG

Die vom Mischaggregat erzeugte hydrodynamische Strömung ergibt sich - wie nachfolgend beschrieben - aus der Propellerbauform und der Beckengeometrie sowie dem zu mischenden Volumen, den Medieneigenschaften und der Anordnung des Mischaggregates.

Propellerform

Die Anzahl der Flügel, das Flügelprofil, die Steigung und die Drehzahl haben Einfluss auf das vom Propeller bewegte Wasservolumen, das vom induzierten Volumenstrom erfasste Volumen, das hydraulische Strömungsmuster und die Ausbildung der Strömung.

Wie in Abb. 29 dargestellt wurden verschiedene Arten von Tauchrührwerken entwickelt, die auf dem Markt erhältlich sind. Sie unterscheiden sich vor allem in der Anzahl der Flügel und dem Flügelprofil.

Abb. 29

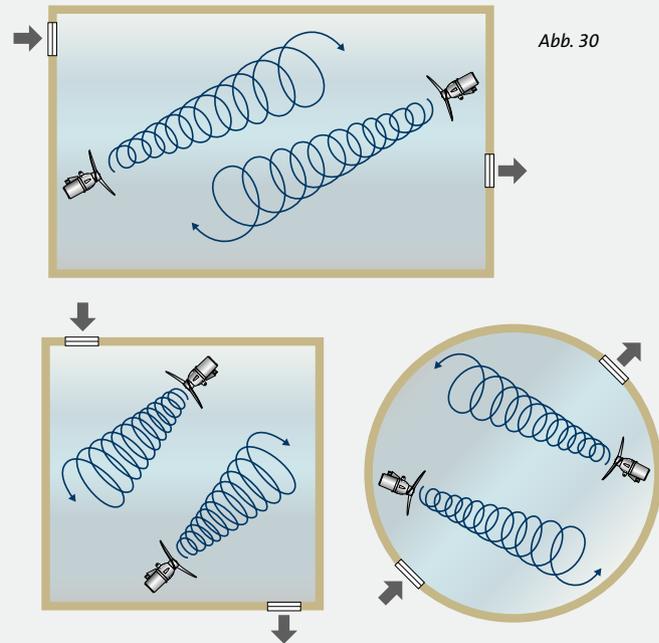


Abb. 30

Beckengeometrie und zu mischendes Volumen

Die Beckengeometrie kann das hydrodynamische Verhalten erheblich beeinflussen. Dies gilt insbesondere für Ecken in **quadratischen** und **rechteckigen Becken** (siehe Abb. 30) oder Hindernissen, wie z. B. Stützen in überdachten Becken. Dadurch entstehen vor allem Strömungsverluste, so dass weniger Energie vom Propeller auf das Flüssigkeitsvolumen übertragen wird und eventuell eine höhere Leistungsaufnahme erforderlich ist, um ein Mischen zu ermöglichen.

Optimale Strömungsverhältnisse mit minimalen Strömungsverlusten und hoher Mischleistung bieten theoretisch **Kreisbecken** mit einem Durchmesser **D** und einer Wassertiefe von ca. **0,7 D**. In der Praxis besteht jedoch die Gefahr, dass sich in der Mitte Verwirbelungen bilden und die Strömungsgeschwindigkeit ungleichmäßig verteilt ist. Trotz richtiger Rührwerksanordnung kann es deshalb erforderlich sein, Schwallbleche zu installieren.

Bei Umlaufbecken (siehe Abb. 31) haben die Kanalbreite, die Wassertiefe, die Schwallblechform und die Anordnung der Rührwerke (Strömungsbeschleuniger) großen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse und damit auf die Gestaltung des Beckens.

Eigenschaften der Flüssigkeit

Der **Trockensubstanzgehalt** und die **Viskosität** sind die wichtigsten Eigenschaften der zu mischenden Flüssigkeit. Sie haben Einfluss auf die erzeugte Strömung und die hydrodynamische Gestaltung. Je höher der Trockensubstanzgehalt und die Viskosität sind, desto größer ist die erforderliche Mischleistung. Die Viskosität zweier Flüssigkeiten kann jedoch auch bei gleichem Trockensubstanzgehalt sehr unterschiedlich sein. Für Belebtschlamm ist die Viskosität in Abhängigkeit des Trockensubstanzgehalts in Abb. 32 dargestellt.

In der Abwasserbehandlung werden Tauchrührwerke in der Regel für das Mischen von Flüssigkeiten/Schlamm mit einem Trockensubstanzgehalt zwischen 0,5 % (oder weniger) und 8 % eingesetzt.

Anordnung der Mischaggregate

Für optimale Strömungsverhältnisse und minimale Strömungsverluste ist die richtige Anordnung des Mischaggregates in einem Becken sehr wichtig. Deshalb sollten die im **Teil [2]** des Handbuchs aufgeführten Grundregeln zur Anordnung von Rührwerken und Strömungserzeugern unbedingt befolgt werden.

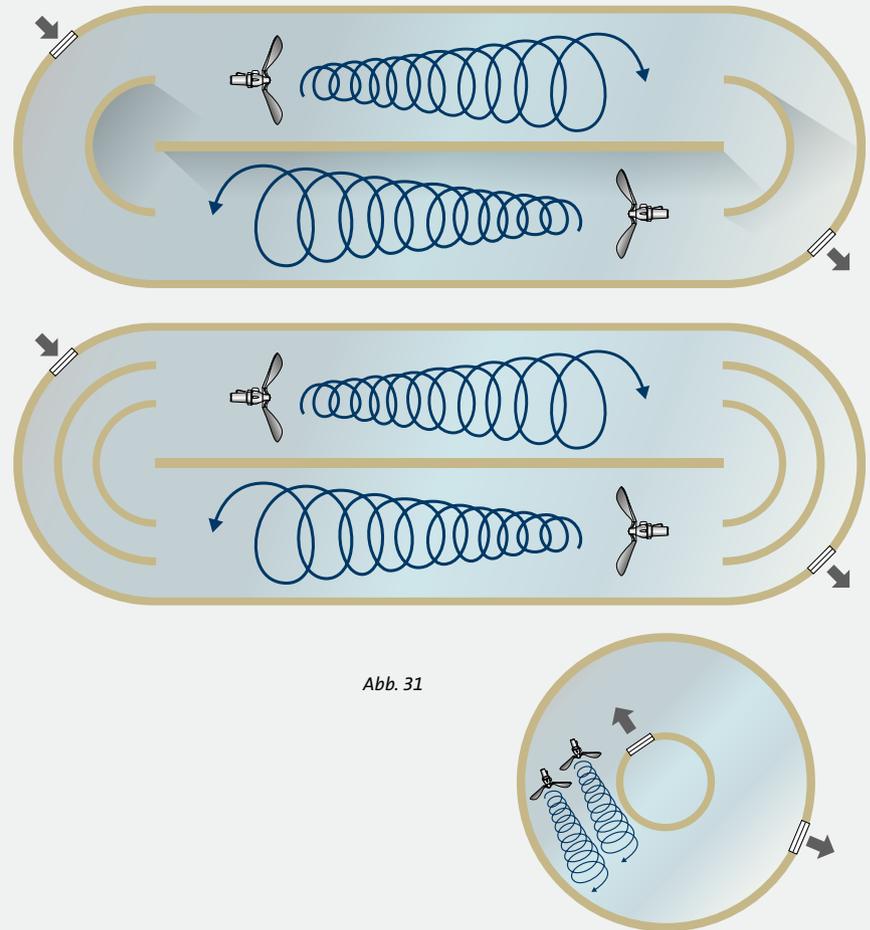


Abb. 31

Zusammenhang zwischen Viskosität und Trockensubstanzgehalt bei Belebtschlamm

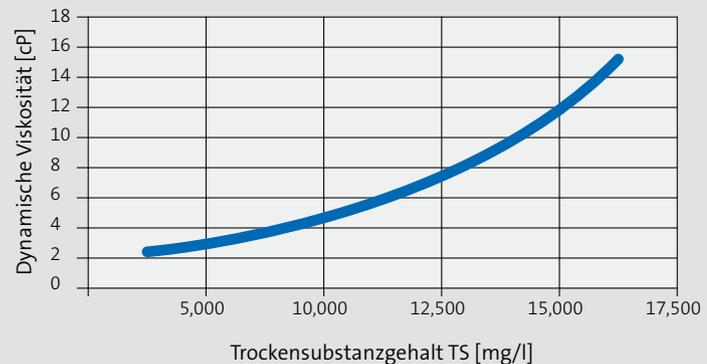


Abb. 32

NUMERISCHE STRÖMUNGSMECHANIK FÜR MISCHVORGÄNGE ¹⁾

NUMERISCHE STRÖMUNGSMECHANIK FÜR DIE SIMULATION VON MISCHVORGÄNGEN

Die **numerische Strömungsmechanik (CFD)** ist ein Zweig der Strömungslehre, der numerische Verfahren und Algorithmen nutzt, um Probleme im Bereich der Flüssigkeitsströmung zu lösen. Mithilfe des Computers wird dabei die Wechselwirkung zwischen Flüssigkeiten und Oberflächen unter Einbeziehung von Randbedingungen simuliert. Im Bereich Mischen und Rühren wird CFD eingesetzt, um die Strömungsbedingungen vorab zu ermitteln. Bei Sonderanwendungen oder großen Anlagen nutzt Grundfos CFD zur Unterstützung, um die Strömungsverhältnisse beim Mischen darstellen und dem Kunden präsentieren zu können. Auf diese Weise kann

auf teure und zeitaufwendige Experimente unter realen Bedingungen oder an einem Modell verzichtet werden, die zudem nur Ergebnisse an bestimmten Messpunkten im Becken liefern können. Dennoch bleiben Experimente eine wichtige Möglichkeit, um die realen Strömungsverhältnisse bestimmen zu können. Denn um die Ergebnisse der computergestützten Strömungssimulation zu bestätigen, müssen Messergebnisse unter ähnlichen Bedingungen vorliegen. Dazu ist ein Versuchsaufbau zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit an einer bestimmten Stelle erforderlich. Die Messung kann z. B. mit Laser-Doppler-Anemometer durchgeführt werden, der die Strömungsgeschwindigkeit in allen drei Richtungen (**x**, **y** und **z**) misst. Siehe Abb. 33.

1) Quelle: "Computational Fluid Dynamics (CFD) in mixing applications" von Bruno Küllerich, Entwicklungsingenieur bei Grundfos GMA



Abb. 33 Messen der Strömungsgeschwindigkeit im Klärwerk unter realen Größenverhältnissen

Können keine Versuche durchgeführt werden, müssen die CFD-Ergebnisse mithilfe von früheren Messungen, durch Vergleiche mit rechnerisch ermittelten Lösungen ähnlicher oder einfacherer Strömungen oder durch Vergleiche mit belastbaren Daten aus eng miteinander verknüpften Problemen interpretiert werden.

Die Anwender der CFD-Software müssen in der Lage sein, die Problemstellung zu vereinfachen, um die Rechenzeit für die Simulation kurz zu halten. Dennoch sind so viele Details der Anwendung wie möglich einzubringen, um möglichst genaue und zuverlässige Ergebnisse zu erhalten.

CFD-Simulationen können entweder für den Beharrungszustand oder den instationären Zustand durchgeführt werden (siehe Abb. 34 bzw. 35). Welches Verfahren besser geeignet ist, hängt von der Anwendung ab. In der Praxis sind Strömungsfelder nur selten stationär. Dennoch wird für die Simulation häufig der Beharrungszustand angenommen, um die Rechenzeiten zu reduzieren.

Ein Beispiel für eine solche Annahme ist die horizontale Strömung in einem Umlaufbecken. Hier ist die Strömung halbstationär, während die Strömung ansonsten nahezu stationär ist.

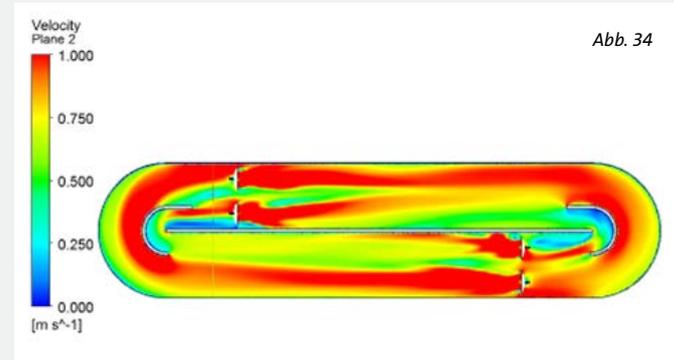


Abbildung 34:

Simulationen des **Beharrungszustands** zeigen nur eine Momentaufnahme des Strömungsfeldes im Becken. Ergibt sich bei der computergestützten Berechnung von diskreten Gleichungen ein stabiler Rest, kann die Lösung im Beharrungszustand dargestellt werden.

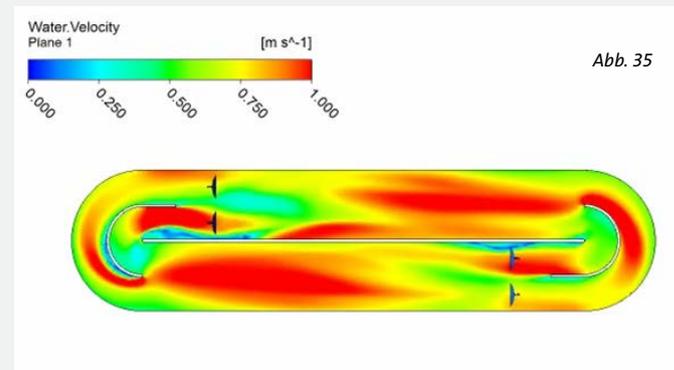
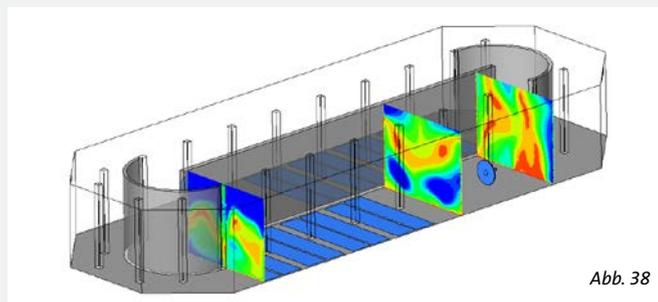
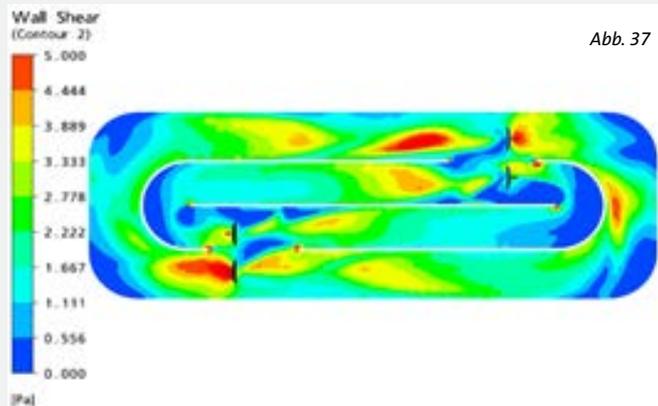
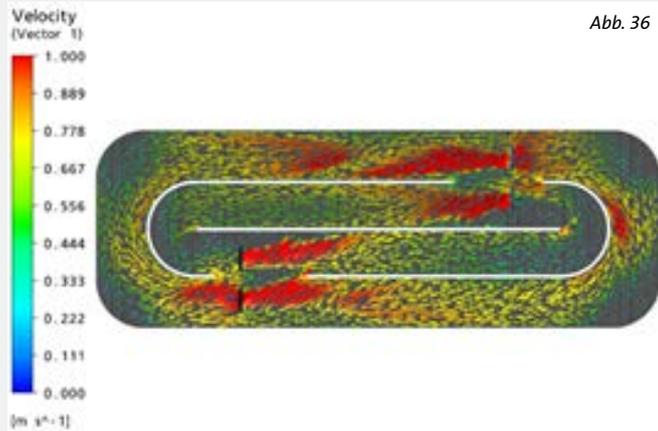


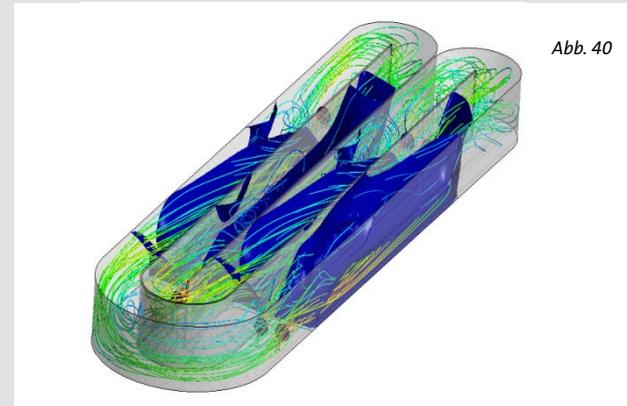
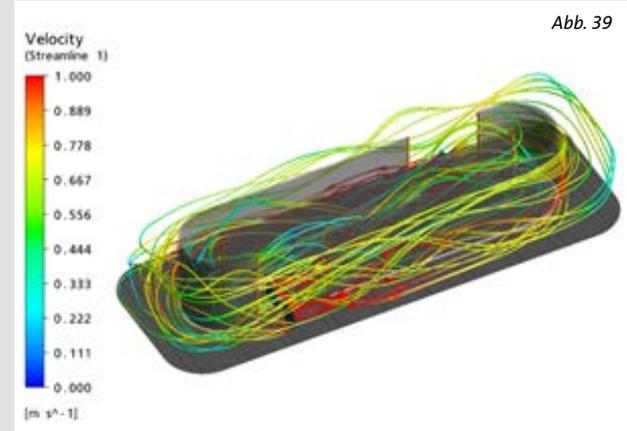
Abbildung 35:

Bei der Simulation der **instationären Strömung** wird das Strömungsfeld im Becken über einen bestimmten Zeitraum betrachtet. Dieses Verfahren wird angewendet, wenn kein zufriedenstellendes Ergebnis im Beharrungszustand gefunden werden kann oder wenn ausreichend Rechenzeit zur Verfügung steht. Abb. 35 zeigt eine Momentaufnahme einer dynamischen Ansicht der instationären Strömung.

Die CFD-Software ermöglicht es, die Ergebnisse in 2D mithilfe von verschiedenen Schaubildern darzustellen. Dazu gehört die Darstellung in Form von Geschwindigkeitsvektoren (Abb. 36) oder Geschwindigkeitsumrissen (Abb. 37) für verschiedene Querschnitte des Beckens (Abb. 38).



Zudem können der Druck, die Schubspannungsänderungen, usw. dargestellt werden. Weiterhin kann die Strömung komplett als 3D-Stromlinien-Vektorgrafik sichtbar gemacht werden. Siehe Abb. 39 und 40.



Durch das Aufstellen eines CFD-Modells können die im Versuch ermittelten Geschwindigkeitsmessungen analysiert werden. In Abb. 42 wird das Schaubild mit den Ergebnissen der Punktmessungen und das Schaubild der CFD-Analyse für den in Abb. 41 dargestellten Querschnitt einander gegenübergestellt.

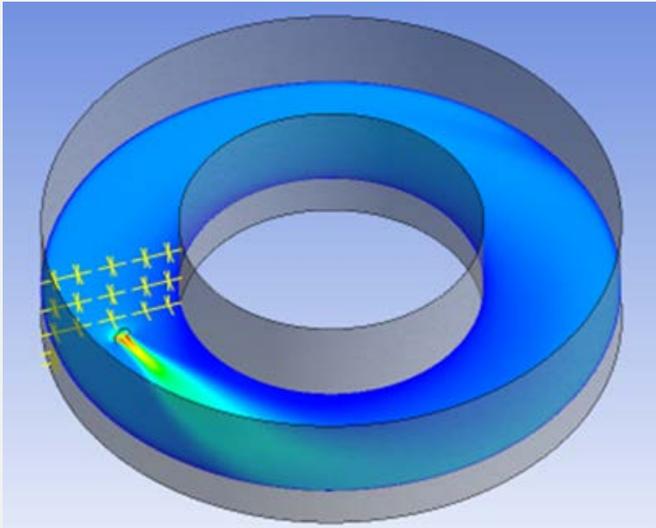


Abb. 41

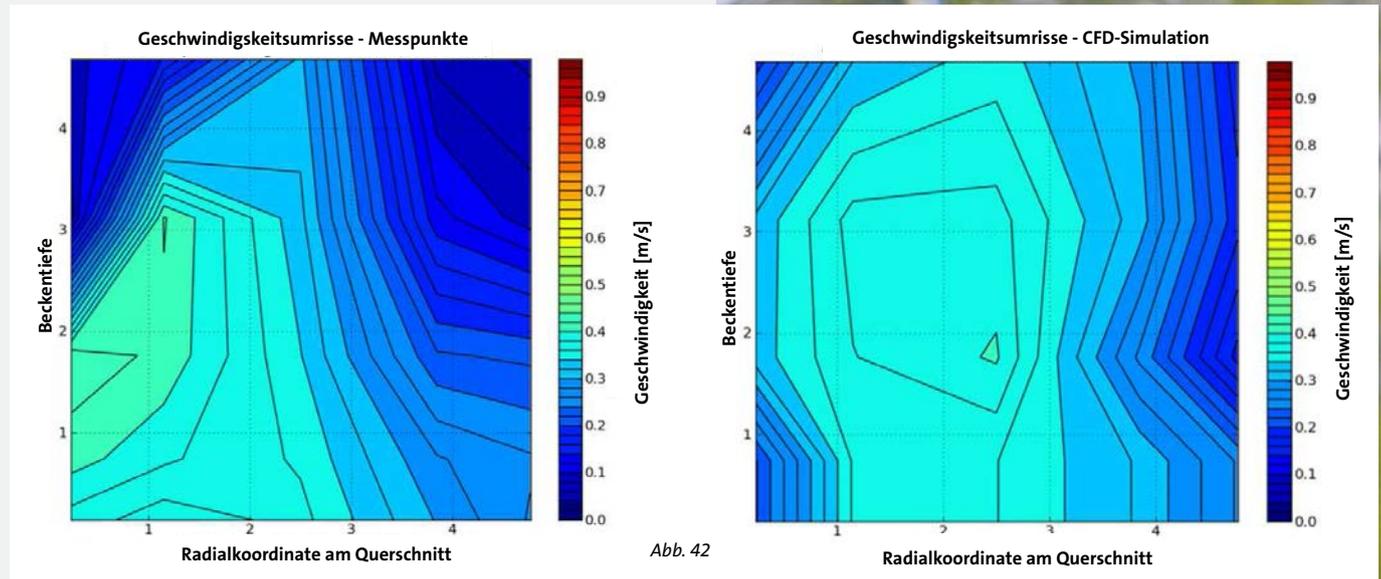
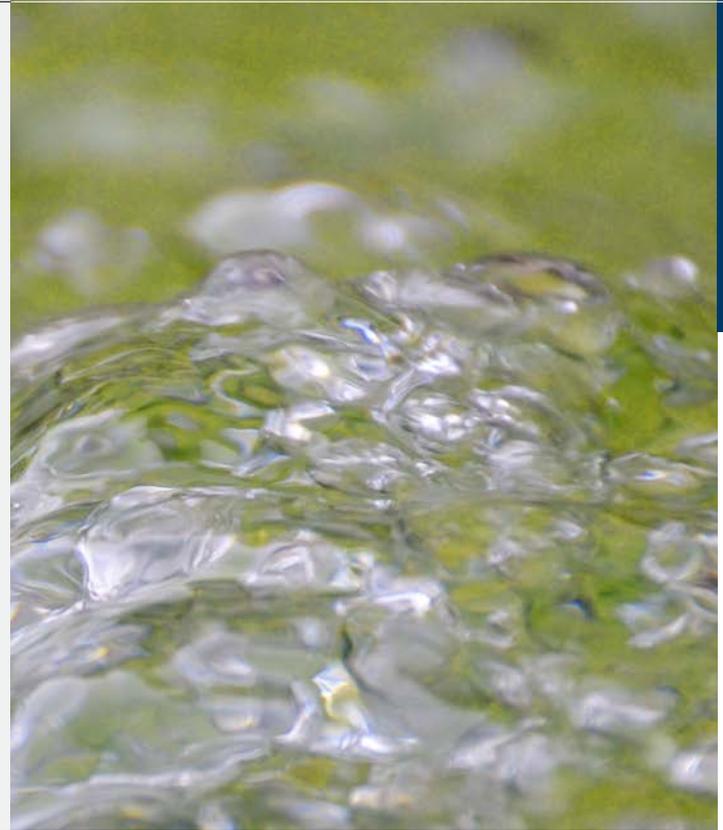


Abb. 42

RÜHRWERKSENTWICKLUNG MIT HILFE DER NUMERISCHEN STRÖMUNGSMECHANIK

Während des Gestaltungsprozesses von Rührwerken sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen. Dazu gehören z. B.:

- Wirkungsgrad, ausgedrückt als spezifische Schubleistungsziffer
- Robustheit, um Schäden durch im Abwasser enthaltene Chemikalien oder durch physikalische Eigenschaften des Abwassers zu vermeiden
- Selbstreinigungseigenschaften, um langfaserige Bestandteile fernzuhalten, die den Propeller verstopfen
- Einfacher Aufbau, um eine Massenproduktion zu ermöglichen.

Zu den wichtigsten Gestaltungsparametern (siehe Abb. 43, 44 und 45) gehören:

- Steigung
- Verdrehung (Skew)
- Neigung
- Geometrie des Flügelprofils, der Flügelwurzel und der Flügelspitze
- Geometrie der Flügelvorderkante und der Flügelhinterkante
- Streckung
- Anzahl der Flügel
- Flügelstärke
- Nabenform
- Oberflächenrauigkeit
- Drehzahl
- Drehzahl an der Flügelspitze.

Die Leistung des Rührwerks durch Versuche oder andere Verfahren vorherzubestimmen, ist komplex und zeitaufwendig. Eine schnelle und sinnvolle Möglichkeit hingegen ist - wie bei Grundfos praktiziert - die Nutzung der numerischen Strömungsmechanik (CFD).

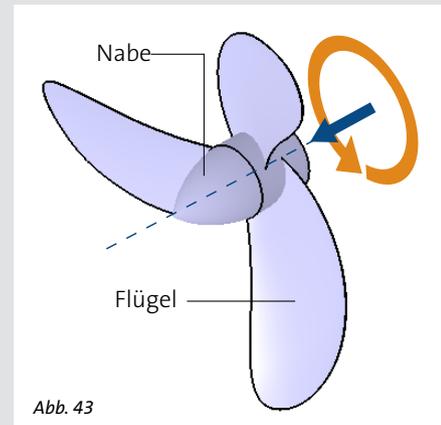


Abb. 43

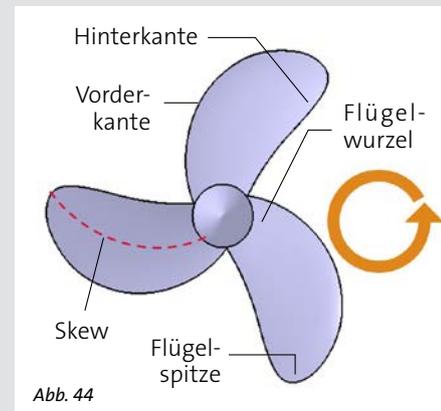


Abb. 44

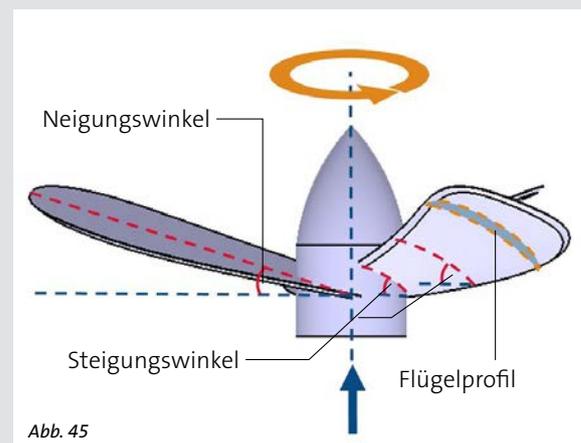


Abb. 45

Das folgende Ablaufdiagramm (Abb. 46) zeigt allgemein die Arbeitsschritte bei der Entwicklung von Rührwerken mit verkürzten Versuchszeiten, ohne dass auf die Bestätigung der Ergebnisse verzichtet werden muss.

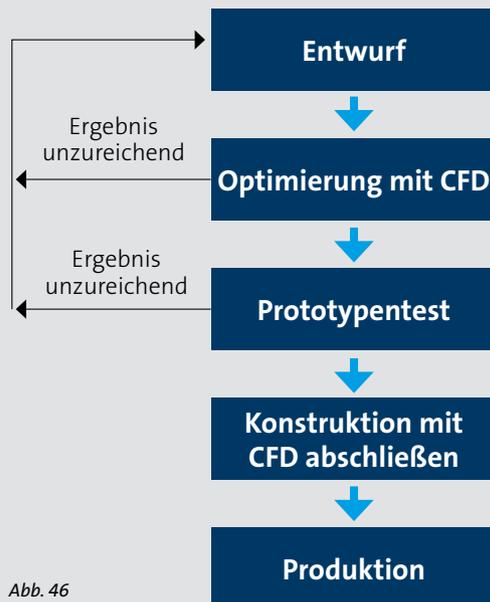
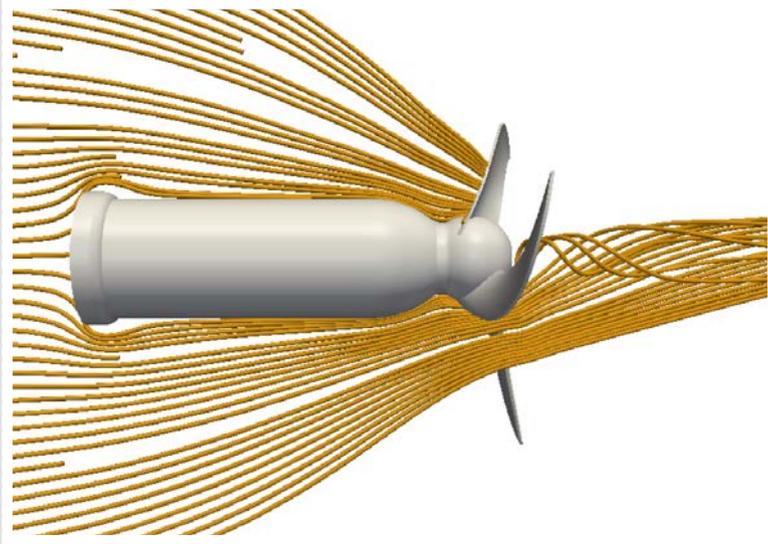


Abb. 46

Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Nutzung von CFD zur Verbesserung der Rührwerkskonstruktion beiträgt. Der in Abb. 47 dargestellte Propeller mit einer Effizienz von 0,320 N/W wurde mithilfe von CFD überarbeitet. Nach Optimierung der Bauform mit CFD (siehe Abb. 48) stieg die Effizienz auf 0,350 N/W (siehe Tabelle 1).

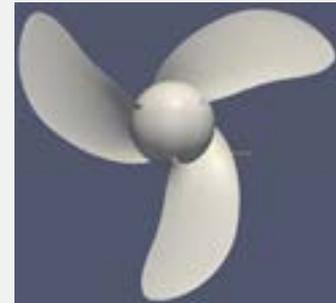


Abb. 47: Ursprüngliches Rührwerk



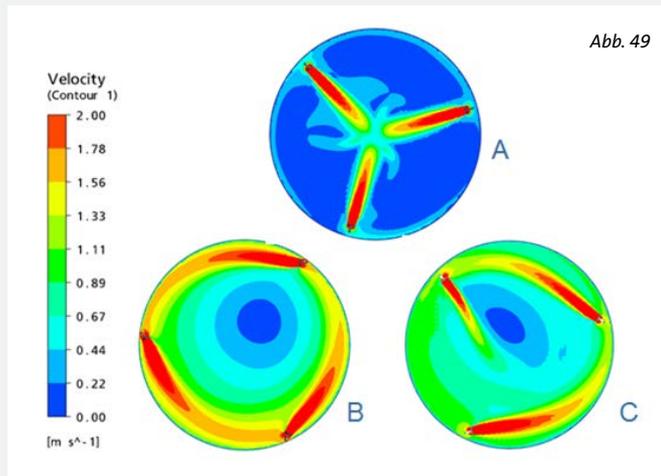
Abb. 48: Nach der Optimierung mit CFD

Ergebnisse der CFD-Simulation	Schub [N]	P_{in} [kW]	R_p [N/W]
Ursprüngliches Rührwerk	1545	4,8	0,32
Nach der CFD-Optimierung	1611	4,6	0,35

Tabelle 1

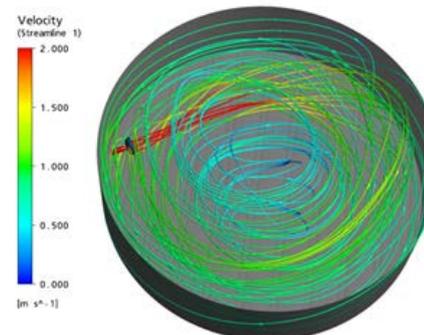
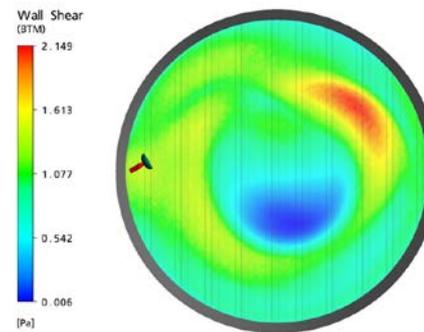
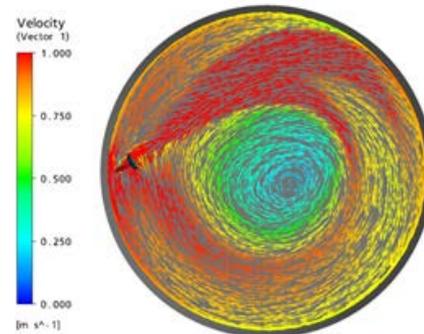
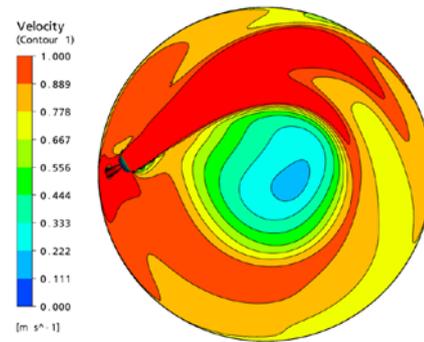
SIMULATION DER STRÖMUNGSVERHÄLTNISS MITHILFE DER NUMERISCHEN STRÖMUNGSMECHANIK

Die vorherigen Ausführungen haben gezeigt, wie die Simulation mit CFD dazu beiträgt, die Strömungsverhältnisse in Mischanwendungen sichtbar zu machen. Im Beispiel in Abb. 49 sind drei verschiedene CFD-Lösungen dargestellt: A, B und C. Gezeigt wird die horizontale Ebene durch den Mittelpunkt des Rührwerks. Dabei scheint die Lösung C das beste Ergebnis zu liefern.



Durch die Nutzung der CFD-Simulationssoftware können die Ergebnisse als Geschwindigkeitsvektordiagramm (siehe Abb. 50), Geschwindigkeitskonturdiagramm (siehe Abb. 51) und 3D-Stromlinien sowie die Bodenschubspannung an verschiedenen Stellen des Beckens dargestellt werden, um die Strömungsverhältnisse im Becken (Abb. 52 und 53) aufzuzeigen.

Zusätzlich nutzt Grundfos die CFD-Simulation zur Analyse der Mischaggregate, die in den verschiedenen Prozessen des Klärwerks eingesetzt werden. Dazu gehören Belüftersysteme, Ejektorpumpen und Pumpen in Pumpstationen. Untersucht wird auch der Einfluss von Hindernissen, wie in Abb. 54 gezeigt. Durch den Einsatz von CFD-Simulationen bei komplexen Anwendungen kann Grundfos den Kunden bei der optimalen Gestaltung der Becken unterstützen, um teure Fehler zu vermeiden. In diesem Bereich besitzt Grundfos bereits sehr viel Erfahrung und entsprechendes Know-how.



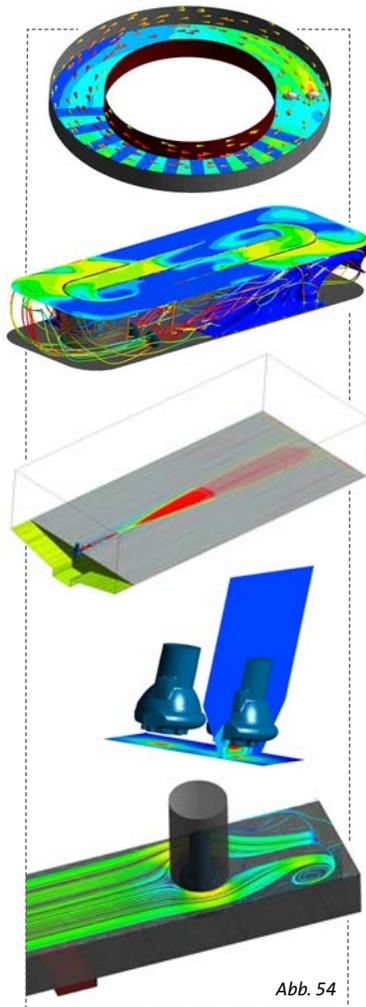


Abb. 54

**GRUNDFOS NUTZT
 CFD-SIMULATIONEN
 ZUR ANALYSE
 DER AUSRÜSTUNG FÜR
 DIE VERSCHIEDENEN
 PROZESSE DER
 ABWASSER-
 BEHANDLUNG IN
 KLÄRWERKEN**

SCHUBERZEUGUNG UND -VERTEILUNG

Unterschiedliche Strömungsverteilung bei verschiedenartigen Mischaggregaten

Die Strömungsverteilung ist bei Tachrührwerken und Strömungsbeschleunigern aufgrund ihrer Eigenschaften unterschiedlich. Tachrührwerke werden mit hoher bis mittlerer Drehzahl (1410 bis 250 U/min) betrieben. Dadurch wird eine hohe Schubspannung und ein relativ geringer Volumenstrom erzeugt. Strömungsbeschleuniger hingegen laufen mit sehr viel geringerer Drehzahl (< 100 U/min). Hier ist die Schubspannung geringer und der Volumenstrom sehr viel höher.

Abb. 55 und 56 zeigen jeweils die mithilfe von CFD ermittelte Geschwindigkeitskontur als Momentaufnahme für ein Becken mit den Abmessungen $L = 78$ m x $W = 9$ m und einer Wassertiefe von $WT = 5$ m, das mit fünf Grundfos Tachrührwerken AMG 30.64.336 ausgerüstet ist. Dasselbe Becken soll nun mit drei Grundfos Strömungsbeschleunigern AFG 37.180 bestückt werden. Die Abb. 57 und 58 zeigen das Ergebnis der CFD-Simulation. Im Vergleich zu vorher gibt es weniger Zonen am Boden mit geringer Strömungsgeschwindigkeit. Außerdem verbrauchen die Strömungsbeschleuniger weniger Energie. Zur Erzeugung des erforderlichen Schubs benötigen Tachrührwerke eine höhere Motorleistung als Strömungsbeschleuniger. Damit ist die spezifische Schubleistungsziffer R_{FP} bei Strömungsbeschleunigern höher als bei Tachrührwerken.

Auch wenn der Einsatz von Strömungsbeschleunigern im Hinblick auf den Stromverbrauch attraktiv ist, stehen dem höhere Investitionskosten gegenüber. Bei der Ermittlung der Amortisationszeit durch Energieeinsparungen müssen zudem die höheren Wartungskosten berücksichtigt werden, bevor eine endgültige Entscheidung getroffen werden kann.

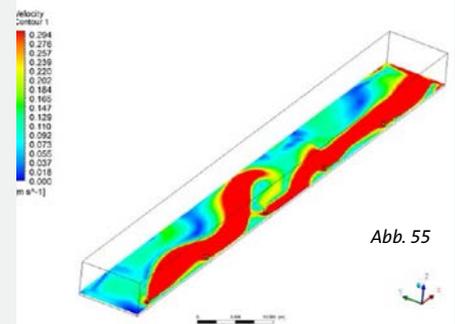


Abb. 55

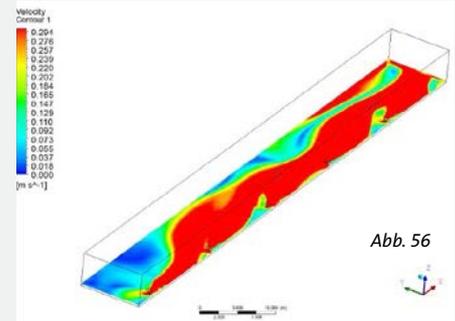


Abb. 56

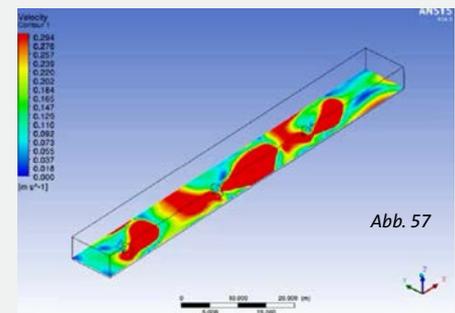


Abb. 57

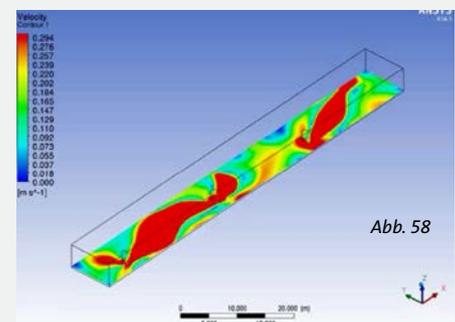


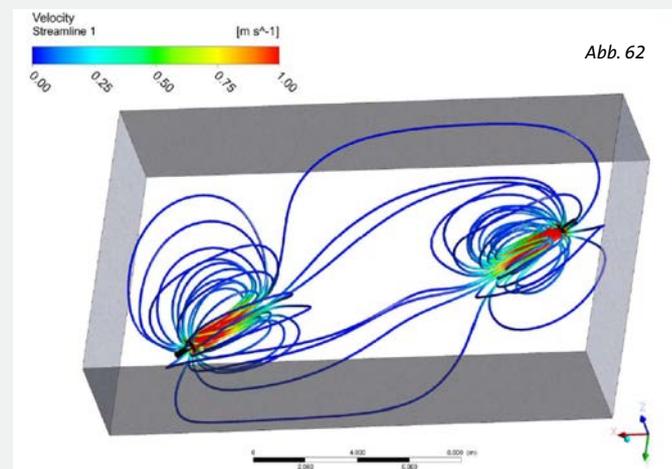
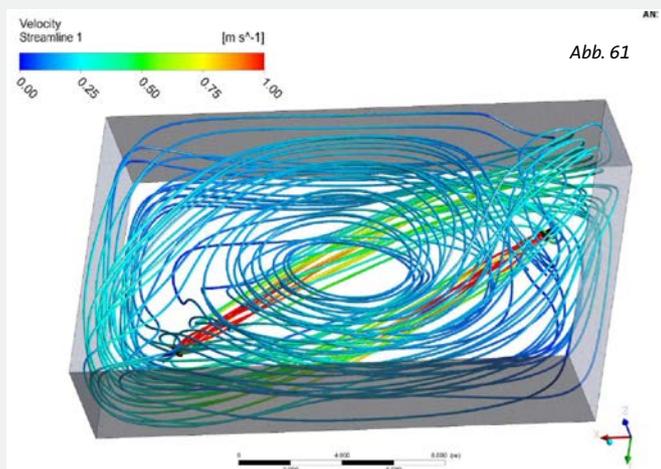
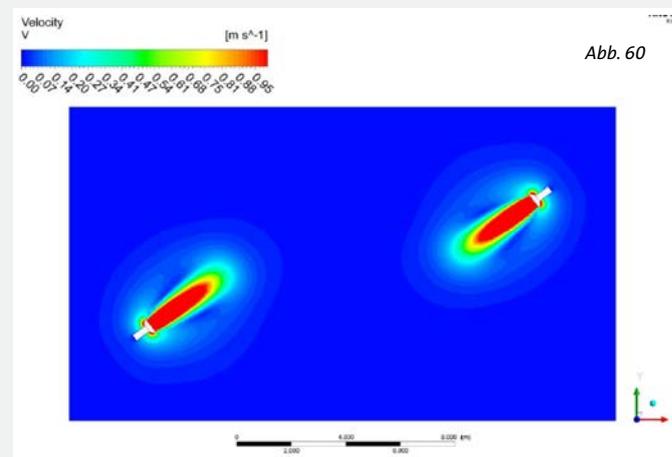
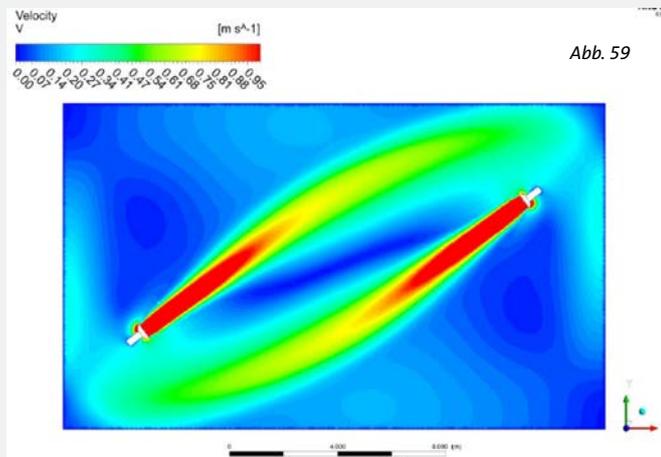
Abb. 58

Unterschiedliche Strömungsverteilung bei verschiedenartigen Medien

Die Strömungsverteilung in einem mit Abwasser gefülltem Becken variiert mit dem Trockensubstanzgehalt **TS** in %, auch wenn die Strömung vom gleichen Tauchrührwerk erzeugt wird. Je höher der Trockensubstanzgehalt ist, desto höher ist die Schubspannung, die für das Inbewegensetzen des Flüssigkeitsvolumens erforderlich ist. Dadurch steigt auch der benötigte Schub. In den nachfolgenden Abbildungen sind die mithilfe der CFD-Simulation ermittelten Geschwindigkeitsverteilung und die Geschwindigkeits-

stromlinien durch die Rührwerksachse für ein Becken mit den Abmessungen **L** = 20 m x **B** = 12 m und einer Wassertiefe von **WT** = 4,5 m dargestellt, das mit zwei Grundfos Tauchrührwerken AMG 30.64.336 ausgerüstet ist. Einmal beträgt der Trockensubstanzgehalt **TS** = 1 % (Abb. 59 und 61) und das andere Mal **TS** = 5,5 % (Abb. 60 und 62).

