

# KSB-Know-how: Planungshinweise Mischer / Rührer



## Einleitung

Diese Planerhilfe soll auf die Anwendungsmöglichkeiten von Tauchmotorrührwerken in kommunalen Klärwerken eingehen. Es ist dabei wichtig zu unterscheiden, ob es sich nur um einen Speicherbehälter oder ein Becken in der biologischen Stufe der Kläranlage handelt.

Das Rührwerksprogramm von KSB beinhaltet kleine Schnellläufer ohne Getriebe und große Langsamläufer mit Getriebe. Beide Varianten sind kompakte Blockaggregate mit einem Tauchmotor, der vom umgebenden Medium gekühlt wird.

Die Amaprop-Rührwerke sorgen mit den großen Propellern für große Durchflussmengen und eine effiziente Strömungsbeschleunigung in den biologischen Becken der Kläranlage.

Die kleineren Amamix-Rührwerke können in vielfältigen Bereichen eingesetzt werden. Es gibt eine Standardvariante in Grauguss und für besondere Anforderungen eine Variante in massivem Edelstahl. Für die Aufstellung passendes Zubehör ist für sämtliche Becken verfügbar.

Durch die Installation mit Führungsrohren ergibt sich eine gute Erreichbarkeit. Einfaches Ziehen des Aggregats reicht zur Kontrolle und Wartung des Rührwerkes. Das dreistufige Dichtungskonzept aus zwei Gleitringdichtungen und einer Lippendichtung sorgt dabei für lange Intervalle zwischen den Wartungen.

Diese Broschüre soll ein grundlegendes Gespür für Anwendungen und Positionierungen von Tauchmotorrührwerken bei geplanten Beckengrößen geben.

Know-how-Bände können Sie hier ganz einfach herunterladen oder bestellen: [www.ksb.de/know-how](http://www.ksb.de/know-how)



| Seite |  | Seite |   |
|-------|--|-------|---|
| 02    | <b>Vorwort</b>                         | 22    | Biogas  |
| 03    | <b>Inhaltsverzeichnis</b>              | 26    | Eisfreihaltung                                  |
| 04    | <b>1. Amamix – Tauchmotorrührwerk</b>  |       | MBBR  |
| 05    | Zubehör Amamix                         |       | Regenbeckenreinigung                            |
| 06    | <b>2. Amaprop – Tauchmotorrührwerk</b> | 28    | Einsatzmöglichkeiten von Rührwerken in Funparks |
| 07    | Zubehör Amaroc                         |       | Aufmischen von Pumpensämpfen                    |
| 07    | Propellermontage                       | 29    | <b>4. Rührwerkspositionierung</b>               |
| 08    | <b>3. Prozesse und Anwendungen</b>     | 49    | Wurfweite                                       |
|       | Grundlagen des Rührens                 | 49    | <b>5. CFD</b>                                   |
| 09    | Schlammbehandlung                      | 52    | Ziele der CFD-Rechnungen                        |
| 13    | Die biologische Reinigungsstufe        | 53    | Bildnachweis                                    |
| 17    | Physikalische Grundlagen               |       | Autoren   |

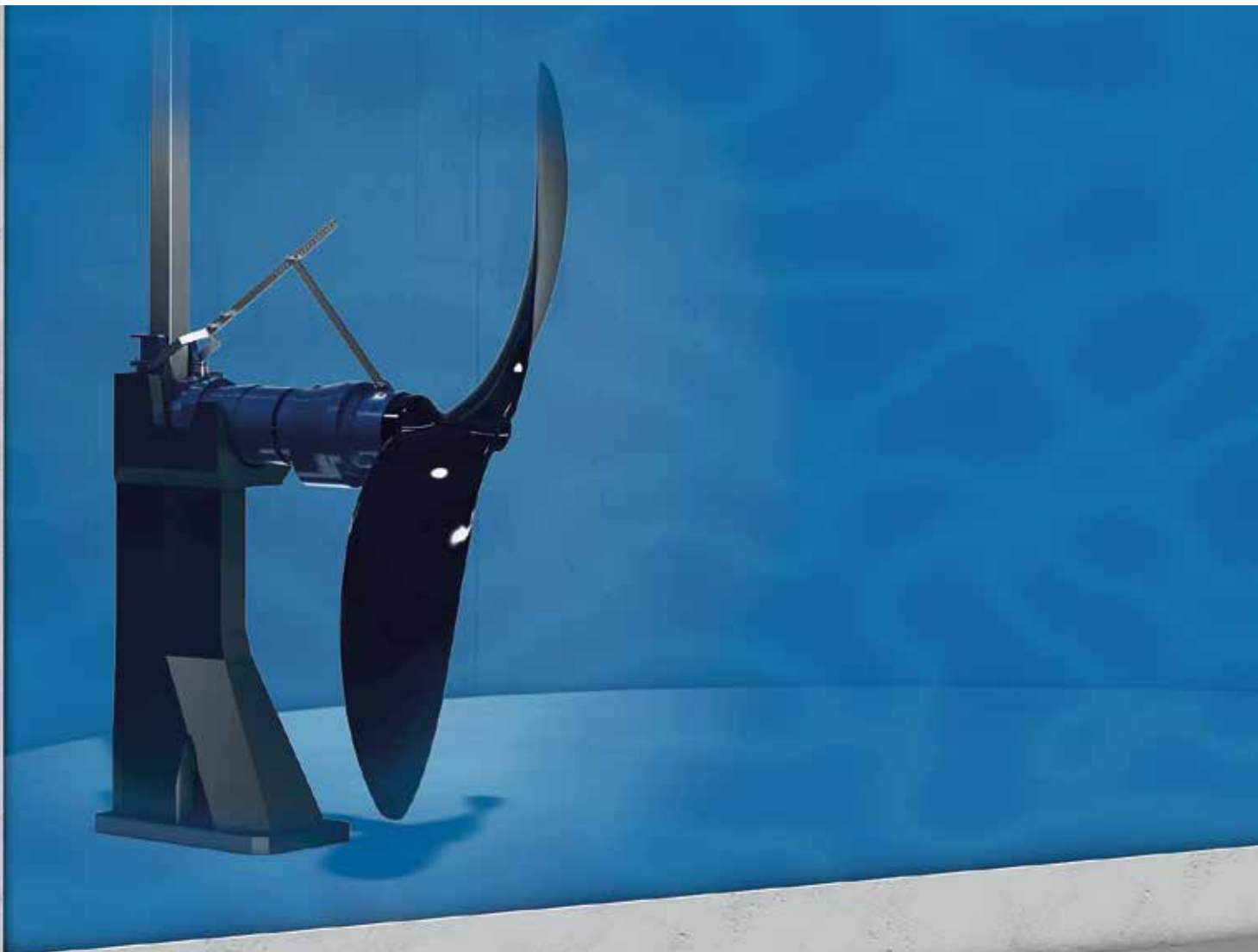




Abb. 1: Zubehör 6



Abb. 2: Zubehör 7

# 1. Amamix – Tauchmotorrührwerk

Als horizontales, voll überflutbares Tauchmotorrührwerk mit selbstreinigendem ECB-Propeller in Blockbauweise wird der Amamix direkt angetrieben und ist auch als explosionsgeschütztes Gerät nach ATEX II 2G T4 verfügbar. Als Antrieb für hohe Betriebssicherheit kommt ein druckwasserdicht gekapselter Drehstrom-Asynchron-Motor mit Kurzschlussläufer und längswasserdicht vergossener Leitungseinführung zum Einsatz, welcher durch Temperaturfühler vor Überhitzung geschützt wird. Zwei hintereinander angeordnete drehrichtungsunabhängige Gleitringdichtungen mit Flüssigkeitsvorlage sorgen für zusätzliche Sicherheit. Als Beitrag zum Umweltschutz erfolgt die Ölfüllung mit umweltfreundlichem Weißöl. Zur Lagerung werden auf Lebensdauer fettgeschmierte Wälzlager verwendet. Schrauben aus Edelstahl sorgen für eine leichte Demontierbarkeit auch nach Jahren. Die Gehäuse sind sowohl in Grauguss als auch in Edelstahl verfügbar. Die Propeller werden in der Regel in Edelstahl gefertigt.

## Technische Daten

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Mediumtemperatur                             | max. 40 °C (optional: 60 °C) |
| Drehzahl                                     | 475 bis 1.400 1/min          |
| Leistung                                     | 1,25 bis 10 kW               |
| Nennpropellerdurchmesser                     | 225 bis 630 mm               |
| Einbautiefe                                  | max. 30 m                    |
| EX-Schutz nach ATEX                          |                              |
| Optional mit Strahlrohr und Frequenzregelung |                              |

## Zubehör Amamix

### Zubehör 6

- Befestigung am Boden
- horizontal schwenkbar
- vertikal fixe Einbauhöhe

Voraussetzung: Aufstellort ist zugänglich  
(z. B. Regenentlastungsbauwerke)

### Zubehör 7

- Befestigung an der Berme bzw. Schacht-/Beckenwand
- stufenlos einstellbare Einbautiefe und mit einstellbarer Strahlrichtung
- Das Tauchmotorrührwerk kann zu Wartungs- und Inspektionsarbeiten aus dem Becken bzw. Schacht gezogen werden



Abb. 3: Zubehör 22

### Zubehör 22

- Befestigung an der Schacht-/Beckenwand und auf schrägem Beckenboden oder nur an der Schacht-/Beckenwand
- stufenlos einstellbare Einbautiefe mit einstellbarer Strahlrichtung
- Das Tauchmotorrührwerk kann zu Wartungs- und Inspektionsarbeiten aus dem Becken bzw. Schacht gezogen werden

### Zubehör 22 – Neigungsadapter

- ermöglicht eine Verstellung von 40° in 10°-Schritten nach oben oder unten (bei Amamix 600 G 15° bzw. 30° Neigung nach oben oder unten)



Abb. 4: Neigungsadapter



Abb. 5: AmaRoc



Abb. 6: AmaRoc mit Führungsrohr



Abb. 7: QR-Code zur Animation „Aufbau AmaRoc“

## 2. Amaprop – Tauchmotorrührwerk

Die selbstreinigenden ECB-Propellerflügel dieses Tauchmotorrührwerks sind aus glasfaserverstärktem Epoxidharz mit metallischem Nabeneinleger und Gelcoat-Schutzschicht gefertigt, was sie leicht und gleichzeitig robust macht. Hohe Betriebssicherheit wird durch zwei drehrichtungsunabhängige Gleitringdichtungen mit umweltfreundlicher Ölvorlage, einer Leckagekammer zwischen Getriebe und Ölkammer, einer Temperaturüberwachung des Drehstrom-Asynchronmotors sowie einer längswasserdichten Kabeinführung erreicht. Das Zubehör AmaRoc aus dem innovativen Werkstoff NoriRoc sorgt für sicheren Stand und äußerst hohe Lebensdauer.

### Technische Daten

|  |                    |
|--|--------------------|
| Drehzahl   | 24 bis 208 1/min   |
| Leistung   | 1,25 bis 20 kW     |
| Propellerdurchmesser                                 | 1.000 bis 2.500 mm |
| <b>EX-Schutz nach ATEX, Frequenzregelung möglich</b> |                    |

### Zubehör AmaRoc

Der AmaRoc dient zur stationären Befestigung auf ebenem Beckenboden zur freien Aufstellung oder mit oberer Halterung des Führungsrohres.

Der monolithisch gegossene Tauchmotorrührwerksständer AmaRoc besteht aus NoriRoc.

Er besitzt integrierte metallische Einlegebuchsen zur Befestigung am Beckenboden und elastische Aufnahmebuchsen für das Führungsrohr.



Abb. 8: AmaRoc-Aufstellhöhen 1.450 mm, 1.800 mm und 1.100 mm

Die Befestigung des Tauchmotorrührwerksständers am Beckenboden erfolgt mit Verbundankern.

Der AmaRoc wird frei stehend eingesetzt, ohne obere Befestigung (bei Vierkantführungsrohr  $< 7$  m) oder mit oberer Befestigung an der Beckenwand oder Brücke (bei Vierkantführungsrohr  $\geq 7$  m generell erforderlich; optional bei Vierkantführungsrohr  $< 7$  m Führungsrohrlänge).

Für den Amaprop sind drei Achshöhen verfügbar:

Achshöhe = 1.100 mm (nur Amaprop 1200 ... 1801)

Achshöhe = 1.450 mm

Achshöhe = 1.800 mm

## Propellermontage/-demontage

Zum Transport des Amaprop sollte der Propeller von der Welle genommen werden.

Hierfür sollte er in einer gut zugänglichen Position sein, mit einem entsprechenden Auflager unter Getriebe und Führungsrohrhalterung. Zuerst werden die Schutzkappen von der Nabe und der äußeren Gleitringdichtung entfernt. Für einen komplikationslosen Abzug des Propellers sollte der Nabensitz auf der Welle gereinigt werden. Die Mutter kann nun von der Welle entfernt und der Propeller abgezogen werden. Um später den Propeller wieder besser aufziehen zu können, sollte die Feder der Welle nach oben zeigen. Wenn das Abziehen zu schwergängig ist, kann eine Abziehschraube verwendet werden.

Beim Aufziehen des Propellers sollte der Nabensitz ebenfalls sauber sein. Zur Unterstützung beim Aufsetzen kann auch eine Aufziehschraube helfen. Hat der Propeller die Endposition erreicht, kann die Mutter auf der Welle wieder angezogen und die Schutzkappen können aufgesetzt werden.

Durch das geringe Gewicht des Propellers kann die Montage/Demontage ohne die Hilfsschrauben erfolgen.



Abb. 9: Montage Amaprop

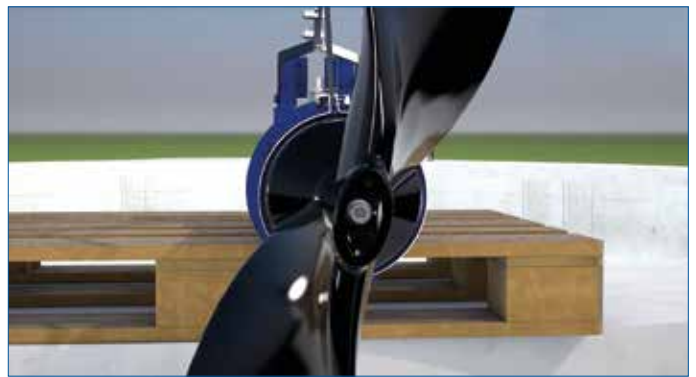


Abb. 10: Amaprop



Abb. 11: QR-Code zur Animation „Amaprop“



Abb. 12: Typisches Becken einer Abwasserbehandlungsanlage (Henderson, NV)

## 3. Prozesse und Anwendungen

Als einer der führenden Hersteller von Tauchmotorrührwerken bietet KSB Komplettlösungen für Mischanwendungen an. Neben einer stetigen Weiterentwicklung der Tauchmotorrührwerke kann KSB mit fundiertem Know-how für die Anwendungs- und Systemtechnologie sowie für die Auswahl von Mischanlagen dienen.

Dieses Know-how basiert auf einer umfassenden Forschung, der Erfahrung aus tausenden Installationen in der Praxis sowie profunden Kenntnissen der modernen Mischtechnik.

### Grundlagen des Rührens

Die Bewegung in Flüssigkeiten (hier als „fließende Medien“ definiert) wird durch eine Strömung erzeugende Anlage ausgelöst.

Um sich die Bedeutung des Rührens bewusst zu machen, muss man sich zunächst vergegenwärtigen, dass es nur sehr wenige Produkte gibt, die während der Herstellung oder der anschließenden Raffinierung nicht gemischt werden müssen. Die einfachste Form des Mischens kann etwas so Elementares wie das Rühren mit einem Stab oder einem Kochlöffel bei der Zubereitung einer Mahlzeit in der Küche sein. Bei bestimmten Anwendungen entspricht genau dies noch dem „Stand der Technik“.

Falls jedoch ein größeres Volumen zu mischen ist, sollte ein geeignetes Aggregat zum Einsatz kommen. Die Auswahl reicht von einem Mixer, der beim Herstellen eines Milchshakes zum Einsatz kommt, bis zu großen Fahrmischern zur Versorgung von Baustellen. Das vorliegende Dokument konzentriert sich auf die Technik von Tauchmotorrührwerken und dafür geeignete Anwendungen.



Im Hinblick auf die Optimierung eines Mischverfahrens müssen sämtliche Parameter, die diesen Prozess beeinflussen, bekannt sein. In Abbildung 12 ist ein typisches Belebtschlamm-Becken in Betrieb zu sehen. Der bloße Blick auf seine Oberfläche verrät nicht, ob es sich um ein anoxisches, anaerobisches oder sogar ein SBR-Becken handelt. Darüber hinaus könnte es direkt unter der Wasseroberfläche erhebliche Strömungshindernisse geben. Verfügt man somit nur über Informationen zur Oberfläche, ist der Erfolg eines Verfahrens stets gefährdet. Verschafft man sich dagegen ein komplettes Bild, können wirtschaftlich vorteilhafte Lösungen, die gute Prozessergebnisse sicherstellen, erreicht werden.