Die CFD-Simulationen veranschaulichen, dass die Medien im Hinblick auf den Trockensubstanzgehalt **TS** in % Einfluss auf die benötigte Schubspannung und damit auf den erforderlichen Schub haben.





[2]

ANWENDUNGEN UND RICHTLINIEN

EINSATZBEDINGUNGEN FÜR RÜHRWERKE UND STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER

Auswahl der Mischaggregate

Für das Auswählen der Tachrührwerke und Strömungsbeschleuniger müssen Daten und Informationen zum durchzuführenden Mischprozess gesammelt werden. Nur wenn alle Daten vorliegen, ist eine optimale Auswahl möglich.

AUFGABE DES MISCHVORGANGS

Zunächst muss das Ziel bekannt sein, das mit dem Mischen erreicht werden soll, um das passende Mischaggregat und seine richtige Anordnung im Becken auswählen zu können.

Ein typisches Einsatzbeispiel ist die Denitrifikation. Hier ist eine sanfte Durchmischung erforderlich, ohne dass Verwirbelungen an der Wasseroberfläche entstehen. Die Anordnung der Mischaggregate muss so erfolgen, dass der Abwasserzufluss und das Umlaufvolumen bestmöglich erfasst werden.

MEDIENEIGENSCHAFTEN

Im Hinblick auf das Mischen ist bei der Abwasserbehandlung vor allem auf Folgendes zu achten:

TROCKENSUBSTANZGEHALT ODER FESTSTOFFGEHALT IN %.

Diese Medieneigenschaft ist für die Auswahl des Tachrührwerks/Strömungsbeschleunigers besonders wichtig, weil der Schub ausreichend sein muss, um die Feststoffe in Schwebe zu halten. Für einen Trockensubstanzgehalt (TS) bis 1,5 % wird der Einsatz von Strömungsbeschleunigern und bis 8 % der Einsatz von Tachrührwerken empfohlen. Der Trockensubstanzgehalt hat auch Einfluss auf die Leistungsaufnahme. Siehe Abb. 1.

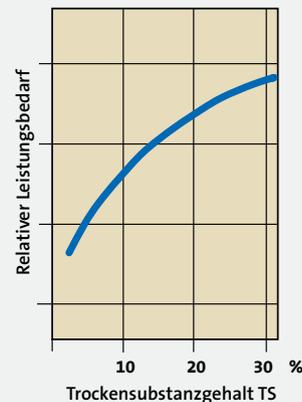


Abb. 1

Maximale Abwassertemperatur

Grundfos Tachrührwerke und Strömungsbeschleuniger sind für Medientemperaturen von 5 bis 40° C ausgelegt.

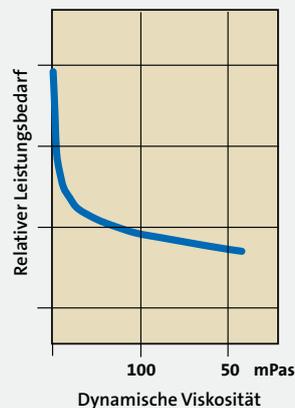


Abb. 2

Maximale dynamische Viskosität des Abwassers

Grundfos Tachrührwerke und Strömungsbeschleuniger werden für Medien mit $\mu \leq 500$ mPas eingesetzt. Die dynamische Viskosität hat Einfluss auf die Leistungsaufnahme. Siehe Abb. 2.

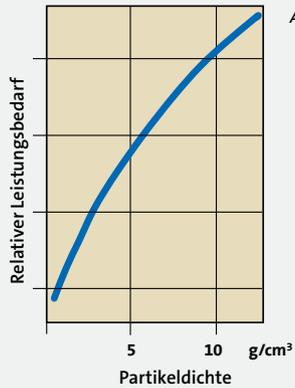


Abb. 3

Dichte des Abwassers

Für die Auslegung der Grundfos Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger wird die Dichte von Wasser als Bezugswert verwendet. Sie beträgt $\rho_{\text{max}} = 1060 \text{ kg/m}^3$. Der Bezugswert steht in Beziehung zur Dichte der Partikel, die Einfluss auf die Leistungsaufnahme hat. Siehe Abb. 3.

pH-Wert des Abwassers

Grundfos Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger können in einem pH-Bereich von 4 bis 10 betrieben werden.

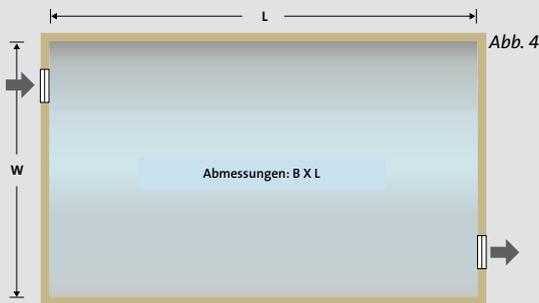


Abb. 4

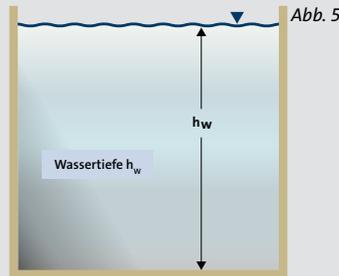


Abb. 5

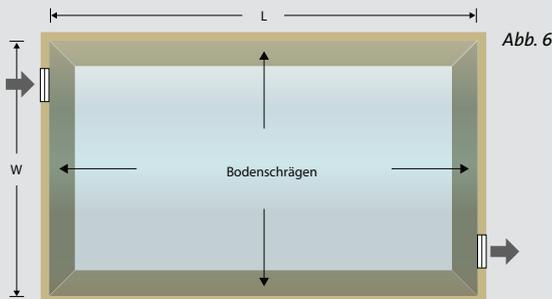
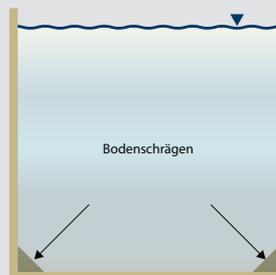


Abb. 6



BECKENFORM

Die Becken können quadratisch, rechteckig, rund oder als Umlaufbecken ausgeführt sein. Folgende Parameter müssen bekannt sein:

- Innendurchmesser des Beckens
- Abmessungen und Anordnung von eventuell vorhandenen Bodenschrägen
- Hindernisse im Becken, wie z. B. Säulen bei überdachten Becken
- Maximale und minimale Wassertiefe
- Höhe der Seitenwände.

Siehe Abb. 4, 5, 6, 7 und 8.

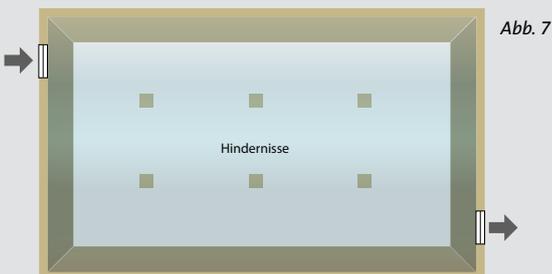


Abb. 7

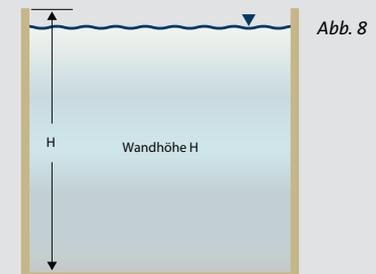
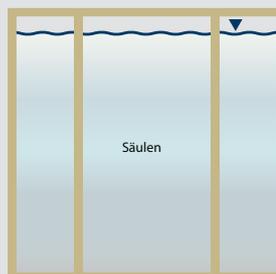


Abb. 8

EINSATZ VON BELÜFTERSYSTEMEN

Das Vorhandensein von druckbeaufschlagten oder drucklosen Belüftersystemen sowie die Anzahl und die Anordnung im Behälter muss abgeklärt werden, um Schäden an den Mischaggregaten und Belüftern sowie eine Beeinträchtigung der Strömung während der Sauerstoffanreicherung zu vermeiden. Abb. 9 zeigt ein feinblasiges Belüftersystem in einem rechteckigen Becken.

ANORDNUNG DES BECKENZULAUF UND -ABLAUFS

Bei jeder Beckenform muss die Anordnung des Zulaufs und Ablaufs bekannt sein, um die richtige Anordnung der Mischaggregate zu gewährleisten. Häufig gibt es mehr als einen Zulauf, wie z. B. für Abwasser, Schlammrückführung, Umwälzung von Mischflüssigkeit. Zusätzlich ist die Zulauf- und Ablaufform von Bedeutung. Erfolgt der Zulauf/Ablauf z. B. über ein Stauwehr mit Öffnungen, die sich unter der Wasseroberfläche oder am Boden befinden, kann sich das auf die richtige Anordnung der Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger auswirken. Siehe Abb. 10 und 11.

ZUGANG ZUM BECKEN FÜR DIE INSTALLATION

Neben der richtigen Anordnung ist auch die Zugänglichkeit des Beckens zu beachten, die die Installation von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern erschweren kann. Dies gilt insbesondere für den Austausch bestehender Mischaggregate. Deshalb muss die Zugänglichkeit des Beckens und das Vorhandensein von Laufstegen vorher überprüft werden.

DAS RICHTIGE MISCHAGGREGAT FÜR DEN JEWEILIGEN ZWECK

Alle zuvor erwähnten Faktoren sowie die Klärstufe haben Einfluss auf die Auswahl des richtigen Mischaggregates mit hoher, mittlerer oder niedriger Drehzahl.

Zweck des Mischens und Anwendungsbeispiele

VERMISCHUNG, SUSPENSION UND HOMOGENISIERUNG

Zu den Hauptaufgaben des Mischens in Klärwerken gehören das Vermischen von Flüssigkeiten oder von Flüssigkeiten und Feststoffen, das in Schwebelag halten von Feststoffen sowie eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Gemischkomponenten im Becken.

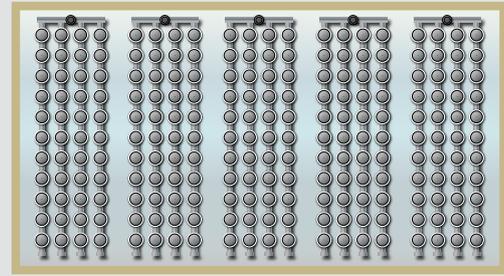


Abb. 9

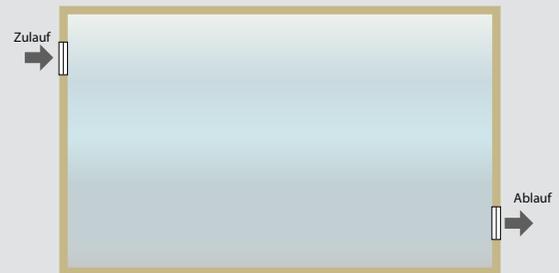


Abb. 10

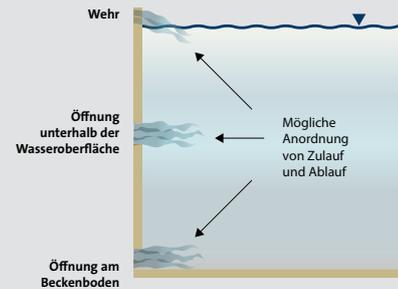


Abb. 11



Allgemein wird die folgende Definition für die Sedimentation von Feststoffen verwendet:

Freie Sedimentation

Von freier Sedimentation wird gesprochen, wenn der Trockensubstanzgehalt unter 30 bis 40 % liegt. Dann können sich die Partikel im Becken absetzen, ohne zu sehr miteinander zu kollidieren. Der Mischvorgang und das zugehörige Mischaggregat sind auf Suspension ausgelegt. Dies ist die Hauptanwendung im Belebtschlammprozess. Der Suspensionsgrad (**Sdeg**) kann verschiedene Werte annehmen.

Beeinträchtigte Sedimentation

Beträgt der Trockensubstanzgehalt mehr als 50 %, wird die Sedimentation behindert, weil durch die Kollision zwischen den Partikeln die Absetzzeit erhöht wird. Die Grenze zwischen freier und beeinträchtigter Sedimentation ist abhängig von der Partikelgröße und Partikelform. Zu den Flüssigkeit-Feststoff-Gemischen mit beeinträchtigter Sedimentation gehört Dickschlamm, der als Flüssigkeit mit speziellen Fließeigenschaften (z. B. strukturviskos) angesehen werden kann.

Im Bereich niedriger Trockensubstanzgehalte steigt der Leistungsbedarf für die Suspension nahezu linear mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt. Bei einem Trockensubstanzgehalt von 50 % erfolgt der Übergang zur beeinträchtigten Sedimentation. Durch die Anzahl der Partikel im Gemisch, die miteinander kollidieren, sinkt die Absetzrate und damit der Leistungsbedarf. Bei einem weiteren Anstieg der Partikelanzahl steigt der Leistungsbedarf wieder aufgrund der zunehmenden Viskosität und Dichte (siehe Abb. 12).

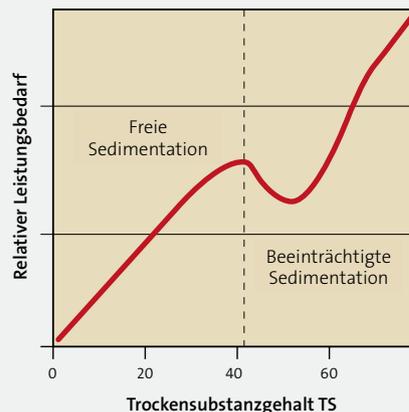


Abb. 12

Beim **Suspensionsgrad** (Sdeg) werden in der Regel drei Phasen unterschieden:

• Sdeg 1

Die Partikel haben sich zum Teil am Boden abgesetzt. Der Homogenisierungsgrad des Gemisches beträgt weniger als 30 %. Siehe Abb. 13.

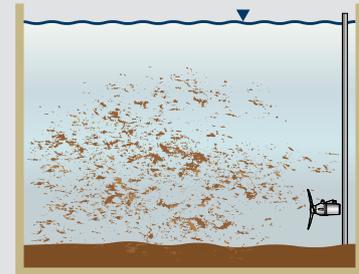


Abb. 13

• Sdeg 2

Alle Partikel befinden sich in Schwebelage (siehe Abb. 14).

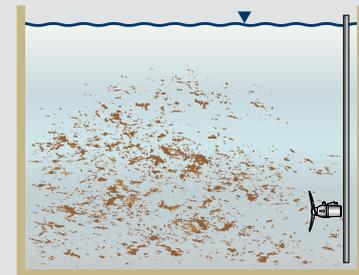


Abb. 14

• Sdeg 3

Die Suspension erfolgt gleichmäßig und der Homogenisierungsgrad kann mehr als 90 % erreichen. Siehe Abb. 15.

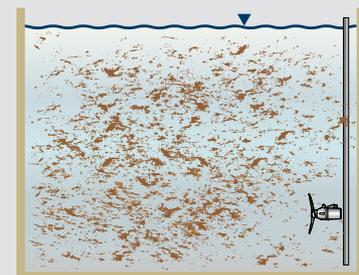


Abb. 15

Der Leistungsbedarf für **Sdeg 3** ist doppelt so hoch wie für **Sdeg 2** und mindestens fünfmal so hoch wie für **Sdeg 1**. Siehe Abb. 16.

Die Homogenisierung eines Gemisches über das Maß **Sdeg 3** hinaus ist nicht sinnvoll, weil der zusätzliche Leistungsbedarf für eine kleine Verbesserung der Homogenisierung sehr hoch ist. Bei den **Mischvorgängen in der Abwasserbehandlung** liegt der Suspensionsgrad zwischen 2 und 3.

Für die verschiedenen Suspensionsgrade 1, 2 und 3 kann die relative Leistung als Funktion der **Partikelsinkgeschwindigkeit** in [m/min] ausgedrückt werden. Bei gleicher Sinkgeschwindigkeit ist für das Anheben auf den nächsthöheren Suspensionsgrad jeweils die dreifache Leistung erforderlich. Siehe Abb. 17.

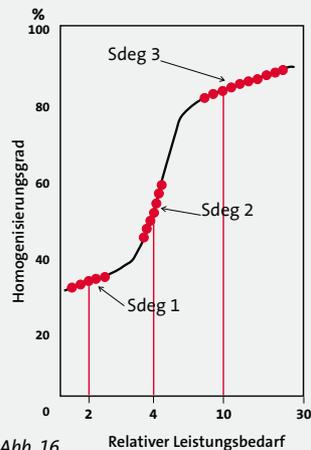


Abb. 16

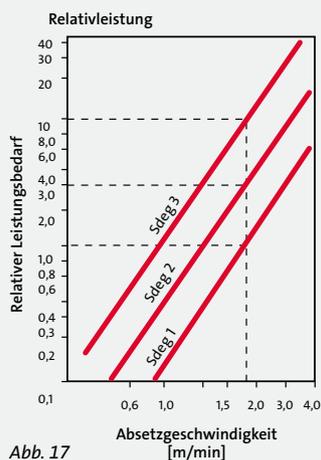


Abb. 17

Die Aufgabe des Mischvorgangs ist das Anheben der Partikel vom Beckenboden und das in Schwebelage Halten der Partikel in der Flüssigkeit, um ein Absetzen zu verhindern.

AUSGLEICHSBECKEN

Ein typisches Beispiel für diese Art der Anwendung ist das **Ausgleichsbecken**.

Ein Ausgleichsbecken sorgt für gleichförmige Strömungsverhältnisse in der zweiten Klärstufe eines Klärwerks. Es wird zur Zwischenspeicherung des täglichen Zuflusses oder für Spitzenzuflüsse in Schlechtwetterzeiten verwendet. Das Ausgleichsbecken kann aber auch zur Aufnahme des Abwasserzuflusses bei Wartungsarbeiten sowie zur Verdünnung und schrittweisen Weiterverteilung von giftigem oder stark verunreinigtem Abwasser (z. B. bei Einleitung aus Industriebetrieben) genutzt werden, das ansonsten den biologischen Klärprozess beeinträchtigt.

Die Prozesse im Ausgleichsbecken sind gekennzeichnet durch:

- variable Wassertiefen
- einen hohen Homogenisierungsgrad
- Vermeiden von Partikelsedimentation
- gute Verdünnung durch effiziente Durchmischung.

Die Ziele werden durch die Installation von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern erreicht, deren senkrechte Ausrichtung unter Berücksichtigung der minimalen und maximalen Wassertiefe erfolgt. Zudem ist die Anordnung des Zulaufs und Abflaufs zu beachten. Siehe Abb. 18, 19 und 20.

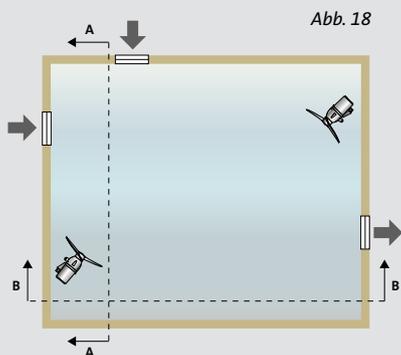


Abb. 18

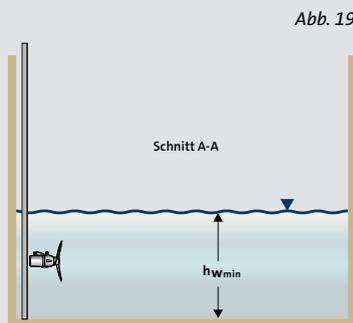


Abb. 19

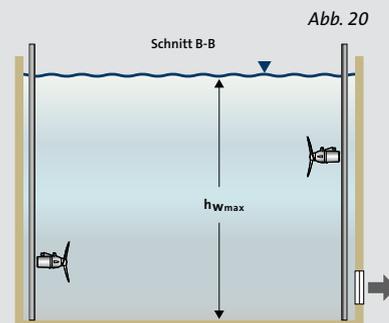


Abb. 20

BIOLOGISCHE KLÄRSTUFE

(Phosphateleinierung, Denitrifikation, Nitrifikation)

Der wichtigste Einsatzbereich für Mischaggregate in einem Klärwerk sind die biologischen Prozesse, wie z. B. die Phosphateleinierung (**EBPR**, Enhanced Biological Phosphorus Removal), Denitrifikation und Nitrifikation. Umfasst die Abwasserbehandlung auch Prozesse zur Eliminierung von Nährstoffen - entweder nur von Stickstoff oder von Stickstoff und Phosphat - gelangen unterschiedliche Arten von Zuflüssen in das Becken.

Bei der Stickstoffeliminierung, dem sogenannten **DN-N** Prozess, gelangen drei Arten von Zuflüssen in das Denitrifikationsbecken, das vor dem Nitrifikationsbecken angeordnet ist (siehe Abb. 21):

- Abwasser aus der ersten Klärstufe (WW)
- Rücklauf-Belbtschlamm (RAS) aus dem Nachklärbecken
- Schlammwasserkreislauf (MLR), d. h. der Nitratzufluss aus dem Nitrifikationsbecken.

Bei der Stickstoff- und Phosphateleinierung, dem sogenannten **A2O**-Prozess ist dem Becken zur Phosphateleinierung (anaerober Prozess) zunächst das Denitrifikationsbecken (anoxischer Prozess) und danach das Nitrifikationsbecken (aerober Prozess) nachgeschaltet. Siehe Abb. 22.

In das Becken zur Phosphateleinierung gelangen zwei Arten von Zuflüssen: Abwasser aus der ersten Klärstufe und der Rücklauf-Belbtschlamm (RAS). In das Denitrifikationsbecken gelangen ebenfalls zwei Zuflüsse: Abwasser aus dem Becken zur Phosphateleinierung und die im Nitrifikationsbecken gebildeten Nitrate. Dieser Schlammwasserkreislauf wird auch als MLR bezeichnet.

Es wird empfohlen einen der ausgewählten Rührwerke oder Strömungsbeschleuniger so zu installieren und auszurichten, dass die erzeugte Strömung die drei bzw. zwei Zuläufe sofort erfasst. Abb. 21 zeigt den **DN-N**-Prozess und Abb. 22 den **A2O**-Prozess.

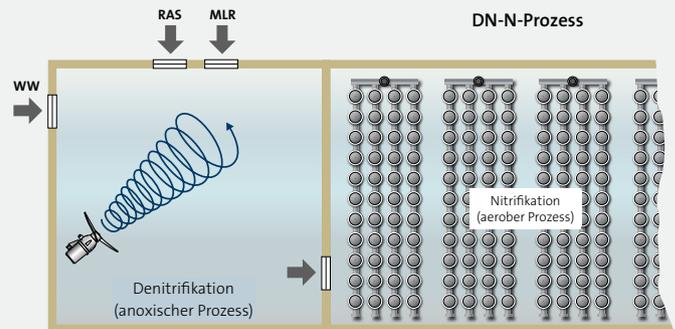


Abb. 21

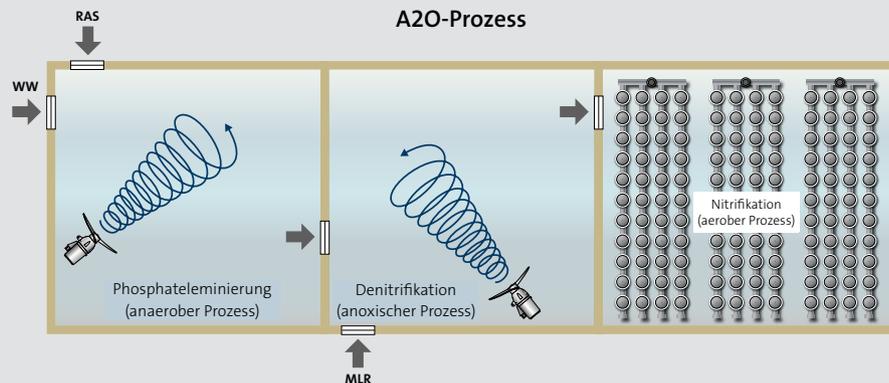


Abb. 22

DN-N-Prozess in einem gemeinsamen Becken

Im Hinblick auf die Nutzung von Rührwerken und Strömungsbeschleunigern werden beim Nitrifikationsprozess zwei spezielle Verfahren unterschieden:

- Belüften und Mischen im Wechselbetrieb
- Gleichzeitiges Belüften und Mischen.

Im Wechselbetrieb laufen die Rührwerke oder Strömungsbeschleuniger eine bestimmte Zeit (Denitrifikationszeit) am Tag. Währenddessen ist die Belüftung abgeschaltet. Den restlichen Tag ist die Belüftung eingeschaltet (Belüftungszeit) und die Rührwerke oder Strömungsbeschleuniger sind ausgeschaltet. Die wichtigste Empfehlung für die Anordnung der Rührwerke und Strömungsbeschleuniger betrifft das am Boden installierte Belüftersystem. Es darf durch den von den Mischaggregaten erzeugten Schub nicht beschädigt werden. Deshalb muss zwischen den Propellerspitzen und den Tellerbelüftern ein Mindestabstand eingehalten werden. Zudem wird ein kleiner nach oben gerichteter Neigungswinkel bei der Installation der Rührwerke empfohlen. Siehe Abb. 23.

Der gleichzeitige Betrieb betrifft Anwendungen mit Strömungsbeschleunigern in Umlaufbecken, bei denen der Umfang der Denitrifikation und der Nitrifikation, die im selben Becken (Oxidationsgraben) stattfinden, durch das zeitweise Abschalten des Belüftersystems beeinflusst werden kann. Dabei laufen die Strömungsbeschleuniger kontinuierlich, um eine

horizontale Strömung zu erzeugen und die Biomasse in Schwebelage zu halten. Um eine Beschädigung der Strömungsbeschleuniger und des Belüftersystems zu vermeiden, ist die Anordnung der Strömungsbeschleuniger unter Berücksichtigung der Grabenbiegung und des am Boden installierten Belüftersystems von großer Bedeutung. Dabei sind die in Abb. 24 dargestellten und ab Seite 76 angegebenen Abstände einzuhalten.

Reinigung von Regenwasserrückhaltebecken

Regenwasserrückhaltebecken müssen sorgfältig gereinigt werden, weil ihre Funktion durch Sand sowie anorganische und organische Stoffe beeinträchtigt wird, die im aufgefangenen Regenwasser enthalten sind. Grundfos hat das Handbuch "Planen von Regenwasserrückhaltebecken – Empfehlungen und Gestaltung" herausgebracht, um den Anwendungsingenieur, Planer und Betreiber von Regenrückhaltebecken zu unterstützen. Das Handbuch behandelt ausführlich die Errichtung von Regenwasserrückhaltebecken - von der Auslegung bis zum Bau. Es ist online als Download verfügbar oder kann bei Grundfos bestellt werden.

Die Reinigung umfasst nicht nur den Beckenboden, sondern auch die Oberflächen der Innenwände. Die Innenwände müssen wegen der Befüll- und Entleerungszyklen und der damit verbundenen unterschiedlichen Wasserstände gesäubert werden. Außerdem verursacht eine längere Verweildauer des Regenwassers im Rückhaltebecken unangenehme Gerüche, die bekämpft werden müssen.

Abb. 23

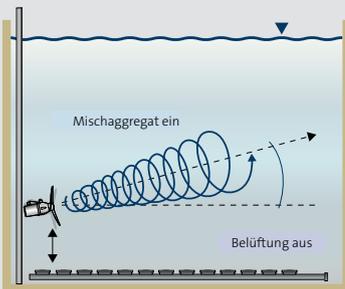
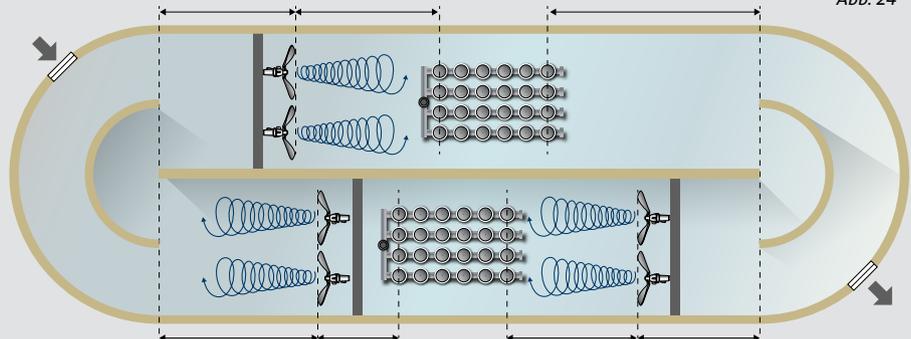


Abb. 24

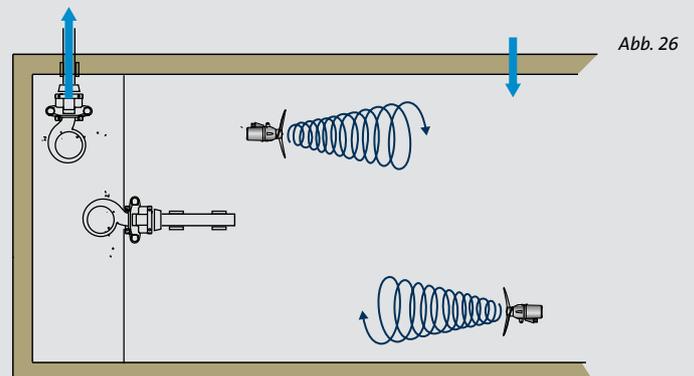
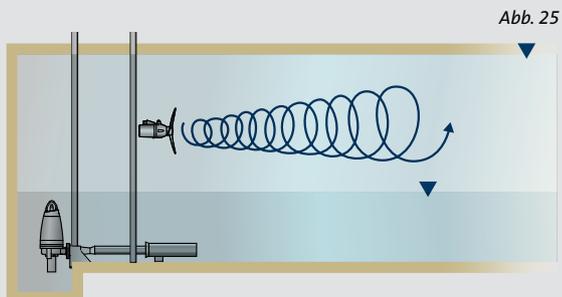


Durch den Einsatz von Wasser/Wasser- oder Luft/Wasser-Strahlgeräten mit Ejektorvorrichtung, wie den Grundfos SFJ FlushJet oder den SAJ AeroJet, kann der Beckenboden (im Spülbetriebsmodus) gereinigt und gleichzeitig das Wasservolumen umgewälzt werden. Dadurch können die sich am Boden abgesetzten Feststoffe zusammen mit dem Regenwasser abgepumpt werden.

Um die oben aufgeführten Aufgaben erfüllen zu können, müssen die Strahlgeräte einen ausreichenden Schub erzeugen. Im Hinblick auf die beachtlichen Abmessungen von Regenwasserrückhaltebecken (häufig $\geq 1500 \text{ m}^3$) reichen die Strahlgeräte jedoch nicht aus, um gleichzeitig die erforderliche Strahllänge und den erforderlichen Schub bereitzustellen.

Der Einsatz von einem oder mehreren Tauchrührwerken (in der Regel schnelldrehende Mischaggregate, siehe Abb. 25 und 26) ermöglicht:

- das Erzeugen des restlichen Schubs
- das Sauberhalten der Innenwände.



ZEITLICH BEGRENZTER RÜHRBETRIEB IN MITTELGROSSEN/GROSSEN PUMPSTATIONEN

Vor dem Eintritt in eine Pumpstation wird das Rohwasser häufig nicht oder nur unzureichend durch einen Rechen vorgereinigt. Dadurch können sich kleine und grobe Feststoffe im Pumpensumpf ansammeln, die eine dicke Kruste bilden und das Wiederanlaufen der Pumpen erschweren. Um die Bildung dieser Schichten aus groben Verunreinigungen zu vermeiden, muss der Pumpensumpf regelmäßig umgewälzt werden, um ein effizientes Abpumpen zu ermöglichen.

Deshalb werden Tauchrührwerke im Pumpensumpf installiert, die im Aussetzbetrieb arbeiten. Der Betrieb kann noch vor dem Anlaufen der Pumpen während des Befüllens des Pumpensumpfes oder bei Erreichen eines Mindestfüllstands erfolgen, um das Gemisch aus Abwasser und Feststoffen bestmöglich zu homogenisieren. Je nach den vorherrschenden Befüllbedingungen und dem Pumpensumpfvolumen kann die Installation mehrerer Rührwerke erforderlich sein. Siehe Abb. 27, 28 und 29.

Der Strahl der Tauchrührwerke sollte sorgfältig ausgerichtet sein, um zu verhindern, dass durch den erzeugten Schub mechanische Probleme bei den Pumpen auftreten.

Abb. 27

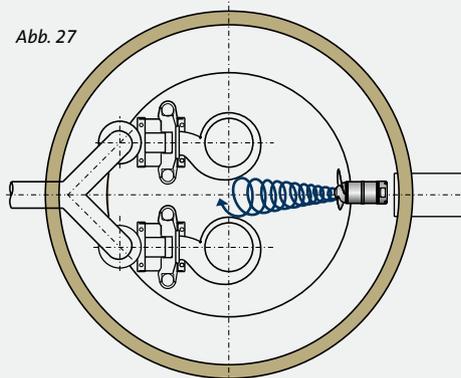


Abb. 28

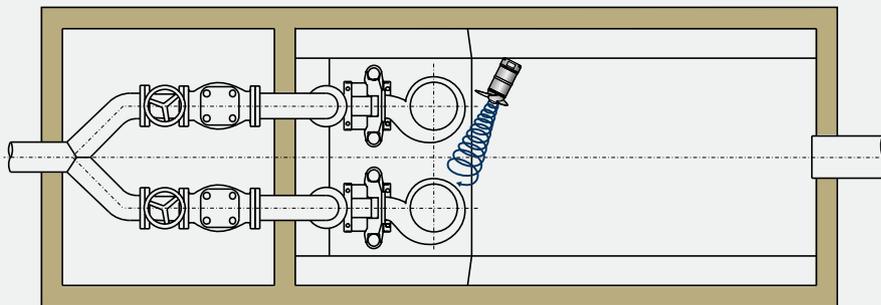
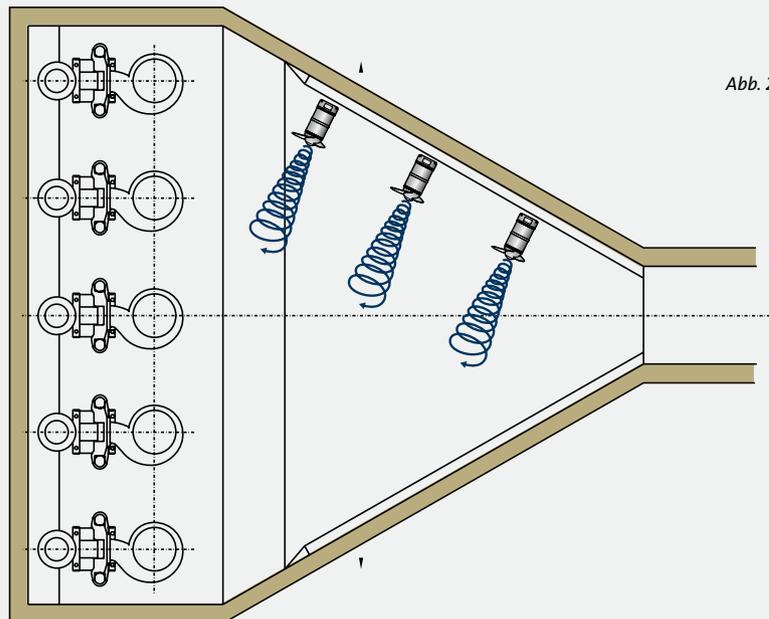


Abb. 29



HOMOGENISIEREN VON STAPELSCHLAMM (PRIMÄR- UND ÜBERSCHUSSSCHLAMM)

Der in der ersten und zweiten Klärstufe anfallende Primär- und Überschussschlamm wird in der Regel in einem Behälter gespeichert und anschließend zur Schlammbehandlung abgepumpt. Der gespeicherte Schlamm muss aus den folgenden Gründen ausreichend durchgerührt werden:

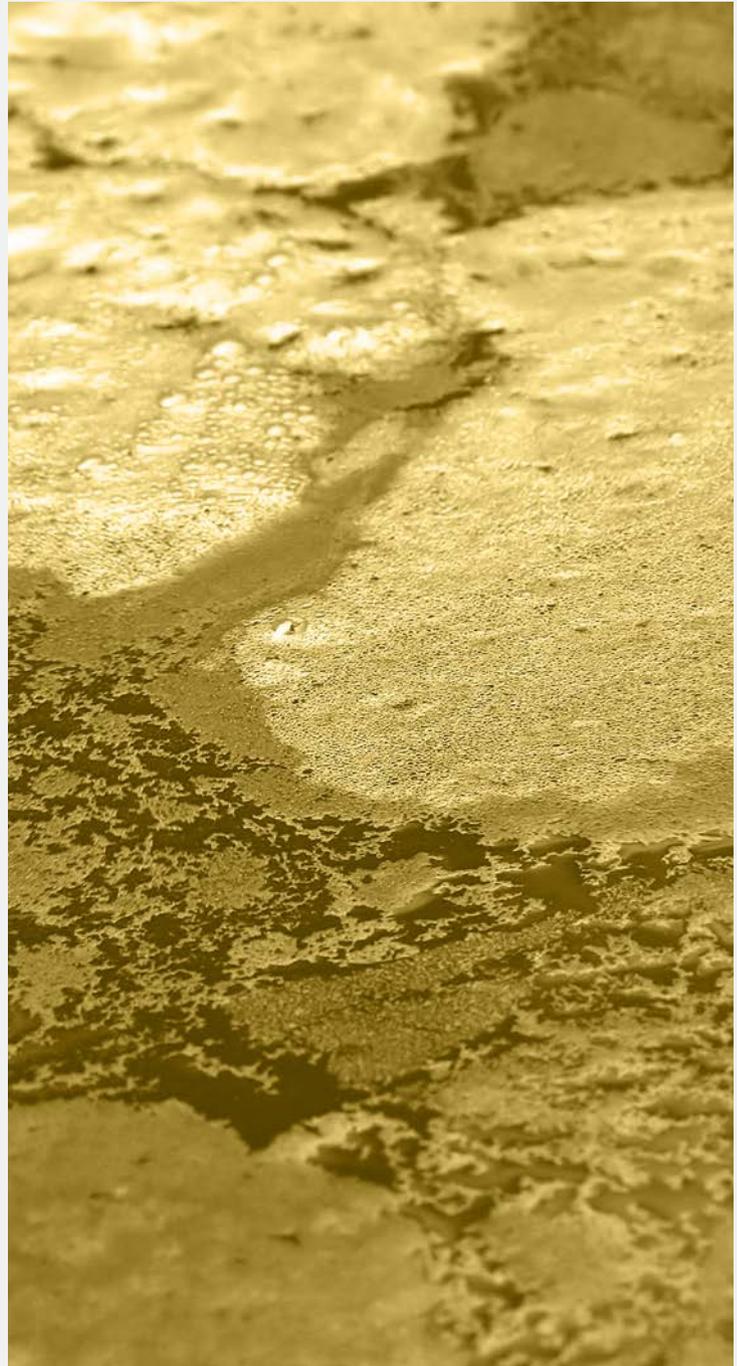
- die Schichtenbildung und Bildung von Verkrustungen an den Behälterwänden vermeiden
- das Absetzen von Feststoffen verhindern
- das Abpumpen erleichtern und dadurch die Leistungsaufnahme der Pumpen reduzieren
- das Herstellen eines homogenen Gemisches, das bei der aeroben oder anaeroben Schlammbehandlung einfacher zu handhaben ist.

Für das Rühren von Schlamm sind Tauchrührwerke bestens geeignet. Für die Auswahl des passenden Rührwerks muss die Schlammkonzentration bekannt sein. Es wird empfohlen, eine ausreichende Leistungsreserve zwischen P_{1ist} (Leistungsaufnahme an einem bestimmten Betriebspunkt) und P_{1nenn} (maximale Leistungsaufnahme des Rührwerks) vorzusehen.

VERTEILEN VON CHEMIKALIEN IM ABWASSER/SCHLAMM

Tauchrührwerke können auch zum Verteilen von Chemikalien, die für bestimmte Behandlungsprozesse erforderlich sind, eingesetzt werden. Dies gilt z. B. für:

- das Verteilen von Chemikalien im Neutralisationsprozess
- das Flash-Mixing von zugeführten Koaguliermitteln vor der notwendigen Ausfällung im Schlammbehandlungsprozess
- das Verteilen der zugeführten Chemikalien im Belebungsbecken zur vollständigen Phosphatelimination
- das Flash-Mixing von Koaguliermitteln im Nachklärbecken, um die Flocken schwerer zu machen und so die Absetzeigenschaften der Schlammflocken zu verbessern.



RICHTLINIEN

Die richtige Anordnung von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern ist von großer Bedeutung. Bei einer falschen Anordnung kann die hohe Qualität der mechanischen, elektrischen und hydraulischen Komponenten sowie das Leistungsvermögen – wie z. B. geringer Stromverbrauch, gleichmäßige Verteilung der Schubkräfte und der Strömungsgeschwindigkeit im gesamten Becken – der installierten Grundfos Mischaggregate beeinträchtigt werden. Eine falsche Anordnung kann zudem negative Auswirkungen auf das Ergebnis des Behandlungsprozesses und die Lebensdauer der Mischaggregate haben.

Mithilfe der folgenden Regeln und Empfehlungen kann der Betrieb der Rührwerke und Strömungsbeschleuniger optimiert werden. Die endgültige Lösung wird aber immer ein Kompromiss sein, der von der Auswahl der Mischaggregate, der Ausgestaltung der Beckengeometrie, der Abwassereigenschaften und des im Becken stattfindenden Prozesses abhängig ist. Werden die Empfehlungen und Regeln missachtet, können schwere Schäden an den Rührwerken und den Strömungsbeschleunigern auftreten. Die Regeln und Empfehlungen basieren auf technischen Überlegungen und praktischer Erfahrung beim Einsatz von horizontalen Tauchrührwerken mit Propeller.

Empfehlungen zur Anordnung

Prinzipiell ist bei der Anordnung der Rührwerke und Strömungsbeschleuniger Folgendes zu beachten:

- Maximieren der Strömung im Becken
- Anordnen der Mischaggregate in Schleifen
- Sicherstellen eines langen Strahlweges, einer großen Fluidmitnahme und einer starken Strömung
- Lenken des Strahls mit passender Ablenkung, um die hydraulischen Verluste zu minimieren
- Anordnen der Rühraggregate in ausreichendem Abstand von Hindernissen (Säulen, Rohren, Bögen, Belüfteranlagen, usw.).

Wirken unsymmetrische Lasten auf den drehenden Propeller, sind folgende Ursachen möglich:

- Falsche Ausrichtung des Rührwerks oder Strömungsbeschleunigers
- Ungenügender Abstand zu den Seitenwänden und der Rückwand
- Ungenügender Abstand der Propellerspitzen zum Beckenboden
- Ungenügender Abstand zwischen mehreren Rührwerken und Strömungsbeschleunigern
- Ungenügender Abstand zur Krümmung bei Oxidationsgräben

- Hindernisse vor dem Propeller, so dass Gegenwellen auf den Propeller treffen
- Vor oder nahe am Beckenzulauf montierte Rühraggregate. Der Zufluss kann das Führungsrohr zum Schwingen bringen, so dass die Schwingungen auf das Rührwerk/den Strömungsbeschleuniger übertragen werden.
- Unzureichender senkrechter Abstand zwischen dem Propeller und dem den gesamten Boden bedeckenden Tellerbelüftersystem bei z. B. kombinierten Denitrifikations-Nitrifikationsbecken
- Unzureichender waagerechter Abstand zwischen dem Propeller und dem teilweise den Boden bedeckenden Tellerbelüftersystem bei z. B. Umlaufbecken wie Oxidationsgräben, Karrussell- und Ringbecken sowie allen Becken, deren Boden teilweise mit Tellerbelüftern bedeckt sind.
- Falsche Ausrichtung und unzureichender Abstand des Propellers bei Vorhandensein von Belüftungsaggregaten, wie z. B. Turbinen, luftansaugende oder druckbeaufschlagte Belüfter.