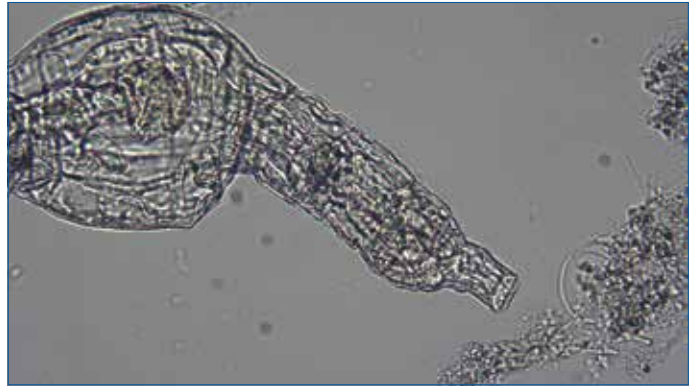


Abb. 13: Rädertierchen 1

## Schlammbehandlung

Im Zuge der Abwasserreinigung fallen auf einer Kläranlage Primärschlamm, Sekundärschlamm sowie Fett an.

Beim Primärschlamm handelt es sich größtenteils um Fäkalien.

Als Sekundär- oder Überschussschlamm werden die überschüssigen Mikroorganismen bezeichnet, die nach Abschluss des Klärprozesses im Nachklärbecken aus dem gereinigten Wasser wieder entfernt werden.

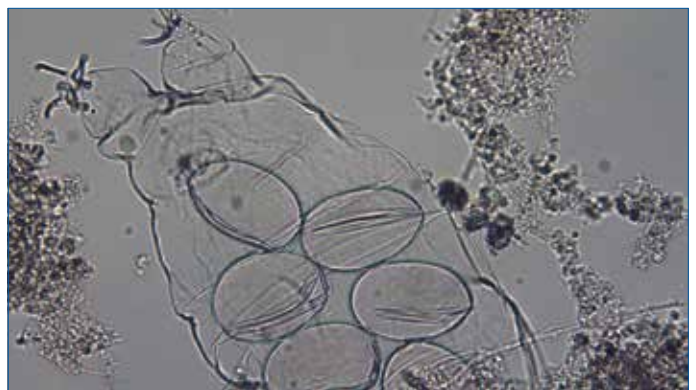


Abb. 14: Rädertierchen 2

Die im Laufe der biologischen Abwasserreinigung anfallenden Schlämme werden zusammen als Rohschlamm bezeichnet. Die jeweiligen Schlämme können sowohl einzeln als auch gemeinsam (Mischschlamm) der Schlammbehandlung zugeführt werden.

Während der Schlammbehandlung werden die Schlämme mittels Wasserentzug eingedickt. Im Zuge des Eindickungsprozesses reduziert sich das zu behandelnde Schlammvolumen, gleichzeitig erhöht sich der Trockensubstanzgehalt des Schlammes.

Die Eindickung der Schlämme kann im Wesentlichen auf zwei Weisen erfolgen: statisch oder mechanisch.

Bei der statischen Entwässerung wird der Rohschlamm in einem Behälter gebunkert. Aufgrund der Schwerkraft sinken die schweren Bestandteile zum Boden des Behälters. Das an der Oberfläche entstehende Klarwasser wird dann mit Hilfe eines Dekaners abgezogen, wodurch erneut Speichervolumen geschaffen wird. Die auf diese Weise maximal erzielbare Trockensubstanz ist abhängig von der Verweilzeit des Schlammes im Behälter.



Abb. 15: Glockentierchen



Abb. 16: Schalenamöbe

Je nach Größe des Schlammspeichers in Relation zur Größe der Kläranlage, können so Trockensubstanzgehalte von bis zu 5 % und mehr erzeugt werden.

Da in großen Kläranlagen kontinuierlich große Mengen Schlamm anfallen, gilt in der Regel: Je größer die Kläranlage, desto geringer die Verweilzeit des Schlammes im Speicher.

Große Kläranlagen setzen daher häufig auf eine mechanische Schlamm entwässerung. Bei der mechanischen Entwässerung wird der gesammelte Schlamm mittels Siebtrommel, Zentrifuge oder Bandpresse entwässert. Zur Optimierung des mechanischen Entwässerungsprozesses werden meist polymere Flockungshilfsmittel eingesetzt. Diese begünstigen das Verklumpen des Schlammes und erleichtern so die Entwässerung.

Eine mechanische Entwässerung wird meist auf großen Kläranlagen genutzt. Aufgrund der Mengen des anfallenden Rohschlammes wären bei großen Kläranlagen ohne mechanische Entwässerung sehr große Schlammspeicher nötig, um relevante Eindickraten erzielen zu können.

Größere Kläranlagen verfügen darüber hinaus über Faulbehälter (Faultürme). Im Faulbehälter wird der eingedickte Rohschlamm auf eine Temperatur von 36–37 °C erwärmt und durch spezielle Rührwerke oder Pumpen ständig umgewälzt. Die oft gewählte Ei-Form begünstigt die Konvektion und erleichtert so das Umwälzen. Beim Faulprozess wird ein Teil der organischen Masse (ca. 30–50 %) zersetzt und in Gas umgewandelt (hauptsächlich Methangas).

Das entstandene Faulgas wird in Blockheizkraftwerken in Strom und Wärme umgewandelt und so zum Betrieb der Anlage genutzt.

Nach dem Ausfällungsprozess (Verweildauer in den Faulbehältern: bis zu 20 Tage) wird der sogenannte Faulschlamm dem Behälter entnommen, erneut eingedickt (statische Entwässerung durch Sedimentation) und maschinell entwässert (Zentrifugen, Kammerfilterpresse, Siebbandpresse). Danach wird er hauptsächlich verbrannt.

Der Rohschlamm aus Anlagen ohne Faulbehälter wird entweder direkt entwässert und entsorgt oder den Faulbehältern einer anderen Kläranlage zugeführt.

Rührwerke befinden sich in allen zur Speicherung oder Eindickung benutzten Behältern. Die Aufgabe der Rührwerke besteht darin, den Behälterinhalt zu homogenisieren, um den Folgeanlagen einen möglichst konstanten Trockensubstanzgehalt zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig sollen Ablagerungen in den Behältern verhindert werden.

Aufgrund der genannten Rühraufgabe werden die Rührwerke in diesen Behältern meist nur während des Entleerungsprozesses benutzt. Die Dimensionierung der Rührwerke orientiert sich am maximalen Trockensubstanzgehalt, der Art des Schlammes und dem eventuellen Einsatz polymerer Flockungshilfsmittel.

Polymere Flockungshilfsmittel begünstigen nicht nur das Verklumpen des Schlammes, sondern verändern auch dessen Viskosität. Ein polymereingedickter Klärschlamm ist deshalb, bei gleichem Trockensubstanzgehalt, deutlich schwieriger zu homogenisieren als ein statisch eingedickter Klärschlamm.

Der Trockensubstanzgehalt eines Sekundärschlammes setzt sich aus organischen (Mikroorganismen) und mineralischen Bestandteilen zusammen. Der organische Trockensubstanzgehalt (OTS / Glühverlust) eines regulären Sekundärschlammes beträgt dabei 70–80 %.

Wie bereits erwähnt, werden im Faultrum ca. 30–50 % der organischen Masse in Gas umgewandelt. Das bedeutet, der mineralische Anteil im Faulschlamm ist höher als im Rohschlamm.

Ein ähnlicher Effekt entsteht auch, wenn der Rohschlamm sehr lange (6–12 Monate) im Schlamm Speicher verweilt. Auch in diesem Fall wird durch Faulung ein Teil der organischen Masse in Gas umgewandelt. Dieses Gas entweicht ungenutzt in die Atmosphäre.

In beiden Fällen muss der erhöhte mineralische Anteil bei der Dimensionierung der Rührwerke berücksichtigt werden.