Auf den nachfolgenden Seiten werden Maßnahmen beschrieben, mit deren Hilfe die oben aufgeführten Probleme vermieden werden können.

VERHINDERN VON KURZSCHLUSSTRÖMUNG

Die Rührwerke und Strömungsbeschleuniger sind so anzuordnen, dass eine Kurzschlussströmung verhindert wird, d. h. der Strahl darf nicht vom Zulauf auf den Ablauf des Beckens gerichtet sein. Siehe Abb. 30.

Eine Kurzschlussströmung kann folgende negative Auswirkungen haben:

- Reduzierung der Verweildauer mit negativen Folgen für die Entfaltung des biologischen Prozesses, der im Becken stattfindet
- "Totwasserräume" mit sich absetzenden Feststoffen durch reduzierte Strömungsgeschwindigkeit am Boden.

INTENSIVES UND SOFORTIGES MISCHEN

UNTERSCHIEDLICHER ZUFLÜSSE

Wie bereits zuvor erwähnt können unterschiedliche Arten von Zuflüssen in die Becken eines Klärwerks gelangen. Es wird empfohlen, eines der ausgewählten Rühraggregate so zu montieren und auszurichten, dass der erzeugte Strömungsstrahl die unterschiedlichen Zuflüsse erfasst und sofort miteinander gut durchmischt. Die unterschiedlichen Zuflüsse sind in Abb. 31 mit 1, 2 und 3 gekennzeichnet.

VERMEIDEN VON VERWIRBELUNGEN AN DER WASSEROBERFLÄCHE DURCH GLEICHMÄSSIGES RÜHREN

Durch eine falsche Anordnung der Rührwerke und Strömungsbeschleuniger, z. B. mit einem zur Oberfläche gerichteten Strahl (siehe Abb. 32), entstehen Verwirbelungen an der Wasseroberfläche, so dass Luft eintritt. Auf diese Weise gelangt zusätzlich Sauerstoff in das Abwasser, was wiederum negative Auswirkungen auf einige Prozesse haben kann.

Typische Beispiele sind anoxische Prozesse wie die Denitrifikation, bei der die Konzentration von ungelöstem Sauerstoff **DO** unter einem Wert von 0,1 bis 0,3 mg/l gehalten werden muss und anaerobe Prozesse wie die Phosphateleminierung, bei der kein ungelöster Sauerstoff vorhanden sein darf.

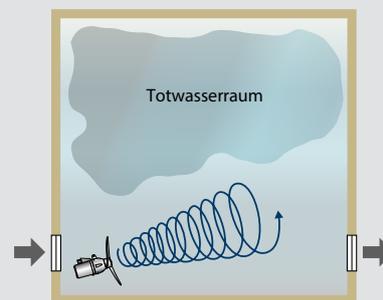


Abb. 30

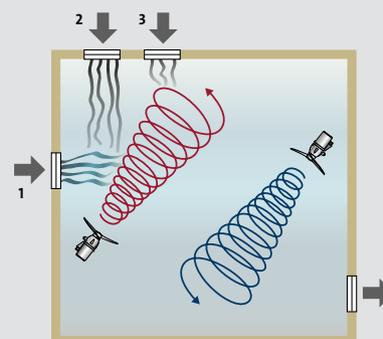


Abb. 31

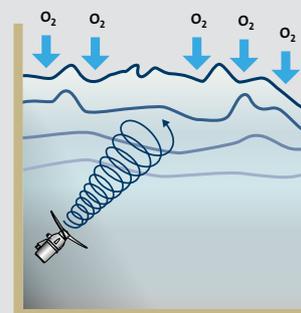


Abb. 32

VERMEIDEN VON TOTWASSERRÄUMEN

Totwasserräume im Becken, wo die mittlere Strömungsgeschwindigkeit am Boden des Beckens nicht ausreicht, um die Feststoffe in Schwebelage zu halten, sind durch die richtige Auswahl und Anordnung der Rühraggregate zu vermeiden.

Ein typisches Beispiel ist ein Oxidationsgraben, bei dem die Strömungsbeschleuniger im Hinblick auf die Anzahl und den Gesamtschub so auszuwählen sind, dass eine horizontale Strömung erzeugt wird, die ausreicht, um die Biomasse in Schwebelage zu halten, siehe Abb. 33 und 34. Dargestellt sind die abgesetzten Feststoffe und die wieder in Schwebelage gebrachten Feststoffe.

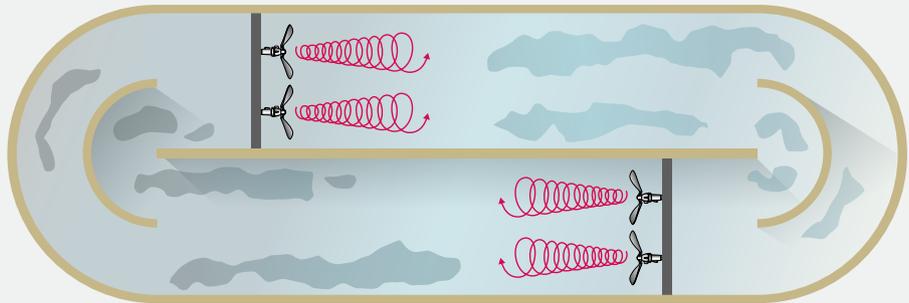


Abb. 33

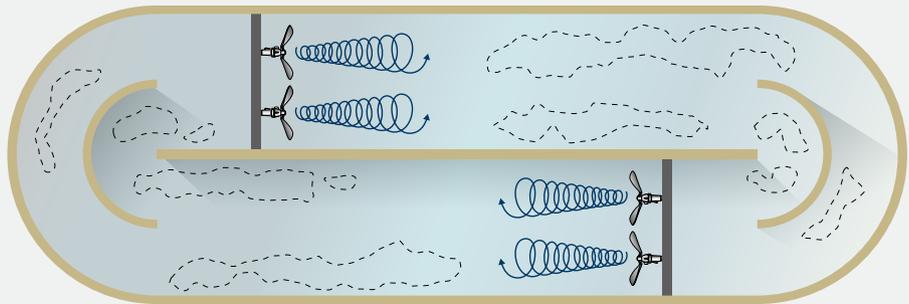


Abb. 34

Allgemeine Regeln zur Anordnung

MINDESTEINTAUCHTIEFE ZUR VERMEIDUNG VON VERWIRBELUNGEN

Verwirbelungen (siehe Abb. 35 und 36) führen zu einer ungleichmäßigen Belastung des Propellers und einer Stoßbelastung an den mechanischen Bauteilen der Tauchrührwerke, wie z. B. an den Lagern und Dichtungen. Befindet sich die Propellerspitze zu dicht an der Wasseroberfläche, entsteht auf der Rückseite des Propellers eine Verwirbelung, so dass ein Luftstrom auf die Propellerflügel trifft.

Die empfohlene **Mindesteintauchtiefe** h_s , die bei der Installation von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern eingehalten werden sollte, ist als Mindestabstand zwischen der Propellerspitze und der Wasseroberfläche definiert (siehe Abb. 37 und 38).

Der richtige Wert für die Mindesteintauchtiefe wird mithilfe von Versuchen ermittelt. Er gibt an, bei welcher Anordnung der Rührwerke und Strömungsbeschleuniger optimale Strömungsverhältnisse erreicht werden.

Abb. 35

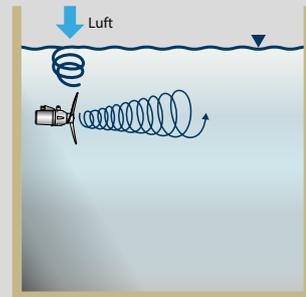


Abb. 36



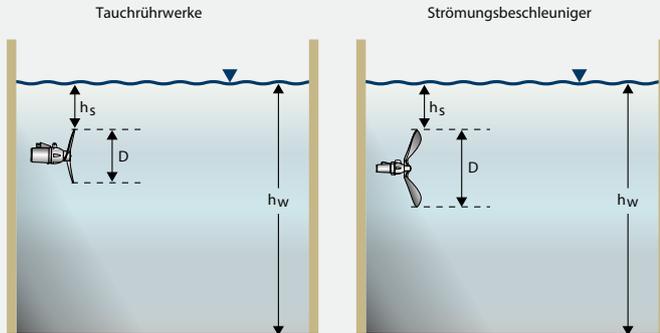


Abb. 37: Mindesteintauchtiefe bei Rührwerken

Abb. 38: Mindesteintauchtiefe bei Strömungsbeschleunigern

Für die Grundfos Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger werden in der Praxis die folgenden Beziehungen zur Ermittlung der Mindesteintauchtiefe h_s verwendet, wobei D der Propellerdurchmesser ist:

$h_s = 1 \times D$ für Grundfos Tauchrührwerke AMD und AMG

$h_s = 0,75 \times D$ für Grundfos Strömungsbeschleuniger

Je höher die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto geringer ist die Gefahr der Wirbelbildung. Dies ist z. B. bei Dickschlamm oder bei turbulenten Wasseroberflächen der Fall. In beiden Fällen kann die Mindesteintauchtiefe reduziert werden. Ein vollständig verwirbelungsfreier Betrieb kann jedoch niemals sichergestellt werden.

MINDESTABSTAND ZUM BECKENBODEN UND ZU DEN SEITENWÄNDEN

Bei den meisten Anwendungen im Bereich der Abwasserbehandlung müssen die Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger so nah wie möglich am Beckenboden installiert werden, um ein Absetzen von Schwebstoffen zu vermeiden. Gleichzeitig wird eine gleichmäßige Strömung erzeugt, um einen höchstmöglichen Homogenisierungsgrad zu ermöglichen. Wird das Rühraggregat jedoch zu dicht am Beckenboden installiert, ist eventuell die Leistung und der Wirkungsgrad geringer. Zudem kann eine höhere Belastung an den Propellerspitzen auftreten. Siehe Abb. 39.

Um eine bestmögliche Durchmischung und eine Minimierung der Druckverluste sicherzustellen, muss ein Mindestabstand h_{min} zwischen der Propellerspitze und dem Beckenboden entsprechend Abb. 40 und 41 eingehalten werden, der sich aus Versuchen und Erfahrungswerten ergibt.

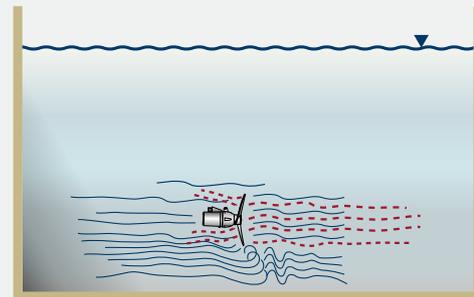


Abb. 39

$h_{min} \geq 0,5 \times D$

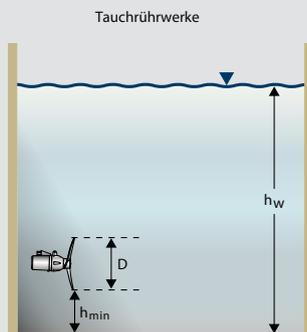


Abb. 40

$h_{min} \geq 0,50 \text{ m}$

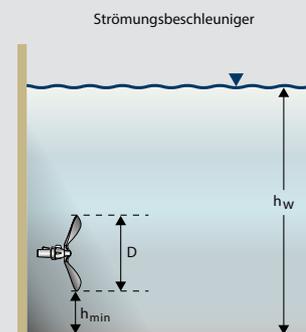


Abb. 41

Ein falscher Abstand zwischen der Propellerspitze und den Seitenwänden eines Beckens kann negative Auswirkungen auf die Effizienz des Mischvorgangs und der Strömungserzeugung haben. Außerdem können Schwingungen im Mischaggregat wegen der hohen Belastung an den Propellerspitzen entstehen. Siehe Abb. 42.

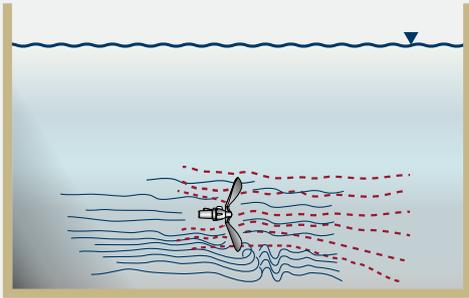


Abb. 42

Der erforderliche **Mindestabstand** s_w zu den Seitenwänden ist in Abb. 43 und 44 dargestellt. Er ergibt sich aus Erfahrungswerten und Versuchen. Dabei spielt auch die Propellerdrehzahl eine Rolle.

Aus Versuchen und Erfahrungswerten ist zu erkennen, dass sich bei schnelldrehenden Mischaggregaten, wie z. B. den **Tauchrührwerken**, s_w in Abhängigkeit des Propellerdurchmessers **D** ändert. Bei langsamdrehenden Mischaggregaten, wie z. B. den **Strömungsbeschleunigern** ist die Abhängigkeit des Abstands s_w vom Propellerdurchmesser **D** sehr viel geringer.

Tauchrührwerke

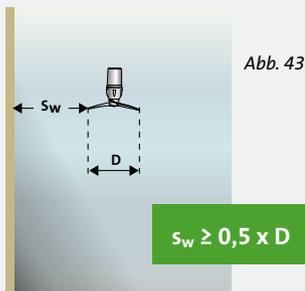


Abb. 43

Strömungsbeschleuniger

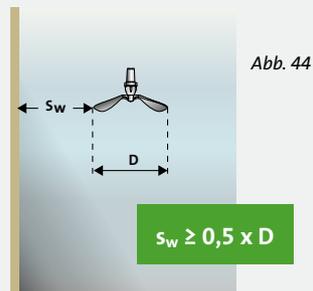


Abb. 44

Die folgende computergestützte Strömungssimulation bestätigt die Gültigkeit der Richtwerte für den Mindestabstand $s_w \geq 0,50$ m zwischen der Propellerspitze eines Strömungsbeschleunigers und der Seitenwand. Der Simulation liegen folgende Daten eines Oxidationsgrabens zugrunde:

Länge des Grabens L_c	68	m
Breite des Grabens B	7,5	m
Wasserstand h_w	5,85	m
Wandhöhe	6,35	m
Abwasserzufluss	500	m ³ /h
Erforderliche Strömungsgeschwindigkeit	0,3	m/s
Trockensubstanzgehalt	0,5	%
Kein Belüftersystem installiert.		
Erforderlicher Schub (inkl. 5 % Sicherheit)	4537	N
Ausgewählte Strömungsbeschleuniger	3 x AFG.22.230.25	
Erzeugter Gesamtschub	4695	N

Betrachtet werden die Strömungsverhältnisse bei richtiger und falscher Anordnung der Strömungsbeschleuniger (siehe Abb. 45):

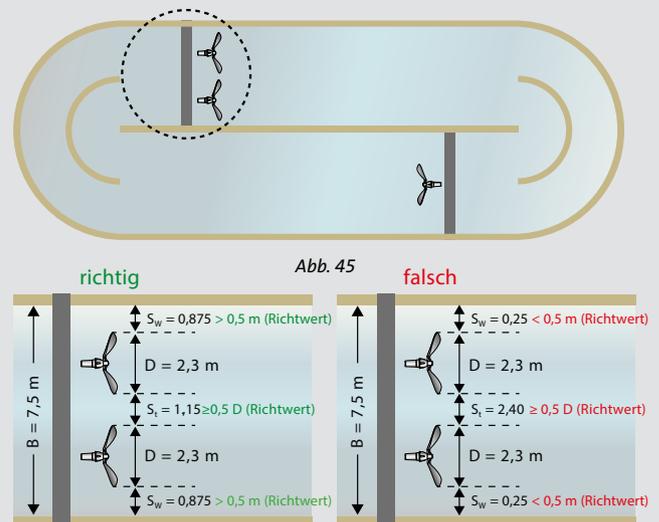


Abb. 45

Ergebnisse der CFD-Simulation: **SIMULATION DES BEHARRUNGSZUSTANDS**

ISO-Geschwindigkeitsumrisse

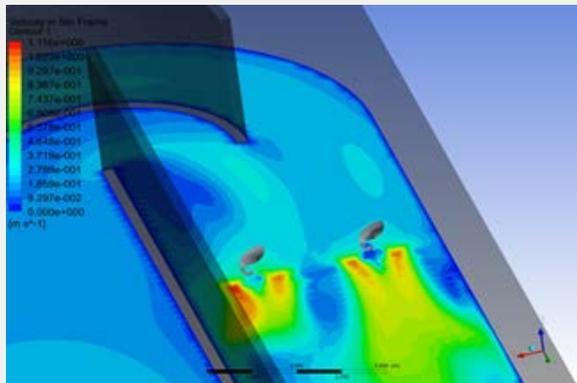


Richtige Anordnung ($s_w = 0,875$ m)

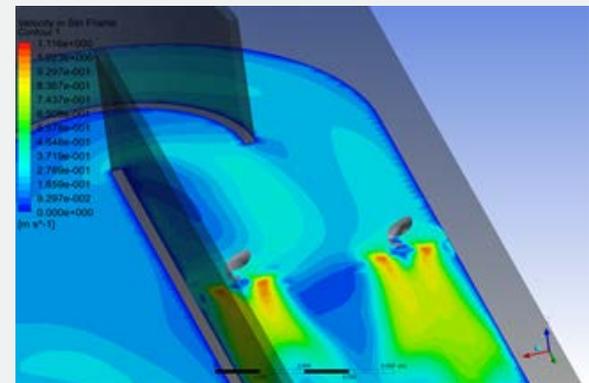


Falsche Anordnung ($s_w = 0,25$ m)

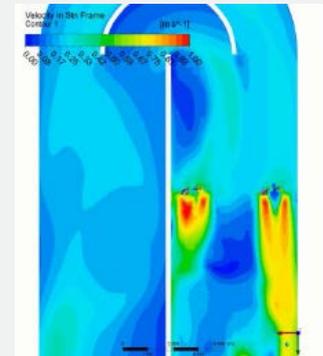
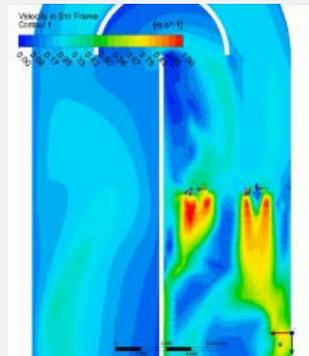
Geschwindigkeitsumrisse in einer Ebene



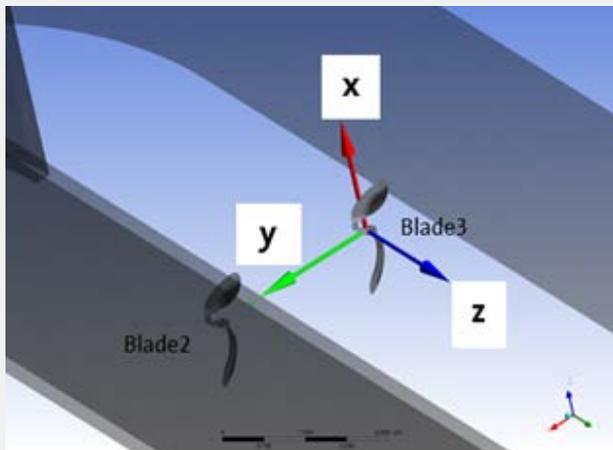
Richtige Anordnung
($s_w = 0,875$ m)



Falsche Anordnung
($s_w = 0,25$ m)



SIMULATION DES EINSCHWINGVORGANGS

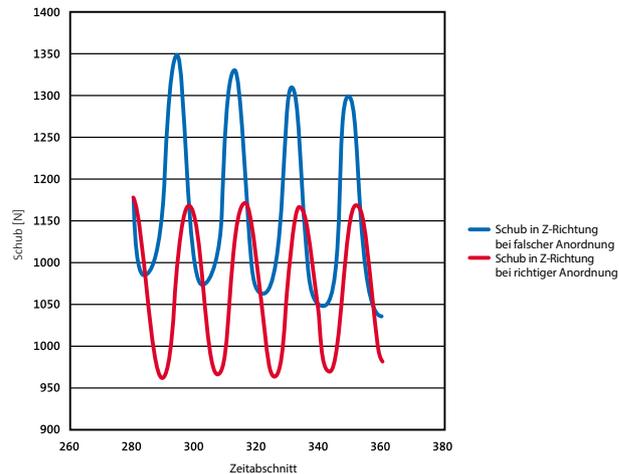


Bei einer falschen Anordnung des Strömungsbeschleunigers ist die Amplitude der Propellerkraft in axialer und radialer Richtung höher. Zudem fängt der Propeller durch eine ungleichmäßige Anströmung zeitweise an zu schwingen. Dies führt zu einer Reduzierung der Leistung.

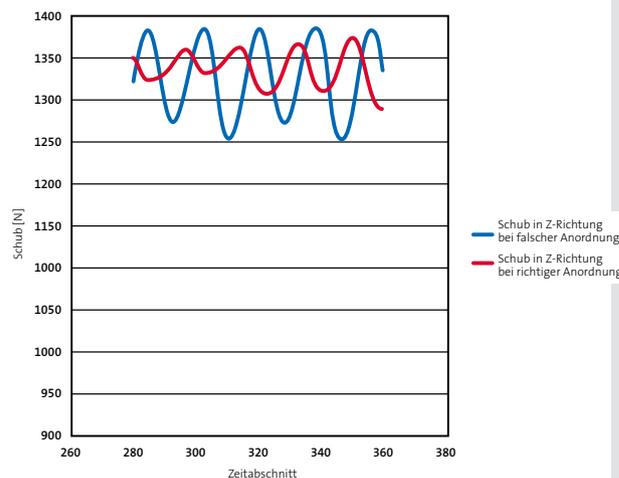
Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Schubschwankungen in axialer (Z-)Richtung und radialer (X-, Y-)Richtung für jeden Propeller bei richtiger und falscher Anordnung. Aus jedem Diagramm geht hervor, dass bei falscher Anordnung (blaue Linie) die Amplitude höher ist. Neben einer Leistungsreduzierung kann dies zu schwerwiegenden Schäden an den Bauteilen des Strömungsbeschleunigers und dem Montagezubehör führen. Durch eine falsche Anordnung entstehen zudem entlang der Wand höhere Reibungsverluste, so dass ein Teil der vom Strömungsbeschleuniger erzeugten Strömungsenergie verschwendet wird.

Kraft in Axialrichtung (Z-Richtung)

Schub - Propeller 2

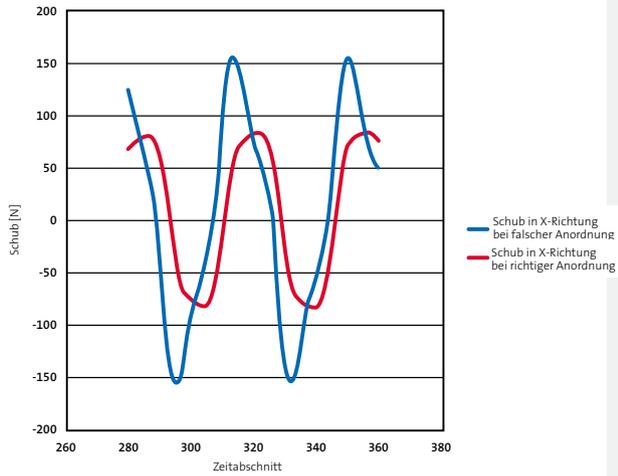


Schub - Propeller 3



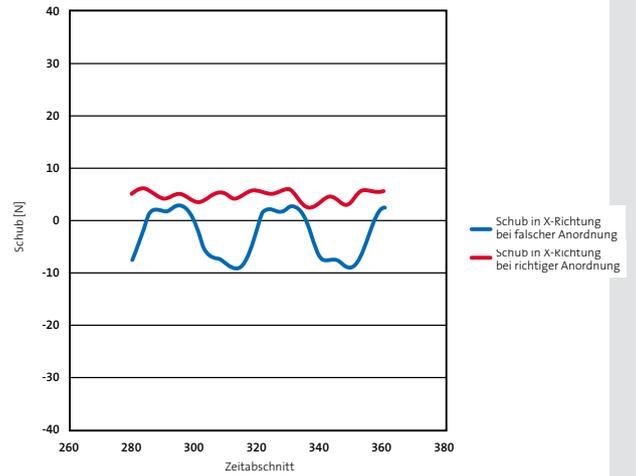
Kraft in Radialrichtung (X-Richtung)

Schub - Propeller 2

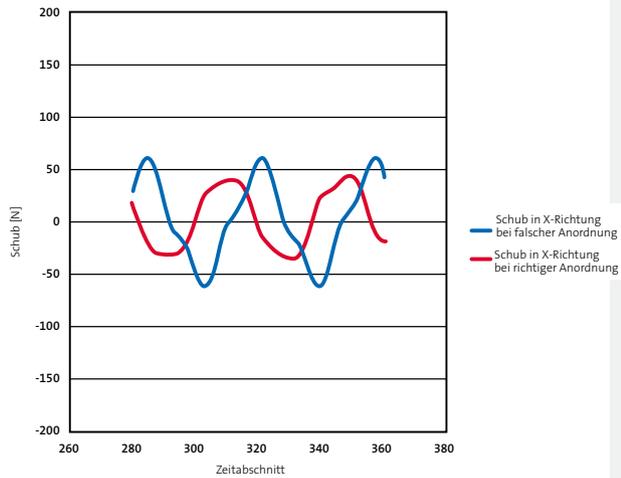


Kraft in Radialrichtung (Y-Richtung)

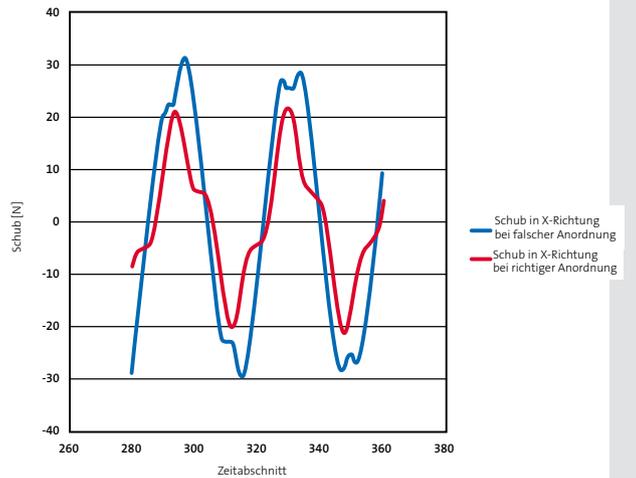
Schub - Propeller 3



Schub - Propeller 3



Schub - Propeller 2



MINDESTABSTAND ZUR RÜCKWAND

Durch einen unzureichenden Abstand zwischen der Propellerspitze und der Rückwand können die Strömungsverhältnisse am Propeller beeinträchtigt werden, so dass der Strömungsbeschleuniger durch eine ungleichmäßige Belastung beschädigt werden kann. Siehe Abb. 46.

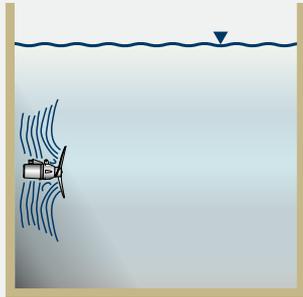
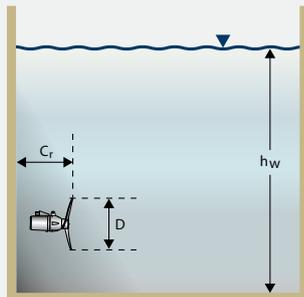


Abb. 46

Der erforderliche Mindestabstand C_r zur Rückwand ergibt sich aus Versuchen und Erfahrungswerten. Siehe Abb. 47 und 48).

Schnelldrehende Tauchrührwerke

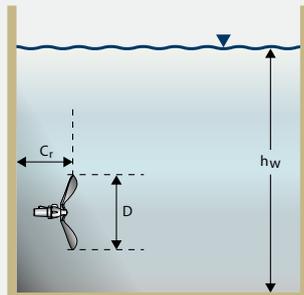
Abb. 47



$$C_r \geq 1,5 \times D$$

Langsamdrehende Strömungsbeschleuniger

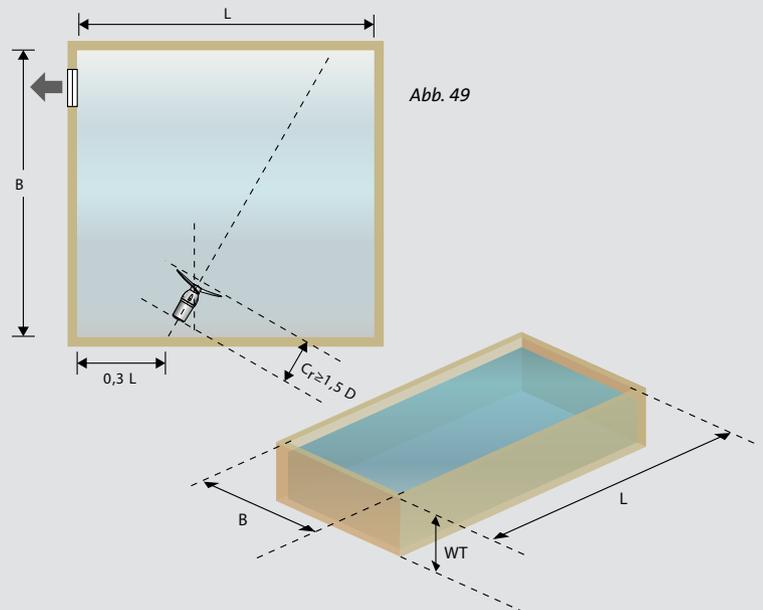
Abb. 48



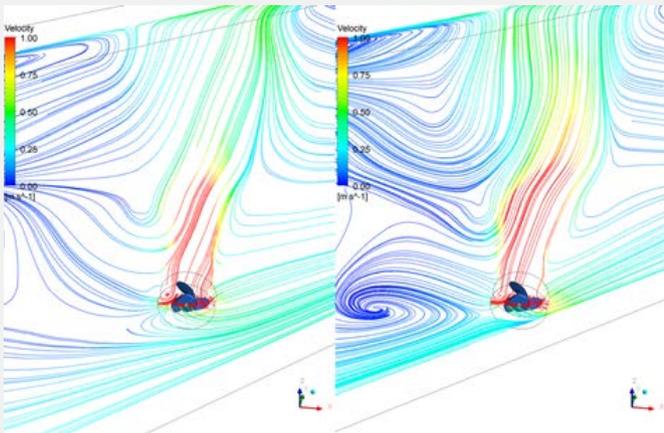
$$C_r \geq 2 \times D$$

Die folgende computergestützte Strömungssimulation bestätigt die Gültigkeit der Richtwerte für den Mindestabstand $C_r \geq 1,5 D$ in m, der zwischen dem Rührwerkspropeller und einer Rückwand eingehalten werden muss, siehe Abb. 49. Der Simulation liegen folgende Daten eines Rechteckbeckens zugrunde (Anwendungsart: Mischen und Homogenisieren):

Beckenlänge L	15 m
Beckenbreite B	8 m
Wassertiefe	4 m
Wandhöhe	4,5 m
Abwasserzufluss	96 m ³ /h
Trockensubstanzgehalt	0,5 %
Fläche	120 m ²
Wassermenge	480 m ³
Kein Belüftersystem installiert.	
Erforderlicher Schub (inkl. 5 % Sicherheit)	883 N
Ausgewähltes Rührwerk	1 x AMG.45.5B.675.5.1A
Propellerdurchmesser D	450 mm
Erzeugter Schub	965 N

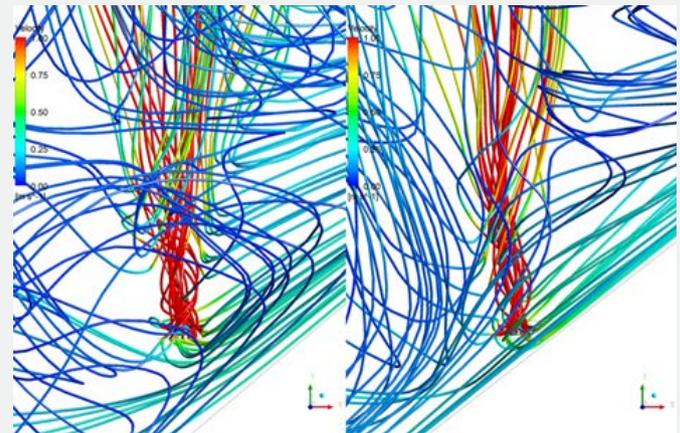


Ergebnis der CFD-Simulation zum Vergleich der Strömungsverhältnisse entlang der Rührwerksachsen:



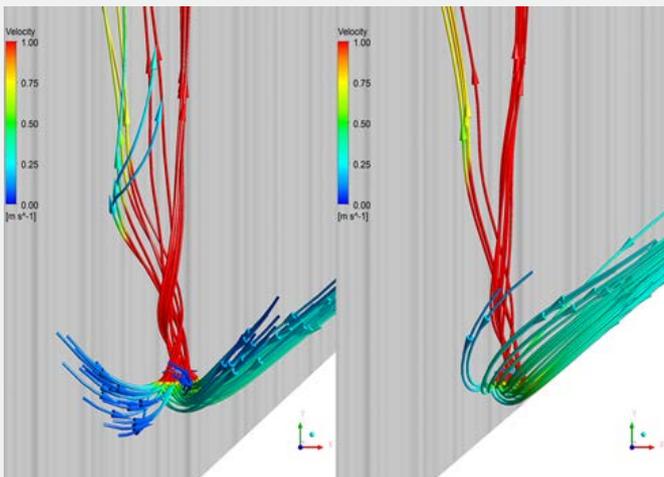
Richtige Anordnung
($C_r \geq 1,5 D$)

Falsche Anordnung
($C_r \leq 1,5 D$)



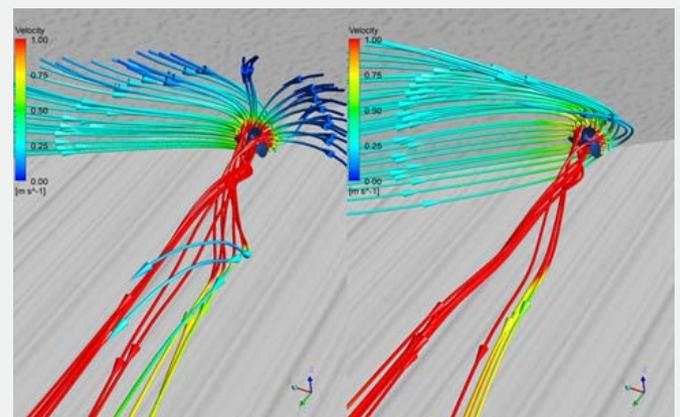
Richtige Anordnung
($C_r \geq 1,5 D$)

Falsche Anordnung
($C_r \leq 1,5 D$)



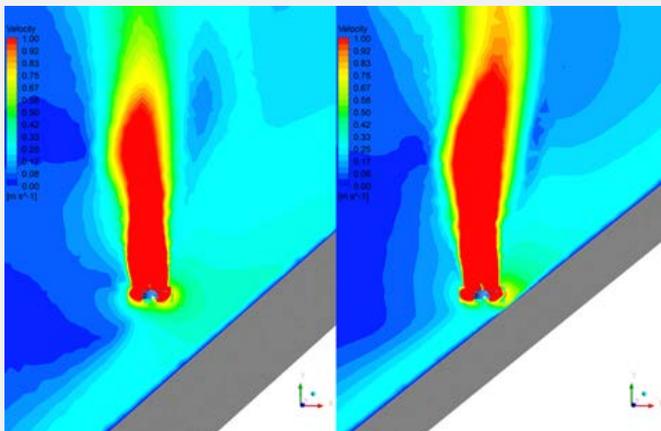
Richtige Anordnung
($C_r \geq 1,5 D$)

Falsche Anordnung
($C_r \leq 1,5 D$)



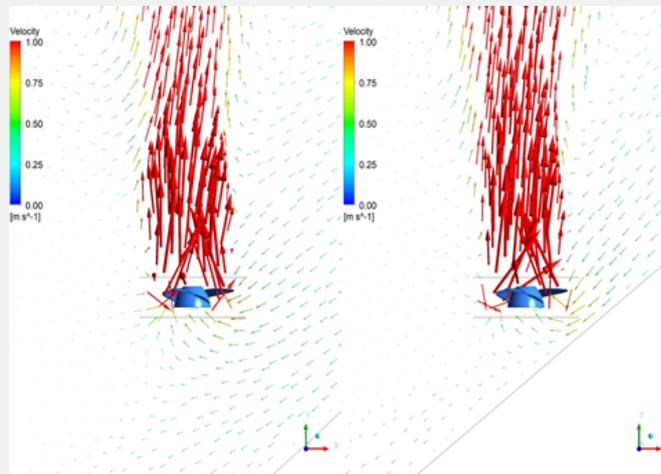
Richtige Anordnung
($C_r \geq 1,5 D$)

Falsche Anordnung
($C_r \leq 1,5 D$)

VERGLEICH DER STRÖMUNGSVERHÄLTNISS

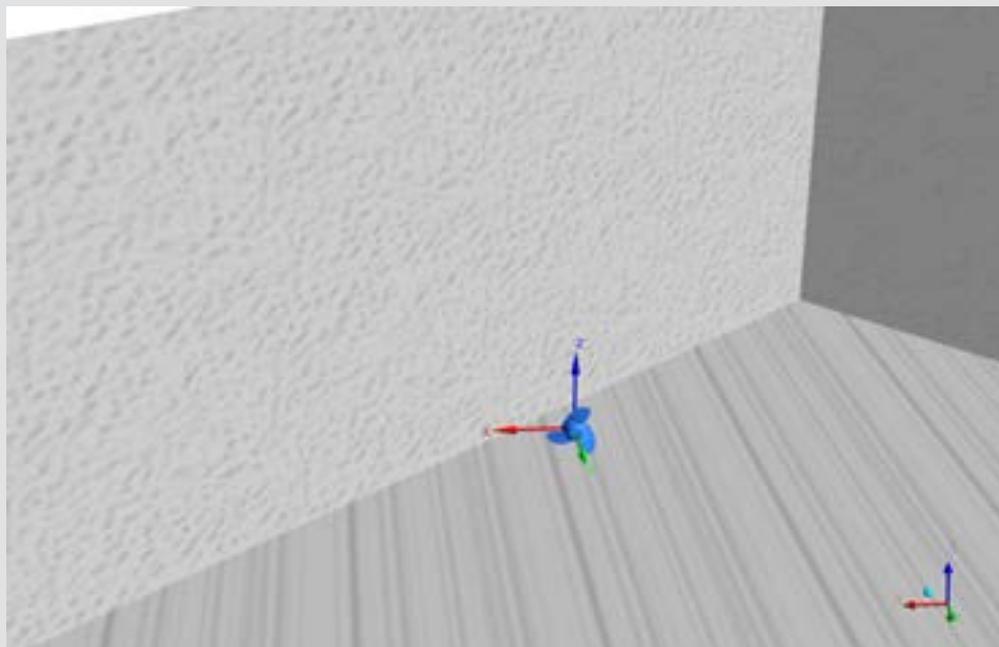
Richtige Anordnung
($C_r \geq 1,5 D$)

Falsche Anordnung
($C_r \leq 1,5 D$)

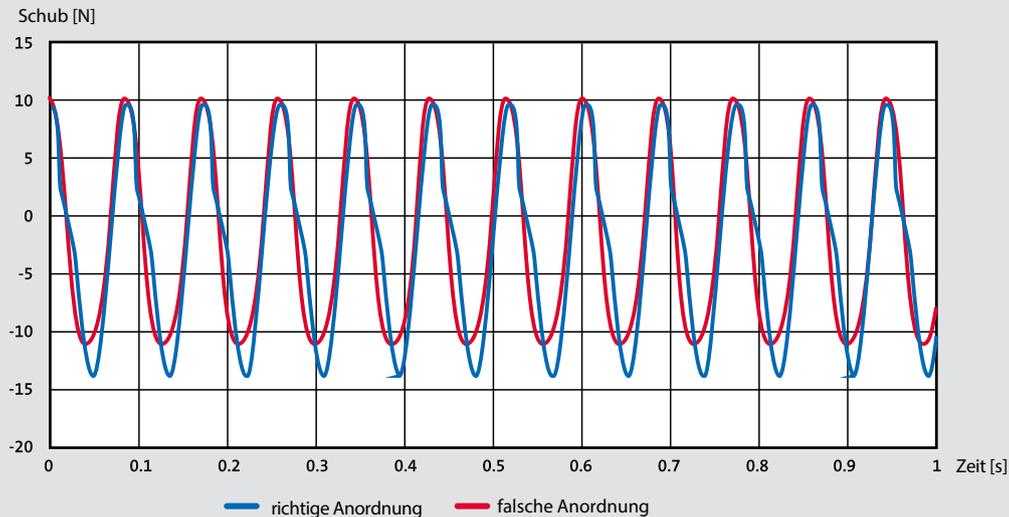


Richtige Anordnung
($C_r \geq 1,5 D$)

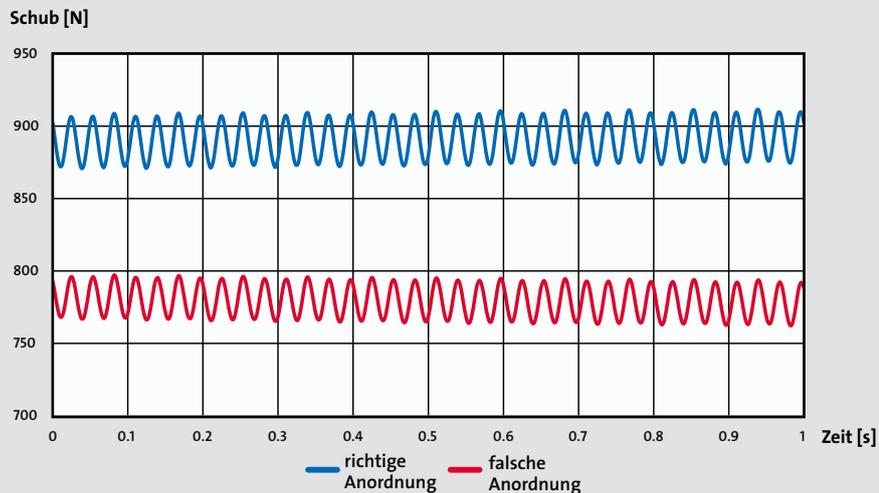
Falsche Anordnung
($C_r \leq 1,5 D$)

SCHUBÄNDERUNGEN

Kraft in Radialrichtung (X- und Z-Richtung)



Kraft in Axialrichtung (Y-Richtung)



Die Ergebnisse des CFD-Vergleichs zeigen, dass bei einer Anordnung des Rührwerks in einem Abstand zur Rückwand von $\leq 1,5 D$ der Einfluss der Radialkraft gering, der Einfluss der Axialkraft jedoch wegen des auf die Rückwand wirkenden Massenstroms groß ist. Dadurch wird die Rührwerksleistung negativ beeinflusst. Zudem können Schwingungen am Rührwerk und dem Montagezubehör auftreten.

MINDESTABSTAND ZU HINDERNISSEN

Gelegentlich können Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger ihren Strahl aufgrund von im Becken vorhandenen Hindernissen, wie z. B. Tragsäulen von überdachten Becken oder frühere Betonstrukturen, nicht vollständig ausbilden. Bei zu nah an Hindernissen angeordneten Tauchrührwerken kann eine gefährliche Rückströmung entstehen, durch die die Tauchrührwerke beschädigt werden können. Siehe Abb. 50 und 51.

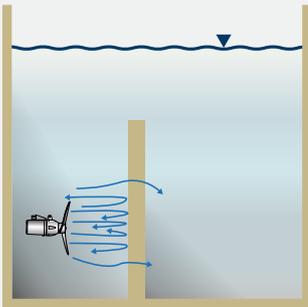


Abb. 50

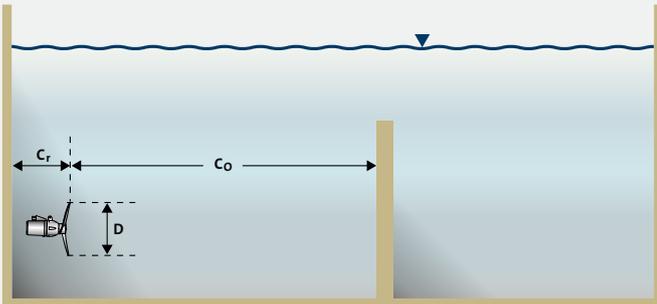


Abb. 51

Für eine vollständige Strahlausbildung muss der Abstand C_o vom Propeller des Tauchrührwerks oder Strömungsbeschleunigers zum Hindernis mindestens das 10-fache des Propellerdurchmessers betragen. Siehe Abb. 52.

$$C_o \geq 10 D$$

Abb. 52



NACH OBEN UND UNTEN AUSGERICHTETE RÜHRWERKE

In einigen Fällen muss das Tauchrührwerk nach unten oder oben gerichtet sein, um bestimmte Ziele zu erreichen.