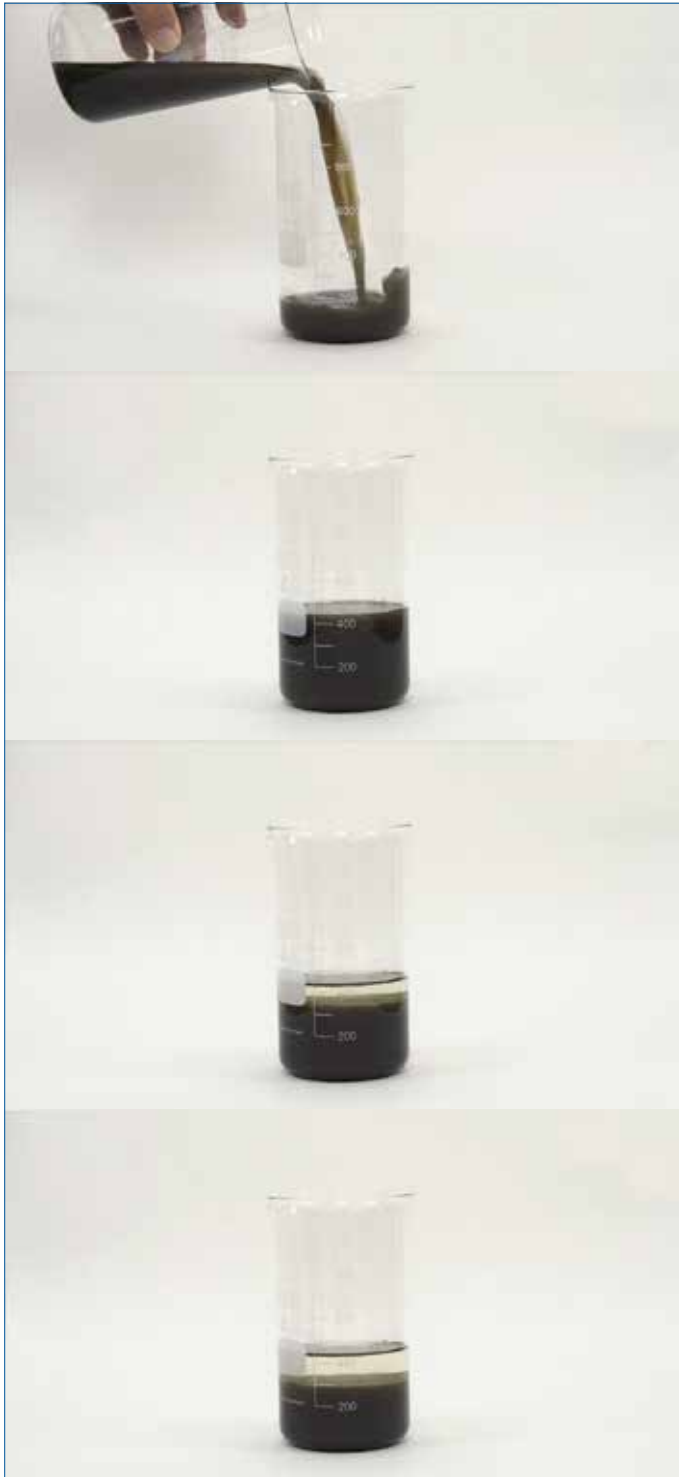


Abb. 17: Schlammwässerung

### Schlammarten und Schlammeigenschaften

Die Bilder zeigen einen Aufbau zur Ermittlung des Schlammvolumenindex (ISV).

Der ISV beschreibt das Absetzverhalten der Feststoffe eines Schlammes. Je kleiner sein Zahlenwert ist, um so schneller sinken die Feststoffe ab und eine Klarwasserzone bildet sich im oberen Teil des Behälters. Ein kleiner ISV kann ein Hinweis sein auf einen erhöhten mineralischen Anteil in den Feststoffen. Diese Feststoffe sind schwerer und erfordern eine höhere Fließgeschwindigkeit.

Ebenso gibt der Glühverlust Auskunft über den Anteil organischer Anteile in den Feststoffen.

Generell gilt: Organische Feststoffe lassen sich gut rühren, mineralische Anteile lassen sich schlecht bis gar nicht rühren. Dies ist begründet im Dichteunterschied zwischen Wasser und Feststoffen.

Eine der wichtigsten Kenngrößen ist der Trockenstoffgehalt (TS-Gehalt) des Schlammes. Im Bereich der Klärwerkstechnik lässt sich mit ihm auf die Viskosität des Schlammes schließen. Dies ist wichtig für das Fließverhalten des Schlammes und die richtige Auswahl eines Rührers.

Ausnahmen sind polymere Hilfsstoffe, die zur maschinellen Eindickung benötigt werden und die Viskosität des Schlammes drastisch erhöhen können. Zusätzlich zum Fließverhalten muss dann auch auf eine ausreichende Motorreserve geachtet werden.



Abb. 18: QR-Code zur Animation „Schlammarten“

## Die biologische Reinigungsstufe

### Grundlagen:

Die meisten Verunreinigungen im Abwasser sind organischer Natur und werden biologisch durch Mikroorganismen in Verbindung mit gelöstem Sauerstoff und Sauerstoffausschluss gereinigt. Durch Umwandlungsprozesse werden im Wesentlichen die folgend genannten Verbindungen abgebaut.



Abb. 19: Belebungsbecken

Für den optimalen Stoffwechsel und die Effektivität der Abwasseranlage benötigen die Bakterien ein Nährstoffverhältnis von C : N : P = 100 : 5 : 1.

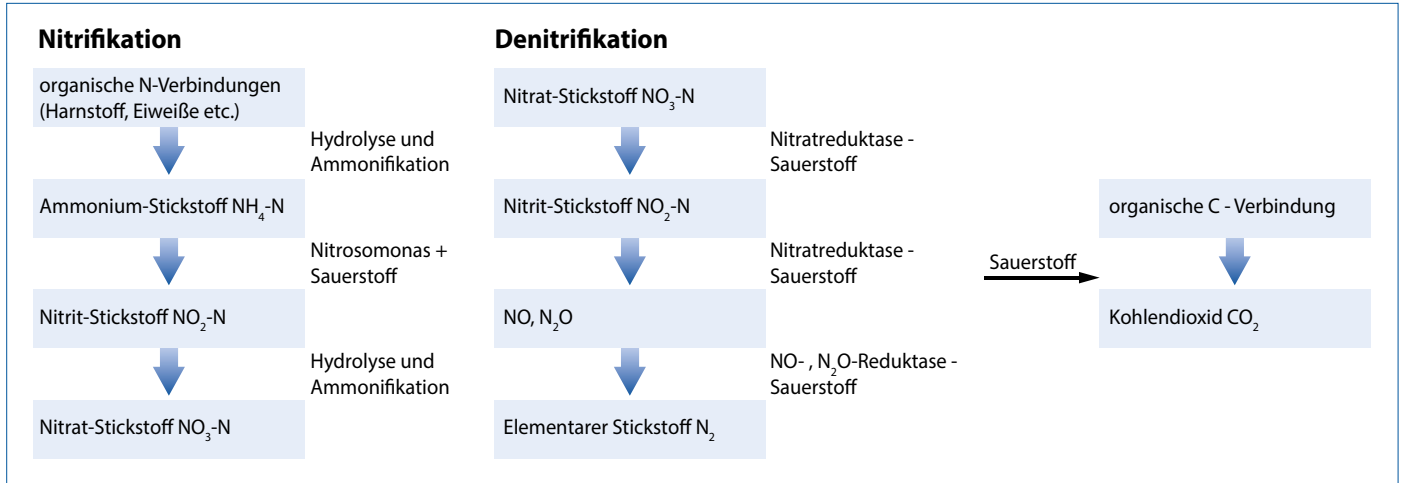


Abb. 20: Abbauvorgänge bei Nitrifikation und Denitrifikation

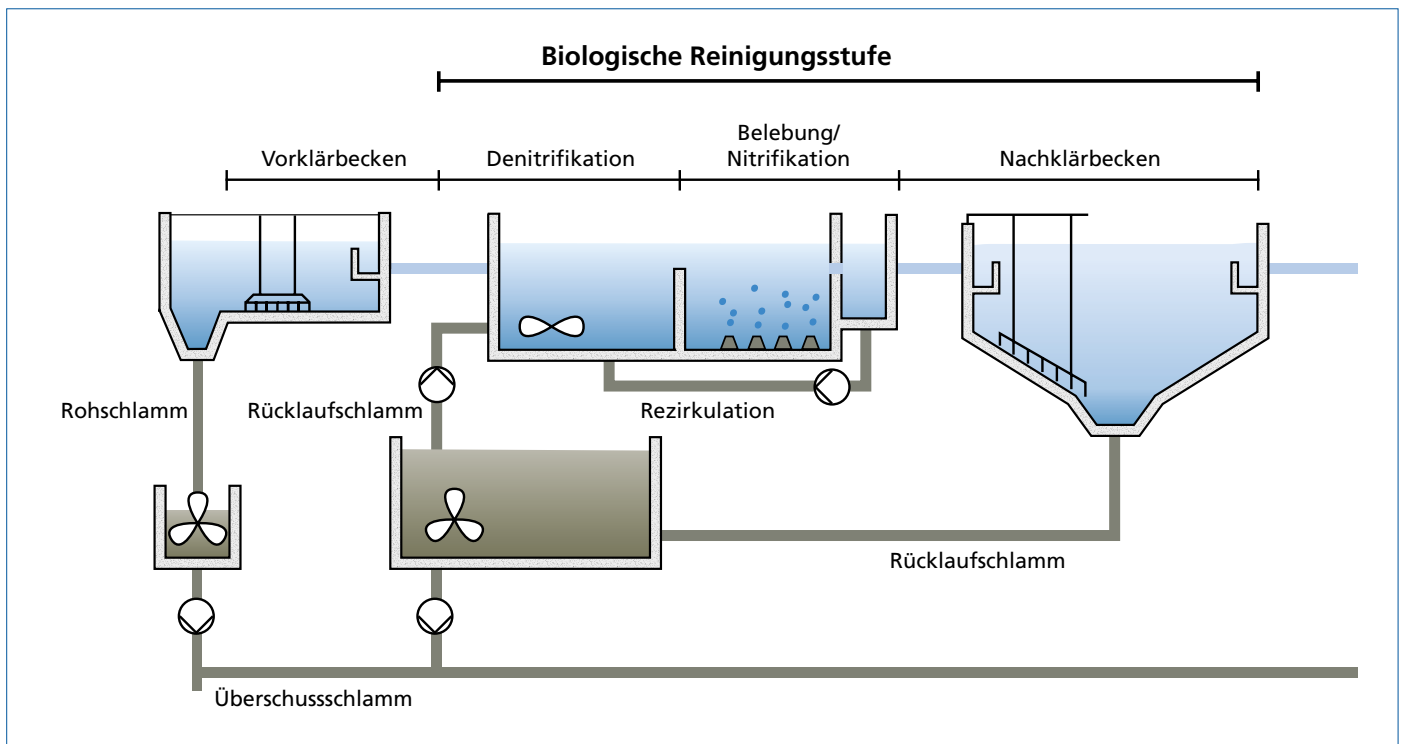


Abb. 21: Die Verfahren der biologischen Reinigungsstufe

**Vorklärbecken**

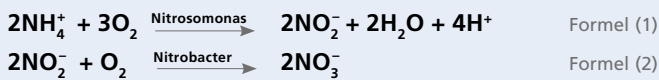
Im Vorklärbecken werden feinste mechanische Teilchen durch Sedimentation abgesondert.

Die am Beckengrund ablagernden Substanzen bilden den Primärschlamm, dieser Rohschlamm wird über den Voreindicker in den Faulurm befördert.

**Nitrifikation**

Stickstoff wird in zwei Stufen von Mikroorganismen, Nitrosomonas und Nitrobacter, zu Nitrat oxidiert.

Dieser Prozess läuft in zwei Teilschritten ab:



- Legende:**
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = Ammonium
  - O<sub>2</sub> = Sauerstoff
  - NO<sub>2</sub><sup>-</sup> = Nitrit
  - H<sub>2</sub>O = Wasser
  - H<sup>+</sup> = Saurer Wasserstoff
  - NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Nitrat

**Denitrifikation**

Durch sauerstoffverbrauchende Mikroorganismen entsteht beim Kohlenstoffabbau molekularer Stickstoff, der in die Atmosphäre entweicht.



- Legende:**
- H<sup>+</sup> = Saurer Wasserstoff
  - NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Nitrat
  - C = Kohlenstoff
  - CO<sub>2</sub> = Kohlensäure
  - N<sub>2</sub> = Stickstoff
  - H<sub>2</sub>O = Wasser

**Nachklärbecken**

Das Nachklärbecken ist die letzte Stufe der biologischen Reinigung. Aus dem Belebungsbecken fließt das gereinigte Wasser kontinuierlich in das Nachklärbecken. Hier sinkt der Schlamm mit den Mikroorganismen auf den Grund und das geklärte Wasser fließt über die Ablaufrinne des Beckens ab. Der Schlamm wird am Grund des Beckens abgesaugt und entweder dem Belebungsbecken neu zugeführt oder in die Schlammpolder gefördert.

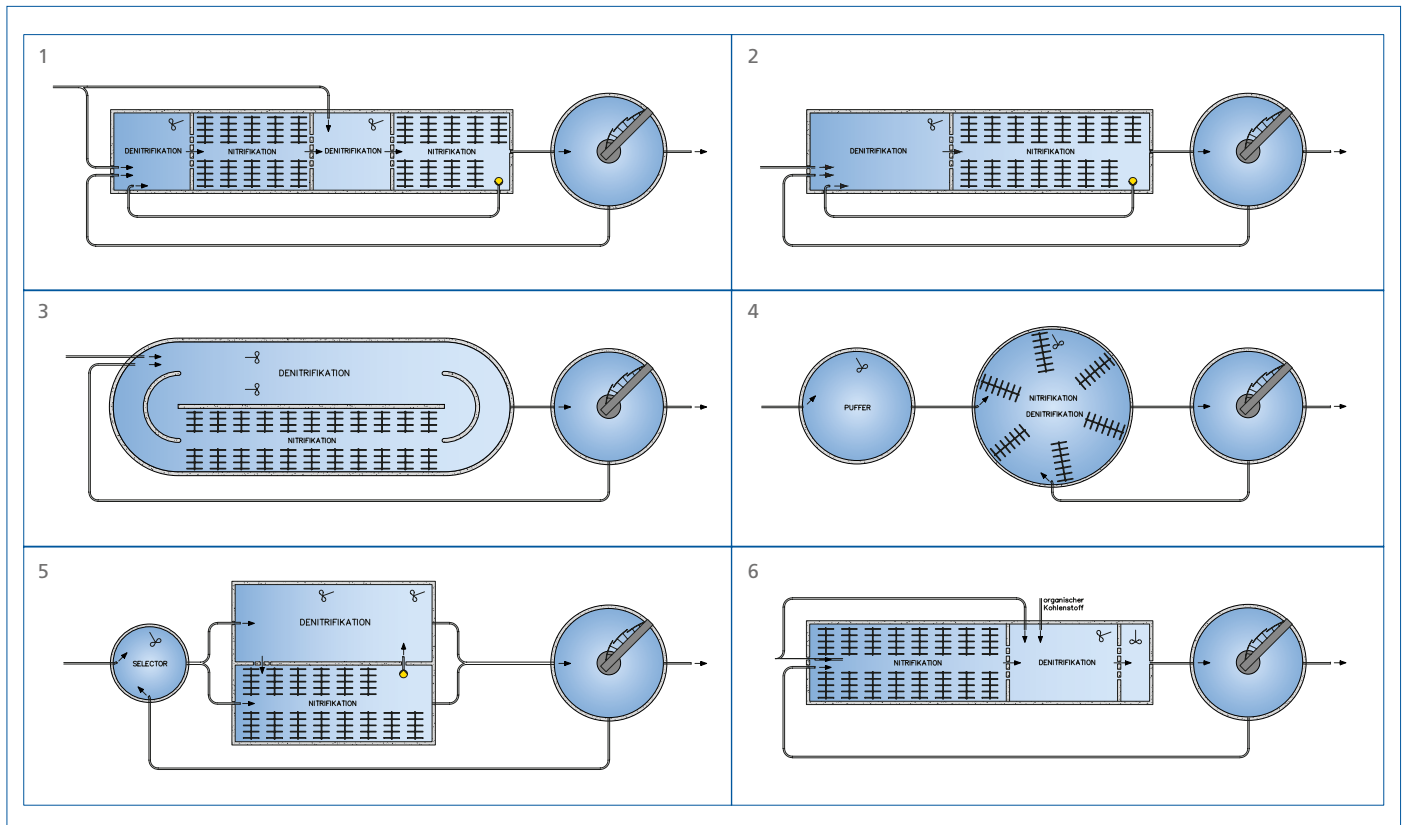


Abb. 22: Varianten der Beckenanordnung in der biologischen Reinigungsstufe

### 1. Kaskadendenitrifikation

Im ersten Becken wird der Rücklaufschlamm denitrifiziert.

In weiteren Denitrifikationsbecken wird das aus vorgeschalteten Nitrifikationsbecken gebildete Nitrat denitrifiziert. Eine interne Zirkulation ist nicht erforderlich.

### 2. Vorgeschaltete Denitrifikation

In der vorgeschalteten Denitrifikationsstufe wird dem Denitrifikationsbecken aus dem sauerstoffreichen Nitrifikationsbecken ausreichend Kohlenstoff über Rezirkulationspumpen zugeführt. Eine zusätzliche Dosierung von Kohlenstoff wie bei der nachgeschalteten Denitrifikationsstufe ist nicht nötig.

### 3. Belüftung und Belüftungssysteme in Belebungsbecken

Nach DIN 4046 bedeutet Belüftung allgemein den Gasaustausch zwischen Wasser und Luft zum Einbringen von Sauerstoff und gegebenenfalls Entfernen von gelösten Gasen.

Der künstliche Lufteintrag in das Abwasser kann eingesetzt werden:

- zur chemischen Oxidation von anorganischen Verbindungen und
- zur ausreichenden Versorgung von Mikroorganismen mit Sauerstoff.

Belüftungssysteme verursachen je nach Betriebsart, simultaner oder intermittierender Betrieb, Reibungsverluste.

Generell können diese Verluste unterteilt werden in:

- Konstante Verluste: Hier werden die Strömungsverluste verursacht durch den Belüfertyp (Teller-, Platten- oder Kerzenbelüfter) und die belegte Fläche.
- Variable Verluste: Diese variieren je nach Lufteintrag.

Bei der Auslegung geeigneter Rührwerke zur Erreichung einer Fließgeschwindigkeit in Belebungsbecken von 0,3 m/s nach VDMA 24656 sind oben genannte Verluste zu berücksichtigen.