Zum Beckenboden ausgerichtetes Rührwerk

Insbesondere bei tiefen Becken ist das Tauchrührwerk nach unten gerichtet anzuordnen. Ein Becken wird als tief angesehen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Rundbecken: Wassertiefe $h_w \geq$ Beckendurchmesser D
- Quadratisches Becken: Wassertiefe $h_w \geq$ Länge der Beckenseiten
- Rechteckbecken: Wassertiefe $h_w \geq$ Länge der längeren Beckenseiten
- Umlaufbecken: Wassertiefe $h_w >$ Kanalbreite

Das Ziel ist unter anderem:

- Beckenboden frei von Ablagerungen halten
- Schwebstoffe von der Wasseroberfläche abfangen.

Dazu muss das Rührwerk nach unten zum Beckenboden ausgerichtet werden. Die maximale vertikale Neigung sollte $\alpha = 30^\circ$ nicht übersteigen.

Der Mindestabstand h_{min} zwischen der Propellerspitze und dem Beckenboden sollte das 0,2- bis 0,3-fache von h_w betragen. Siehe Abb. 53.

$$0,20 h_w \leq h_{min} \leq 0,30 h_w$$

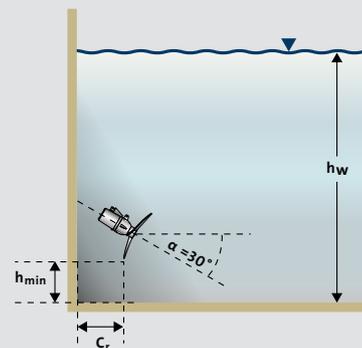


Abb. 53

Zur Wasseroberfläche ausgerichtetes Rührwerk

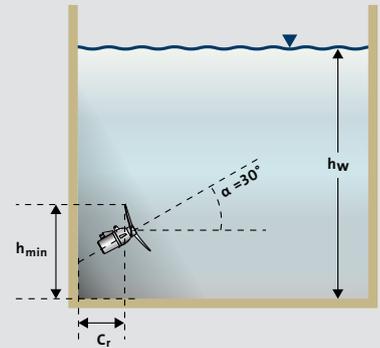
Soll durch das Mischen verhindert werden, dass sich Verkrustungen an den Beckenwänden bilden, muss das Rührwerk nach oben zeigend ausgerichtet werden. Dabei sollte der Neigungswinkel zur Wasseroberfläche maximal $\alpha = 30^\circ$ betragen.

Der Mindestabstand h_{min} zwischen der Propellerspitze und dem Beckenboden sollte das 0,3- bis 0,5-fache von h_w betragen. Siehe Abb. 54.

$\alpha \leq 30^\circ$

$0,30 h_w \leq h_{min} \leq 0,50 h_w$

Abb. 54



ANORDNUNG IN DER DRAUFSICHT

Die folgenden Richtlinien betreffen die richtige Anordnung von Tauchrührwerken und Strömungsbeschleunigern. Sie gelten für nicht belüftete und belüftete Becken gleichermaßen.

Quadratische Becken

Die Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger sind so anzuordnen, dass sie sich 0,3 mal der Beckenlänge S von den Ecken entfernt befinden. Die Mittellinie sollte entsprechend der Abb. 55, 56, 57 und 58 ausgerichtet sein.

Müssen mehrere Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger im Becken installiert werden, wenden Sie sich bitte an Grundfos, wenn Sie Unterstützung für eine optimale Anordnung benötigen.

1 installiertes Tauchrührwerk

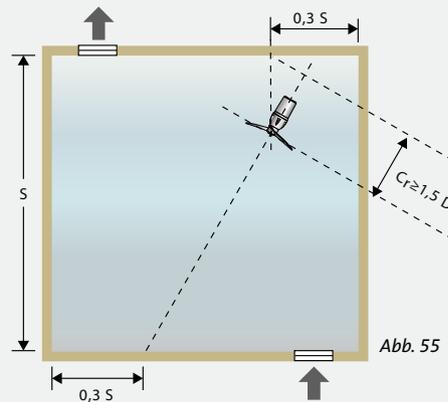


Abb. 55

1 installierter Strömungsbeschleuniger

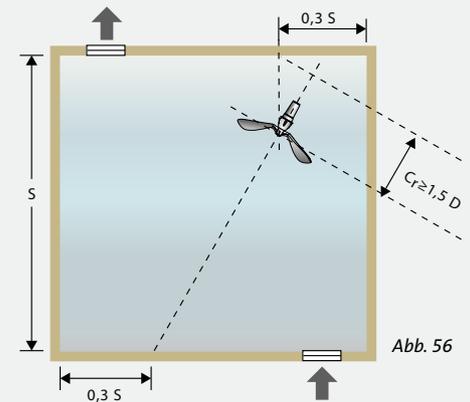


Abb. 56

2 installierte Tauchrührwerke

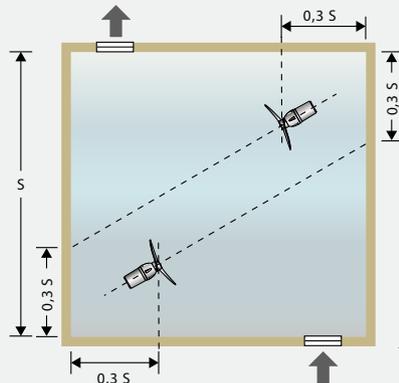


Abb. 57

2 installierte Strömungsbeschleuniger

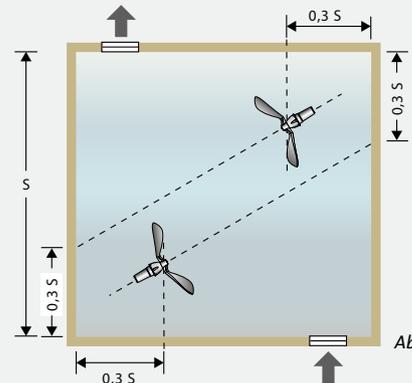


Abb. 58

Rechteckbecken

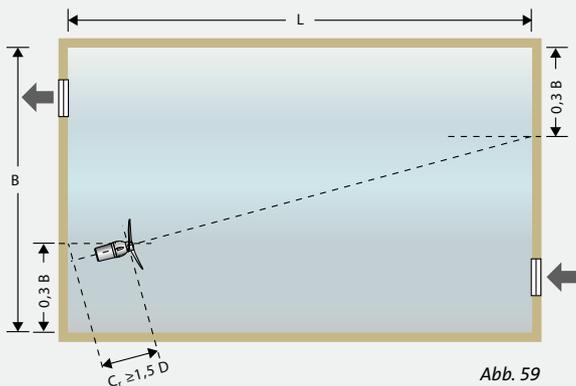
Bei Rechteckbecken ist das Längen-Breiten-Verhältnis der Seitenwände (**L** zu **B**) zu beachten. Außerdem ist zu überprüfen, ob ein oder zwei Mischaggregate installiert werden müssen.

$$1,5 < L/B \leq 2,5$$

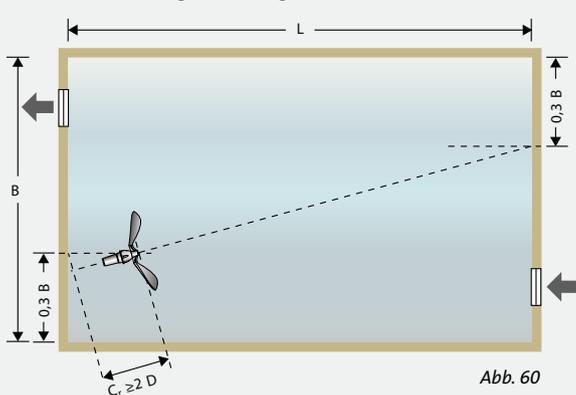
Ein im Becken installiertes Mischaggregat

Die Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger sind so anzuordnen, dass der Abstand zu den Ecken das 0,3-fache der Beckenbreite **B** beträgt. Die Mittellinie sollte entsprechend der Abb. 59 und 60 ausgerichtet sein.

1 installiertes Tauchrührwerk



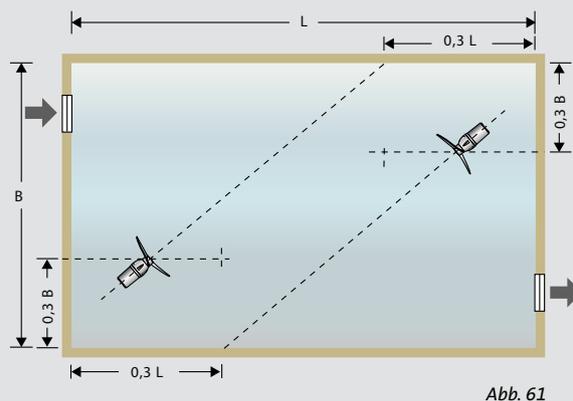
1 installierter Strömungsbeschleuniger



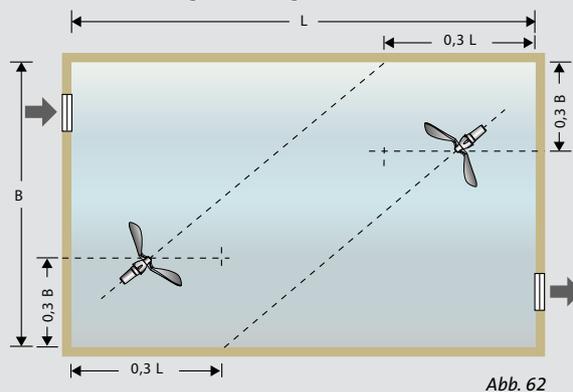
Zwei im Becken installierte Mischaggregate

Die Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger sind so anzuordnen, dass der Abstand zu den Ecken das 0,3-fache der Beckenbreite **B** beträgt. Die Mittellinie sollte wie in Abb. 61 und 62 dargestellt ausgerichtet sein.

2 installierte Tauchrührwerke



2 installierte Strömungsbeschleuniger



$1,0 < L/B \leq 2,0$

Ist das Rechteckbecken kompakter ausgeführt, d. h. das Längen-Breiten-Verhältnis ist $L/B \leq 2$, wird eine andere Anordnung des Tauchrührwerks oder Strömungsbeschleunigers entsprechend Abb. 63 und 64 empfohlen. Wie bereits früher erwähnt, müssen auch der Zu- und Ablauf des Beckens berücksichtigt werden.

Diese Anordnungsregel kann alternativ auch für quadratische Becken angewendet werden.

Müssen mehrere Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger im Becken installiert werden, wenden Sie sich bitte an Grundfos, wenn Sie Unterstützung für eine optimale Anordnung benötigen.

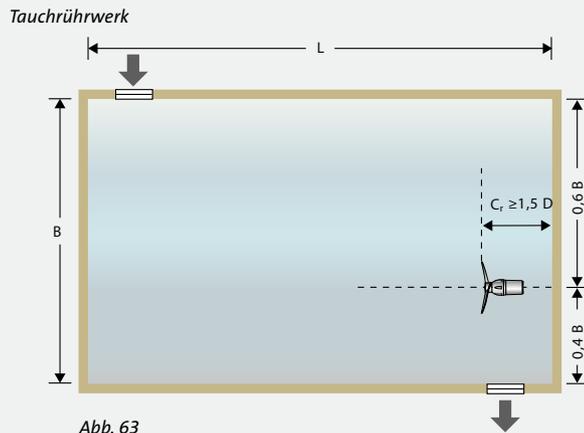


Abb. 63

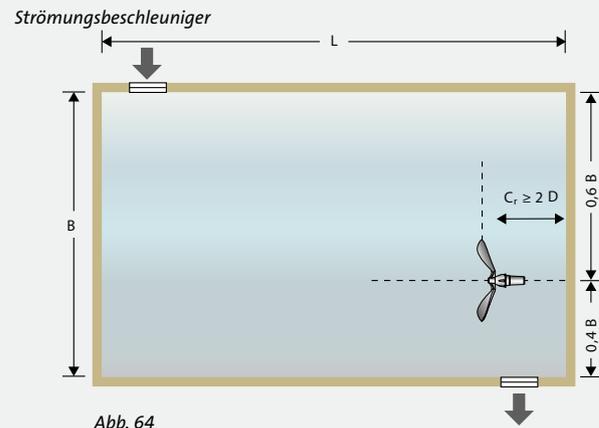


Abb. 64



$$2,5 < L/B \leq 3,0$$

Die Abb. 65 und 66 zeigen die empfohlene Anordnung der Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger, wenn sich das Längen-Breiten-Verhältnis L/B im oben aufgeführten Bereich befindet.

1 installiertes Tauchrührwerk

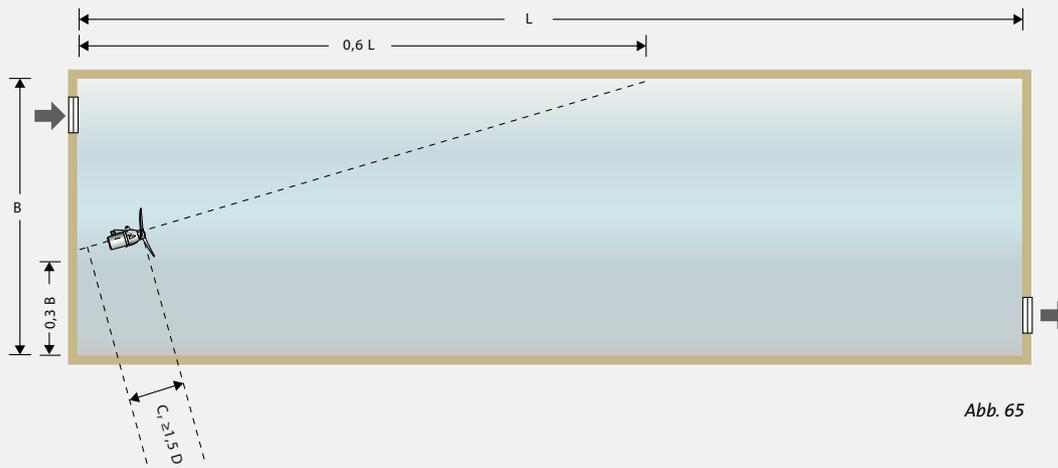


Abb. 65

1 installierter Strömungsbeschleuniger

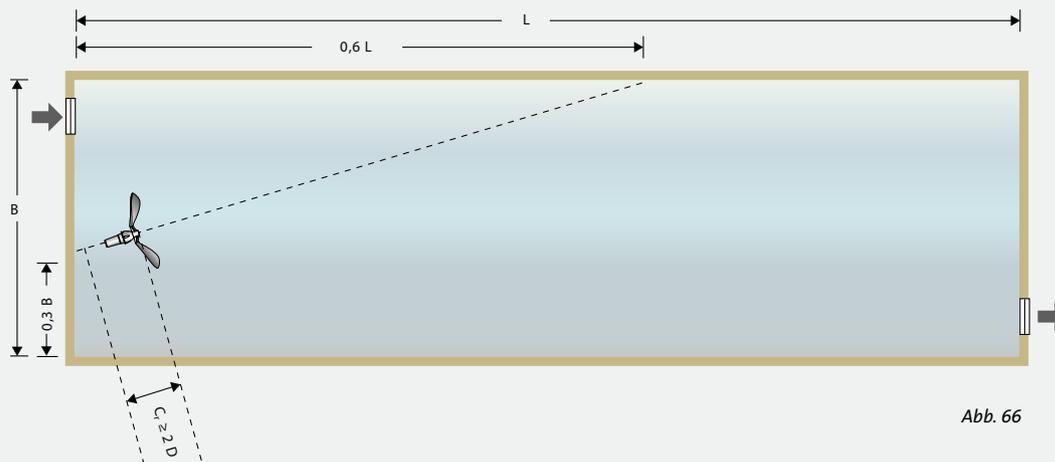


Abb. 66

$L/B \geq 3,0$

Ist das Längen-Breiten-Verhältnis $L/B \geq 3,0$ sind zusätzliche Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger zu installieren. Dabei wird eine Reihenschaltung empfohlen. Versuche und Erfahrungswerte haben ergeben, dass der Abstand zwischen zwei benachbarten Mischaggregaten mindestens das 2,5-fache der Beckenbreite **B** betragen sollte.

Bei *Tauchrührwerken* muss der Neigungswinkel zur Rückwand mindestens 15° betragen, um die durch den Mischstrahl hervorgerufenen Reibungsverluste an der Rückwand zu minimieren. Zudem ist ein Mindestabstand von $0,5 D$ von der Propellerspitze zur Seitenwand einzuhalten. Siehe Abb. 67.

Bei *Strömungsbeschleunigern* müssen Laufstege für den Zugang installiert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Abstand zwischen zwei benachbarten Mischaggregaten mindestens $5D$ betragen sollte. Zudem ist wie zuvor erwähnt ein Mindestabstand von $0,5 m$ von der Propellerspitze zur Seitenwand einzuhalten. Siehe Abb. 68.

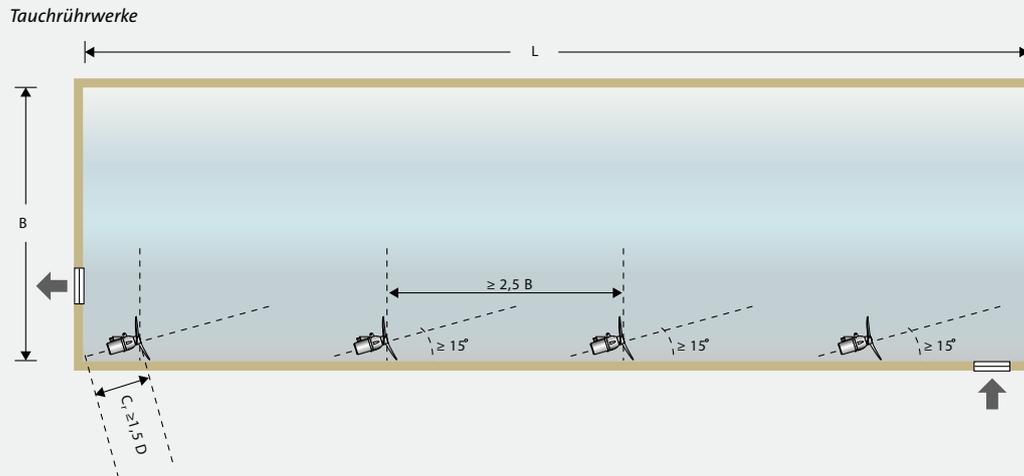


Abb. 67

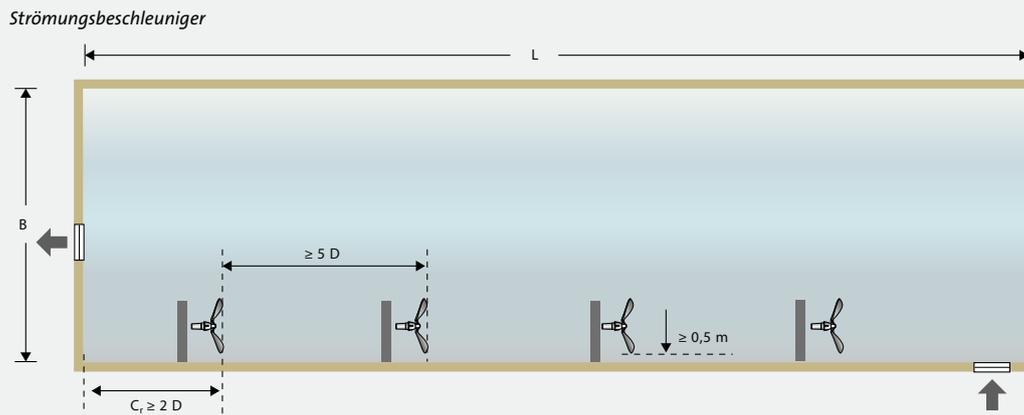


Abb. 68

Rundbecken

Ein im Becken installiertes Mischaggregat

Sowohl das Tauchrührwerk als auch der Strömungsbeschleuniger sind wie in Abb. 69 und 70 dargestellt in einem Winkel von $7,5^\circ$ rechts von der Beckenmitte zu installieren. Auf diese Weise ist der Strahl vollständig ausgebildet und die Strömungsgeschwindigkeit soweit wie möglich gleichmässig im erfassten Wasservolumen verteilt. Dies gilt jedoch nur, wenn ein entsprechender Abstand zur Rückwand und zum Beckenboden eingehalten und die Anordnung des Zu- und Ablaufs berücksichtigt wird.

Tauchrührwerk

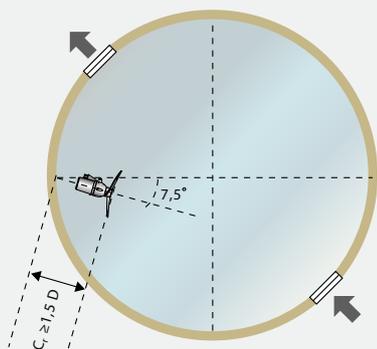


Abb. 69

Strömungsbeschleuniger

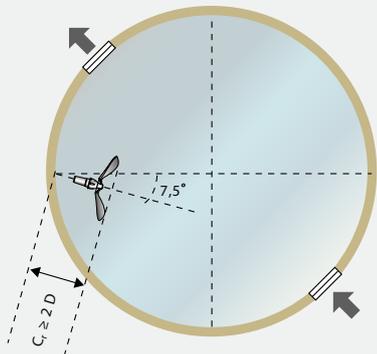


Abb. 70

Zwei im Becken installierte Mischaggregate

Es gelten dieselben Regeln wie für die Installation von einem Mischaggregat, jedoch beträgt der Winkel 15° . Auch wenn mehr als zwei Mischaggregate installiert sind, ist die Regel anzuwenden. Siehe Abb. 71 und 72.

Tauchrührwerke

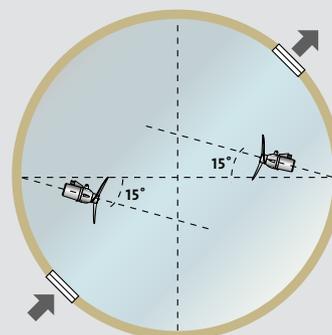


Abb. 71

Strömungsbeschleuniger

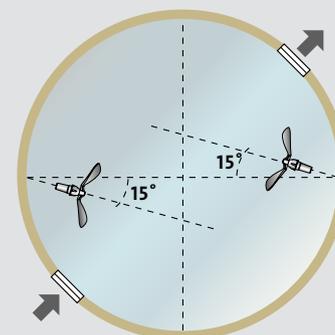


Abb. 72

Alternative Anordnung bei zwei installierten Tauchrührwerken

Erfordern die Beckengeometrie, die Anordnung des Zu- und Ablaufs, der Zugang zum Becken und andere Bedingungen, dass zwei Tauchrührwerke nebeneinander installiert werden müssen, ist das eine Tauchrührwerk in einem Winkel von $7,5^\circ$ auf der einen Seite des Beckens und das andere Tauchrührwerk 30° zur anderen Seite des Beckens geneigt zu installieren. Der Mindestabstand zwischen den Propellerspitzen sollte dem Propellerdurchmesser D entsprechen. Siehe Abb. 73.

Typische Anwendungen sind überdachte Becken mit nur einem Zugang oder z. B. offene Becken, die aufgrund bestimmter Gegebenheiten nur von einer Stelle aus zugänglich sind.

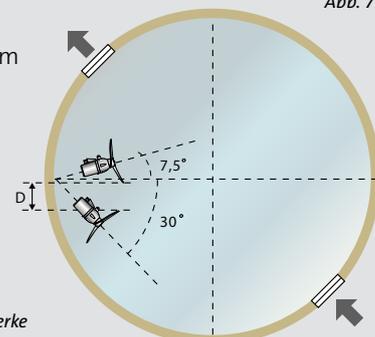


Abb. 73

Tauchrührwerke

Flüssigkeitsumwälzung in Rundbecken

Muss Flüssigkeit in einer bestimmten Art und Weise umgewälzt werden, kann das Tauchrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger wie nachfolgend beschrieben angeordnet werden.

Bei Flüssigkeiten mit hoher Viskosität oder hohem Feststoffgehalt wird nur ein geringer Homogenisierungsgrad erreicht, weil das gesamte Beckenvolumen in Rotation versetzt wird.

Bei Flüssigkeiten mit niedriger Viskosität oder geringem Feststoffgehalt können die nachfolgend beschriebenen Regeln angewendet werden. Es muss jedoch auf eine zentrale Wirbelbildung und die Ablagerung von Feststoffen in der Mitte des Beckenbodens geachtet werden.

Die Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger sind in einem Abstand s_w von mindestens 0,5 m und maximal 0,15 d von der Wand entfernt zu installieren, wobei d der Beckendurchmesser ist. Siehe Abb. 74 und 75.

Ist ein Laufsteg vorhanden, der entlang der Beckenmittellinie verläuft, ist ein Strömungsbeschleuniger 0,33 r entfernt und in einem Winkel von 30° zur Beckenmitte wie in Abb. 76 dargestellt anzuordnen, damit sich der Strahl vollständig ausbilden kann.

Der Propellerdurchmesser D darf nicht größer als 15 % des Beckendurchmessers d sein. Die Wassertiefe h_w , der Propellerdurchmesser D und die Anzahl der benötigten Rührwerke/Strömungsbeschleuniger haben Einfluss auf die Anordnung und Ausrichtung der Mischaggregate. Deshalb muss jeder einzelne Anwendungsfall sorgfältig betrachtet werden.

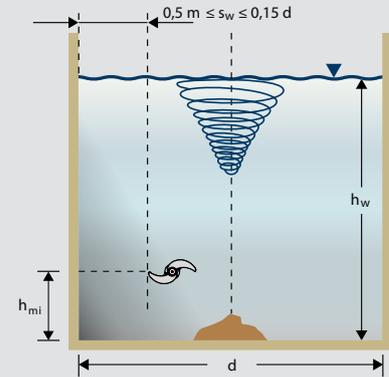


Abb. 74

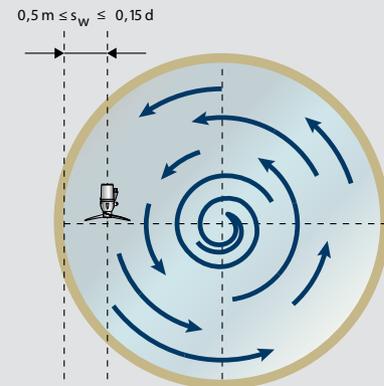


Abb. 75

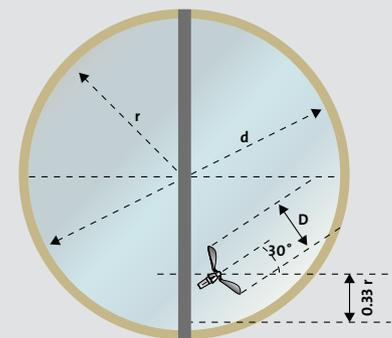


Abb. 76

Umlaufbecken**Allgemeines**

Zu den Umlaufbecken gehören prinzipiell die folgenden Beckenformen:

- a) Oxidationsgräben, siehe Abb. 77
- b) Serpentina Becken (auch als Karussellbecken bezeichnet), siehe Abb. 78
- c) Ringbecken (auch als ringförmiges Becken bezeichnet), siehe Abb. 79



Abb. 77

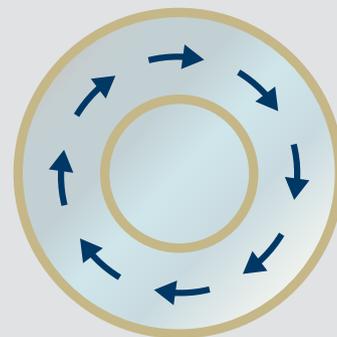


Abb. 79

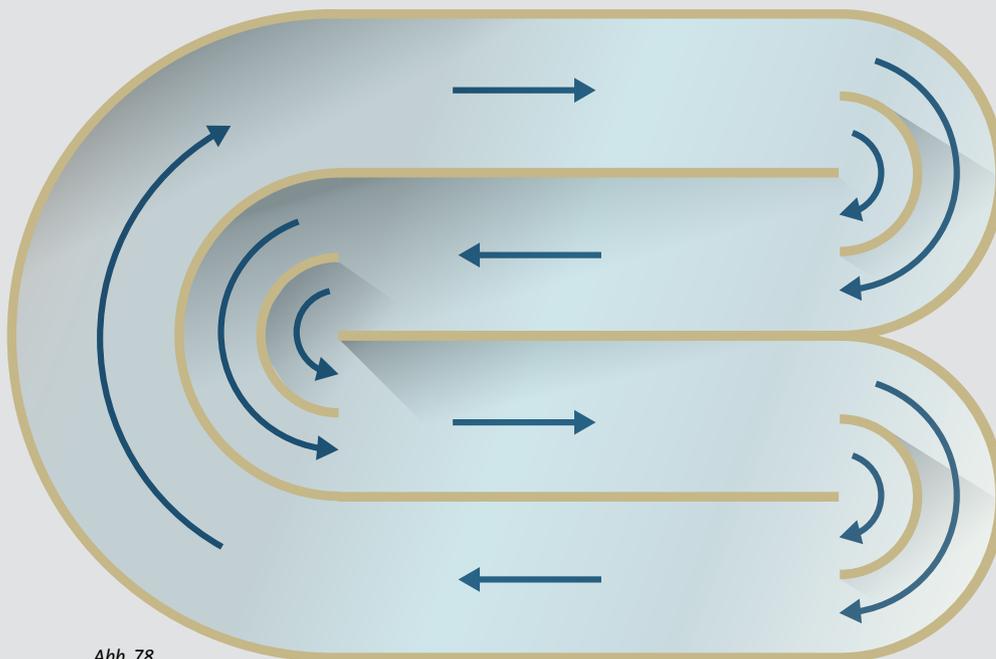


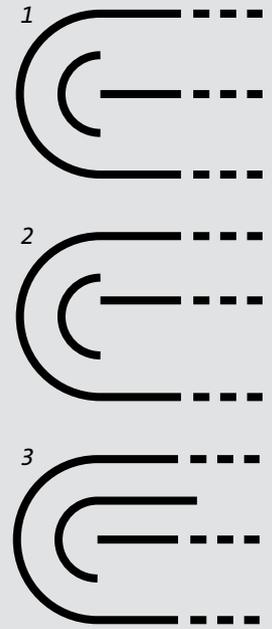
Abb. 78

Abhängig von den hydraulischen Bedingungen, die in den Beckenformen a) und b) herrschen, können die Leitwände unterschiedlich geformt sein, wie z. B. zentrisch (1), außermittig (2), einseitig verlängert (3), oder eine ganz andere Form aufweisen.

In Umlaufbecken werden in der Regel Strömungsbeschleuniger eingesetzt. Die vom Strömungsbeschleuniger erzeugte Strömungsgeschwindigkeit muss so groß sein, dass die Feststoffe in Schwebe gehalten und das gesamte Flüssigkeitsvolumen homogenisiert wird.

Im Gegensatz zu Mischbecken (quadratisch, rechteckig oder rund), wo die Rührwerke und Strömungsbeschleuniger eine Scherspannung erzeugen, um den Großteil der Flüssigkeit in Bewegung zu setzen, erzeugen die Strömungsbeschleuniger in Umlaufbecken eine horizontale Strömung, so dass die Flüssigkeit mit einer vorgegebenen mittleren Geschwindigkeit zirkuliert.

Was die Beckenformen a) und b) betrifft, sind die Abmessungen für die Leitwände L_c und die Kanalbreite B , sowie die Wassertiefe h_w (siehe Abb. 80) so zu wählen, dass ein Kompromiss zwischen den Zirkulationsanforderungen und der Anzahl der erforderlichen Strömungsbeschleuniger erreicht wird. Daraus ergibt sich die benötigte mittlere Strömungsgeschwindigkeit und eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung in jedem Querschnitt des Kanals.

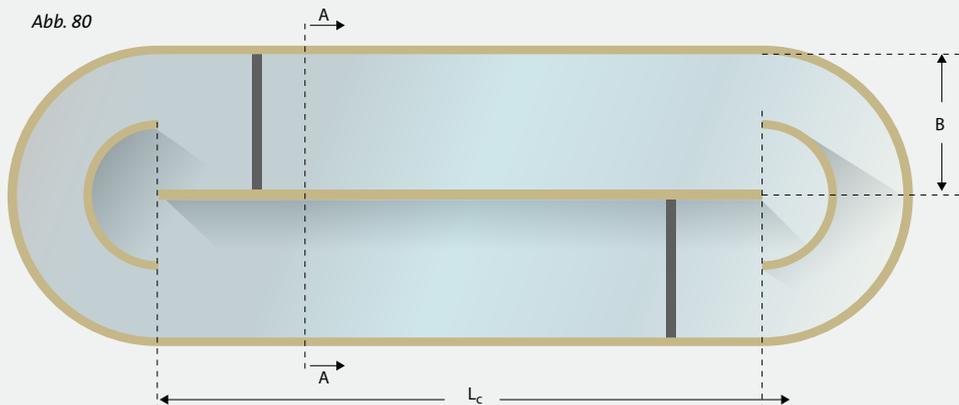


Optimale Abmessungen eines Oxidationsgrabens

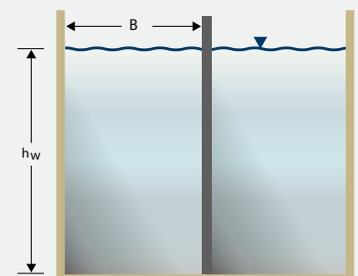
Für den Bau von Oxidationsgräben wird die Einhaltung der folgenden Maße empfohlen:

$$L_c \geq 5 B$$

$$0,8 h_w \leq B \leq 2 h_w$$



Schnitt A-A



In der Tabelle sind die zulässigen Beckenbreiten B für unterschiedliche Wassertiefen h_w aufgeführt.

h_w [m]	$0,8 h_w \leq B \leq 2 h_w$
2,0	$1,6 \text{ m} \leq B \leq 4,0 \text{ m}$
3,0	$2,4 \text{ m} \leq B \leq 6,0 \text{ m}$
4,0	$3,2 \text{ m} \leq B \leq 8,0 \text{ m}$
5,0	$4,0 \text{ m} \leq B \leq 10,0 \text{ m}$
6,0	$4,8 \text{ m} \leq B \leq 12,0 \text{ m}$
7,0	$5,6 \text{ m} \leq B \leq 14,0 \text{ m}$

Die als optimal angesehenen geometrischen Abmessungen in der Tabelle gelten auch für Serpentinbecken.

Optimale Abmessungen eines Ringbeckens

Bei Ringbecken (Beckenform c) sind die bestimmenden Abmessungen die Kanalbreite B , der Innendurchmesser D_i und die Wassertiefe h_w . Siehe Abb. 81.

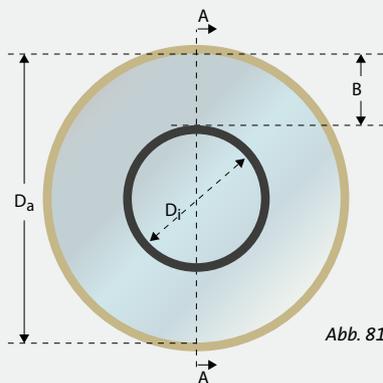
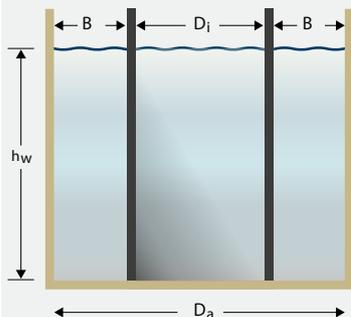


Abb. 81

Querschnitt A-A



$$B \geq D_i$$

$$0,8 h_w \leq B \leq 2 h_w$$

Anordnung in Oxidationsgräben und Serpentinbecken

Um Schäden an den Strömungsbeschleunigern zu vermeiden, sind diese so anzuordnen, dass die Strömungsgeschwindigkeit im rückwärtigem Zuführstrom möglichst gleichmäßig verteilt ist. Werden Strömungsbeschleuniger ganz in der Nähe der Beckenbiegungen an den vorgesehenen Laufstegen installiert, besteht die Gefahr, dass zunächst Bauteile des Mischaggregats, wie z. B. die Propellernabe und die Lager, und danach die gesamte Befestigungseinrichtung beschädigt werden, weil die Strömungsgeschwindigkeit in den Biegungen ungleichmäßig verteilt ist. Dadurch entstehen am Ende der Biegung Torsionskräfte, die den Propeller verdrehen. Siehe Abb. 82 und 83.

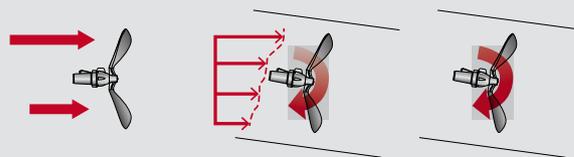


Abb. 82

Das Biegemoment kann folgende Auswirkungen haben:

- Pulsierende Schwellbelastung an den Propellerflügeln
- Ermüdungsbeanspruchung an der Propellernabe
- Spannungsübertragung auf die Getriebelager
- Schwingungen an den Befestigungselementen (Führungsschiene und Hebevorrichtung) mit fortschreitenden Ermüdungsbrüchen an Halterungen.

Rückwärtsgerichteter Abstand

Eine wichtige Anforderung an die Anordnung ist der Abstand zwischen der Rückseite des Propellers bis zum Ende der Biegung. Basierend auf jahrzehntelanger Erfahrung und auf Schadensanalysen sollte der rückwärtige Abstand C entweder mindestens der Kanalbreite B oder der Wassertiefe h_w entsprechen, je nachdem welcher Wert größer ist. Wie in Abb. 84 dargestellt gilt somit: $C \geq B$ oder h_w .

Zudem dürfen die Strömungsbeschleuniger nicht zu nah an den Einlaufquerschnitten der Biegung angeordnet werden, weil durch die Biegung und die Leitwände starke Verwirbelungen und Rückströme an den Propellern entstehen können.

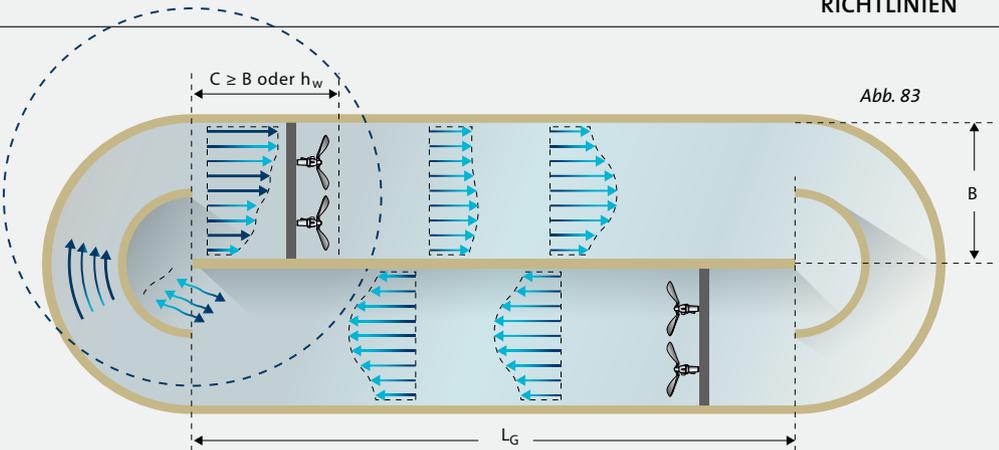


Abb. 83

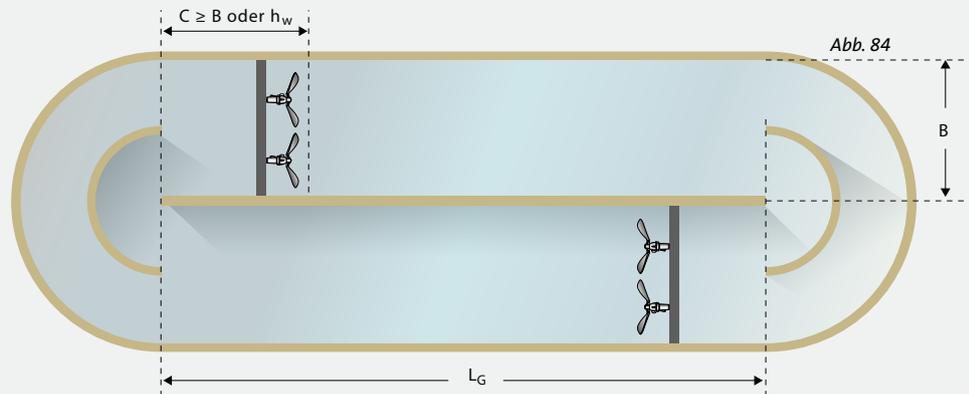


Abb. 84

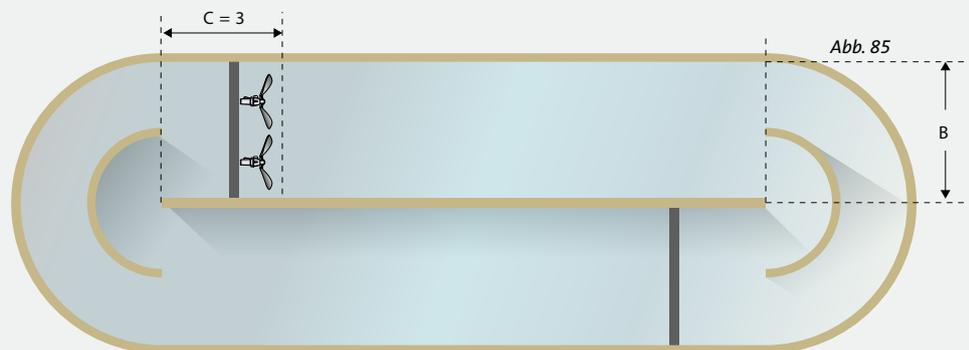


Abb. 85

Die folgende computergestützte Strömungssimulation bestätigt die Gültigkeit der Richtwerte für den Mindestabstand $C \geq W$ oder h_w zwischen dem Propeller eines Strömungsbeschleunigers und der rüchwärtigen Biegung eines Oxidationsgrabens. Der Simulation liegen folgende Daten eines Oxidationsgrabens zugrunde:

Grabenlänge L_G	87,7 m
Kanalbreite B	6,5 m
Wasserstand h_w	5,5 m
Wandhöhe	6,0 m
Abwasserzufluss	539 m ³ /h
Erforderliche Strömungsgeschwindigkeit	0,3 m/s
Trockensubstanzgehalt	0,5 %

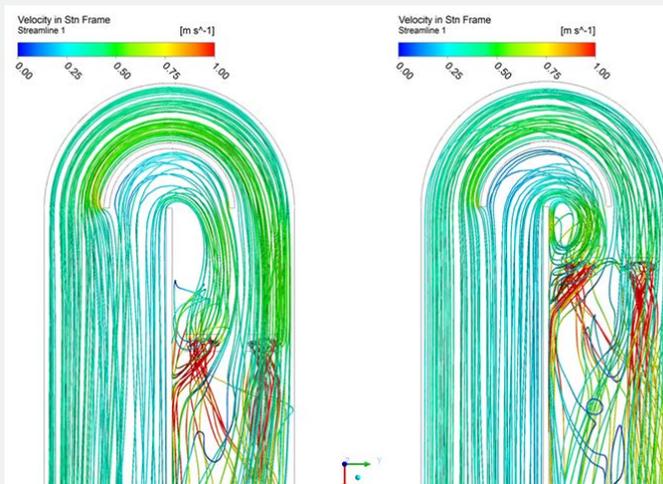
Kein Belüftungssystem installiert.

Erforderl. Schub (inkl. 5 % Sicherheit)	4257 N
Ausgewählte Strömungsbeschl.	2 x AFG.37.180.46
Erzeugter Gesamtschub	5224 N

Anordnung des Propellers rüchwärtsgerichtet zur Biegung:	
Richtiger Mindestabstand	6,5 m
Falscher Abstand	3,0 m (siehe Abb. 85)

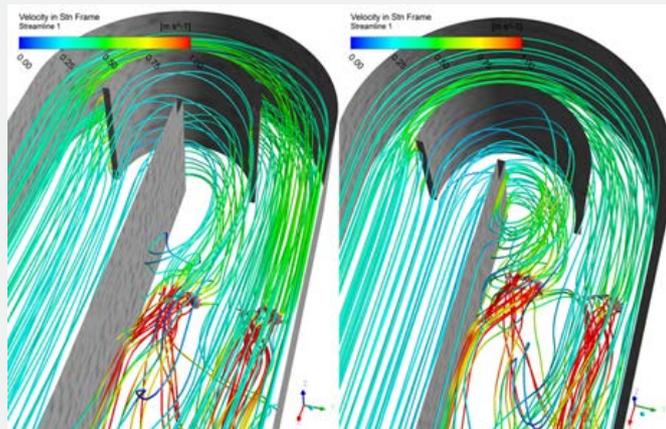
Ergebnisse der CFD-Simulation:

VERGLEICH DER STRÖMUNGSVERHÄLTNISS



Richtige Anordnung

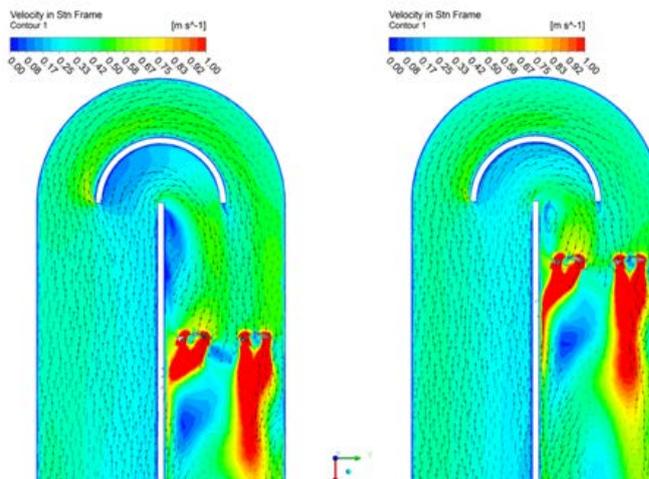
Falsche Anordnung



Richtige Anordnung

Falsche Anordnung

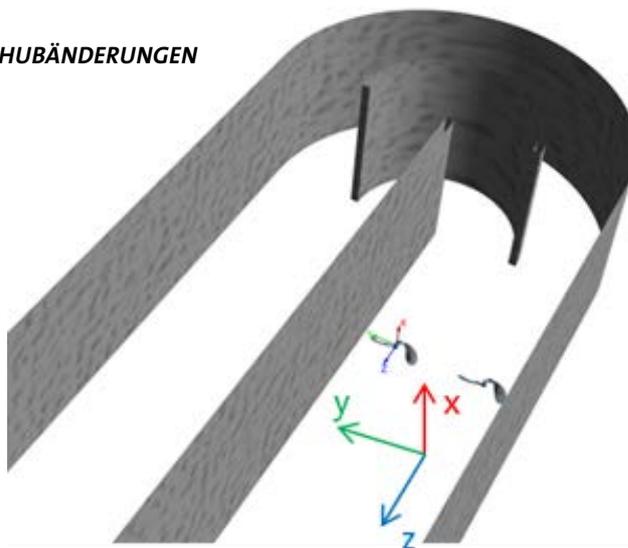
VERGLEICH DER GESCHWINDIGKEITSGRAFIKEN



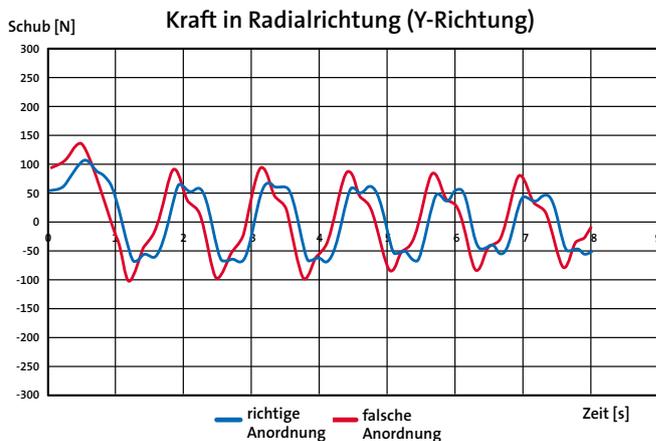
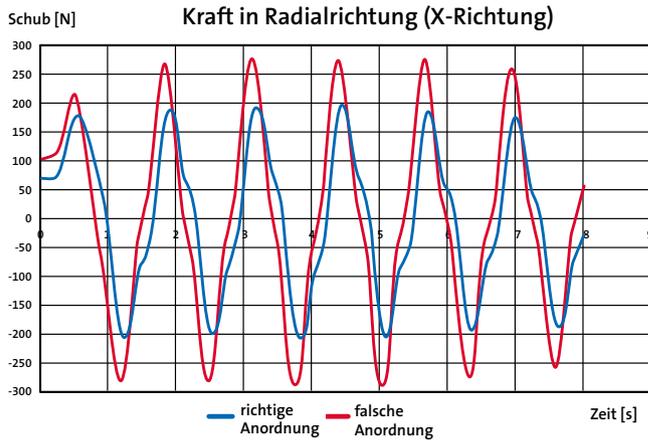
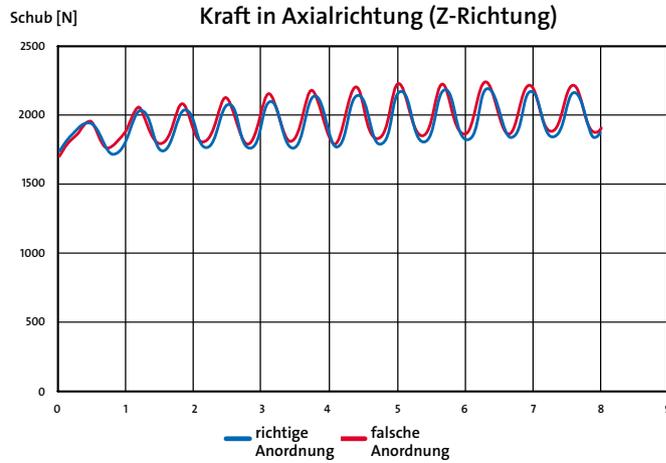
Richtige Anordnung

Falsche Anordnung

SCHUBÄNDERUNGEN



**GRUNDFOS NUTZT CFD-SIMULATIONEN ZUR ANALYSE DER AUSRÜSTUNG
IN DEN VERSCHIEDENEN PROZESSEN DER ABWASSERBEHANDLUNG IN KLÄRWERKEN**



Ein Vergleich der CFD-Ergebnisse zeigt deutlich, dass bei einer falschen Anordnung der Strömungsbeschleuniger, d. h. zu geringer rückwärtiger Abstand zur Biegung, Schäden durch eine ungleichmäßige Strömung auftreten können. Bei richtiger Anordnung hingegen wird die Gefahr, dass Schäden auftreten, wegen der nahezu ausgeglichenen Strömung minimiert. Außerdem liefern die Strömungsbeschleuniger eine höhere Leistung.

Die Diagramme auf der linken Seite zeigen die Schubschwankungen in axialer (Z-)Richtung und radialer (X-, Y-)Richtung für richtig und falsch angeordnete Strömungsbeschleuniger. Bei zu geringem rückwärtigem Abstand zur Biegung sind die Schwankungen höher (rote Linien). Dadurch können schwerwiegende Schäden am Strömungsbeschleuniger und der Befestigungsausrüstung entstehen. Zudem ist eine erhebliche und fortschreitende Leistungsabnahme zu verzeichnen.



Vorwärtsgerichteter Abstand zur Biegung

Der Abstand D_G sollte mindestens das Doppelte der Grabenbreite B betragen. Siehe Abb. 86.

Optimale Anordnung

Wenn möglich sollten die Strömungsbeschleuniger bezogen auf die Länge in der Mitte des Grabens L_G , d. h. bei $D_G = 0,5 L_G$ angeordnet werden. Siehe Abb. 87.

Dann ist der vom Propeller erzeugte Strahl vollständig ausgebildet und die horizontale Strömung weist nur geringe Verwirbelungen auf.

In Reihe geschaltete Strömungsbeschleuniger

Werden die Strömungsbeschleuniger in Reihe im Graben angeordnet, muss der Abstand D_s zwischen den Propellern mindestens $5 D$ betragen, wobei D der Propellerdurchmesser ist. Siehe Abb. 88.

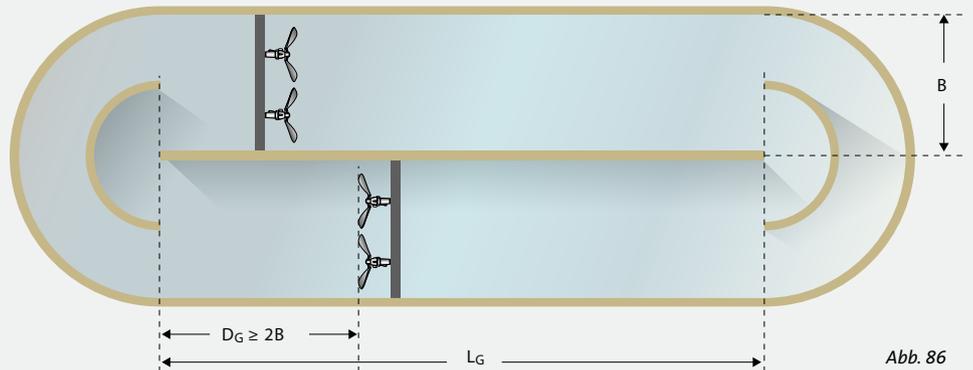


Abb. 86

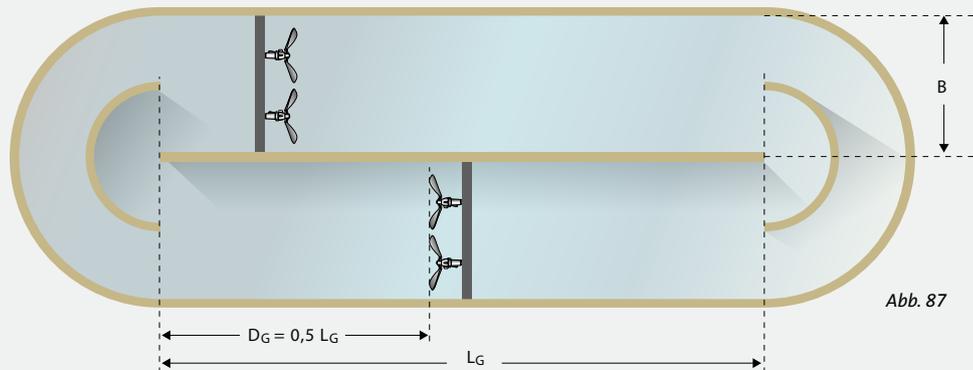


Abb. 87

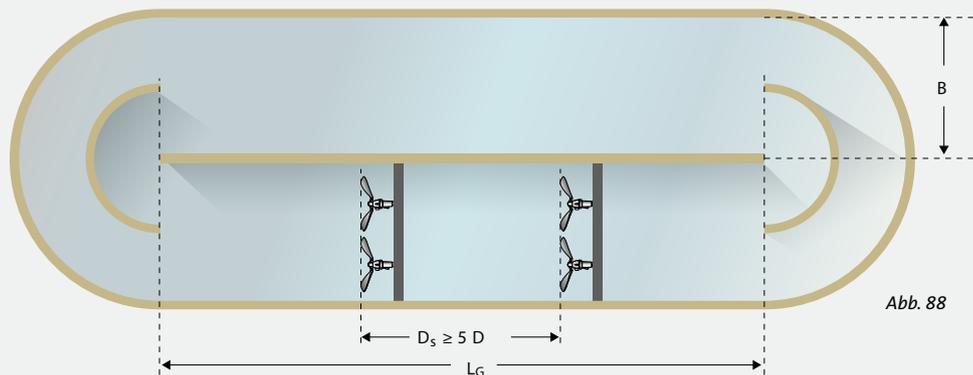


Abb. 88

Rechteckige Oxidationsgräben

Alle vorherigen Regeln und Empfehlungen gelten für Oxidationsgräben und Serpentinebecken. Auch die in Abb. 89 dargestellten rechteckigen Oxidationsgräben sind mit eingeschlossen.

Spezielle Anordnung in rechteckigen Oxidationsgräben

Trotz der hohen hydraulischen Verluste an den Beckenenden werden die Umlaufbecken manchmal rechteckig mit nur einer horizontalen Leitwand ausgeführt.

Das Fehlen von gekrümmten Leitwänden führt zu einer Mindestanforderung hinsichtlich der freien horizontalen Länge L_1 vor dem Propeller. Sie lautet $L_1 \geq 12 D$, wobei D der Propellerdurchmesser ist. Siehe Abb. 90.

Wird dieser Abstand nicht eingehalten, kann am Ende des Grabens eine erhebliche Rückströmung erzeugt werden, so dass ein Großteil der kinetischen Energie vergeudet und nicht für die Erzeugung einer horizontalen Strömung genutzt wird.

Der erforderliche rückwärtige Abstand C zum Propeller sowie die empfohlene Länge der horizontalen Leitwände L_k und die Breite B des Oxidationsgrabens entsprechen den zuvor gemachten Aussagen zu Oxidationsgräben.

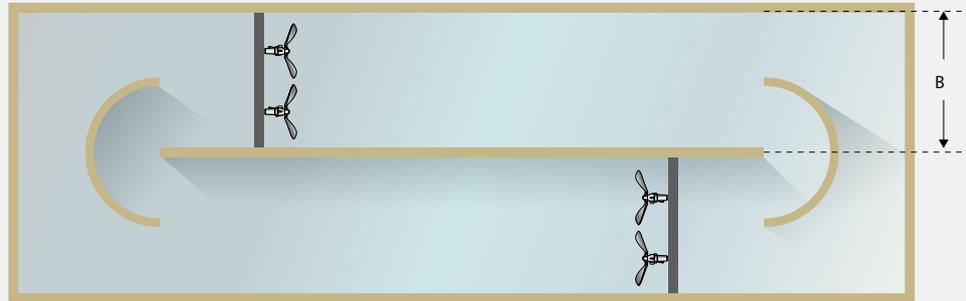


Abb. 89

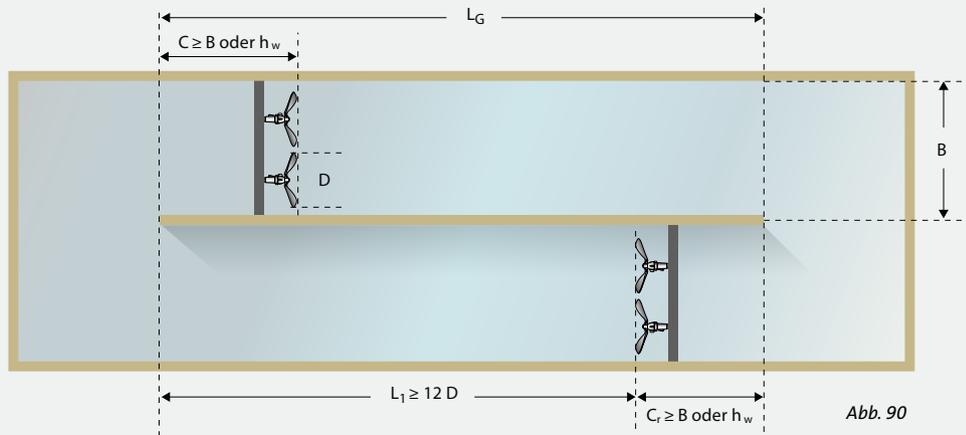


Abb. 90



Abstand benachbarter Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger in Umlaufbecken

Prinzipiell können in Umlaufbecken sowohl Tauchrührwerke als auch Strömungsbeschleuniger installiert werden. Der sehr geringe Stromverbrauch, die sanfte Strömungserzeugung in horizontaler Richtung, der hohe Volumenstrom sowie der Schub sprechen jedoch für den Einsatz von Strömungsbeschleunigern.

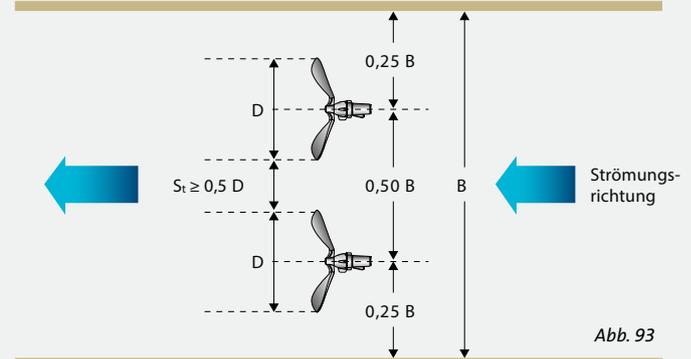
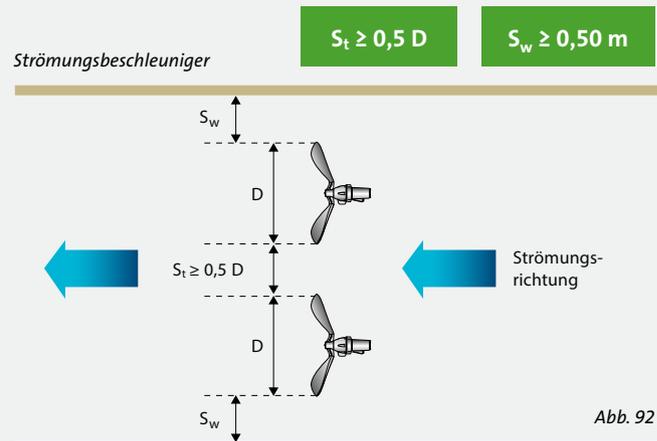
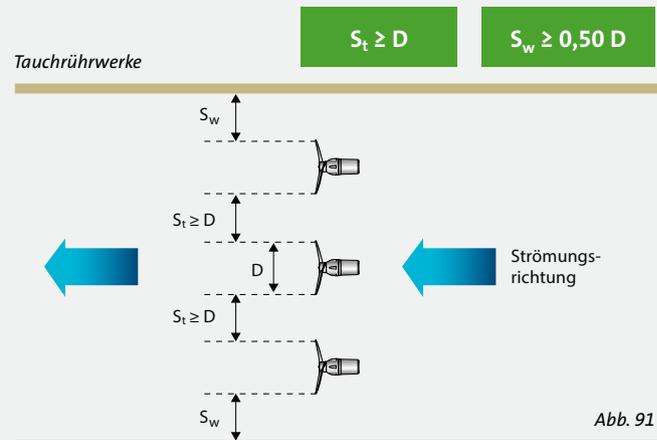
Entsprechend Abb. 91 und 92 sind die Mindestabstände S_t zwischen den einzelnen Propellerspitzen und der zuvor angesprochene Mindestabstand S_w zu den Seitenwänden einzuhalten, um Verwirbelungen, Hydraulikverluste und Vibrationen durch lokale Rückströmungen sowie andere Auswirkungen zu vermeiden.

Reicht die Grabenbreite aus, um den Mindestabstand zu den benachbarten Mischaggregaten einhalten zu können, werden Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger in der Regel gleichmäßig verteilt.

In Abb. 93 z. B. beträgt der Abstand zwischen den Mittellinien der Strömungsbeschleuniger 50 % der Grabenbreite und der Abstand zu den Wänden 25 % der Grabenbreite.

Durch die Einhaltung der Regeln wird vermieden, dass die von den sich drehenden Propellern und den Befestigungselementen abgedeckte Fläche eine Barriere für den von hinten ankommenden Zustrom bildet, so dass eine große Druckdifferenz vor und hinter dem Propeller entsteht, die zu einer turbulenten, ungleichmäßigen Strömung führt.

WEGEN DES GERINGEN STROMVERBRAUCHS, DES HOHEN VOLUMENSTROMS UND SCHUBS SOWIE DER HOHEN SPEZIFISCHEN SCHUBLEISTUNGSZIFFER R_{FP} WERDEN STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER BEVORZUGT EINGESETZT.



Anordnung in Ringbecken

Ringbecken sind dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungsgeschwindigkeiten an den Innenwänden und den Außenwänden in jeder Querschnittsebene erheblich voneinander abweichen. Siehe Abb. 94.

Um die Auswirkungen einer ungleichmäßigen Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit gering zu halten, ist der richtige Neigungswinkel in der Draufsicht wichtig, wenn z. B. ein einziger Strömungsbeschleuniger installiert wird.

Andererseits – und speziell wenn mehrere Strömungsbeschleuniger installiert sind – kann der Antrieb über einen Frequenzumrichter helfen, die dynamischen Verhältnisse auszugleichen. Ist die Drehzahl des innen und außen installierten Strömungsbeschleunigers bei gleicher Propellergeometrie unterschiedlich werden unterschiedliche Schubwerte und damit eine gleichmäßigere Strömung erreicht.

Ein installierter Strömungsbeschleuniger

Der Strömungsbeschleuniger ist in der Mitte des Beckens, d. h. $0,5B$ von den Innenwänden entfernt, in einem Winkel von $7,5^\circ$ bis $22,5^\circ$ zur Beckenmitte entsprechend Abb. 95 zu installieren. Dadurch wird der vom Strömungsbeschleuniger erzeugte Strahl vollständig ausgebildet.

Mehrere installierte Strömungsbeschleuniger

Werden mehrere Strömungsbeschleuniger installiert, ist die richtige Anordnung abhängig von der Beckenbreite, der Anzahl der Mischaggregate, dem Beckenradius und der Abwassertiefe jeweils im Einzelfall abzuklären. Abb. 96 zeigt ein Beispiel für die allgemeinen Anordnungsregeln, wenn zwei Strömungsbeschleuniger in derselben Querschnittsebene installiert sind. Dabei sind auch die Abstände zu den Seitenwänden S_w und zwischen den Propellerspitzen S_t zu beachten.

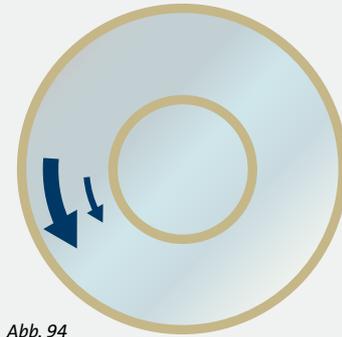


Abb. 94

1 installierter Strömungsbeschleuniger

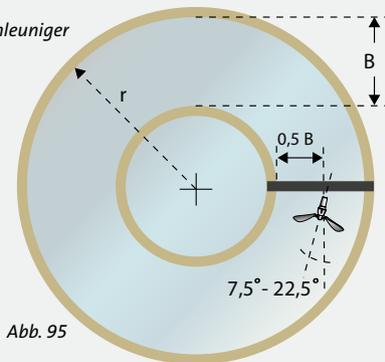


Abb. 95

Mehrere installierte Strömungsbeschleuniger

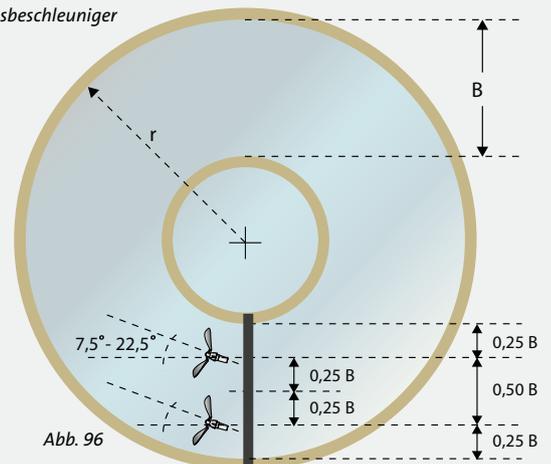


Abb. 96

Allgemeine Regeln zur Anordnung in belüfteten Becken

ALLGEMEINES

Häufig werden Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger für den Einsatz in belüfteten Becken angefragt, um die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Prozessschritte erfüllen zu können, die durch eine ein- oder ausgeschaltete Belüftung gekennzeichnet sind.

Dabei ist Folgendes zu beachten:

- In quadratischen Becken, Rechteckbecken oder Rundbecken, in denen abwechselnd ein Denitrifikations-/Nitrifikationsprozess stattfindet und am Boden ein Belüftersystem mit Tellerbelüftern, Rohrbelüftern, Plattenbelüftern oder klingenförmigen Belüftern installiert ist, laufen die Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger während der Denitrifikationsphase, um die Biomasse in Schwebelage zu halten und den Zufluss zu homogenisieren. Neben den Prozesszielen muss in diesem Fall die richtige Anordnung der Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger in der Draufsicht und in der Vertikalansicht berücksichtigt werden, um Schäden am Belüftersystem und den Mischaggregaten zu vermeiden.

- In Umlaufbecken, in denen nur Oxidations-/Nitrifikationsprozesse oder Denitrifikations-/Nitrifikationsprozesse stattfinden und teilweise ein Belüftersystem am Boden installiert ist, werden Strömungsbeschleuniger in der Regel eingesetzt, um eine horizontale Strömung zu erzeugen und bei ein- oder abgeschalteter Belüftung die Biomasse in Schwebelage zu halten.

Bei richtiger Anordnung der Strömungsbeschleuniger in der Draufsicht werden Schäden am Belüftersystem und am Propeller und anderen Bauteilen des Mischaggregats vermieden, die durch eine beständige Rückströmung durch die vom Boden aufsteigende Luftbarriere verursacht werden können.

Werden Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger in Becken mit Belüftersystem installiert, ist eine enge Zusammenarbeit mit dem Kunden (Planer, Errichter, Betreiber) erforderlich, um den Kunden rechtzeitig über die Grundfos Vorgaben, die für den Einsatz der Mischaggregate gelten, zu informieren. Werden die Regeln nicht beachtet, haftet Grundfos nicht für Schäden am Mischaggregat und kann nicht für eine Reduzierung der Sauerstoffanreicherung verantwortlich gemacht werden.



**SENKRECHTE ANORDNUNG
VON TAUCHRÜHRWERKEN UND
STRÖMUNGSBESCHLEUNIGERN**

**Tauchrührwerke in quadratischen Becken,
Rechteckbecken oder Rundbecken mit voll-
flächigem Belüftersystem**

Finden Prozesse, wie z. B. die Denitrifikation/
Nitrifikation abwechselnd in quadratischen
Becken, Rechteckbecken oder Rundbecken
statt, muss der vertikale Abstand h_D zwischen
der Propellerspitze des Tauchrührwerks
und der Teller-, Rohrbelüfteroberfläche oder
der Oberfläche eines anderen Belüfters
mindestens $2,5 D$ betragen.

Es wird empfohlen, die Tauchrührwerke in
einem Winkel von mindestens 5° nach oben
zur Wasseroberfläche gerichtet zu installie-
ren, um Schäden am Belüftersystem zu ver-
meiden. Siehe Abb. 97, 98 und 99.

Der Neigungswinkel ist bei der Installation
des Tauchrührwerks aus Sicherheitsgründen
vorzusehen, um die einzelnen Komponenten
des Belüftersystems vor Beschädigungen zu
schützen. Werden durch den Strahlwinkel
während des Denitrifikationsprozesses
jedoch erhebliche Verwirbelungen an der
Wasseroberfläche erzeugt, kann der Winkel
auf 0° reduziert werden.

$h_d \geq 2,5 \times D$

Abb. 97

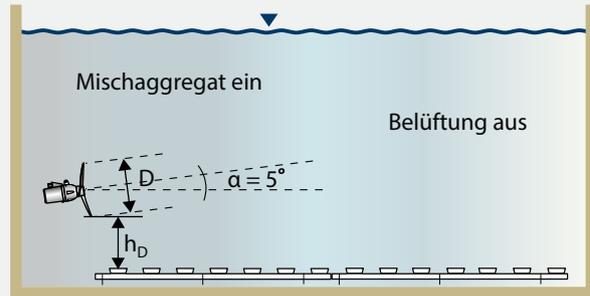


Abb. 98

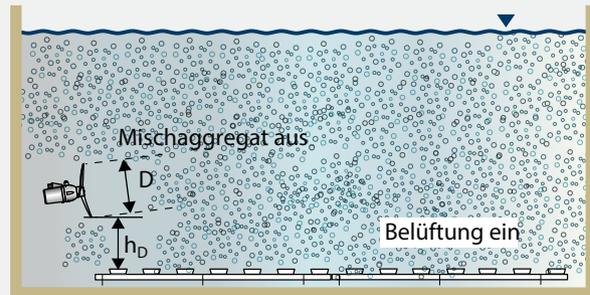
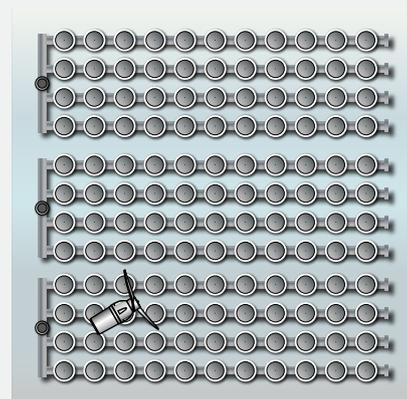


Abb. 99



Muss das Tauchrührwerk wegen spezieller Kunden- bzw. Planungsanforderungen oder aus einem anderen Grund mit einem vertikalem Abstand von weniger als $h_D < 2,5 \times D$ vom Belüftersystem installiert werden, ist ein belüfterfreier Bereich vor und um das Tauchrührwerk herum vorzusehen, um Schäden am Belüftersystem zu vermeiden, ohne den Durchmischungsgrad zu beeinträchtigen. Siehe Abb. 100.

Die Größe der belüfterfreien Zone ergibt sich aus dem Abstand vor dem Propeller C_D und dem Maß L_1 und L_2 . Siehe Abb. 102.

Die tatsächlichen Abmessungen sind mit dem Planer des Belüftersystems abzustimmen. Dabei ist die Gestaltung des Beckens und des Belüfternetzes sowie der vom Strömungsbeschleuniger erzeugte Schub zu berücksichtigen.

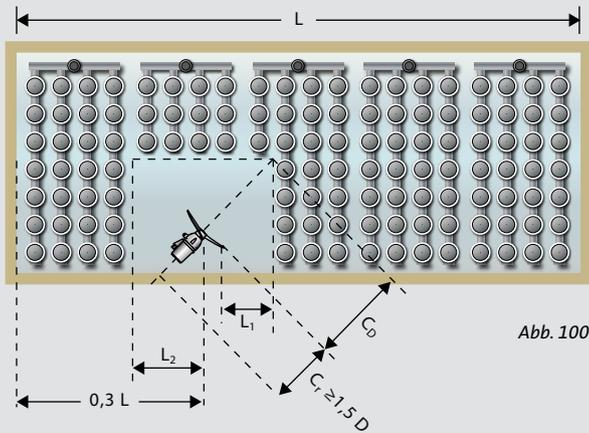


Abb. 100

Strömungsbeschleuniger in quadratischen Becken, Rechteckbecken oder Rundbecken mit vollflächigem Belüftersystem

Werden Strömungsbeschleuniger in quadratischen Becken, Rechteckbecken oder Rundbecken installiert, in denen Prozesse abwechselnd stattfinden, muss der Mindestabstand $h_D \geq 0,5 \times D$ zwischen der Propellerspitze und der Tellerbelüfter eingehalten werden. Siehe Abb. 101.

$$h_D \geq 0,5 \times D$$

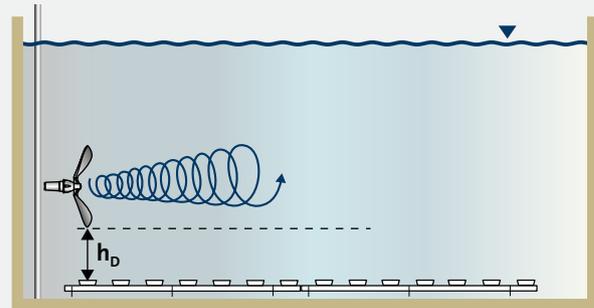


Abb. 101

Müssen die Strömungsbeschleuniger stattdessen mit dem zuvor erwähnten Mindestabstand $h_{\min} = 0,5 \text{ m}$ zwischen der Propellerspitze und dem Beckenboden installiert werden, ist eine ausreichend große belüfterfreie Zone vor dem Mischaggregat und um das Mischaggregat herum vorzusehen, um das Belüftersystem zu schützen, ohne dass das Mischergebnis beeinträchtigt wird.

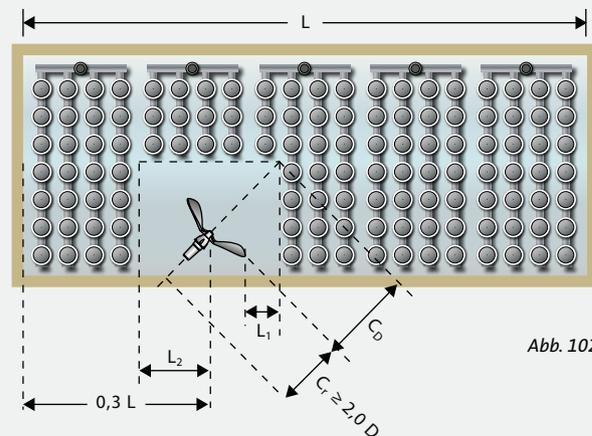


Abb. 102

Belüftete Rundbecken mit Strömungsbeschleunigern

Auch bei Rundbecken, in denen Prozesse abwechselnd stattfinden, muss der Mindestabstand $h_D \geq 0,5 \times D$ zwischen der Propellerspitze und der Tellerbelüfter wie bei den quadratischen Becken und Rechteckbecken eingehalten werden, wenn Strömungsbeschleuniger installiert werden. Müssen die Strömungsbeschleuniger hingegen mit dem zuvor erwähnten Mindestabstand $h_{\min} = 0,5 \text{ m}$ zwischen der Propellerspitze und dem Beckenboden installiert werden, ist eine ausreichend große belüfterfreie Zone vor dem Mischaggregat und um das Mischaggregat herum vorzusehen, um das Belüftersystem ohne Beeinträchtigung des Mischergebnisses zu schützen.

Die Größe der belüfterfreien Zone ergibt sich aus dem Abstand zum am nächsten gelegenen Propeller C_D und dem rückwärtigen Abstand $C_r \geq h_w$, siehe Abb. 103. Der Abstand C_D ist mit dem Planer des Belüftersystems abzustimmen. Dabei ist die Gestaltung des Beckens und des Belüfternetzes zu berücksichtigen.

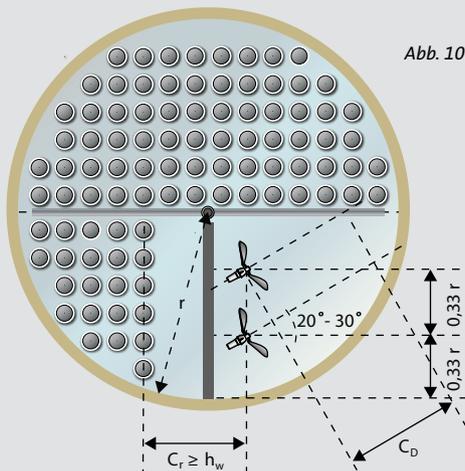
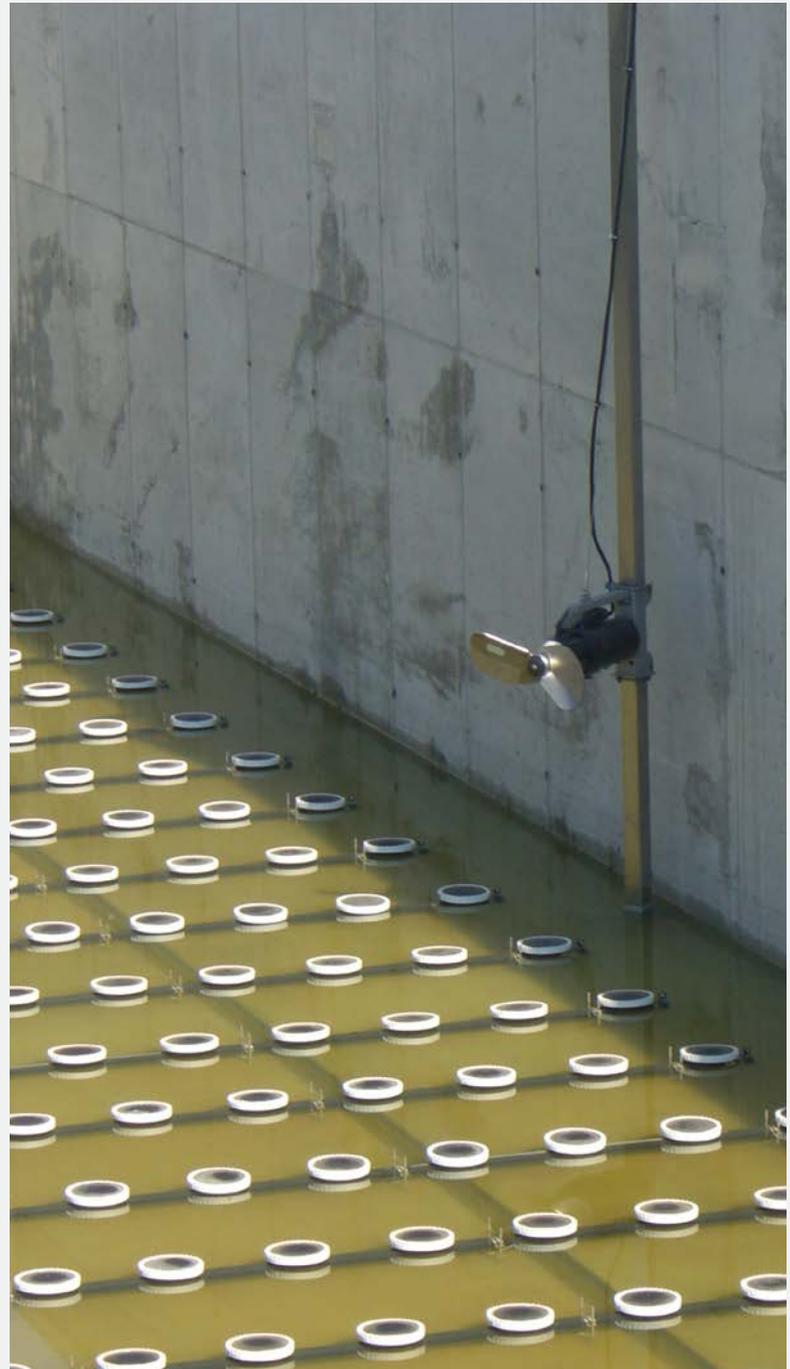


Abb. 103



Besondere Regeln zur Anordnung in Umlaufbecken

ANORDNUNG VON STRÖMUNGSBESCHLEUNIGERN IN OXIDATIONSGRÄBEN

Ist ein Oxidationsgraben mit Tellern- oder Rohrbelüftern ausgerüstet und wird der rückwärtige Abstand C zwischen den Strömungsbeschleunigern und den Enden des Beckens, d. h. die Regel $C \geq B$ oder h_w , wobei B die Grabenbreite und h_w die Wassertiefe ist, eingehalten, sind folgende Richtlinien zu beachten:

- Einhalten des Abstands C_F der Strömungsbeschleuniger zur ersten Belüfterreihe
- Einhalten des Mindestabstands C_M zwischen der letzten Belüfterreihe und dem Anfang der nachfolgenden Biegung
- Einhalten des rückwärtigen Abstands C_R der Strömungsbeschleuniger zur letzten Belüfterreihe, falls in diesem Bereich welche installiert sind.

Durch die Luftbarriere, die von den aufsteigenden Luftblasen des Belüftersystems aufgebaut wird, kann ein gleichbleibender und für die Propeller sehr gefährlicher Rückstrom entstehen. Deshalb muss der Abstand C_F unbedingt eingehalten werden (siehe Abb. 104). Der horizontale Schub, der zum Abdrängen der Luftblasen erforderlich ist, variiert je nach Netzdicke der Belüfter, dem Luftstrom pro Belüfter, usw. Aus diesem Grund ist die erzeugte mittlere Strömungsgeschwindigkeit nur schwer zu ermitteln. Aus jahrzehntelanger Erfahrung hat sich herausgestellt, dass der optimale Abstand C_F entweder der Grabenbreite B oder der Wassertiefe h_w entspricht, je nachdem welcher Wert höher ist.

Der Mindestabstand C_M zwischen der letzten Belüfterreihe und dem Anfang der nachfolgenden Biegung sollte mindestens gleich der Wassertiefe h_w sein.

Bei Anwendung dieser Regeln kann der für das Belüftersystem zur Verfügung stehende Raum einfach berechnet werden.

Die Regeln sind in Abb. 105 zusammengefasst.

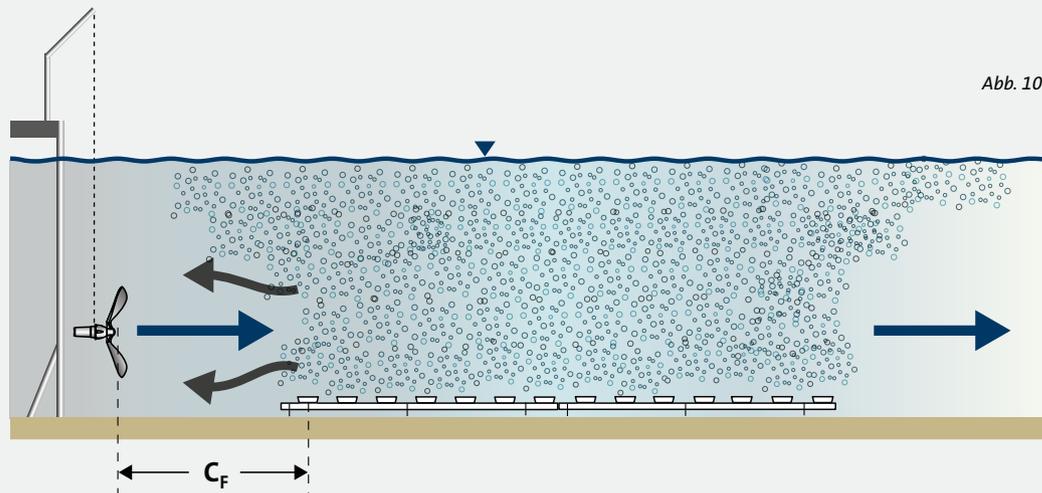


Abb. 104

- $C \geq B$ oder h_w
- $C_F \geq B$ oder h_w
- $C_M \geq h_w$
- $C_R \geq h_w$

Die oben angeführten Regeln gelten auch für belüftete Serpentine Becken.

Die folgende computergestützte Strömungssimulation bestätigt die Gültigkeit der Richtwerte für den Mindestabstand $C_F \geq B$ oder h_w zwischen den Propellern des Strömungsbeschleunigers und der ersten Belüfterreihe in einem Oxidationsgraben. Siehe Abb. 106.