KSB hat in den vergangenen Jahren von den verschiedenen Rührwerksgößen, installiert in unterschiedlichen Beckengeometrien, Auslegungsalgorithmen erstellt und durch Strömungsmessungen validiert.

### Simultane Denitrifikation

In Umlaufbecken erfolgen zeitgleich in den mit Sauerstoff versorgten Zonen die Nitrifikation und in den Zonen ohne Sauerstoff die Denitrifikation. Dabei wird der Sauerstoffgehalt so geregelt, dass in Teilen des Beckens kein gelöster Sauerstoff vorhanden ist.

### 4. Intermittierende Denitrifikation

Hier erfolgen im gleichen Becken nacheinander Nitrifikation und Denitrifikation (Sequence Batch Reactor).

Das Belebungsbecken ist meist als Rundbecken mit feinblasiger Bodenbelüftung und Tauchmotorrührwerk ausgerüstet.

Die Prozesse laufen zeitlich gesteuert, getrennt oder geregelt über Sauerstoff und Redox-Potential ab.

### 5. Alternierende Denitrifikation

Anlagen mit alternierender Denitrifikation bestehen aus zwei Belebungsbecken, die abwechselnd mit Abwasser beschickt und belüftet werden. Aus der Vorklärung kommendes Abwasser und nitrathaltiger Rücklaufschlamm werden im Becken 1 ohne Belüftung gemischt – Denitrifikation. Gleichzeitig wird im Becken 2 belüftet – Nitrifikation. Sobald die Messsonden im Becken 1 anzeigen, dass kein Nitrat mehr vorhanden ist, wird in beiden Becken kurz belüftet. Im Anschluss läuft der Prozess umgekehrt ab: Becken 1 Nitrifikation, Becken 2 Denitrifikation.

### 6. Nachgeschaltete Denitrifikation

In der vorgeschalteten Nitrifikation wird der größte Teil des im Abwasser befindlichen Kohlenstoffs mit abgebaut. Das gebildete Nitrat wird dann in der nachgeschalteten Denitrifikationsstufe abgebaut. Da in dieser Verfahrensweise die Nitratatmung aus Mangel an Kohlenstoff nicht ausreichend für eine vollständige Denitrifikation ist, muss aus einer externen Quelle organischer Kohlenstoff zugeführt werden. Idealerweise werden zum Beispiel Abwässer aus Brauereien oder Molkereien als solche externe Quelle genutzt.



## Physikalische Grundlagen:

- Eine Luftblase bzw. Gasblase kann ohne Einwirkung äußerer Kräfte nur vertikal in einer Flüssigkeit aufsteigen.
- Ein Blasenschwarm kann ohne Einwirkung äußerer Kräfte nur vertikal in einer Flüssigkeit aufsteigen.
- Vorhandene vertikale Strömungen (Kräfte) beeinflussen je nach deren Richtung die Auftriebsgeschwindigkeit von Gasblasen positiv oder negativ, d. h. vertikale zum Beckenboden gerichtete Strömung verringert und zur Oberfläche gerichtete Strömung vergrößert die Auftriebsgeschwindigkeit.
- Vorhandene horizontale Strömungen (Kräfte) haben keinen Einfluss auf die Auftriebsgeschwindigkeit von Gasblasen.
- Strömungen sind Vektoren.

Die Betrachtung einzelner Luft- bzw. Gasblasen zeigt, dass eine Blase entsprechend ihrer Ausdehnung einen definierbaren Auftrieb besitzt und mit entsprechender Geschwindigkeit zur Oberfläche steigt.

### Abbildung 23

Dargestellt ist, dass Blasen in einem gleichen Zeitabstand in die Flüssigkeit injiziert werden und diese zur Oberfläche steigen.

$S$  ==> Weg, der von der Luft zurückgelegt wird, in cm  
 $v_{\text{Luft}}$  ==> Auftriebsgeschwindigkeit in cm/s  
 $t$  ==> Verweilzeit in s

Wenn nun ein gleiches System mit einer horizontalen Strömung beaufschlagt wird, darf gemäß der physikalischen Grundlagen keine Veränderung der Verweilzeit entstehen. Die Abbildung 24 zeigt eine horizontale laminare Bewegung, in der Blasen in gleichen Zeitabständen injiziert werden und zur Oberfläche steigen.

Betrachtet man die strömende Flüssigkeit in Volumenabschnitten pro Zeiteinheit, so ist zu erkennen, dass die Blasen in diesem Segment mit der Auftriebsgeschwindigkeit vertikal zur Oberfläche aufschwimmen.

Gleichzeitig ist zu sehen, dass die Blasen anscheinend einer diagonalen Bewegung entlang der Resultierenden aus Auftriebsgeschwindigkeit und Horizontalströmung folgen.

$V$  ==> Volumenabschnitt pro Zeiteinheit in  $\text{m}^3$

Der Weg, der von der Blase zurückgelegt wird, ist der gleiche wie in Abbildung 23 dargestellt.