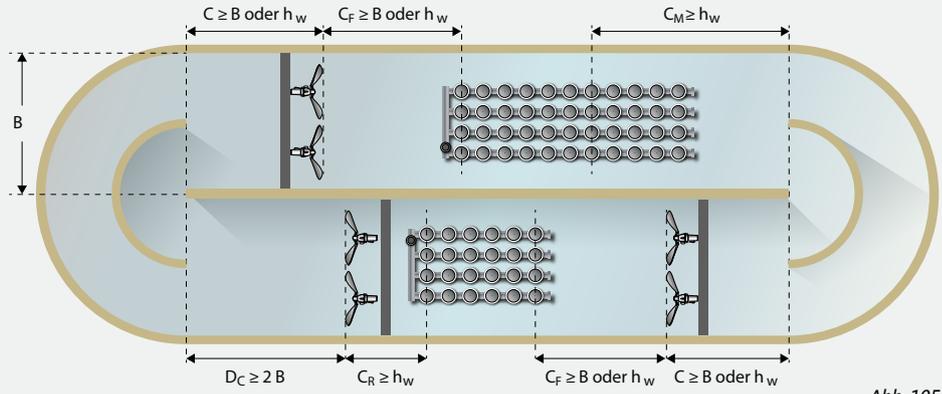


Abb. 105

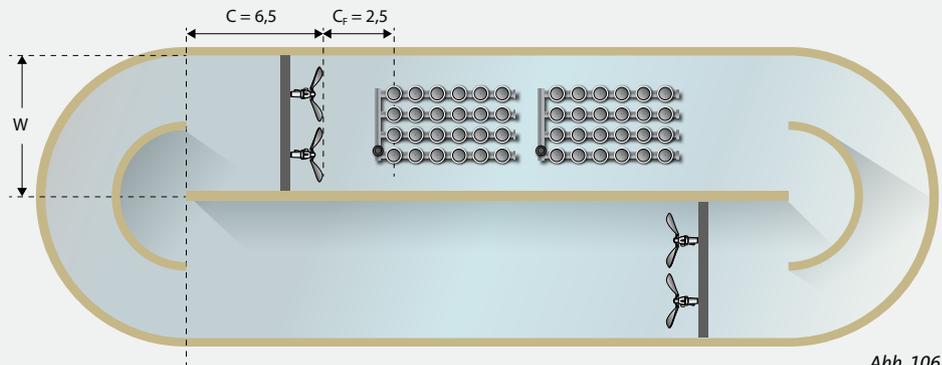


Abb. 106

Daten des Oxidationsgrabens:

Grabenlänge L_G	87,7 m
Grabenbreite B	6,5 m
Wasserstand h_w	5,5 m
Wandhöhe	6,0 m
Abwasserzufluss	539 m ³ /h
Erforderliche Strömungsgeschwindigkeit	0,35 m/s
Trockensubstanzgehalt	0,5 %

Im Graben 1 installiertes Belüftersystem:

Länge des Belüftersystems (Zone 1 und 2)	68 m
Luftstrom pro Zone	1125 m ³ /h
Gesamtluftstrom	2250 m ³ /h
Anzahl der Hindernisse (Belüfterzonen)	2
Hindernishöhe	0,25 m
Belüftete Fläche	442 m ²

Strömungsbeschleuniger:

Erforderl. Schub (inkl. 5 % Sicherheit)	8405 N
Ausgewählte Strömungsbeschleuniger pro Grabenseite	2 x AFG.37.180.46
Anzahl der Strömungsbeschleuniger	4
Erzeugter Gesamtschub	10448 N

Propelleranordnung zur rückwärtigen Biegung:

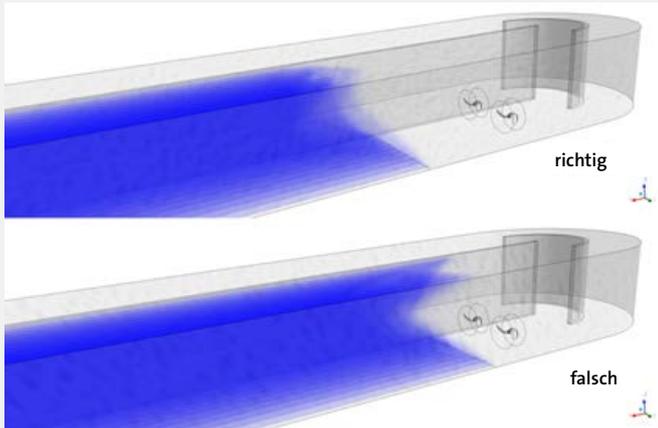
- Korrekter Mindestabstand 6,5 m
- Erforderlicher Mindestabstand 6,5 m (siehe Abb. 106)

Propelleranordnung vorwärtsgerichtet zur ersten Belüfterreihe:

- Korrekter Mindestabstand 6,5 m
- Falscher Mindestabstand 2,5 m (siehe Abb. 106)

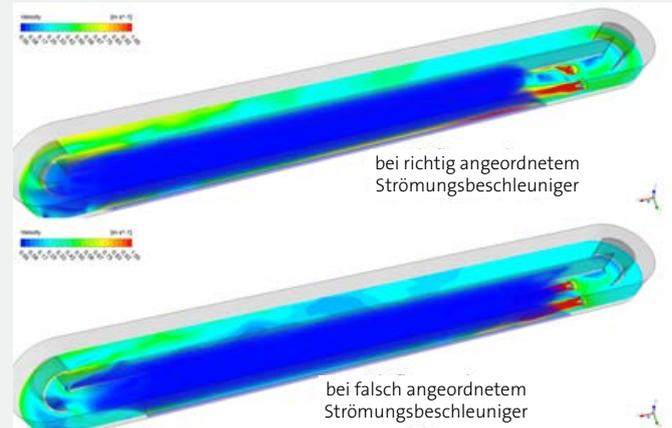
Ergebnisse der CFD-Simulation:

ANORDNUNG DER STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER

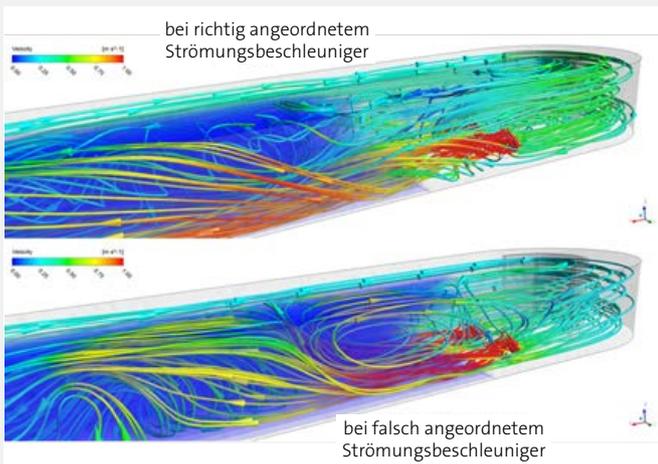


VERGLEICH DER GESCHWINDIGKEITSGRAFIKEN

(durch die Achsenebene der Strömungsbeschleuniger)

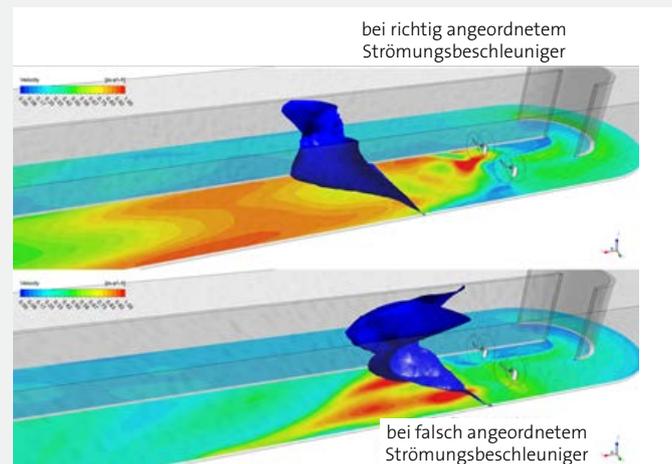


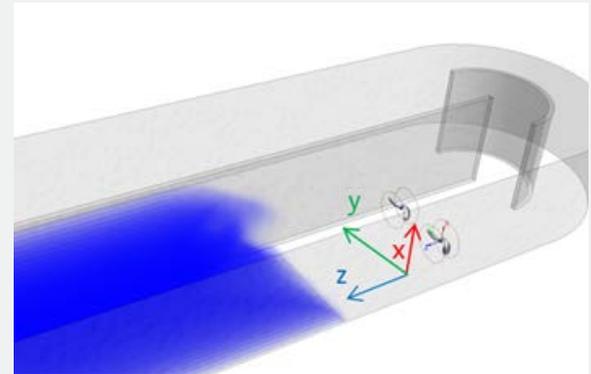
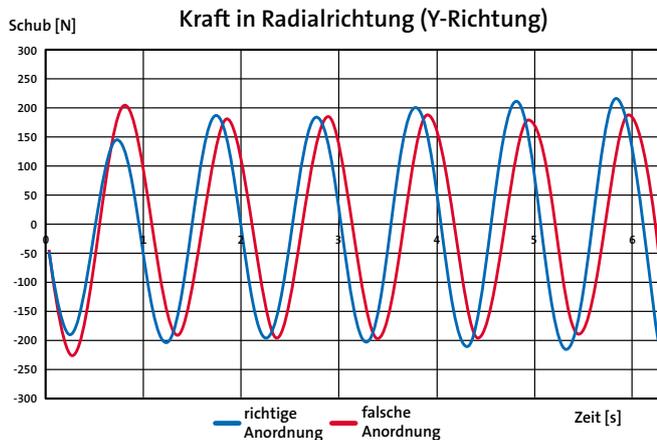
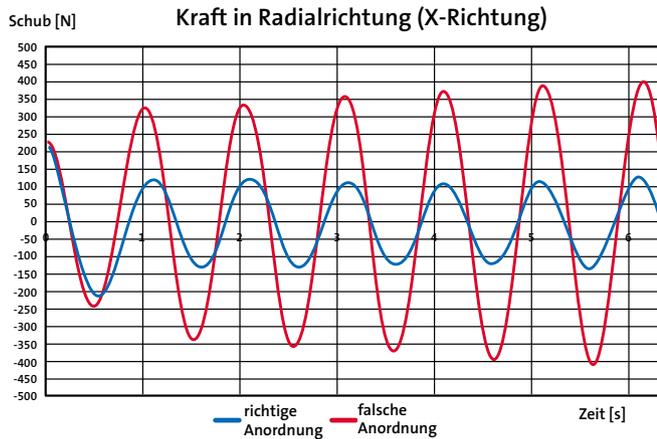
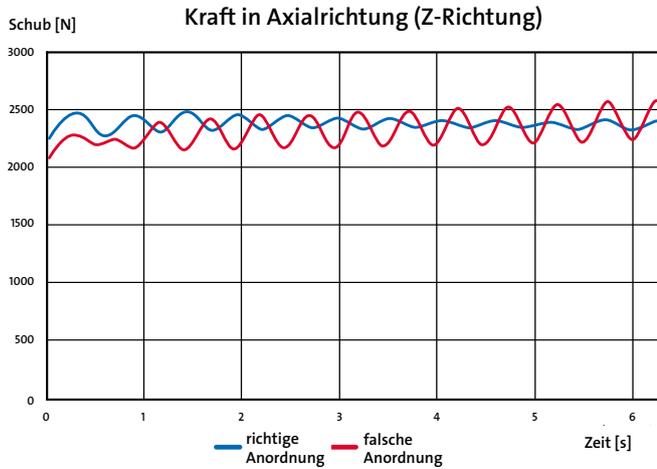
VERGLEICH DER STRÖMUNGSVERHÄLTNISS



VERGLEICH DER GESCHWINDIGKEITSGRAFIKEN

(Ebene der Belüfterzone)





Die Ergebnisse der CFD-Simulation zeigen eindeutig, dass die Strömungsbeschleuniger während des Betriebs durch einen kontinuierlichen Rückstrom beschädigt werden können, wenn sie zu nah an der ersten Belüfterreihe installiert werden.

Durch eine richtige Anordnung der Strömungsbeschleuniger kann das Risiko von Beschädigungen erheblich gesenkt werden. Ein Blick auf die Diagramme auf der linken Seite zeigt die großen Schwankungen der Schubwerte (roter Kurvenverlauf) in radialer Richtung (X- und Y-Richtung), wenn die Strömungsbeschleuniger zu dicht an der aus aufsteigenden Luftblasen bestehenden Barriere angeordnet werden.

BEISPIEL: BILDUNG EINER RÜCKSTRÖMUNG – CFD-SIMULATION FÜR DAS KLÄRWERK LA FEYSSINE-LYON

Der Belebtschlammprozess im Klärwerk La Feysine-Lyon erfolgt in einem Oxidationsgraben, der mit feinblasigen 9"-Tellerbelüftern und AFG-Strömungsbeschleunigern von Grundfos ausgerüstet ist. Die Wassertiefe beträgt 8,7 m. Die CFD-Simulation wurde für zwei Betriebszustände durchgeführt: 50 % Belüftung (siehe Abb. 107) und 100 % Belüftung (siehe Abb. 108).

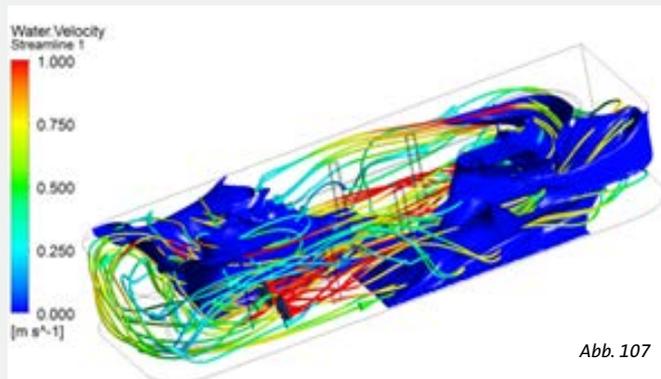


Abb. 107

Belüftung mit 50 %, geringe Rückströmung

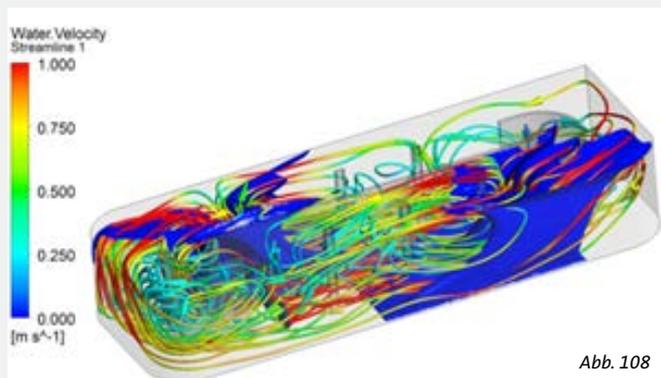


Abb. 108

Belüftung mit 100 %, erhebliche Rückströmung

Die oberen Abbildungen zeigen, dass im Normalbetrieb die Gefahr eines Rückstroms gering ist. Arbeitet das Belüftersystem jedoch mit voller Leistung, bildet sich eine dauerhafte Rückströmung.

MASSNAHMEN BEI BEENGTEN PLATZVERHÄLTNISSEN

Ist eine große Anzahl an Belüftern erforderlich, kann die frei zur Verfügung stehende Bodenfläche unter Umständen für die Installation des Belüfternetzes nicht ausreichen.

In diesen Fällen sind folgende Maßnahmen möglich:

- 1) Der Mindestabstand C_M zwischen der letzten Belüfterreihe und dem Anfang der nachfolgenden Biegung kann auf $< h_w$ reduziert werden.
- 2) Der Abstand C_F der Strömungsbeschleuniger zur ersten Belüfterreihe kann auf B/n reduziert werden, wobei n die Anzahl der im Grabenquerschnitt installierten Strömungsbeschleuniger ist. Der Abstand C_F muss jedoch immer $\geq h_w$ sein.

Falls möglich, sollte die Anordnung in diesem speziellen Fall mit dem Anlagenerrichter abgestimmt werden.

Bei einigen Betriebszuständen (sehr große Wassertiefe, Nichteinhaltung des vorwärtsgerichteten Abstands zur Luftbarriere, usw.) kann eine Rückströmung nicht verhindert werden.

Nur durch die richtige Wahl der Strömungsbeschleuniger und deren Anzahl eventuell in Verbindung mit einem Frequenzumrichterantrieb, durch die Neuordnung des Belüfternetzes, durch eine Reduzierung des Luftstroms pro Belüfter und durch CFD-Simulationen können die Auswirkungen des Rückstroms verringert werden.

ANORDNUNG DER STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER IN BELÜFTETEN RINGBECKEN

Vorausgesetzt, dass die Strömungsbeschleuniger richtig entsprechend der vorherigen Regeln, die für belüftete Ringbecken gelten, installiert worden sind, beträgt der Abstand C_F des nächstgelegenen Propellers zur ersten Belüfterreihe mindestens der Kanalbreite B oder der Wassertiefe h_w . Der Abstand C_F ist entsprechend Abb. 109 zu messen. Zudem muss der rückwärtige Abstand C_R des nächstgelegenen Propellers zur ersten Belüfterreihe mindestens der Wassertiefe h_w entsprechen.

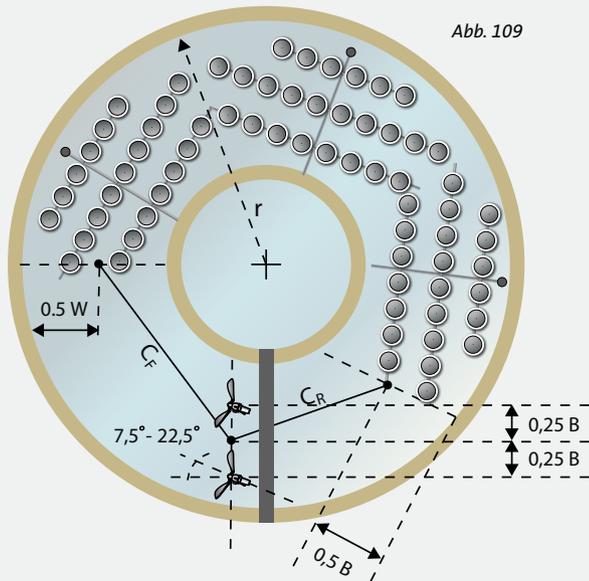
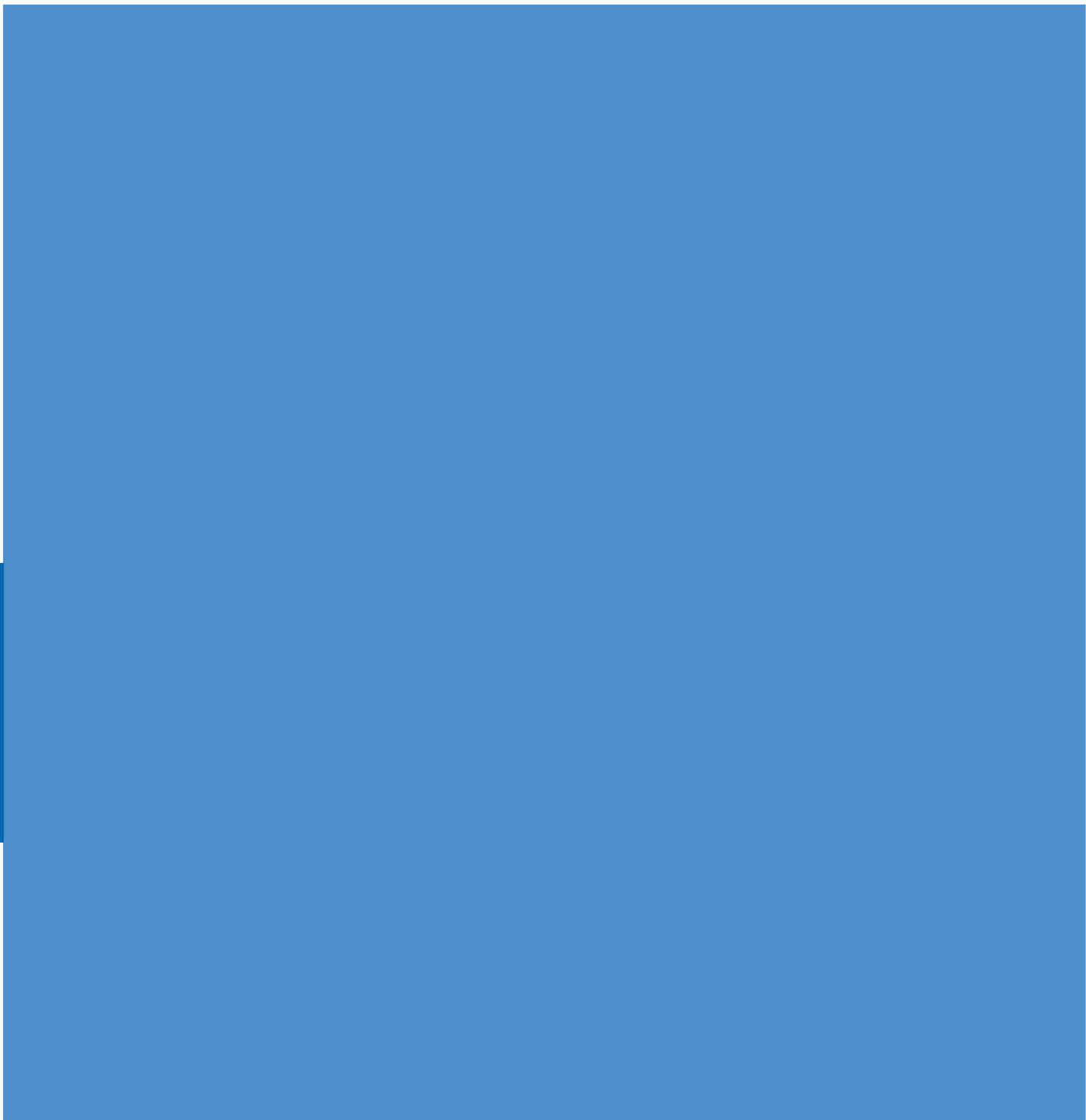


Abb. 109





[3]

**INSTALLATION,
BETRIEB UND
OPTIMIERUNG**

INSTALLATION UND BETRIEB

Montagevorrichtung für Tachrührwerke und Strömungsbeschleuniger

Für Tachrührwerke und Strömungsbeschleuniger ist eine passende Montageausrüstung erforderlich, um das Absenken in das Becken, die Anordnung und Ausrichtung und das Herausheben für die planmäßige Wartung und außerplanmäßige Reparaturen zu erleichtern.

FÜHRUNGSRÖHRE, HALTERUNGEN, KRÄNE

Die Montageausrüstung besteht aus den folgenden drei Hauptkomponenten (siehe Abb. 1):

Ein **Kran** zum Absenken und Heben der Mischaggregate.

Ein **Führungsrohr** für das vertikale Hoch- und Runtergleiten der Mischaggregate.

Obere und untere Halterungen oder Befestigungsplatten zur Befestigung des Führungsrohrs am Beckenboden, an der Wand oder am Laufsteg. Falls erforderlich, ist auch eine **Zwischenhalterung** enthalten.

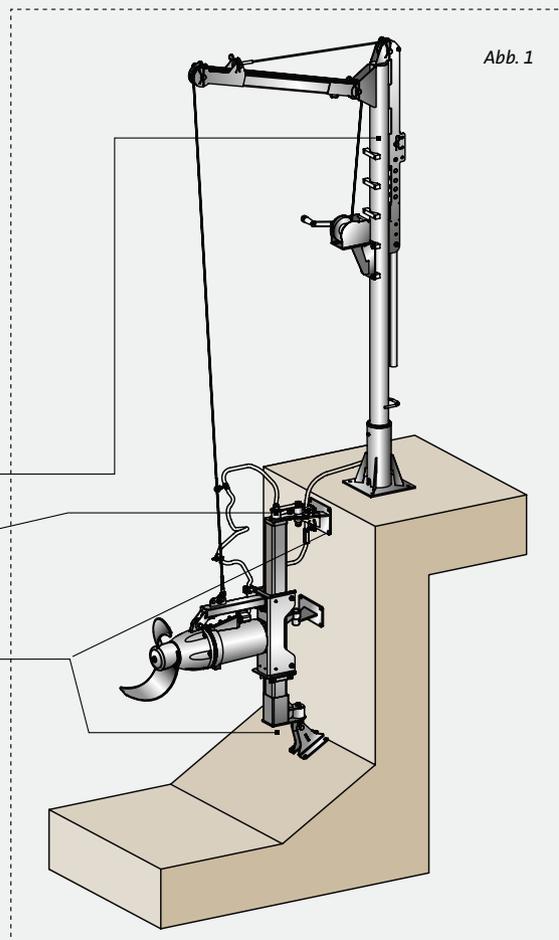
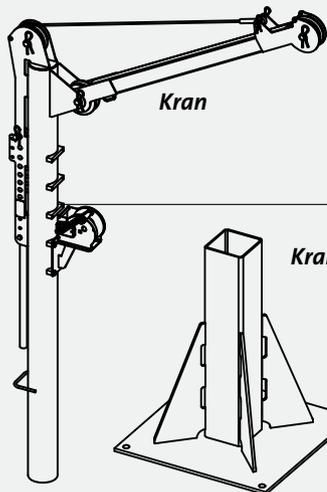
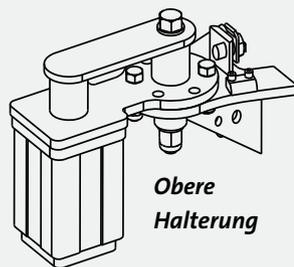


Abb. 1

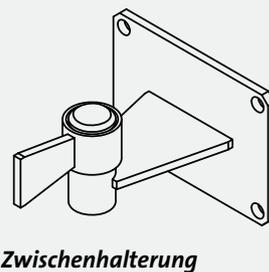


Kran

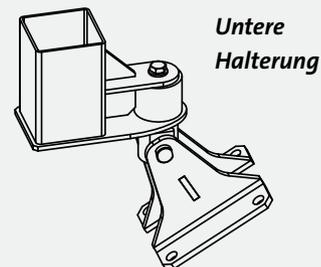
Kranfuß



Obere Halterung



Zwischenhalterung



Untere Halterung

Die **Halterungen** ermöglichen eine horizontale Ausrichtung in 7,5°-Schritten.

Die **Motorhalterungen** (siehe Abb. 2 und 3) ermöglichen ein Hoch- und Runtergleiten der Tauchrührwerke.

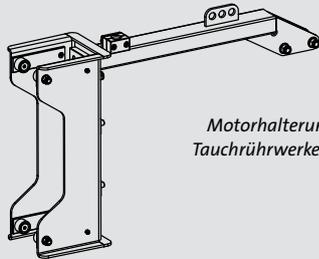


Abb. 2

Motorhalterung für die Grundfos Tauchrührwerke der Baureihe AMG

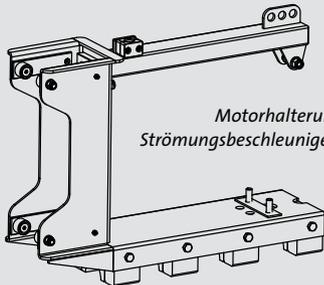


Abb. 3

Motorhalterung für die Grundfos Strömungsbeschleuniger der Baureihe AFG

Eine spezielle Motorhalterung mit Winkeleinstellmöglichkeit (siehe Abb. 4) ermöglicht eine horizontale Ausrichtung nach oben oder unten von maximal 30°. Die Einstellung erfolgt in 5°-Schritten.

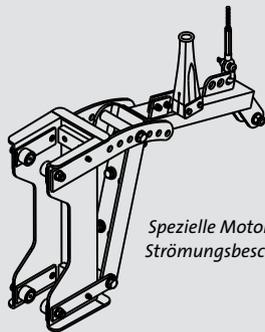


Abb. 4

Spezielle Motorhalterung für die Grundfos Strömungsbeschleuniger der Baureihe AFG

MONTAGEVORRICHTUNG FÜR TAUCHRÜHRWERKE

Die Montagevorrichtung für die Grundfos Tauchrührwerke der Baureihe AMD und AMG besteht aus den in Abb. 5 dargestellten Positionen. Alle Komponenten sind aus Edelstahl AISI 304 oder AISI 316 gefertigt. Die Bauteile des Krans sind auch aus verzinktem Stahl erhältlich.

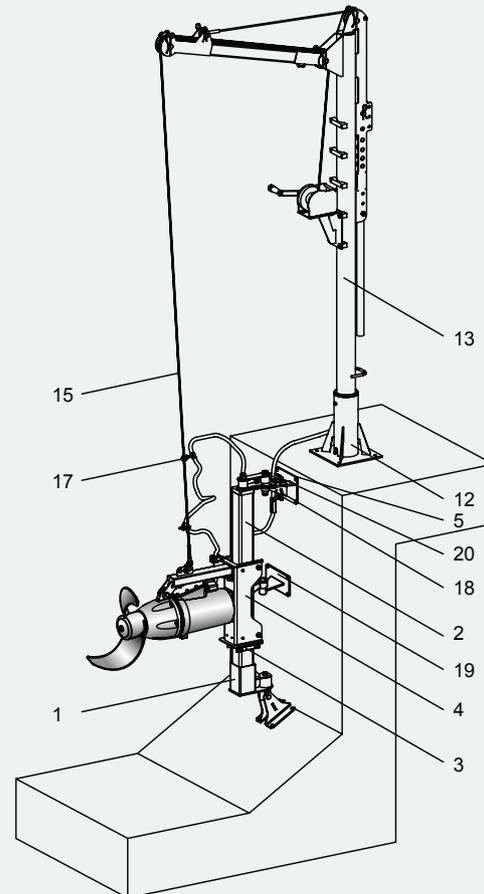


Abb. 5

Pos. Bezeichnung

- 1 Untere Halterung
- 2 Führungsrohr
- 3 Tiefenanschlag
- 4 Motorhalterung
- 5 Obere Halterung
- 12 Kranfuß

Pos. Bezeichnung

- 13 Kran mit Winde
- 15 Hebeseil mit Schäkel und Seilklemme
- 17 Kabelhalter
- 18 Kabelüberziehstrumpf mit Schäkel
- 19 Zwischenhalterung
- 20 Seilklemme

Für die Grundfos Tachrührwerke sind verschiedene Montagesätze lieferbar. Dies gilt auch für das kleinste, direkt angetriebene Grundfos Tachrührwerk AMD 07, das entsprechend Abb. 6 auf folgende Weise installiert werden kann:

- a) Hängende Montage
- b) Wandmontage
- c) Bodenmontage

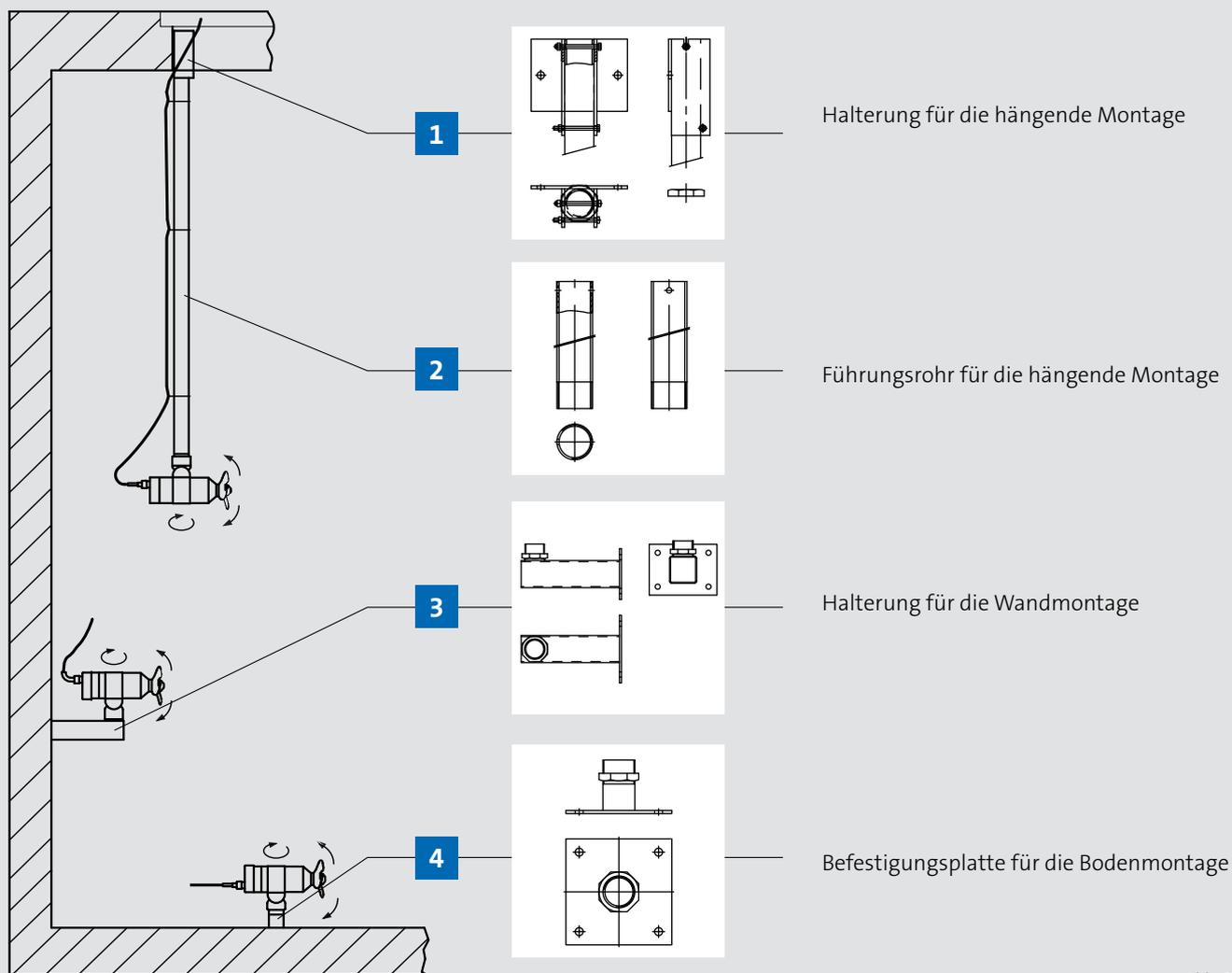


Abb. 6

MONTAGEVORRICHTUNG FÜR STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER

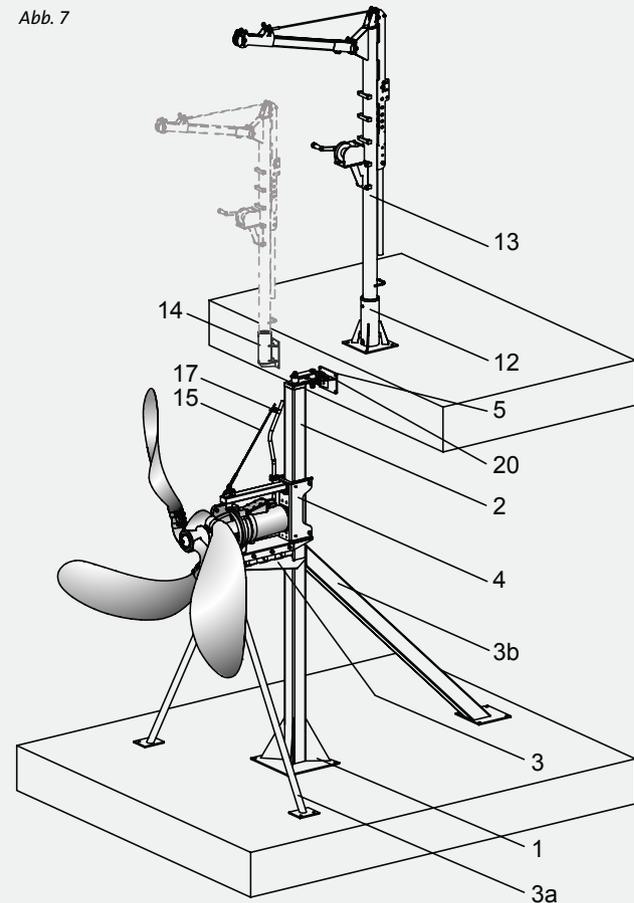
Die Montagevorrichtung für die Grundfos Strömungsbeschleuniger der Baureihe AFG besteht aus den in Abb. 7 dargestellten Positionen. Alle Komponenten sind aus Edelstahl AISI 304 oder AISI 316 gefertigt. Die Bauteile des Krans sind auch aus verzinktem Stahl erhältlich.

Pos. Bezeichnung

1	Untere Halterung
2	Führungsrohr
3	Tiefenanschlag
3a	Vordere Stützen
3b	Hintere Stütze
4	Motorhalterung
5	Obere Halterung mit Sicherungsseil
12	Kranfuß
13	Kran mit Winde
14	Kranfuß für die Wandmontage
15	Hebeseil mit Schäkkel und Seilklemme
17	Kabelhalter
20	Seilklemme
31	Bohrung zur Befestigung des Sicherungsseils

Wird zur Installation von Strömungsbeschleunigern, wie in der unteren Abbildung dargestellt, zusätzlich die dreibeinige Abstützung anstelle eines einzelnen Führungsrohrs zur Befestigung am Boden verwendet, wird eine gleichmäßigere Kräfteinleitung in den Boden erreicht.

Abb. 7



Betrieb

Die richtige Vorgehensweise bei der Installation, beim elektrischen Anschluss, bei der Inbetriebnahme und der Wartung der Tachrührwerke/ Strömungsbeschleuniger und der Montageausrüstung ist ausführlich in der Betriebsanleitung beschrieben.

ÜBERPRÜFUNGEN VOR DER INSTALLATION DER MISCHAGGREGATE

Bei und nach Anlieferung der Tachrührwerke und Strömungsbeschleuniger beim Betreiber ist vor dem Installieren der Tachrührwerke/Strömungsbeschleuniger und des Zubehörs Folgendes zu prüfen und zu beachten:

- Identifizieren des Tachrührwerks/Strömungsbeschleunigers
- Einhalten der Sicherheitsvorschriften
- Beachten der Warnhinweise zum Transport der Mischaggregate
- Überprüfen der Mischaggregate und des Zubehörs bei Anlieferung
- Einhalten der Vorschriften zur Einlagerung der Mischaggregate.

Die Tachrührwerke/Strömungsbeschleuniger können anhand des Typenschilds, das am Motorgehäuse angebracht ist, identifiziert werden (siehe Abb. 8). Die Angaben auf dem Typenschild sind für die Bestellung von Ersatzteilen erforderlich. Ein zusätzliches Typenschild, das gut sichtbar am Aufstellungsort des Mischaggregats anzubringen ist, wird mitgeliefert.

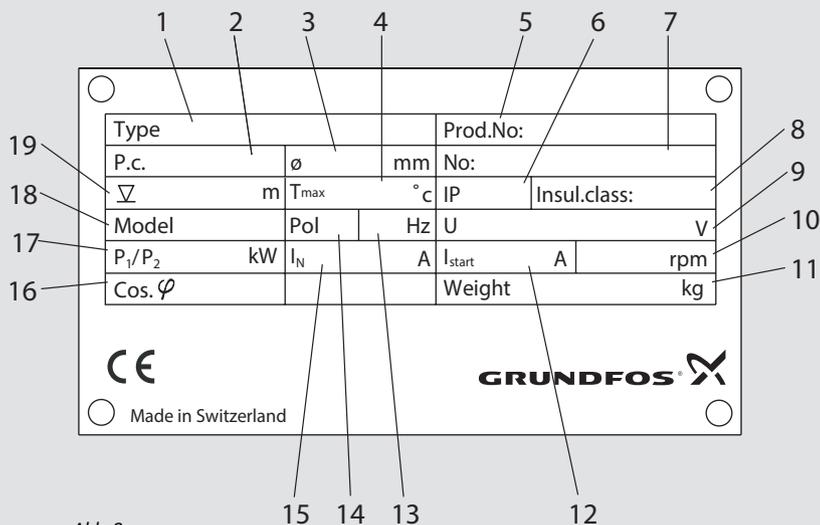


Abb. 8

Pos. Beschreibung

1	Typenbezeichnung
2	Produktionscode
3	Propellerdurchmesser
4	Medientemperaturbereich
5	Produktnummer
6	Schutzart gemäß IEC
7	Seriennummer
8	Isolationsklasse
9	Bemessungsspannung
10	Nennzahl des Propellers
11	Gewicht
12	Anlaufstrom
13	Frequenz
14	Polzahl
15	Bemessungsstrom
16	Leistungsfaktor
17	Motorleistung P ₁ /P ₂
18	Modell
19	Maximale Einbautiefe

Für die Einhaltung der Sicherheitsvorschriften müssen die nachfolgenden Anweisungen für den Transport, die Lagerung, die Handhabung und den Betrieb der Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger befolgt werden:

- Vor irgendwelchen Arbeiten am Tauchrührwerk oder Strömungsbeschleuniger ist sicherzustellen, dass die Stromversorgung über die Sicherungen oder den Hauptschalter abgeschaltet ist und nicht versehentlich wieder eingeschaltet werden kann.
- Die Installation, der elektrische Anschluss, die Inbetriebnahme und die Wartung der Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger dürfen nur von qualifiziertem Fachpersonal durchgeführt werden.
- Vorsicht vor rotierenden Bauteilen.
- Sicherheitsvorkehrungen, wie z. B. Geländer, sind vorzusehen, um Unfälle (beispielsweise Hineinfallen in das Becken) während der Installation und des Betriebs zu vermeiden.

Transport- und Warnhinweise an der Ausrüstung sollen sicherstellen, dass die Komponenten während des Transports sorgfältig verpackt bleiben, damit der Oberflächenschutz nicht beschädigt wird. Außerdem ist ein Wegrollen oder Umkippen der Tauchrührwerke/Strömungsbeschleuniger zu unterbinden. Werden Komponenten mit der Hand angehoben, sind die örtlichen Vorschriften hinsichtlich der Gewichtsgrenzen für das Anheben und Tragen von Lasten zu beachten. Ansonsten darf nur geeignetes Hebezeug in ordnungsgemäßem Zustand verwendet werden, um Unfälle und Schäden an der Ausrüstung zu vermeiden.

Die Überprüfung der Mischaggregate und des Zubehörs bei Anlieferung soll sicherstellen, dass die Ausrüstung während des Transports zum Aufstellungsort nicht beschädigt wurde. Bei Transportschäden ist ein Zerlegen der beschädigten Komponenten nur auf Veranlassung von Grundfos erlaubt. Zudem ist auf eine ordnungsgemäße Lagerung der Mischaggregate zu achten. Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger sind an einem trockenen Ort mit nur geringen Temperaturschwankungen zu lagern. Bei einer Einlagerung länger als ein Jahr muss das Getriebeöl gewechselt werden, weil das Mineralöl altert.

INSTALLATION DER MISCHAGGREGATE

Bei der Installation der Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger ist auf eine ordnungsgemäße Vorgehensweise zu achten. Für eine ordnungsgemäße Installation gelten folgende Empfehlungen:

- Die Tauchrührwerke oder Strömungsbeschleuniger dürfen nur an den vorgesehenen Hebepunkten angehoben werden.
- Die mitgelieferte Hebevorrichtung und das mitgelieferte Hebeseil dürfen nur für das Anheben und Absenken eines bestimmten Tauchrührwerks oder Strömungsbeschleunigers verwendet werden.
- Das Tauchrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger darf niemals am Kabel hängen.
- Das Tauchrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger dürfen nicht in Betrieb sein, wenn sie an der Hebevorrichtung hängen.
- Die richtige Anordnung der Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger ist sicherzustellen.

Die Anordnungsregeln für die Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger sind ausführlich im Teil [2] des vorliegenden Handbuchs beschrieben.

Zudem ist ein ordnungsgemäßer elektrischer Anschluss (Motorschutz, Erdung des Getriebe-/Wellendichtungsgehäuses, usw.) zu gewährleisten.

Nach Abschluss der elektrischen Anschlussarbeiten sind spezielle Prüfungen durchzuführen. Dazu gehört auch eine Drehrichtungsprüfung des Propellers, der mit Blick auf den Motor im Uhrzeigersinn drehen muss. Bei falscher Drehrichtung kann das Tauchrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger nicht den vorgesehenen Schub und die vorgesehene Strömung liefern. Zur Änderung der Drehrichtung müssen zwei Phasen der Netzversorgung getauscht werden.

INBETRIEBNAHME

Auch bei der Inbetriebnahme sind einige Punkte zu beachten. Für eine ordnungsgemäße Inbetriebnahme werden u. a. folgende Empfehlungen gegeben:

- Vor dem Einschalten des Tachrührwerks oder Strömungsbeschleunigers den Ölstand im Getriebe/Wellendichtungsgehäuse prüfen.
- Drehrichtung des Propellers prüfen.
- Prüfen, ob das Tachrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger vollständig im Medium eingetaucht ist.
- Prüfen, ob keine größeren Feststoffe im Becken schwimmen.

Wartung

VORAUSSETZUNG FÜR EINEN EFFIZIENTEN BETRIEB

Wie bei allen Geräten ist auch bei Tachrührwerken und Strömungsbeschleunigern die regelmäßige Wartung wichtig für den Erhalt der Leistungsfähigkeit und für eine lange Lebensdauer.

Bei der Wartung ist auf eine ordnungsgemäße Durchführung zu achten. Nachfolgend sind einige Empfehlungen aufgeführt, die die Wartung erleichtern:

- Wartungsübersicht, in der zu jeder Komponente Anweisungen, Schmiervorschriften und Inspektionshinweise hinterlegt sind.
- Informationen zur erforderlichen Ölqualität und Ölmenge für Getriebe/Wellendichtungsgehäuse und Motor.
- Anleitung zum Ölwechsel.

Zur Erleichterung der Wartungs- und Reparaturarbeiten stellt Grundfos Servicevideos zur Verfügung. Vor Beginn der Arbeiten an den Tachrührwerken oder Strömungsbeschleunigern sind die Sicherungen oder die Netzspannung auszuschalten und gegen unbeabsichtigtes Wiedereinschalten zu sichern.

Wurden die Tachrührwerke oder Strömungsbeschleuniger in Verbindung mit gesundheitsgefährdenden Flüssigkeiten

eingesetzt, sind die Mischaggregate und die zugehörige Ausrüstung zudem vor Beginn der Arbeiten sorgfältig zu reinigen und zu spülen sowie die Becken entsprechend der örtlichen Vorschriften ausreichend zu belüften.

VORTEILE EINER REGELMÄSSIGEN WARTUNG

Durch eine regelmäßige Wartung ergeben sich erhebliche Vorteile. Dazu gehören:

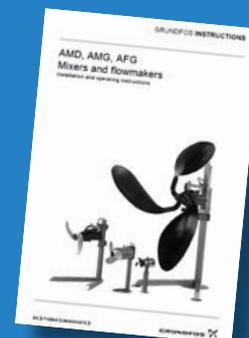
- lange Lebensdauer der Mischaggregate
- Einsparungen bei der Ersatzteilbeschaffung durch die Reduzierung außerplanmäßiger Kundendiensteinsätze
- Aufrechterhalten der Leistung der Mischaggregate im Hinblick auf das Schub-Leistungsverhältnis, die Strömungserzeugung, den Volumendurchsatz, die Entfaltung der beteiligten Prozesse, das Sauberhalten der Beckenwände und des Bodens, das Gewährleisten eines hohen Homogenisierungsgrades, usw.

FEHLERSUCHE UND FEHLERBEHEBUNG

Folgende Probleme können auftreten:

- Das Tachrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger läuft nicht an.
- Das Tachrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger läuft an, schaltet aber sofort wieder ab.
- Keine oder nur unzureichende Umwälzung, obwohl das Tachrührwerk oder der Strömungsbeschleuniger läuft.
- Ungleichmäßiger Lauf und hohe Geräusentwicklung.
- Hohe Strom- und Leistungsaufnahme.

In der Betriebsanleitung für die 50-Hz- und 60-Hz-Ausführungen ist eine Übersicht für die Störungssuche enthalten, in der die wichtigsten Störungen, Ursachen und Abhilfen aufgeführt sind.



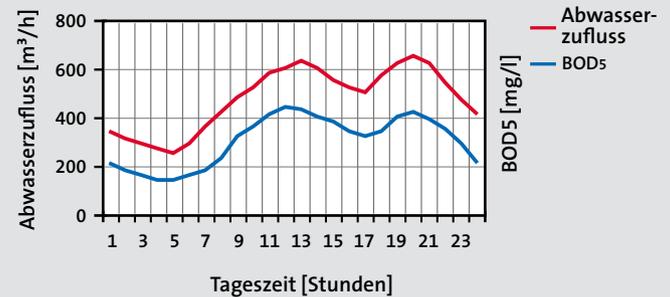
ANPASSUNG AN DEN BEDARF MITHILFE VON FREQUENZUMRICHTERN

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass einige Störungen nicht von den Mischaggregaten ausgehen und die Behebung eine Anpassung der gesamten Anlage erfordert.

Über die Lebensdauer eines Klärwerks können sich die Strömungsverhältnisse im Hinblick auf den Zufluss, den Trockensubstanzgehalt und die Art der Feststoffe ändern. Deshalb muss die Leistung der vorhandenen Rührwerke angepasst werden, um die neuen Anforderungen erfüllen zu können. Statt neue Rührwerke zu installieren, kann es sinnvoller sein, die vorhandenen Rührwerke über einen Frequenzumrichter zu betreiben, um die Propellerdrehzahl entsprechend der neuen Anforderungen zu regeln und somit den Volumenstrom, den Schub, die Leistungsaufnahme und letztendlich den Wirkungsgrad in Bezug auf das Schub-Leistungsverhältnis anzupassen.

Bei belüfteten Prozessbecken hat das am Boden montierte feinblasige Belüftersystem einen großen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse, weil die Luftblasen eine Barriere für die horizontale Strömung bilden. Deshalb müssen die Strömungsbeschleuniger eine ausreichende Leistung besitzen, um die Widerstände überwinden zu können. Wird die Leistung des Belüftersystems wegen der Prozessanforderungen nachträglich erhöht oder verringert, wird empfohlen die vorhandenen Strömungsbeschleuniger mit Frequenzumrichtern zu kombinieren, um eine Anpassung an die neuen Betriebsbedingungen zu ermöglichen. Häufig werden die Strömungsbeschleuniger auf den maximalen Luftstrom ausgelegt, der dem Becken zugeführt wird, um die Vertragsbedingungen hinsichtlich der technischen Vorgaben zu erfüllen. In einigen Fällen kann es jedoch sinnvoll sein, neben dem maximalen auch den mittleren Luftstrom zu berücksichtigen, weil der maximale Luftstrom nur bei Spitzenzufluss und maximaler organischer Belastung im Rahmen der täglichen Schwankungsbreite benötigt wird (siehe Abb.). In der Regel sehen die Planer zudem bei der Auslegung eine Leistungsreserve vor. Das bedeutet, dass der maximale Luftstrom nur sehr selten erreicht wird.

Schwankender Abwasserzufluss und Sauerstoffbedarf über den Tag



Der Einsatz eines Frequenzumrichters ist häufig die beste Möglichkeit, um den Betrieb des Strömungsbeschleunigers im Hinblick auf den Wirkungsgrad und den Stromverbrauch zu optimieren.

Viele Prozessbecken sind zudem so gestaltet, dass sie mit und ohne Belüftung betrieben werden, wie z. B. bei abwechselnder Denitrifikation/Nitrifikation in einem Becken. Während der Denitrifikation ist die Belüftung abgeschaltet, so dass die hydraulischen Verluste kleiner als die bei der Auslegung angesetzten Verluste sind. Sind die Strömungsbeschleuniger mit einem Frequenzumrichter ausgerüstet, kann der Schub reduziert werden, wenn die Belüftungsleistung reduziert oder die Belüftung ganz abgeschaltet wird.

ÜBER DIE LEBENSDAUER EINES KLÄRWERKS KÖNNEN SICH DER ZUFLUSS, DER TROCKENSUBSTANZGEHALT UND DIE ART DER FESTSTOFFE UND DAMIT DIE STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE ÄNDERN.

BEISPIEL: FEINABSTIMMUNG EINES STRÖMUNGSBESCHLEUNIGERS AFG MIT HILFE EINES FREQUENZUMRICHTERS IM KLÄRWERK LYON-LA FEYSSINE

Anhand des Klärwerks Lyon-La Feyssine wird beispielhaft die Feinabstimmung beim Einsatz eines Grundfos Strömungsbeschleunigers AFG beschrieben, bei der CFD-Simulationen eine große Hilfe waren.

Ein Zufluss von 91.000 m^3 (ca. 300.000 PE) gelangt pro Tag in das Klärwerk, wo überdachte Oxidationsgräben mit einer Wassertiefe von 8,7 m in der zweiten Klärstufe in Betrieb sind (siehe Abb. 9 und 10). Die Nitrifikationsstufe ist mit 12 Grundfos Strömungsbeschleunigern AFG.75.260.41 und einem Grundfos Membran-Belüftersystem ausgerüstet. Das Belüftersystem besteht aus 5506 9"-Tellerbelüftern, der Verrohrung am Boden und Zubehör. 11 Grundfos CUE-Frequenzumrichter für Motorleistungen von 11 kW sorgen für eine optimale Feinabstimmung des Prozesses.

Um die optimale Betriebsart für die Strömungsbeschleuniger in Verbindung mit den Betriebsbedingungen des Belüftersystems herauszufinden, wurden CFD-Simulationen in der Draufsicht für vier unterschiedliche Ebenen durchgeführt. Siehe Abb. 11:

Abb. 9

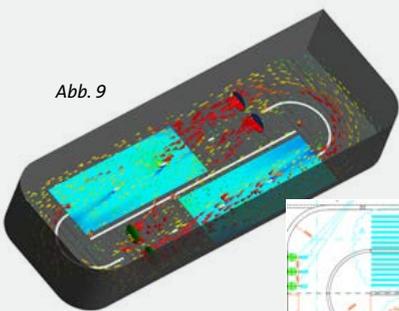


Abb. 10

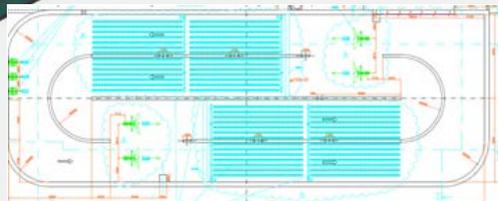
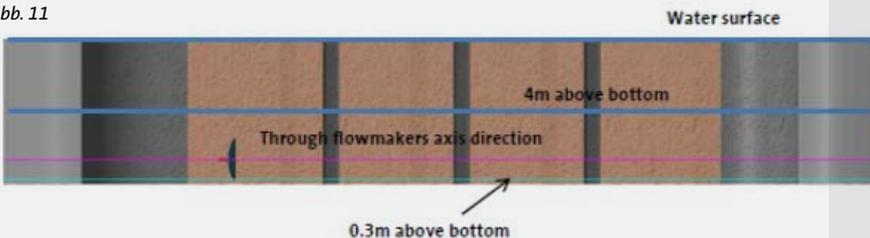


Abb. 11



Für die Untersuchung der Strömungsverhältnisse in einem der mit vier AFG 75.260.41 ausgerüsteten Oxidationsgräben wurden acht unterschiedliche Betriebszustände (gekennzeichnet mit A, B, C, D, E, F, G und H) betrachtet, die in drei Szenarien unterteilt wurden (siehe Abb. 12, 13).

Szenario 1: Belüftung ein

Vier Betriebszustände:

A: $4.500 \text{ m}^3/\text{h}$

C: $2.500 \text{ m}^3/\text{h}$

B: $3.500 \text{ m}^3/\text{h}$

D: $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$

Abb. 12



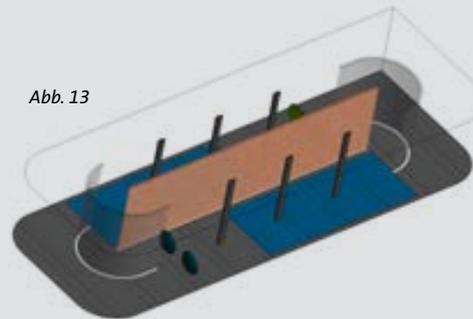
Szenario 2: Belüftung aus

Zwei Betriebszustände mit Strömungsbeschleunigern, die laufen mit:

E: 80 % Leistung bei 33 U/min geregelt über FU

F: 60 % Leistung bei 23 U/min geregelt über FU

Abb. 13



Szenario 3: Belüftung ein

Zwei Betriebszustände mit 80 % Leistung bei 33 U/min geregelt über FU:

G: $2.500 \text{ m}^3/\text{h}$

H: $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$

Für jeden Betriebszustand in jedem Szenario wurde eine CFD-Simulation in der zuvor erwähnten Draufsicht durchgeführt. Für jedes Szenario sind die Geschwindigkeitsstromlinien (siehe Abb. 14), die Geschwindigkeitsumrisse (siehe Abb. 15), die Geschwindigkeitsvektoren (siehe Abb. 16) und die Schubspannungen am Boden (siehe Abb. 17) dargestellt. Die Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit für die Betriebszustände A, B, C, D, G und H (mit eingeschalteter Belüftung, siehe Tabelle 1) zeigt zwei unterschiedliche Strömungsmuster:

- Spiralförmige Strömung durch das Belüftersystem
- Rückströmung durch den Einfluss der Strömungsbeschleuniger auf die Luftbarriere.

Zudem wird durch die spiralförmige Strömung vermutlich die Erzeugung des Volumenstroms beeinträchtigt.

Mittlere Geschwindigkeit (m/s)	Position im Klärbecken 0,3 m über dem Boden	Entlang der AFG-Achse	4 m über dem Boden	Wasser-oberfläche
A	0,737	0,651	0,522	0,729
B	0,595	0,583	0,446	0,584
C	0,590	0,607	0,474	0,408
D	0,583	0,624	0,472	0,504
G	0,565	0,449	0,343	0,548
H	0,458	0,529	0,398	0,292

Tabelle 1

Die Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit für die Betriebszustände E und F mit abgeschalteter Belüftung zeigt Tabelle 2.

Mittlere Geschwind. (m/s)	Position im Klärbecken 0,3 m über dem Boden	Entlang der AFG-Achse	4 m über dem Boden	Wasser-oberfläche
E: 33 U/min	0,518	0,532	0,435	0,465
F: 23 U/min	0,338	0,375	0,318	0,338

Tabelle 2

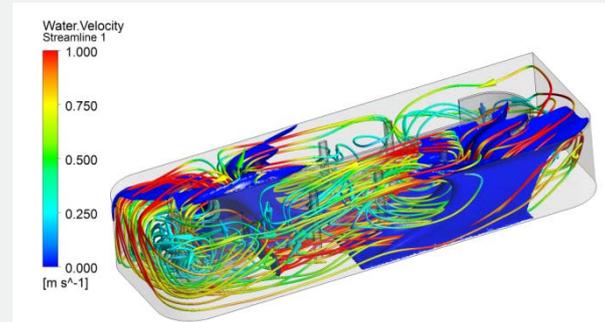


Abb. 14 Geschwindigkeitsstromlinien

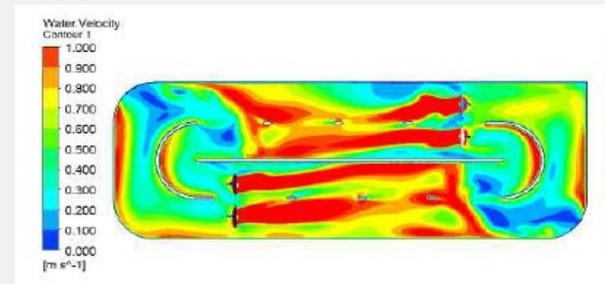


Abb. 15 Geschwindigkeitsumrisse



Abb. 16 Geschwindigkeitsvektoren

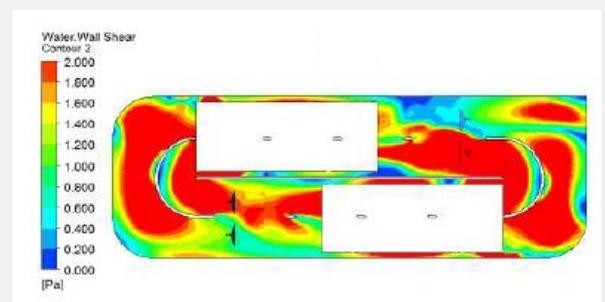


Abb. 17 Schubspannungen am Boden

Die CFD-Simulationen im Hinblick auf die Schubspannungen am Boden für die Betriebszustände E und F zeigt Abb. 18.

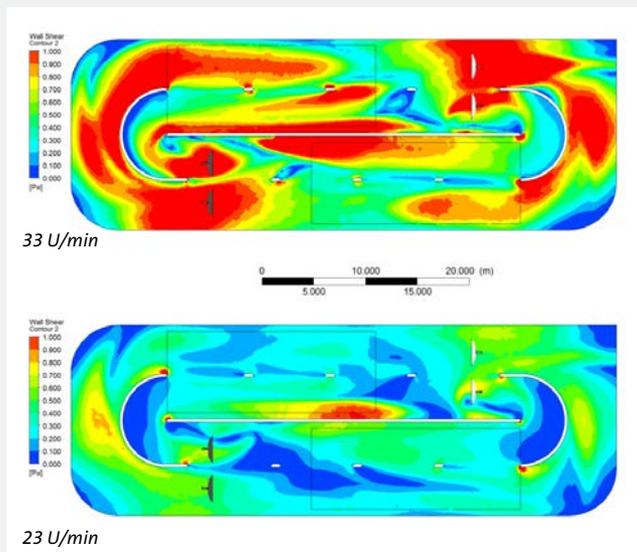


Abb. 18

Bei einem Absenken der Drehzahl der Strömungsbeschleuniger auf 23 U/min wird kein ausreichender Schub erzeugt, um ein Absetzen von Feststoffen im Becken zu verhindern. Bei der Lösung mit 33 U/min hingegen ist das Ergebnis zufriedenstellend. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde beschlossen, die Strömungsbeschleuniger mit 30 U/min laufen zu lassen, wenn die Belüftung abgeschaltet ist.

Weil durch den Rückstrom (siehe Abb. 19) die Wirkung des Belüftersystems beeinträchtigt werden kann, sollten derartige Verhältnisse auf ein Minimum reduziert werden. Es ist somit nur sinnvoll, die Drehzahl der Strömungsbeschleuniger zu verringern, wenn der Luftstrom relativ gering ist. Zur weiteren Untersuchung wurden die folgenden Szenarien ausgewählt:

- Belüftung mit 45 %
- Belüftung mit 25 %

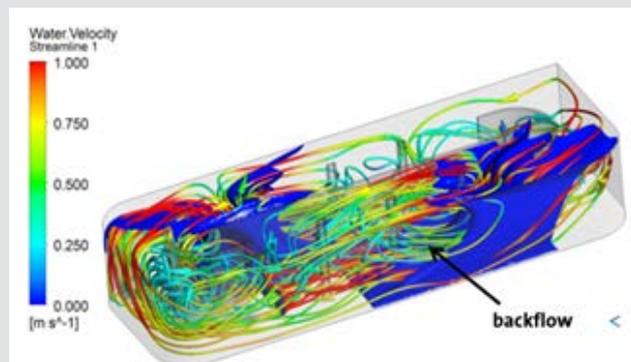
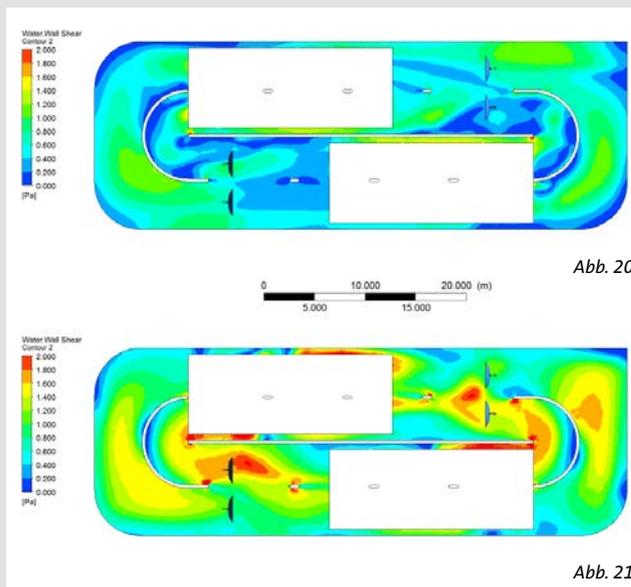


Abb. 19

In beiden Fällen laufen die Strömungsbeschleuniger mit 33 U/min (80 % der Leistung). Bei geringem Luftstrom (siehe Abb. 20) ist die Strömungsgeschwindigkeit am Boden größer als 0,5 m/s. Bei einem höheren Luftstrom beträgt die Strömungsgeschwindigkeit ca. 0,4 m/s (siehe Abb. 21). Deshalb wurde beschlossen, die Strömungsbeschleuniger mit einer Drehzahl von 30 U/min zu betreiben, wenn die Belüfterleistung weniger als 50 % beträgt.



LEISTUNGSMESSUNGEN

Der Trockensubstanzgehalt und die Strömungsgeschwindigkeit sind wichtige Parameter beim Mischen und bei der horizontalen Strömungserzeugung. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie beide Parameter gemessen werden und welche Messausrüstung dazu verwendet wird. Abschließend wird über die Grundfos Prüfeinrichtungen und deren Nutzung informiert.

Messen des Trockensubstanzgehalts

Wird die Messung des Trockensubstanzgehalts vom Kunden oder in der Ausschreibung gefordert, ist vor der Bestellung mit dem Kunden und dem Lieferanten abzustimmen, welches Messverfahren und welche Messausrüstung eingesetzt und an welchen Stellen gemessen werden soll.

MESSVERFAHREN

Für die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens zur Ermittlung des Trockensubstanzgehalts in einem Prozessbecken müssen zuerst die Randbedingungen und genügend Messstellen festgelegt werden. Die Randbedingungen werden in der Regel durch die Beckengeometrie und Betriebsdaten vorgegeben.

Im Hinblick auf die Messstellen sind folgende Punkte zu beachten:

- Gut geeignet für gleichmäßig verteilte Messstellen sind vorhandene Brücken. Von der Wand und vorhandenen Mischaggregaten muss ein Mindestabstand von 0,5 m eingehalten werden.
- Weitere Messstellen sollten entlang der Wand und in den Ecken eingerichtet werden. Auch hier ist ein Mindestabstand von 0,5 m einzuhalten.
- In der Regel sind 4 oder 5 Messstellen pro Becken ausreichend.

Nachdem die einzelnen Messpunkte für jede Messstelle festgelegt worden sind, kann mit dem Messen des Trocken-

substanzgehalts begonnen werden. Die Messpunkte sollten gleichmäßig über die Wassertiefe verteilt sein. Der obere und untere Messpunkt sind fest vorgegeben. Der obere Messpunkt befindet sich 0,3 m unterhalb der Wasseroberfläche und der untere Messpunkt 0,3 m oberhalb des Bodens. Die anderen Messpunkte sind gleichmäßig verteilt in Abständen von 1 m vorzusehen. An den einzelnen Messpunkten werden Proben entnommen und untersucht. Der Trockensubstanzgehalt **TS** wird dabei entsprechend der DIN EN 12880 ermittelt. Für jeden Messpunkt wird aus der Gesamtanzahl i der Proben ein Mittelwert für den Trockensubstanzgehalt **TS** gebildet. Aus allen Mittelwerten **TS_i** wird ein Hauptmittelwert **TS_n** für alle Messpunkte **n** der Messstelle ermittelt. Zudem werden der niedrigste Wert **TS_{min}** und der höchste Wert **TS_{max}** bestimmt. Belebtschlammbecken sind ausreichend durchmischt, wenn 90 % der Messwerte nicht mehr als 12 % vom Hauptmittelwert abweichen.

MESSAUSRÜSTUNG

Eine ordnungsgemäße Probenentnahme erfordert ein geeignetes Probenahmegerät, das nach der Probenentnahme noch im eingetauchten Zustand geschlossen werden kann. Das Volumen einer Probe reicht von 500 ml bis 1000 ml. Nach der Probenentnahme sollten die Proben geschüttelt und in einer mit einem Etikett versehenen und geschlossenen Flasche transportiert werden. Vor jeder erneuten Probenentnahme muss das Probenahmegerät mit sauberem Wasser abgespült werden.

Messen der Strömungsgeschwindigkeit

In allen Becken, in denen eine horizontale Strömung erzeugt wird, geben Geschwindigkeitsmessungen bei ordnungsgemäßer Durchführung Aufschluss über die Strömungsverhältnisse. Dazu ist ein geeignetes Messgerät zu verwenden. Die Messungen müssen zudem an repräsentativen Querschnitten durchgeführt werden. Weitere Informationen hierzu finden Sie in der VDMA-Richtlinie 24656.

MESSAUSRÜSTUNG

Zum Messen der Strömungsgeschwindigkeit werden verschiedene Messgeräte eingesetzt, wie z. B.:

- Flügelsonde (Anemometerprinzip)
- Magnetisch-induktive Sonde ("Flo-Mate")
- Acoustic Doppler Velocimeter (ADV).

Die Flügelsonde (siehe Abb. 22) misst die Geschwindigkeitsanteile nur in einer Richtung im Raum. Deshalb wird der Einsatz nicht

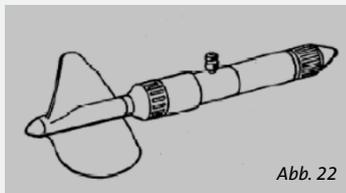


Abb. 22

empfohlen, weil die Strömung im Becken turbulent und dreidimensional ist. Die magnetisch-induktive Sonde (siehe Abb. 23) ermöglicht hingegen die Erfassung von zwei horizontalen Geschwindigkeitsanteilen. Die dritte Geschwindigkeitsrichtung kann jedoch nicht gleichzeitig gemessen werden.



Abb. 23

Die gleichzeitige Messung aller drei Geschwindigkeitsrichtungen an einem Messpunkt wird mit dem in Abb. 24 gezeigten Geschwindigkeitsmesser durchgeführt. Er kann auch zur Leistungsmessung in einer ungleichmäßigen Strömung verwendet werden.



Abb. 24

MESSEN DER MITTLEREN LEISTUNG

Um repräsentative Messergebnisse zu erhalten, müssen die richtigen Messquerschnitte im Becken ausgewählt werden. Die richtige Wahl der Messquerschnitte ist von der Beckenform sowie der Art einer eventuell vorhandenen Belüftung und der Anordnung der Belüfter abhängig. Die Messungen werden im nicht belüfteten Teil des Beckens durchgeführt. Je nach Beckengröße und Zielsetzung der Messung muss mindestens ein Messquerschnitt vorbereitet werden.

Die Messwerte werden in m/s oder in cm/s erfasst. Die Strömungsgeschwindigkeit entlang des vertikalen Querschnitts ist nicht konstant. Deshalb müssen mehrere Messungen an verschiedenen Stellen des Beckenabschnitts durchgeführt werden, um die mittlere Strömungsgeschwindigkeit berechnen oder einen Ausdruck des Geschwindigkeitsumrisses erstellen zu können.

Der Messquerschnitt wird in Form eines Messnetzes wie folgt unterteilt (siehe Abb. 25) mit:

- gleichmäßig waagrecht über den Querschnitt verteilten Messstellen
- mit gleichmäßig senkrecht entlang der Messstellen verteilten Messpunkten.

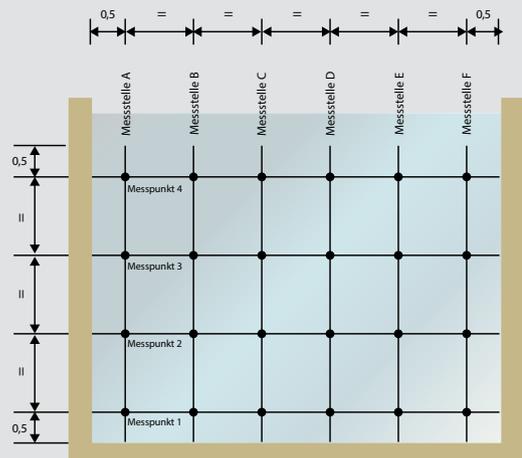
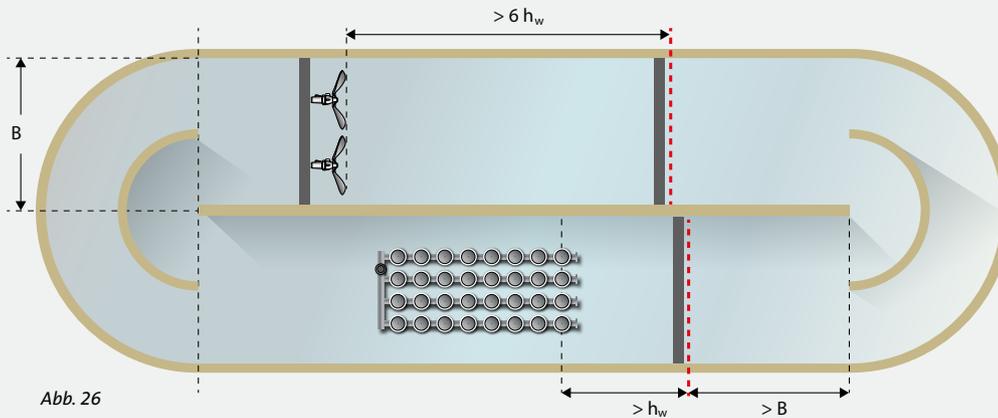


Abb. 25



--- Messnetz

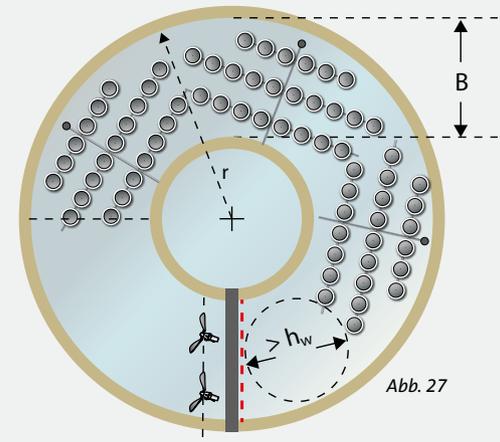
h_w = Wassertiefe

In Abb. 26 und 27 ist die Anordnung des Messnetzes in einem Oxidationsgraben bzw. einem Ringbecken dargestellt.

Um die Daten zu den Strömungsverhältnissen im Becken während des Betriebs zu erfassen, müssen die Messungen für alle wichtigen Betriebszustände (z. B. Belüftung ein oder aus) durchgeführt werden.

ANORDNEN DES MESSNETZES IN UMLAUFBECKEN

Werden die Messungen zu nah an Wänden, Ecken, Pfeilern, gekrümmten Strömungslenkwänden, usw. durchgeführt, können die Messergebnisse negativ beeinflusst werden. Durch die Hindernisse können die Strömungsgeschwindigkeiten geringer sein als erwartet. Die Messwerte dürfen nicht zu nah an den Mischaggregaten oder Belüfterzonen aufgenommen werden, weil in diesen Bereichen mit Verwirbelungen gerechnet werden muss. Zudem beeinträchtigen die Luftblasen die Messungen und verfälschen die Messwerte. Um Kosten und Zeit zu sparen, werden die Messungen häufig aus praktischen Erwägungen an Stellen durchgeführt, an denen es problemlos ohne großen Aufwand möglich ist, wie z. B. an vorhandenen Brücken.



BERECHNUNG DER MITTLEREN HORIZONTALEN STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT

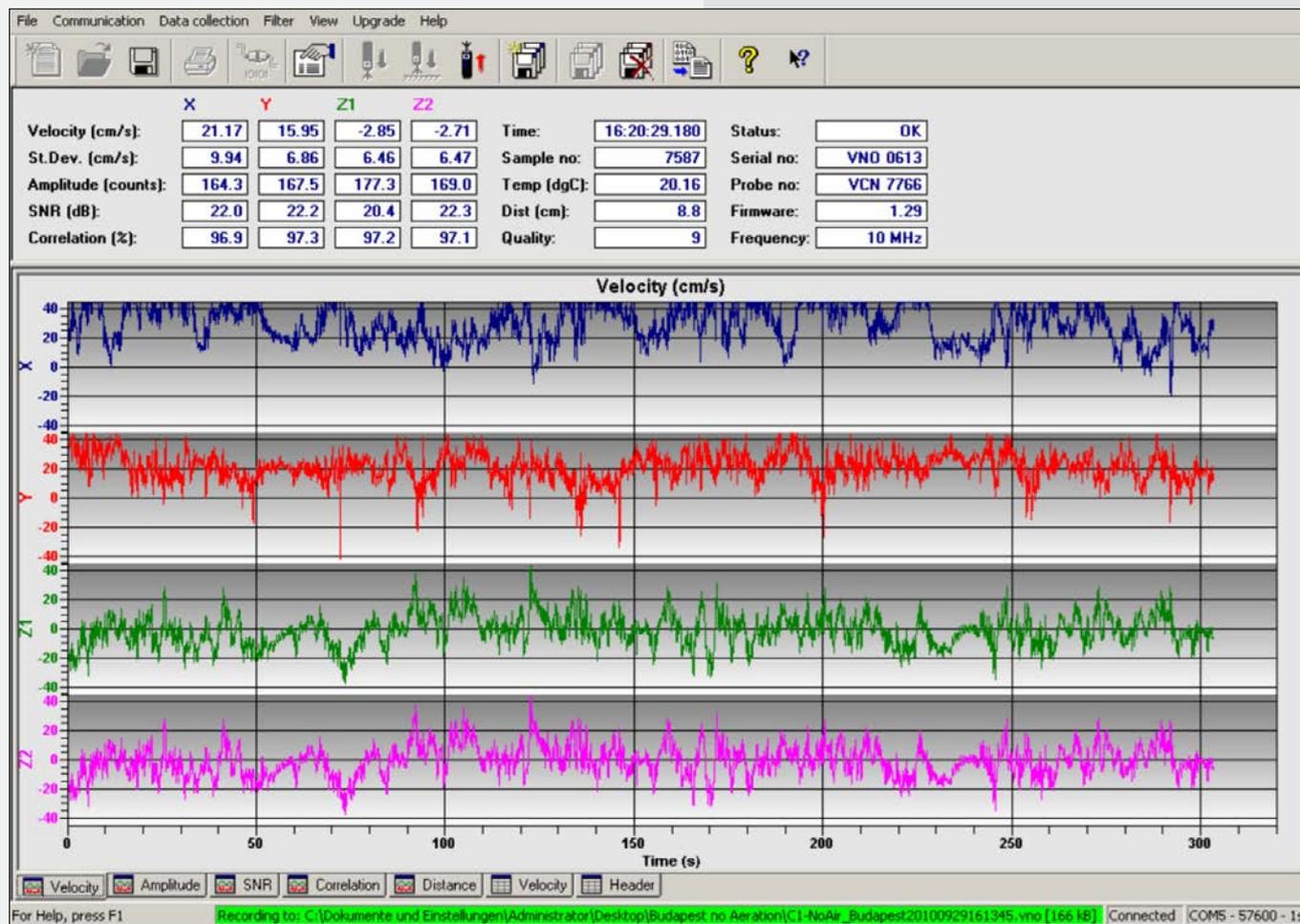
Die Messdauer für jeden Messpunkt x wird festgelegt auf $t_x = 200$ s.

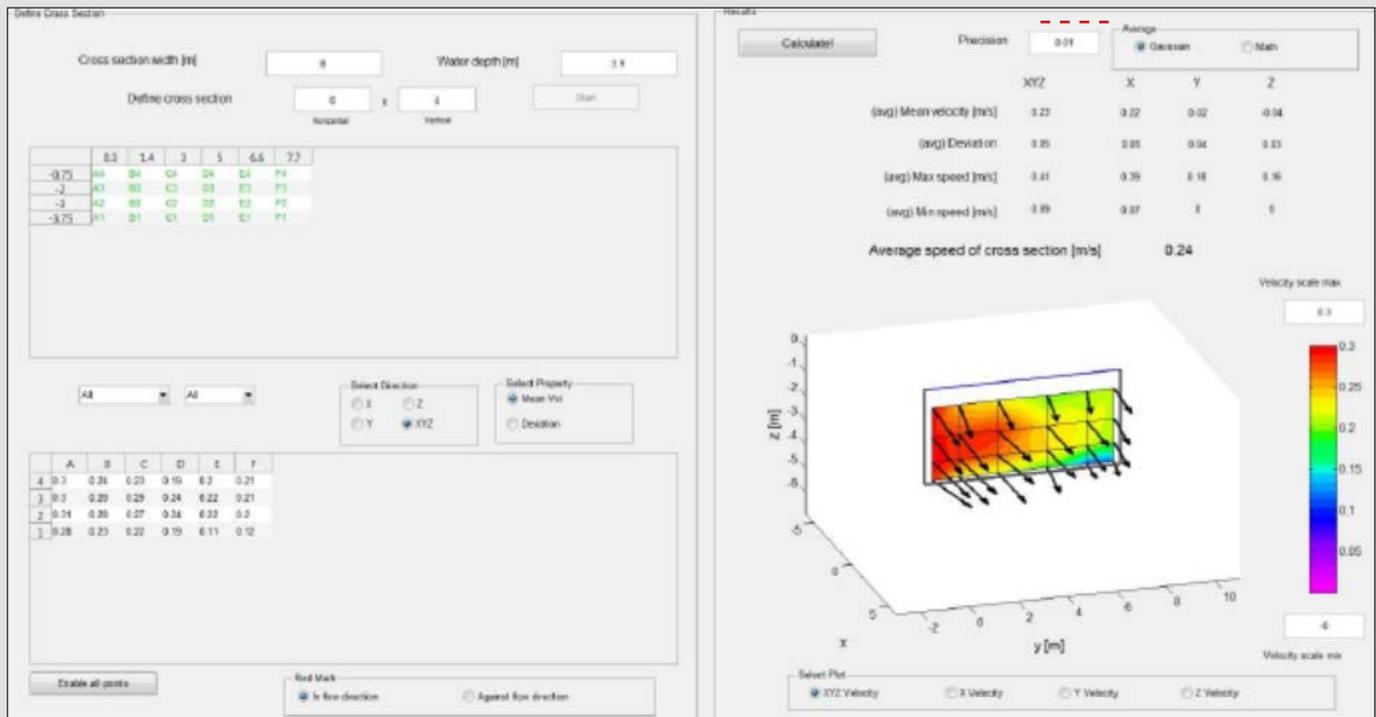
Der Sensor ist mit einem Laptop (siehe Abb. 28) verbunden, wo die Messdaten von der Messsoftware (siehe Abb. 29) aufgezeichnet werden. Danach können die Messdaten mithilfe eigener Software oder eigener Tabellen zur Analyse aufbereitet werden.

Abb. 28



Abb. 29

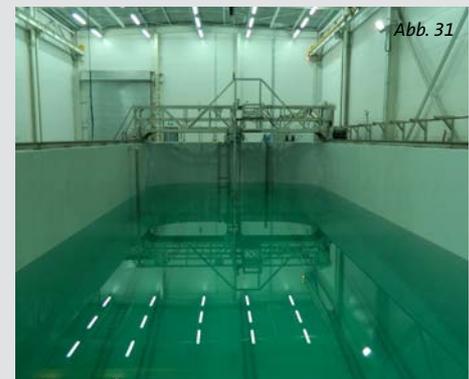
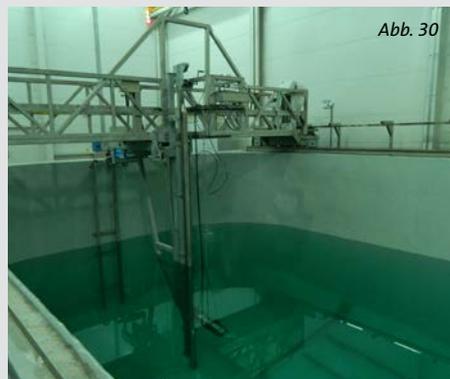




Grundfos Leistungsprüfstand für Mischaggregate

Grundfos überprüft seine Messausrüstung mithilfe eines eigens dafür gebauten Prüfstands. Der Prüfstand ermöglicht die Leistungsprüfung gemäß der internationalen Norm ISO 21630. Beim Durchlaufen des Prüfprogramms werden zudem Daten gesammelt, um die technischen Vorgaben für vorhandene Mischaggregate und für die Neuentwicklung von Produkten zu aktualisieren sowie die Ergebnisse von CFD-Simulationen zu bestätigen.

Der Grundfos Prüfstand für Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger (siehe Abb. 30, 31 und 32) besteht aus einem Betonbauwerk mit den Innenabmessungen **L** = 20 m, **B** = 8 m und **T** = 6,3 m.



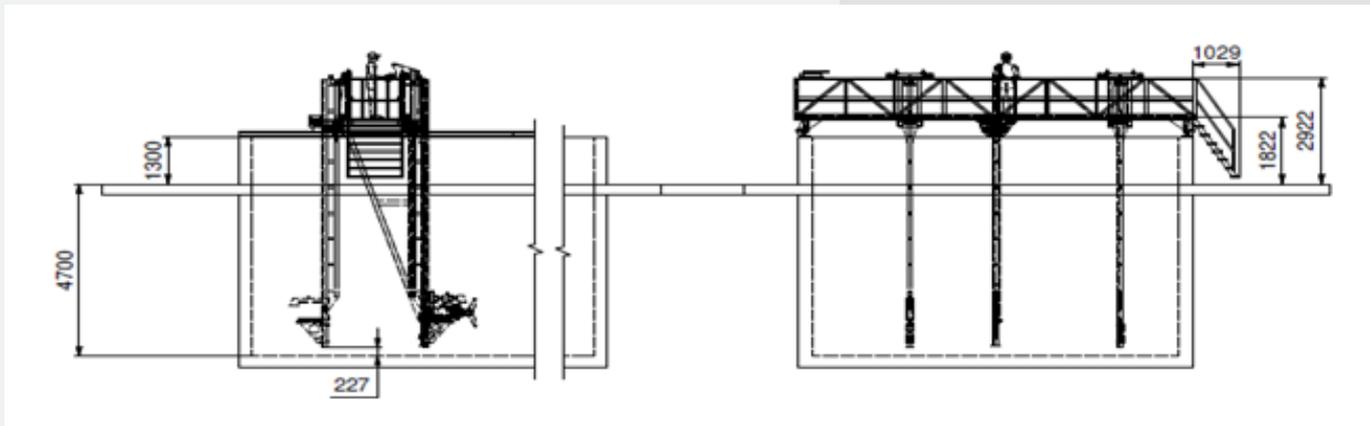


Abb. 32

Die maximale Wassertiefe beträgt 6 m und das maximale Gesamtvolumen 960 m³.

Im Becken sind Pfeiler aus Edelstahl installiert. Mithilfe von herausnehmbaren Trennwänden aus Stahlplatten mit glasfaserverstärktem Kunststoff und einem durchlässigen Rechen können unterschiedliche Beckenformen, wie z. B. ein Umlaufbecken, zur Leistungsprüfung der Produkte, zur Simulation von Anwendungen und zur Bestätigung der CFD-Ergebnisse nachgebildet werden.

In der Regel wird nur ein einziges schnelldrehendes Grundfos Tauchrührwerk oder ein einziger langsamdrehender Grundfos Strömungsbeschleuniger einer Leistungsprüfung unterzogen. Es können jedoch auch bis zu vier Mischaggregate gleichzeitig geprüft werden.

Für das Prüfbecken wurde eine spezielle Brückenkonstruktion (siehe Abb. 33) mit einem mittig angeordneten, demontierbaren Prüfstand entwickelt. An den Prüfstand können die zu prüfenden Mischaggregate senkrecht montiert werden. Der Prüfstand ist für Grundfos Mischaggregate mit einem Propellerdurchmesser von bis zu 2,8 m ausgelegt. Mithilfe des Prüfstands können alle wichtigen Leistungsparameter gemessen werden. Dazu gehören der Schub, das Drehmoment und der Volumenstrom.

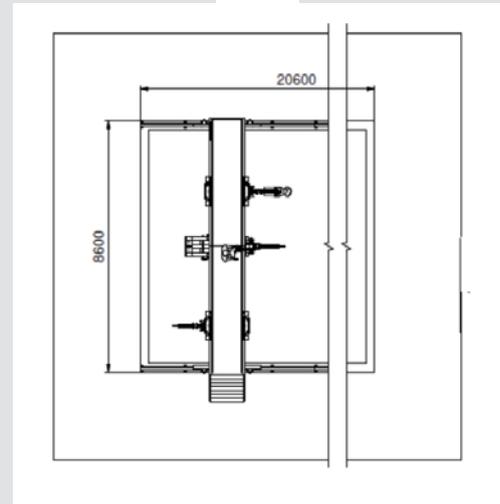


Abb. 33

ANLAGENOPTIMIERUNG

Allgemeines

Die Anlagenoptimierung kann die Beckengestaltung, die Anordnung der Mischaggregate entsprechend der bereits ausführlich beschriebenen Empfehlungen und die Nutzung zusätzlicher Ausrüstung, wie z. B. eines Frequenzumrichters, umfassen.

Die Zielsetzung ist

- eine erhebliche Reduzierung des Stromverbrauchs.
- die Minimierung von Ausfallzeiten und die Verlängerung der Lebensdauer.
- die bestmögliche Leistung im Hinblick auf den Prozess.

Vorteile einer optimalen Beckengestaltung

VERGLEICH QUADRATISCHER BECKEN ODER RECHTECKBECKEN MIT RUNDBECKEN

Bei den meisten Klärwerken sind die Becken quadratisch oder rechteckig ausgeführt und nebeneinander angeordnet, um das Weiterleiten des Abwassers von einem in das andere Becken durch Öffnungen unterhalb der Wasseroberfläche oder durch ein Wehr in der gemeinsamen Wand zu erleichtern. Bei gleicher Anordnung von Rundbecken ist das Weiterleiten schwieriger. Zudem sind nicht nur die Baukosten höher, sondern auch der Platzbedarf, weil die Becken nicht so dicht nebeneinander angeordnet werden können.

Der Einsatz von Rundbecken beschränkt sich deshalb hauptsächlich auf bestimmte Prozessschritte, wie z. B. die Pufferung von Abwasser, die Schlamm-speicherung, das anaerobe Faulen und die Schlamm-eindickung. Auch wenn nur wenige Becken (1 oder 2) benötigt werden, werden häufig Rundbecken verwendet.

Bei quadratischen oder rechteckigen Becken ist jedoch im Vergleich zu Rundbecken bei gleichem Volumen, gleicher Wassertiefe und gleicher Abwasserzusammensetzung ($TS \leq 0,5 \%$) der erforderliche, von den schnelldrehenden Tauchrührwerken (Grundfos Baureihe AMG) erzeugte Schub für das in Schwebelage Halten der Feststoffe und das Homogenisieren wegen der höheren Hydraulikverluste in den Ecken höher (siehe die Beispiele in Abb. 34, 35, 36, 37, 38 und 39). Andererseits kann nur durch die richtige Anordnung der Tauchrührwerke im Becken verhindert werden, dass sich gefährliche Verwirbelungen in der Mitte von Rundbecken bilden und sich die Feststoffe dadurch am Boden absetzen. Aber auch bei quadratischen und rechteckigen Becken hat die richtige Anordnung der Tauchrührwerke im Hinblick auf die Lage der Zu- und Abläufe und anderer Einflussfaktoren (wie z. B. Hindernisse, Vorhandensein eines Pumpensumpfes, installierte Belüftersysteme, usw.) große Auswirkungen auf den Stromverbrauch, der zum Erzeugen der Strömung erforderlich ist.



Beckenform	Abmessungen [m]	Wassertiefe [m]	Volumen [m ³]
Quadratisch	14,2 x 14,2	4,0	800
	16,3 x 16,3	4,5	1.200
	17,9 x 17,9	5,0	1.600
	18,3 x 18,3	6,0	2.000
Rund	Φ 16,0	4,0	800
	Φ 18,4	4,5	1.200
	Φ 20,2	5,0	1.600
	Φ 20,6	6,0	2.000

Abb. 34

Beckenform	Abmessungen [m]	Wassertiefe [m]	Volumen [m ³]
Rechteckig	10,0 x 25,0	4,0	1.000
	12,0 x 26,0	4,5	1.400
	15,0 x 24,0	5,0	1.800
	16,3 x 22,5	6,0	2.200
Rund	Φ 17,9	4,0	1.000
	Φ 20,0	4,5	1.400
	Φ 21,4	5,0	1.800
	Φ 21,6	6,0	2.200

Abb. 37

Schub in quadratischen Becken und Rundbecken

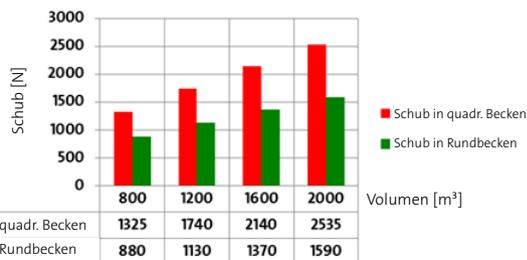


Abb. 35

Schub in Rechteckbecken und Rundbecken

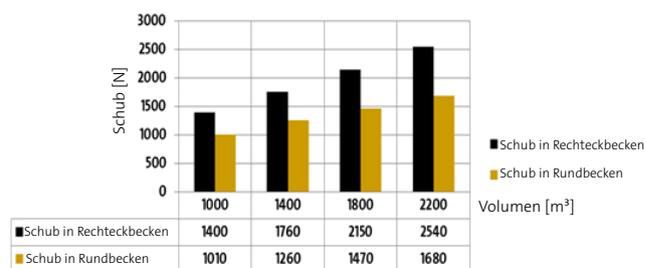


Abb. 38

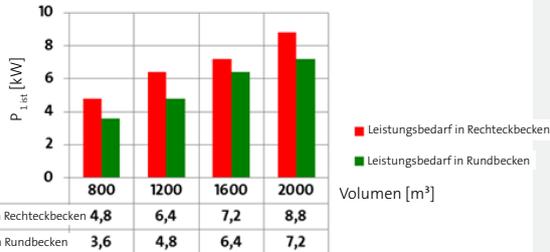
P_{1,ist} in quadratischen Becken und Rundbecken

Abb. 36

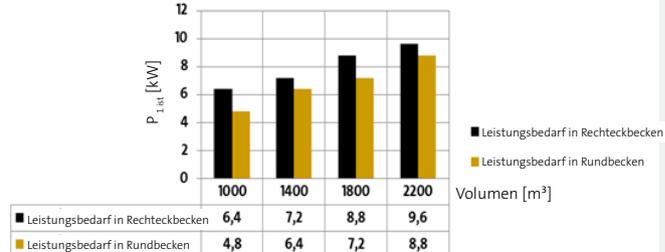
P_{1,ist} in Rechteckbecken und Rundbecken

Abb. 39

EINFLUSS VERSCHIEDENER BAUFORMEN BEI UMLAUFBECKEN

Der Einsatz und die Auswahl von langsamdrehenden Mischaggregaten (Strömungsbeschleuniger, Grundfos Tauchrührwerke der Baureihe AFG) in Umlaufbecken ist in großem Maße von der Beckengestaltung abhängig. So ist der erforderliche Schub zur Erzeugung der horizontalen Strömung und zum in Schweben Halten von Feststoffen für rechteckige Umlaufbecken höher als für Umlaufbecken mit abgerundeten Ecken (der klassische Oxidationsgraben). Auch die Gestaltung der Strömunglenkwände hat einen erheblichen Einfluss auf den Schubbedarf.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen den Schubbedarf bei unterschiedlich gestalteten Umlaufbecken, wenn dieselbe Abwasserzusammensetzung ($TS \leq 0,5\%$), dasselbe Volumen, dieselbe Wassertiefe und eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Graben von $0,3\text{ m/s}$ zugrunde gelegt werden. Die Beispiele verdeutlichen, dass sich die hydraulischen Verluste bei Rechteckbecken, Becken mit ausgefüllten Ecken und Becken mit abgerundeten Ecken (siehe Abb. 40, 41 und 42) kaum unterscheiden, während die Gestaltung der Strömunglenkwände lokal großen Einfluss auf die Hydraulikverluste haben. Somit variiert der Schubbedarf je nach Ausgestaltung des Beckens (siehe Tabelle 1, 3, 5 und 7). Davon betroffen ist auch die Auswahl der Strömungsbeschleuniger hinsichtlich Anzahl, Propellerdurchmesser und Motorleistung (siehe Tabelle 2, 4, 6 und 8).