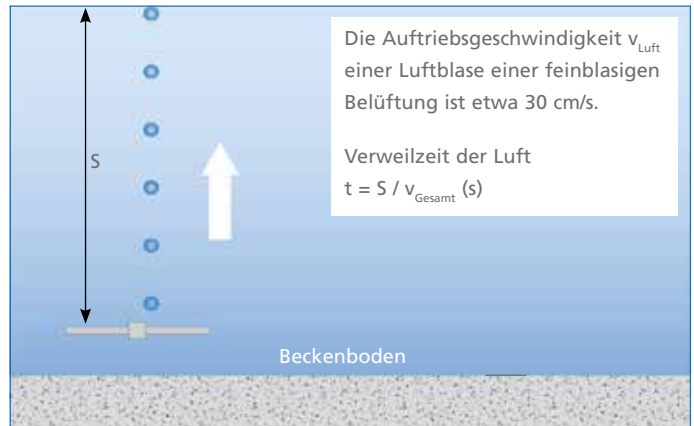


Abb. 23: Auftrieb einer Luftblase

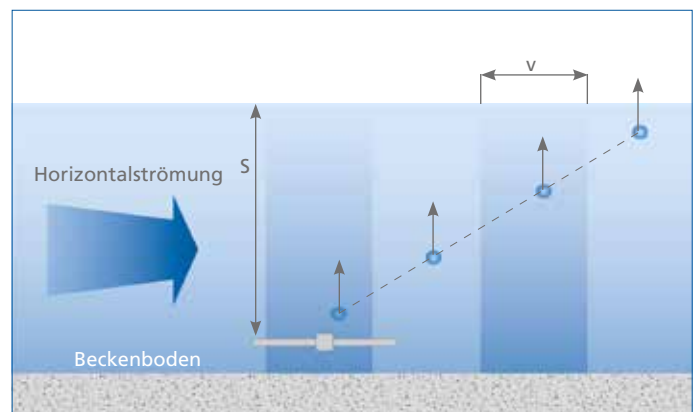


Abb. 24: Auftrieb einer Luftblase mit horizontaler Strömung

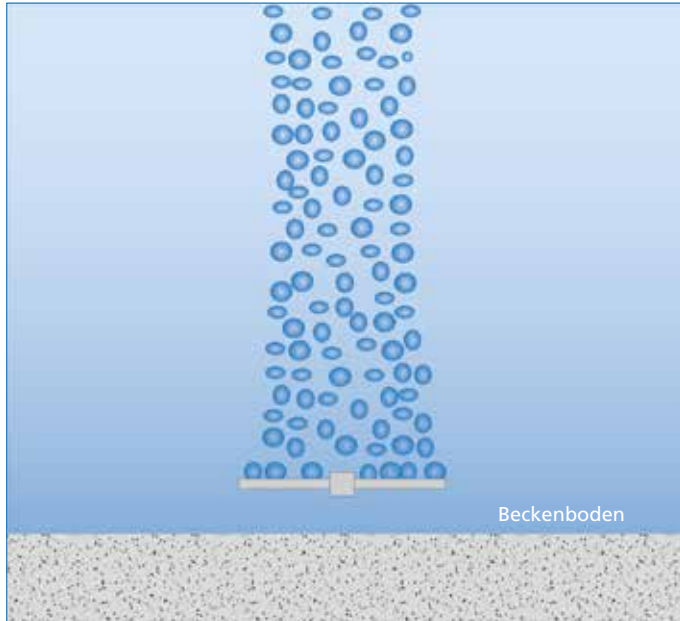


Abb. 25: Belüfterstrang

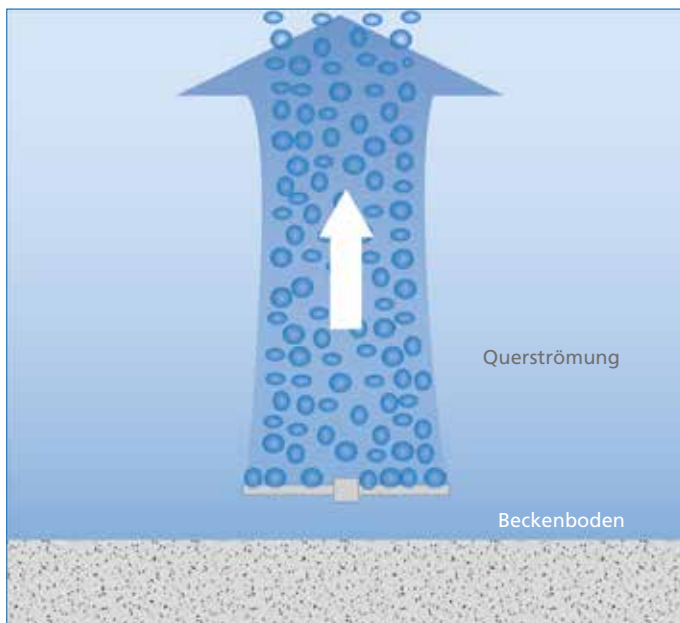


Abb. 26: Belüfterstrang mit induzierter vertikaler Strömung

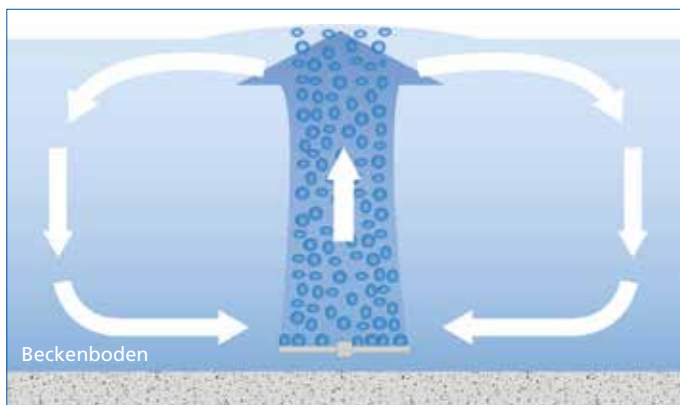


Abb. 27: Belüfterstrang mit Strömungswalze

Da in den praktischen Anwendungen eine turbulente Strömung vorhanden ist, kann die Betrachtung einer laminaren Strömung nur rein theoretisch sein, um aufzuzeigen, dass die horizontale Strömung keinen Einfluss auf die Verweilzeit der Blasen hat.

#### Ist ein verfahrenstechnischer Vorteil durch den Einsatz von Horizontalströmungen überhaupt vorhanden?

1. Es werden Feststoffe und Schlammflocken in Suspension gehalten.
2. Es werden die Bakterien mit neuem Substrat versorgt.
3. Es ist eine höhere Verweilzeit vorhanden.

Auf die Punkte 1 und 2 soll nicht weiter eingegangen werden.

#### Warum ist eine höhere Verweilzeit vorhanden?

In der praktischen Anwendung muss die einzelne Blase im Zusammenwirken ganzer Blasenschwärme und der Strömung, die aus dem Aufsteigen der Luft selbst entsteht, beurteilt werden.

#### Abbildung 25

In der Abbildung 25 ist ein einzelner Belüfterstrang in einem Belebungsbecken dargestellt.

Die aufsteigende Luft erzeugt eine Strömung zur Oberfläche. An der Oberfläche entsteht ein Aufpilzen des Wasser-Luft-Gemisches. Die Flüssigkeit wird durch die aufsteigende Luft mit zur Oberfläche bewegt, sodass in Bodennähe Flüssigkeit angezogen wird.

#### Abbildung 27

An beiden Seiten stellt sich eine Strömungswalze ein, die bewirkt, dass die Luft schneller zur Oberfläche steigt.

Die sich in den Strömungswalzen einstellende Strömung kann eine Fließgeschwindigkeit bis zu 60 cm/s erreichen.

Strömungen sind Vektoren. Dies bedeutet, dass die Fließgeschwindigkeiten addiert werden können.





Abb. 31: Rohrbelüfter



Abb. 32: Supratec Plattenbelüfter



Abb. 33: Tellerbelüfter

### Abbildung 30

Durch die Horizontalströmung wird der Blasenschwarm mit der Strömung abgetrieben. Auf der Vorderseite ist die Strömungswalze aufgehoben bzw. annähernd aufgehoben. Auf der Rückseite ist diese weiter vorhanden, wobei sich Form und Ausdehnung verändern.

**Die Verweilzeit der Blasen erhöht sich durch die Reduzierung der vertikalen Strömung!**

### Belüftungssysteme

Je nach Aufbau der Kläranlage ist es möglich, dass Nitrifikation und Denitrifikation im gleichen Becken stattfinden. Dies kann sowohl alternierend als auch parallel geschehen.

KSB produziert selbst keine Belüfter, verfügt jedoch über langjährige Erfahrung im Zusammenspiel seiner Rührwerke mit den unterschiedlichsten Belüftungssystemen.

Im Wesentlichen kann zwischen zwei verschiedenen Bauformen unterschieden werden. Es handelt sich dabei um Oberflächenbelüfter und feinblasige Tiefenbelüftung.

Oberflächenbelüfter nutzen zum Luftertrag rotierende Belüftungselemente (Kreisel / Walzen / Bürsten). Diese werden genutzt, um das Belebtschlamm-Wasser-Gemisch in die Luft zu werfen und zu vernebeln.

Funktionsbedingt werden solche Belüftungssysteme in Becken mit eher geringer Tiefe (2,5 m bis 4 m) eingesetzt.

Es entstehen je nach gewähltem Oberflächenbelüftungssystem entsprechende Strömungen an der Oberfläche. Diese müssen, sofern ein Parallelbetrieb geplant ist, bei der Positionierung der Rührwerke berücksichtigt werden.

Je nach Propellerdurchmesser führt eine turbulente Anströmung zu einer erhöhten Belastung des Aggregates und wirkt sich somit negativ auf die Lebensdauer aus.

Der Sauerstoffeintrag wird durch Teller-, Rohr- oder Plattenbelüfter realisiert. Diese werden durch Kompressoren mit Druckluft gespeist.

Die Belüftungselemente verfügen in der Regel über Membranen, deren Ziel es ist, möglichst kleine Luftblasen zu erzeugen, da diese die Effizienz des Belüfters erhöhen.

Der Grund dafür ist das günstigere Verhältnis von Oberfläche zu eingeschlossenem Luftvolumen. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies: Je kleiner die erzeugte Blase ist, desto besser der Sauerstofftransfer.

Da die Belüftungselemente am Beckenboden verbaut sind, kann die Luftblase nur im Zeitraum ihres Aufsteigens zur Oberfläche Sauerstoff an das umgebende Belebtschlamm-Wasser-Gemisch abgeben.

Aus diesem Fakt lässt sich vereinfacht ableiten: Je tiefer das Becken, desto höher der Sauerstoffeintrag.

Funktionsbedingt stellt der Parallelbetrieb von Rührwerken und feinblasigen Belüftungssystemen eine Herausforderung dar. Dies hat mehrere Gründe.

Luft ist im Gegensatz zu Wasser kompressibel und kann folglich verdichtet werden. Dieser Umstand macht es notwendig, dass beim Parallelbetrieb von Rührwerken und Belüftung ein gewisser Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld eingehalten wird.

Anderenfalls können Luftblasen in den Propeller gelangen und auf der Druckseite verdichtet werden. Abhängig von der Menge der Luftblasen verringert sich dadurch die vom Rührwerk erzeugte Rührenergie. Außerdem entstehen dadurch logischerweise wechselnde Belastungen am Propeller. Je nach Propellerdurchmesser führt dies zu einer erhöhten Belastung des Aggregates und wirkt sich somit negativ auf die Lebensdauer aus.

Eine aufsteigende Luftblase reißt mittels Schleppspannung Wasser mit nach oben zur Oberfläche, gleichzeitig muss eine dem Volumen der eingetragenen Luft entsprechende Menge Wasser nach unten zum Belüfter strömen. Dadurch entsteht funktionsbedingt über dem Belüfterfeld im Betrieb eine vertikale Strömungswalze. Die Stärke dieser Strömungswalze ist abhängig von der erzeugten Belüftungsdichte ( $\text{m}^3 \text{Luft} / \text{m}^2 \text{Becken} / \text{Stunde}$ ).

Sobald der Förderstrahl des Rührwerkes auf die beschriebene Strömungswalze auftrifft, kommt es lokal zu erhöhter Turbulenz. Ein „Abscheren“ der Blasen über Belüfter kann nicht nachgewiesen werden. Analysen haben gezeigt, dass im günstigsten Fall die vom Rührwerk erzeugte Strömung zur Oberfläche abgelenkt wird und dort das Feld passiert.

Dies erfordert jedoch eine entsprechende unbelüftete Fließstrecke. Diese ist notwendig, damit sich der Förderstrahl möglichst weit ausbildet und somit möglichst viel Rührenergie an das Belebtschlamm-Wasser-Gemisch in Form von Horizontalschub abgibt.