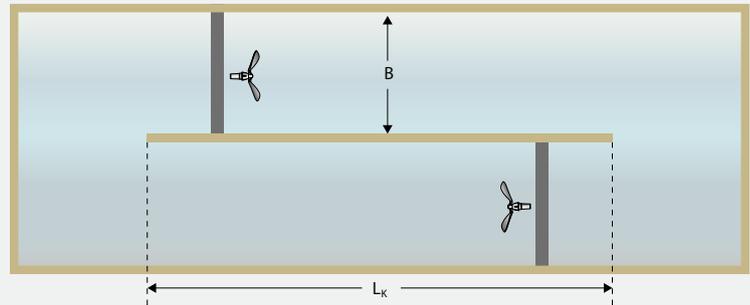


Abb. 40

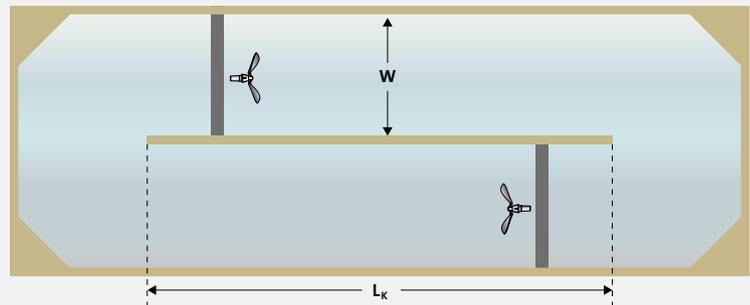


Abb. 41

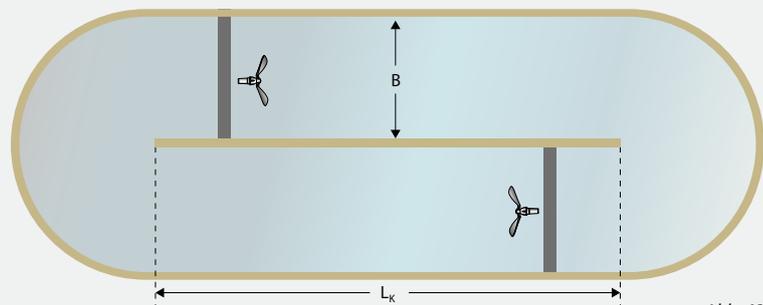
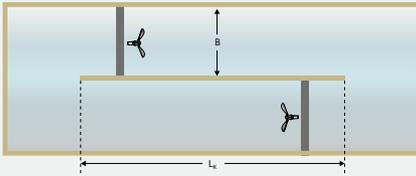


Abb. 42

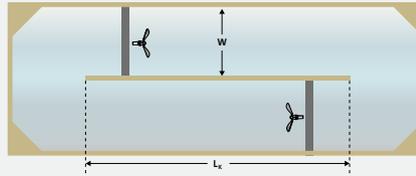
DER EINSATZ UND DIE AUSWAHL VON LANGSAMDREHENDEN RÜHRWERKEN IN UMLAUFBECKEN IST IN HOHEM MASSE VON DER BECKENGESTALTUNG ABHÄNGIG.

Ohne gekrümmte Strömunglenkwände

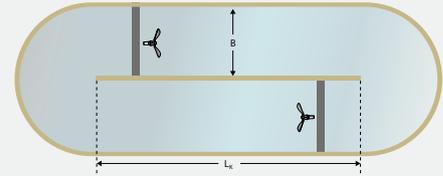
BAUFORM 1



BAUFORM 2



BAUFORM 3



Abmessungen		L_c [m]	B [m]	WT [m]	Volumen [m ³]	Erforderlicher Schub [N]
Bauform	1	46,7	7,5	5,4	5.000	11107
	2	48,6	7,5	5,4	5.000	9091
	3	50,0	7,5	5,4	5.000	6852

Tabelle 1

Abmessungen		Strömungsbeschleuniger	$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	Anzahl	$P_{1 \text{ ist, gesamt}}$ [kW]
Bauform	1	AFG 40.260	4,7	3	14,1
	2	AFG 34.260	3,8	3	11,4
	3	AFG 40.260	4,7	2	9,4

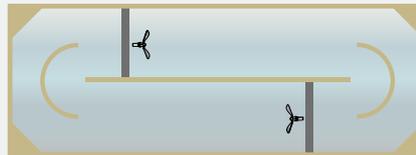
Tabelle 2

Mit mittig angeordneten, gekrümmten Strömunglenkwänden

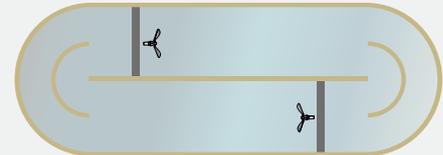
BAUFORM 1



BAUFORM 2



BAUFORM 3



Abmessungen		L_c [m]	B [m]	WT [m]	Volumen [m ³]	Erforderlicher Schub [N]
Bauform	1	46,7	7,5	5,4	5.000	5226
	2	48,6	7,5	5,4	5.000	4237
	3	50,0	7,5	5,4	5.000	3678

Tabelle 3

Abmessungen		Strömungsbeschleuniger	$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	Anzahl	$P_{1 \text{ ist, gesamt}}$ [kW]
Bauform	1	AFG 40.260	4,7	2	9,4
	2	AFG 30.260	3,4	2	6,8
	3	AFG 40.260	4,7	1	4,7

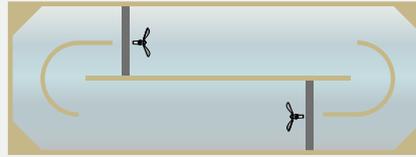
Tabelle 4

Mit mittig angeordneten, einseitig verlängerten Strömunglenkwänden

BAUFORM 1



BAUFORM 2



BAUFORM 3



Abmessungen		L_c [m]	B [m]	WT [m]	Volumen [m ³]	Erforderlicher Schub [N]
Bauform	1	46,7	7,5	5,4	5.000	4442
	2	48,6	7,5	5,4	5.000	3864
	3	50,0	7,5	5,4	5.000	3286

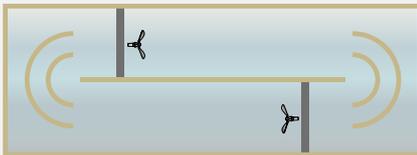
Tabelle 5

Abmessungen		Strömungsbeschleuniger	$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	Anzahl	$P_{1 \text{ ist, gesamt}}$ [kW]
Bauform	1	AFG 30.260	3,4	2	6,8
	2	AFG 40.260	4,7	2	4,7
	3	AFG 34.260	3,8	1	3,8

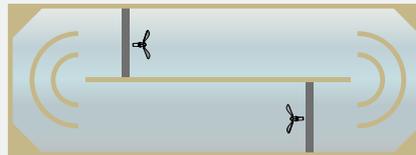
Tabelle 6

Mit mittig angeordneten, doppelten Strömunglenkwänden

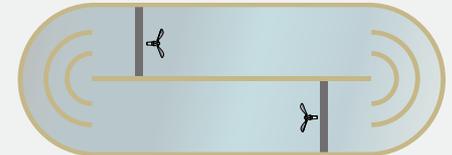
BAUFORM 1



BAUFORM 2



BAUFORM 3



Abmessungen		L_c [m]	B [m]	WT [m]	Volumen [m ³]	Erforderlicher Schub [N]
Layout	1	46,7	7,5	5,4	5.000	4050
	2	48,6	7,5	5,4	5.000	3303
	3	50,0	7,5	5,4	5.000	2744

Tabelle 7

Abmessungen		Strömungsbeschleuniger	$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	Anzahl	$P_{1 \text{ ist, gesamt}}$ [kW]
Bauform	1	AFG 18.180	2,2	3	6,6
	2	AFG 24.180	3,0	2	6,0
	3	AFG 30.260	3,4	1	3,4

Tabelle 8

Prinzipiell wird bei jeder Bauform der Schubbedarf durch die Installation von gekrümmten Strömunglenkwänden gesenkt. Dies hat Einfluss auf die Auswahl der Strömungsbeschleuniger hinsichtlich der Anzahl sowie des Modells und damit auf die Leistungsaufnahme $P_{1\text{ ist}}$, die je nach Bauform und zugehöriger Gestaltung der Strömunglenkwände um bis zu 55 bis 65 % reduziert werden kann. Die Bauform 3 bietet die meisten Vorteile. Der Vergleich zwischen Bauform 2 und Bauform 1 zeigt, welche Vorzüge das Auffüllen der Ecken bei einem vorgegebenen Rechteckbecken hat. Nach dem Auswählen der Strömungsbeschleuniger müssen die Anordnungsempfehlungen hinsichtlich der Abstände zum Boden, zu den Wänden, zur rückwärtigen Biegung und zum eventuell am Boden installierten Belüftersystem eingehalten werden, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten.

Einfluss der Gestaltung der Strömunglenkwände

Für ein konkretes Projekt hat Grundfos eine CFD-Simulation durchgeführt, um die Produktauswahl zu bestätigen. Die Prozessbecken sind als traditionelle Umlaufbecken mit einer Wassertiefe von 7,7 m ausgeführt. Die Ecken sind entsprechend Abb. 43. abgerundet. Im Becken sind verlängerte Strömunglenkwände mittig angeordnet.

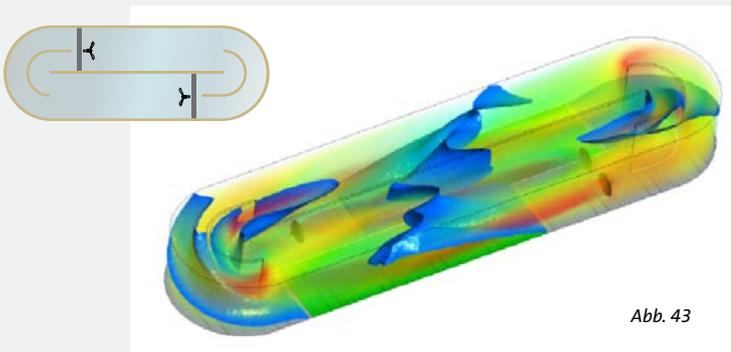


Abb. 43

Auch wenn in der Regel diese Art der Strömunglenkwände eingesetzt wird, ist dies in diesem Fall nicht die optimale Lösung, wie die Ergebnisse der CFD-Simulation zeigen. Die Strömungsverteilung am Boden ist sehr ungleichmäßig und in einigen Beckenabschnitten besteht die Gefahr der Sedimentation. Grundfos schlug deshalb eine andere Gestaltung der Strömunglenkwände vor und analysierte die Auswirkungen auf die Strömungsverhältnisse. Das Ergebnis zeigt Abb. 44.

Ein Blick auf den Installationsbereich der Strömungsbeschleuniger zeigt ebenfalls eine ungleichmäßige Strömungsverteilung im Bereich der Beckenkrümmung. Daraus ergeben sich unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten, wie in Abb. 45 dargestellt, so dass ungleichmäßige Strömungsverhältnisse im Bereich der Strömungsbeschleuniger vorliegen. Dadurch werden die Strömungsbeschleuniger zu Schwingungen angeregt, die die Lebensdauer herabsetzen und die Wartungskosten erhöhen. Deshalb muss der Mindestabstand zur Beckenkrümmung unbedingt eingehalten werden.

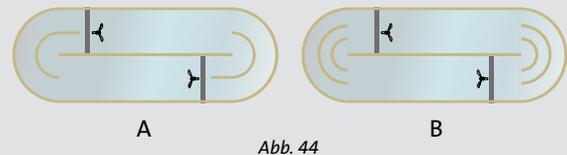


Abb. 44

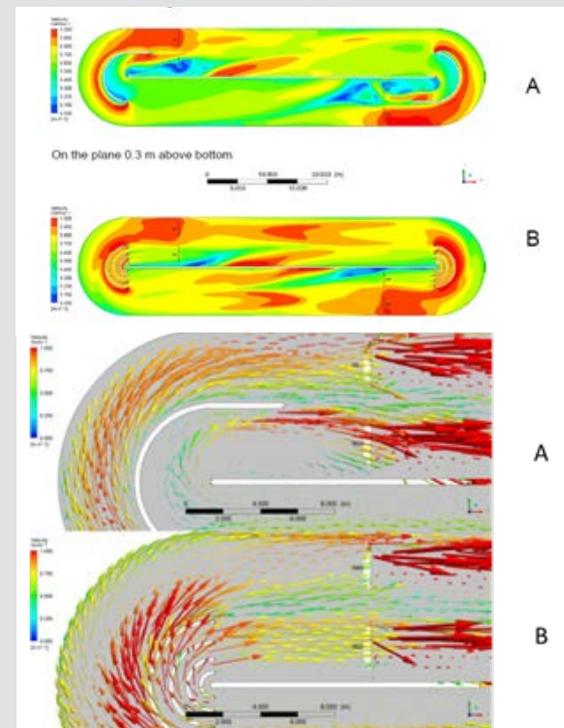


Abb. 45

Vorteile einer optimalen Produktwahl

Immer wenn ein Problem beim Rühren auftritt und alle Informationen zur Beckengeometrie, zu den Abwassereigenschaften und zum Prozess vorliegen, liefert das Auslegungsprogramm viele verschiedene Lösungen, die sich hinsichtlich der Anzahl der Mischaggregate und der ausgewählten Modelle unterscheiden. Die tatsächliche Auswahl richtet sich dann nach den technischen Gegebenheiten, wie z. B. dem Verhältnis zwischen der Beckenlänge, dem Beckendurchmesser bzw. der Grabenbreite und der Wassertiefe, der Eignung des Propellers des gewählten Modells im Hinblick auf die Wassertiefe oder die Anzahl der Mischaggregate im Hinblick auf die Beckengeometrie. Und nicht zuletzt kann auch der Stromverbrauch eine wichtige Rolle spielen.

ERSETZEN VON TAUCHRÜHRWERKEN DURCH STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER

Ein wichtiger Punkt für den Betreiber eines Klärwerks sind die Betriebskosten. Dabei sind vor allem der Stromverbrauch und die Wartungskosten zu beachten. Bis zu 10 % der Stromkosten eines Klärwerks entfallen auf Tauchrührwerke und Strömungsbeschleuniger. Dieser Anteil ist beachtlich, aber nicht mit den deutlich höheren Stromkosten für Belüftersysteme zu vergleichen. Dennoch kann der Einsatz von Strömungsbeschleunigern (AFG) anstelle von Tauchrührwerken (AMD oder AMG) für das Mischen und Aufschlännen bei gleichem Schubbedarf zur Strömungserzeugung und gleichem Abwasservolumen von Vorteil sein. Dabei gilt: Je größer das Volumen, desto größer ist der Nutzen.

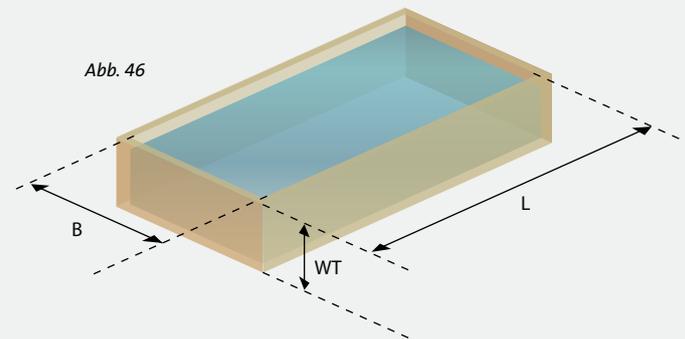
Die Vorteile sind:

- Geringere Anzahl an Mischaggregaten und damit geringere Wartungskosten/geringerer Wartungsaufwand sowie geringere Installationskosten.
- Geringe Gesamtleistungsaufnahme $P_{1 \text{ ist, gesamt}}$ und damit geringerer Stromverbrauch.
- Höherer Gesamtvolumenstrom und damit häufigeres Umwälzen des gesamten Abwasservolumens pro Zeiteinheit.

Die drei Rechteckbecken im folgenden Beispiel haben ein unterschiedliches Volumen, aber dieselbe Wassertiefe. Auch die Abwasserbeschaffenheit ($TS \leq 0,5$) ist identisch (siehe Tabelle 9 und Abb. 46).

BECKEN	Volumen [m ³]	L x B [m]	WT [m]
A	1.500	15,0 x 25,0	5,0
B	3.500	14,0 x 50,0	5,0
C	4.500	18,0 x 50,0	5,0

Tabelle 9



In den nachfolgenden Tabellen 10, 11 und 12 wird der Einsatz von schnelldrehenden Tauchrührwerken (Grundfos Baureihe AMG) und von langsamdrehenden Strömungsbeschleunigern (Grundfos Baureihe AFG) in den Becken A, B und C einander gegenüber gestellt (siehe Abb. 47, 48 und 49). Betrachtet werden folgende Parameter:

- Gesamtschub F
- Gesamtleistungsaufnahme $P_{1 \text{ ist}}$
- Schub-Leistungsverhältnis R_{FP}
- Rührzeit

Die Rührzeit gibt Aufschluss darüber, wie lange es dauert, bis das gesamte Abwasservolumen im Becken einmal das Mischaggregat passiert. Je kürzer die Rührzeit ist, desto häufiger wird das Abwasser pro Zeiteinheit (Anzahl/Stunde) umgewälzt.

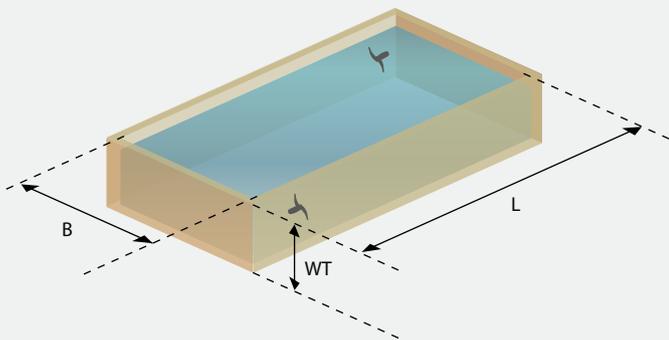


Abb. 47

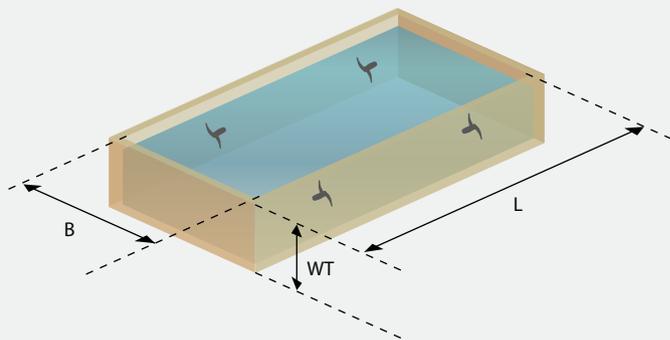
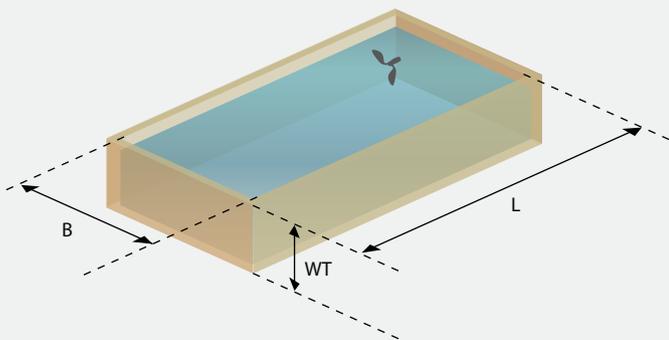
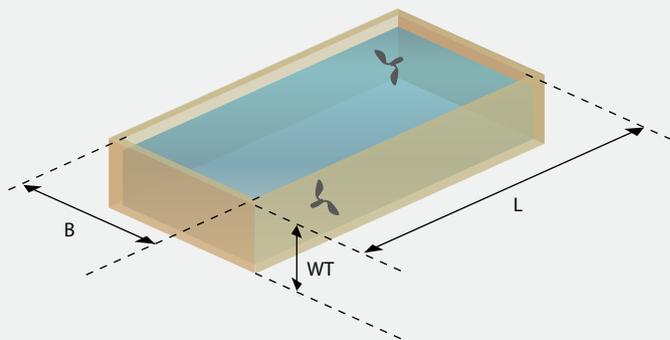


Abb. 48



Becken A	Tauchrührwerk	Strömungsbeschl.
	AMG.30.64.336	AFG.30.260.34
Anzahl	2	1
Gesamtschub F [N]	2.080	3.330
$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	6,4	3,4
Volumenstrom [m ³ /h]	2.922	10.704
R_{FP} [N/W]	0,327	0,970
Rührzeit [min]	31	8,5

Tabelle 10



BECKEN B	Tauchrührwerk	Strömungsbeschleuniger
	AMG.30.64.336	AFG.30.260.34
Anzahl	4	2
Gesamtschub F [N]	4.160	6.660
$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	12,8	6,8
Volumenstrom [m ³ /h]	5.844	21.408
R_{FP} , [N/W]	0,327	0,970
Rührzeit [min]	36	10

Tabelle 11

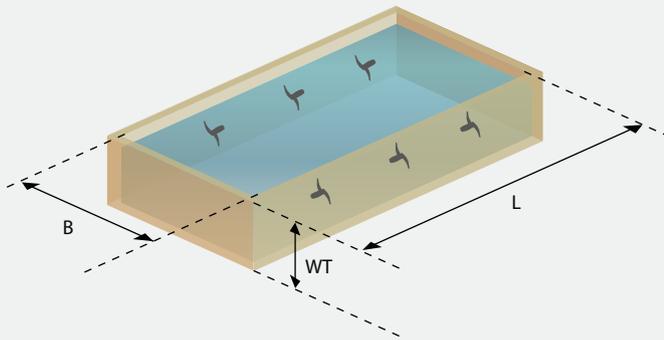
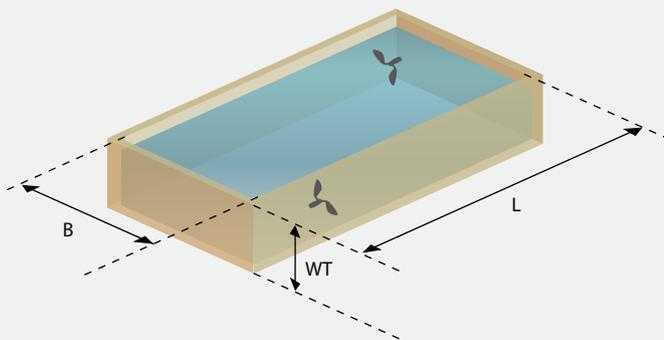


Abb. 49



BECKEN C	Tauchrührwerk	Strömungsbeschl.
	AMG.30.64.336	AFG.30.260.34
Anzahl	6	2
Gesamt Schub F [N]	4.620	6.660
$P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	14,4	6,8
Volumenstrom [m ³ /h]	7.542	21.408
R_{FP} [N/W]	0,322	0,970
Rührzeit [min]	36	13

Tabelle 12

Die Tabelle 13 zeigt die möglichen Energieeinsparungen pro Jahr, wenn anstelle der Tauchrührwerke Strömungsbeschleuniger in den Becken A, B und C eingesetzt werden. Natürlich müssen in diesem Zusammenhang auch die höheren Investitionskosten und die durch die Energieeinsparungen realisierbaren Amortisationszeiten berücksichtigt werden. Zudem muss klargestellt werden, dass die Einsatzmöglichkeiten von Strömungsbeschleunigern in quadratischen Becken, Rechteckbecken und Rundbecken durch die Beckenform und Beckengröße, manchmal aber auch durch die Anforderungen des Prozesses begrenzt sind.

DATEN	Becken A	Becken B	Becken C
$\Delta P_{1 \text{ ist}}$ [kW]	3,0	6,0	7,6
Energieeinsparung/Jahr [kWh]	26.280	52.560	66.576

Tabelle 13

BEISPIEL: ERSETZEN DER TAUCHRÜHRWERKE DURCH STRÖMUNGSBESCHLEUNIGER IM KLÄRWERK DOUCHY, FRANKREICH

Das Projekt umfasst die Umwandlung eines vorhandenen Rundbeckens, das bisher als Regenrückhaltebecken genutzt wurde, in ein Prozessbecken. Siehe Abb. 50.

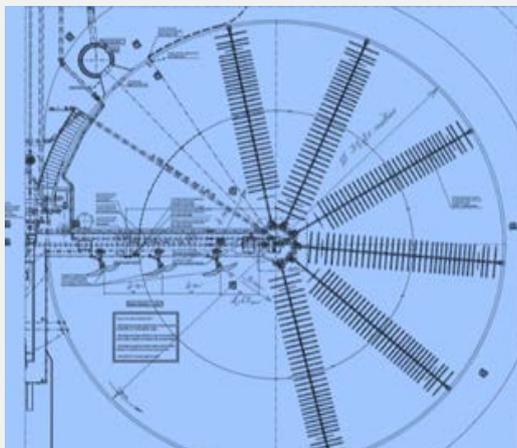


Abb. 50

Im Regenrückhaltebecken waren Tauchrührwerke installiert, deren Leistung jedoch nicht ausreicht, um den Inhalt des Beckens umzuwälzen, weil für die Nutzung als Prozessbecken am Boden ein aus Rohren bestehendes Belüftersystem montiert wurde. Um dies zu berücksichtigen und die Stromkosten niedrig zu halten, sollte das Becken mit Strömungsbeschleunigern ausgerüstet werden.

Der Planer schlug vor, dass die Strömungsbeschleuniger an derselben Stelle wie die vorhandenen Tauchrührwerke installiert werden. Auf Basis dieser Vorgaben erarbeitete Grundfos eine Lösung mit drei AFG-Strömungsbeschleunigern mit 4,0 kW.

Der Abstand der Strömungsbeschleuniger im Beckeninneren zum Belüfternetz entsprach jedoch nicht den allgemeinen Grundfos Empfehlungen. Deshalb sprach Grundfos sich dafür aus, eine CFD-Simulation durchzuführen. Das Ergebnis zeigt Abb. 51 und 52.

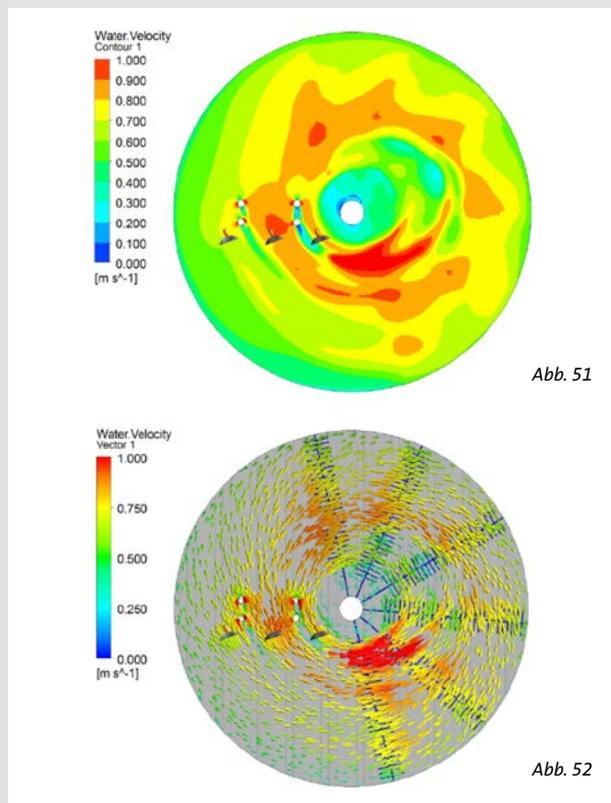


Abb. 51

Abb. 52



Abb. 53

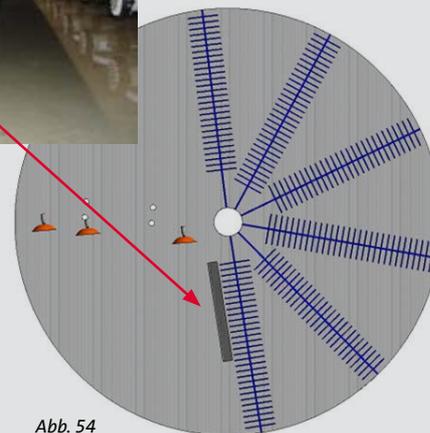


Abb. 54

Die CFD-Simulation zeigt eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Belüfternetzes, so dass das Belüftersystem beschädigt werden kann. Zur Beseitigung des Problems wurden mehrere Lösungsansätze untersucht. Schließlich wurde eine Schutzbarriere aus Stahl vor einem Teil des ersten Belüfternetzes installiert (siehe Abb. 53). Dadurch wurde die Gefahr erheblich reduziert, dass das Belüftersystem beschädigt wird und teure Reparaturarbeiten erforderlich werden.

Die CFD-Simulation zeigt auch, dass die Strömungsgeschwindigkeit sowohl bei eingeschalteter, als auch bei ausgeschalteter Belüftung höher als erforderlich ist. Zudem ist die Strömungsverteilung nicht optimal. Deshalb wurde zusätzlich zur Schutzbarriere für das Belüftersystem auch eine andere Anordnung der Strömungsbeschleuniger entsprechend Abb. 54 vorgeschlagen.

Wegen der immer noch zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Becken, die sich anhand der CFD-Simulationen ergaben (siehe Abb. 55 und 56), sollte untersucht werden, ob kleinere Strömungsbeschleuniger eingesetzt werden können.

Die daraufhin durchgeführten CFD-Simulationen bestätigten, dass eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s durchaus mit kleineren Strömungsbeschleunigern erreicht werden kann. Die Motorleistung konnte so von 4,0 kW auf 2,4 kW reduziert werden, so dass der Stromverbrauch um 40 % und damit um mehr als 42.000 kWh/Jahr gesenkt wird. Das Ergebnis der Optimierung zeigt Abb. 57.

Die Optimierungsmaßnahmen, die auf Basis der CFD-Simulationen durchgeführt wurden, führten dazu, dass

- die Gefahr einer Beschädigung des Belüftersystems nicht mehr bestand.
- die Strömungsbeschleuniger an einer anderen Stelle angeordnet wurden, um die erzeugte Strömung besser nutzen zu können.
- Energieeinsparungen von 40 % erzielt werden konnten.

Das Klärwerk wurde 2011 in Betrieb genommen.

Results – Contours

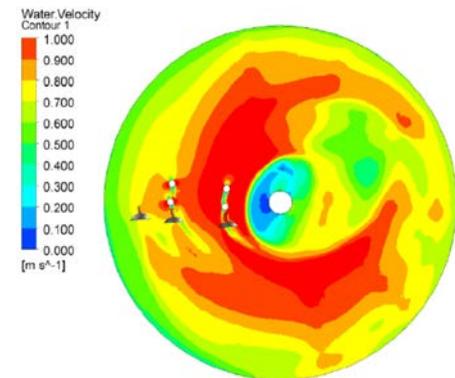


Abb. 55

Results – Vectors

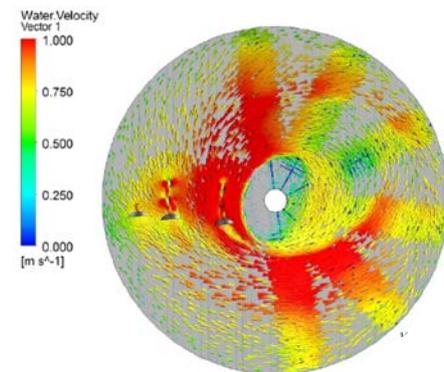


Abb. 56

velocity contours

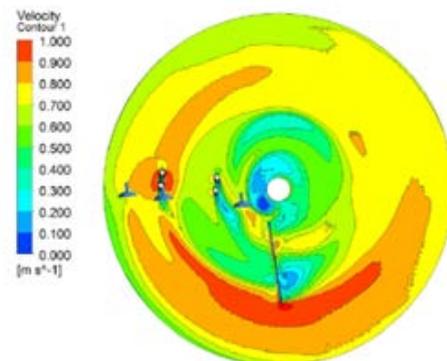
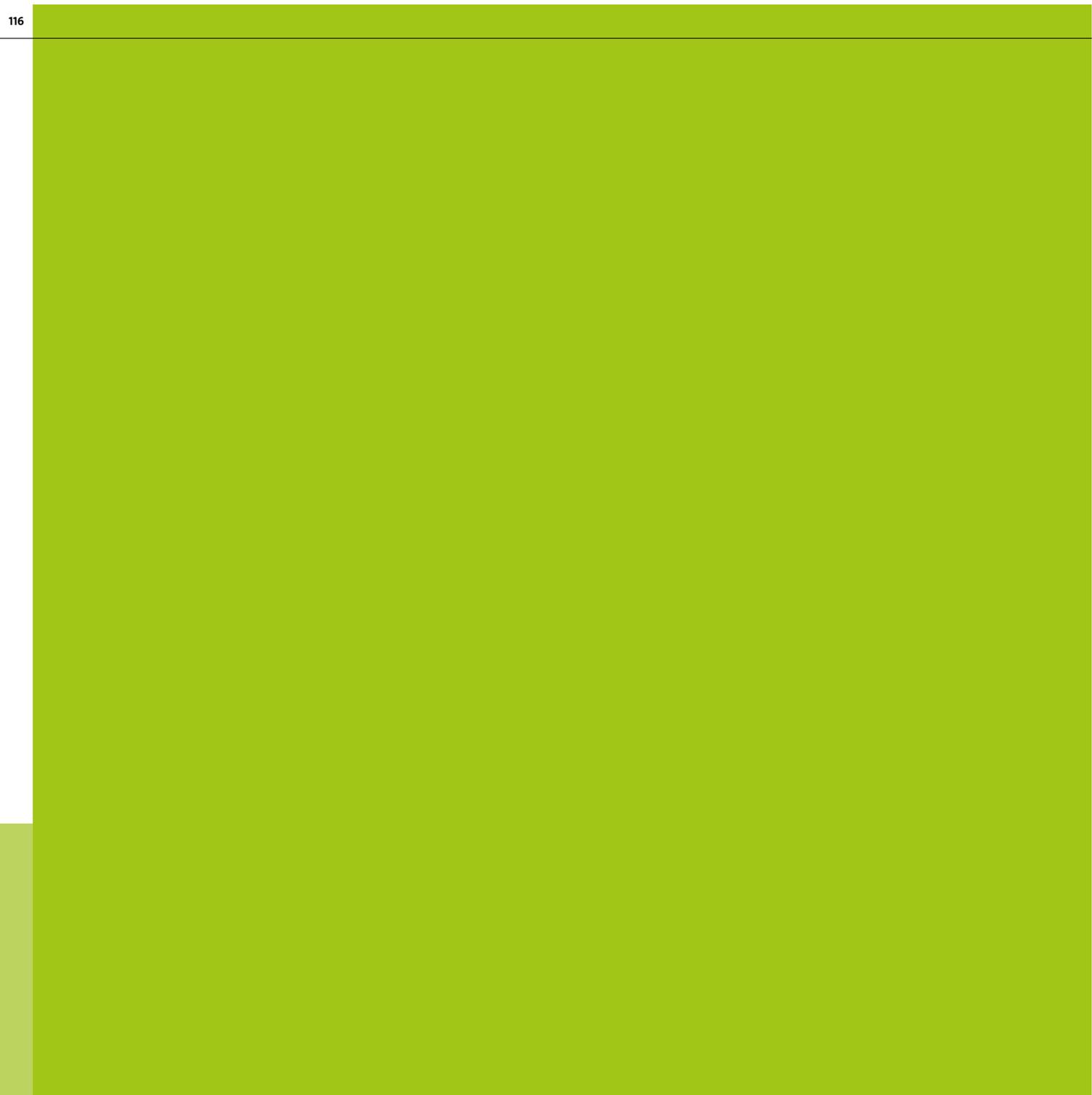


Abb. 57





**BEZEICHNUNGEN,
SYMBOLE
UND MASSEINHEITEN**

Bezeichnungen, Symbole und Masseinheiten

B	Grabenbreite in Umlaufbecken [m] oder Breite von Rechteckbecken [m]
C	Mindestabstand des Propellers vom Strömungsbeschleuniger zur rückwärtigen Biegung [m]
C_r	Mindestabstand des Propellers zur Rückwand [m]
C_o	Mindestabstand des Propellers zu einem Hindernis [m]
C_D	Mindestabstand des Propellers zur ersten Belüfterreihe in belüfteten Becken [mm]
C_F	Vorwärtsgerichteter Mindestabstand zwischen den Propellern und der ersten Belüfterreihe in Umlaufbecken [m]
C_M	Mindestabstand zwischen der letzten Belüfterreihe und dem Beginn der nachfolgenden Biegung [m]
C_R	Rückwärtsgerichteter Mindestabstand zwischen den Propellern und der letzten Belüfterreihe [m]
D	Propellerdurchmesser [mm]
D_i	Innendurchmesser eines Ringbeckens [mm]
D_o	Außendurchmesser eines Ringbeckens [mm]
D_c	Vorwärtsgerichteter Mindestabstand der Propeller der Strömungsbeschleuniger zur Biegung [m]
D_s	Mindestabstand zwischen den Propellern von in Reihe angeordneten Strömungsbeschleunigern [m]
d	Durchmesser von Rundbecken [m]
F	Schub [N]
h	Geodätische Höhe [m]
h_w	Wassertiefe [m]
h_s	Mindesteintauchtiefe des Propellers [m]
h_{min}	Mindestabstand der Propeller zum Boden von flachen Becken [m]
h_D	Vertikaler Mindestabstand der Propellerspitzen zu den Belüftern bei vollständig bedeckten Becken [m]
H	Dynamische Höhe [m]
L_c	Länge des geraden Beckenabschnitts [m]
L₁	Mindestabstand der Propellerspitze zur ersten Belüfterreihe in belüfteten Becken [mm]
L₂	Rückwärtiger Mindestabstand der Propellermittellinie zur ersten Belüfterreihe in belüfteten Becken [mm]
n	Anzahl der Aggregate [-]
P	Hydraulikleistung (aufgewendete Leistung) [W]
P₁	Leistungsaufnahme [W]
q	Volumenstrom des Tauchrührwerks/Strömungsbeschleunigers [m ³ /s]
r	Radius [mm]
R_{FP}	Spezifische Schubleistungsziffer [N/W]
Re	Reynoldszahl [-]
S	Seitenlänge der quadratischen Becken [m]
Sdeg	Suspensionsgrad [-]
s_w	Mindestabstand des Propellers zur Seitenwand [m]
s_t	Mindestabstand der Propellerspitzen von benachbarten Mischaggregaten [m]

TS	Trockensubstanzgehalt [% oder mg/l]
μ	Dynamische (oder absolute) Viskosität [cP oder mPas]
v	Kinematische Viskosität [m ² /s]
η	Wirkungsgrad des Mischaggregates [%]

DEFINITIONEN

DN-N

Abkürzung für *Denitrifikation-Nitrifikation*. Der Prozess besteht aus einem grundlegenden Aufbereitungsverfahren, das als "modifizierte Stickstoffeliminierung nach Luzdak-Ettinger (MLE-Prozess)" bezeichnet wird, bei dem der nahezu sauerstofffreie Denitrifikationsprozess gegen den Strom des aeroben Nitrifikationsprozesses stattfindet, wobei die Nitrate in das Denitrifikationsbecken zurückgeführt werden. Auch der Sekundärschlamm wird teilweise in das Denitrifikationsbecken zurückgeführt (RAS).

RAS

Abkürzung für *Return Activated Sludge*. Beim Belebtschlammprozess wird der sich im Nachklärbecken abgesetzte Schlamm in das Oxidationsbecken (oder zumindest an den Anfang der biologischen Klärstufe) zurückgeführt, um den Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken auf einem bestimmten Niveau zu halten. Der RAS-Volumenstrom kann je nach Trockensubstanzgehalt und Schlammkonzentration das 0,5-fache bis mehr als das 1,5-fache des Abwasservolumenstroms betragen.

MLR

Abkürzung für *Mixed Liquor Recirculation*. Der Begriff steht für die Rückführung der im Nitrifikationsprozessbecken entstandenen Nitrate (NO₃) in das Denitrifikationsbecken. Der MLR-Wert kann je nach erreichtem Nitrateleminierungsgrad das 1-fache bis mehr als das 5-fache des Abwasservolumenstroms betragen.

EBPR

Abkürzung für *Enhanced Biological Phosphorus Removal*.

A2O

Abkürzung für *Anaerobisch/Anoxisch/Oxisch*. A2O ist der grundlegende Aufbereitungsprozess zur Stickstoff- und Phosphateleinierung. Während die Nitrate in das anoxische Becken zurückgeführt werden, wird der Rücklaufschlamm (RAS) teilweise in das anaerobische Becken zurückgeführt, in dem zum Teil der EBPR-Prozess stattfindet.

BOD5

Der biologische Sauerstoffbedarf bezeichnet die Sauerstoffmenge, die zum Zersetzen von organischen, biologisch abbaubaren Substanzen durch den Stoffwechsel der Mikroorganismen benötigt wird. Er ist ein Maß für den organischen, biologisch abbaubaren Kohlenstoff.

DO

Abkürzung für *Dissolved Oxygen*. Der Begriff steht für den Sauerstoffgehalt im Wasser. In der Abwasserbehandlung wird je nach Prozess und Abwasserzusammensetzung ein DO-Wert von 0,5 mg/l bis 3,0 mg/l angestrebt. Bei der Prozessauslegung wird zur Bestimmung der Sauerstoffzufuhr ein mittlerer DO-Wert von 2,0 mg/l zugrunde gelegt.

FU

Abkürzung für *Frequenzumrichter*. Der Frequenzumrichter dient zur Anpassung der Drehzahl eines Wechselstrommotors, indem die Frequenz der für den Antrieb des Motors genutzten Netzspannung geregelt wird.

LITERATURVERZEICHNIS

ISO 21630: "Pumpen – Prüfungen – Rührwerke für Abwasser und ähnliche Anwendungen".

VDMA 24656: "Rührwerke in Belebungsbecken von Abwasserreinigungsanlagen. Hinweise zur Planung, Projektierung und Ausführung".

"Energy Saving Potential for Mixing of Horizontal Flow System". B. Kiilerich, Grundfos WU, Bjerringbro. Dänemark. E. Yang, CFD Grundfos R&D, Suzhou. P.R. China.

"Mixing In Process Industries". A.W. Nienow, M.F. Edwards, N. Hamby

"Wastewater Engineering - Treatment and Reuse". Metcalf & Eddy Inc., USA

"Biological Phosphorus Removal - Manual for Design and Operation". P.M.J. Janssen, K.Meinema , H.F. van den Roest- DHV Water BV, Nederland

"Aeration: Principles and Practice". J.A. Mueller, W.C. Boyle, H.J. Poepel . USA/Deutschland

be think innovate



CW032092/0617/WASSERWIRTSCHAFT

Der Name Grundfos, das Grundfos-Logo und der Slogan "be think innovate" sind eingetragene, weltweit geschützte Markenzeichen der Grundfos Holding A/S oder Grundfos A/S, Dänemark. Alle Rechte vorbehalten.

GRUNDFOS GMBH
Schüterstraße 33
D-40699 Erkrath
www.grundfos.de

GRUNDFOS PUMPEN AG
Bruggacherstrasse 10
CH-8117 Fällanden
www.grundfos.ch

GRUNDFOS PUMPEN VERTRIEB GesmbH
Grundfosstraße2
A-5082 Grödig
www.grundfos.at

GRUNDFOS 