Anderenfalls dissipiert ein großer Teil der Rührenergie in Form von starker lokaler Turbulenz (Reibung).

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die feinblasige Tiefenbelüftung ein vielfaches der Energie der Rührwerke benötigt.

Aufgrund der genannten Fakten plädieren wir dafür, wenn möglich auf einen Parallelbetrieb von Rührwerken und Tiefenbelüftung zu verzichten.

Ist dies unumgänglich, müssen die genannten Fakten berücksichtigt werden. Dies bedeutet, der Rührwerkshersteller sollte möglichst frühzeitig in die Planung involviert werden.

Abschließend möchten wir noch auf ein paar allgemeine Probleme eingehen.

Aufgrund der geschilderten Unterschiede kann sich ein Umbau von Oberflächenbelüftung auf Tiefenbelüftung sehr schwierig gestalten.

Wie bereits erwähnt, kann die Luftblase nur beim Aufsteigen Sauerstoff an das umgebende Medium abgeben. Ist nun der Behälter nicht tief genug, sinkt der Sauerstoffeintrag. Diesem Problem kann aber nur bedingt mit einer erhöhten Belüftungsdichte begegnet werden.

Eine erhöhte Belüftungsdichte erzeugt logischerweise eine erhöhte Blasenanzahl. Die erhöhte Blasenanzahl führt zur Kollision der Blasen, wodurch sich größere Blasen bilden und sich die Qualität des Sauerstoffeintrages verschlechtert.

Darüber hinaus führen hohe Flächenlasten zu einer bereits beschriebenen, verstärkten vertikalen Strömung über dem Belüfterfeld. Dies kann dazu führen, dass ein bereits ausreichend belüftetes Belebtschlamm-Wasser-Gemisch in der Strömungswalze „gefangen“ bleibt und somit kaum noch ein Sauerstofftransfer stattfindet. Es muss noch einmal verdeutlicht werden: Der Nitrifikationsprozess wird durch Mikroorganismen bereitgestellt, welche Sauerstoff für den Umwandlungsprozess benötigen.

Rührwerke können zwar eventuell den Sauerstofftransfer leicht begünstigen, der Stoffwechsel der Mikroorganismen kann indes mit Hilfe von Rührwerken nicht beschleunigt werden.



Abb. 34: Aufstellung zur Schwimmdeckenvermeidung

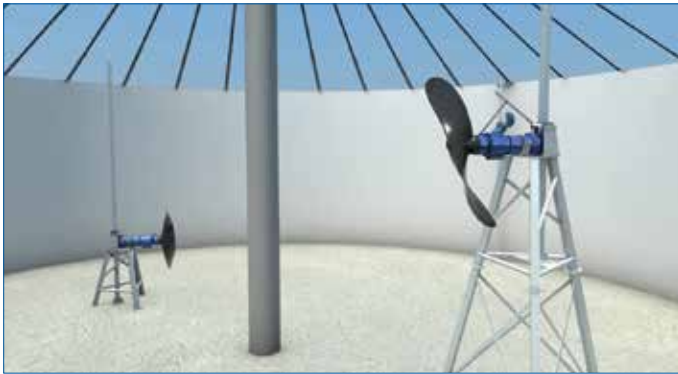


Abb. 35: Typische Aufstellung im Fermenter



Abb. 36: QR-Code zur Animation „Biogas“

## Biogas

### Anwendung und Einsatz von Rührwerken

Zur Erzeugung von Biogas wird organisches, nicht toxisches Material unter Sauerstoffausschluss biochemisch durch Mikroorganismen umgesetzt. Da dies ein kontinuierlicher Prozess ist, müssen große Mengen der eingesetzten Substrate jeden Tag den Reaktoren zugeführt werden. Um in diesem Zusammenhang günstige Reaktionsbedingungen für die Mikroorganismen zu erreichen, übernehmen Rührwerke unterschiedlichste Aufgaben in Biogasanlagen.

Als einer der Marktführer im Bereich von energieeffizienten, langsam laufenden Tauchmotorrührwerken ist KSB auch im Biogasgeschäft bereits seit vielen Jahren aktiv. Um diesen innovativen Markt noch besser bedienen zu können, arbeitet KSB mit einem Vertriebspartner zusammen.

Aufbauend auf den Erfahrungen von KSB, kann durch kontinuierliche technische Weiterentwicklung der Aggregate durch unseren Partner die für die jeweilige Anlage optimale Rührwerksauswahl und -positionierung getroffen werden.

### KSB-Vertriebspartner

Als spezialisierter Hersteller für hochwertige Rührtechnik mit langjähriger Erfahrung in den härtesten Einsatzfällen kennt PTM GmbH Halle (Saale) die Anforderungen an ausgereifte Technik in Biogasanlagen im Detail. Mit diesem Anwenderwissen wurde eine Rührwerksbaureihe entwickelt, welche maximale Effizienz mit absoluter Langlebigkeit vereint.

Um dies zu verwirklichen, setzt man auf langjährige Erfahrung, beste Werkstoffe und eine ständige Kontrolle der Produkte.

### Eigene Entwicklung – Propeller aus Polyamid 12

Rührwerke in Biogasanlagen sind besonderen Anforderungen ausgesetzt. Insbesondere lange Fasern und mineralische Bestandteile wie Sand und Steine verursachen in der Praxis häufig nach kurzer Zeit Schäden an Propellern. Dies führt zu kurzen Standzeiten und hohen Kosten in Folge einer Reparatur bzw. eines Austausches der vorhandenen Rührwerke. In diesem Zusammenhang wurde eine neue Propellergeneration, die aus hoch verschleißfestem Polyamid 12 (PA12) besteht, entwickelt. Dieses Material ist metallischen und Glasfaserwerkstoffen weit überlegen. Damit wurde das grundsätzliche Problem der Propellerhaltbarkeit gelöst und es wurden Standzeiten erreicht, die weit über dem Marktniveau liegen. Darüber hinaus sorgt die Hydraulik für effiziente und effektive Rührergebnisse, auch für höchste Anforderungen. Dies ist insbesondere auch für die einfache Nachrüstung auf bereits eingesetzter Rührtechnik interessant, um die Standzeiten von Rührwerken weiter zu verbessern.

### PHANTOM – das Rührwerk

Das PHANTOM ist das effizienteste Tauchmotorrührwerk seiner Klasse. In anspruchsvollen Anwendungen ist es Schnellläufern oder konventionellen Langsamläufern deutlich überlegen. Seine unübertroffene Lebensdauer und sein hohes Schub-Leistungs-Verhältnis kommen jedoch nicht von ungefähr. Sie sind das Ergebnis des Zusammenspiels einer Vielzahl von optimierten Komponenten.



Abb. 37: Propeller aus Polyamid 12

### Vorteile der PHANTOM-Rührwerke auf einen Blick


- extrem verschleißfester Propeller aus PA12 bietet Abrasions- und Korrosionsresistenz bei höchstem Schub-Leistungs-Verhältnis
- gehärteter Gegenringträger schützt die Gleitringdichtung vor Faserstoffen
- abgedeckte doppelte Gleitringdichtung widersteht dem Angriff durch Fest- und Faserstoffe
- Gleitschlitten mit beweglichen Mehrfachrollen stellt die freie Beweglichkeit auch bei Verschmutzung sicher
- Motor mit hoher Reserve bietet auch im Hochtemperaturbetrieb volle Leistung
- großer Kabelquerschnitt erhöht die Lebensdauer der Kabel merklich
- Präzisionslager garantiert reibungslosen Betrieb auch bei häufigem Lastwechsel

### Einsatzgebiete der PHANTOM-Rührwerke


Für alle Heavy-Duty-Anwendungen z. B. in Biogasanlagen (Fermenter, Nachgärer, Gärproduktlager) und / oder für Bohrsuspension geeignet.

### Produktübersicht


#### PHANTOM 1000 – horizontales Tauchmotorrührwerk

|                                |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| Einsatzgebiete:                | Vorgrube, Fermenter, Nachgärer, Gärproduktlager |  |
| Fördermedium:                  | Gärsubstrat                                     |   |
| Max. zulässige Temperatur:     | 60 °C   |   |
| Drehzahl Propeller:            | 166–204 min <sup>-1</sup>                       |   |
| Motorleistung P <sup>2</sup> : | 11–20 kW  |   |
| Ausführung:                    | Polyamid 12                                     |   |
| Durchmesser Propeller:         | 1.000 mm  |   |
| Max. Axialschub:               | 4.500 N   |   |
| Ex-Schutz:                     | II2G Ex d IIB T3                                |   |

#### PHANTOM 1400 – horizontales Tauchmotorrührwerk

|                                |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| Einsatzgebiete:                | Vorgrube, Fermenter, Nachgärer, Gärproduktlager |  |
| Fördermedium:                  | Gärsubstrat                                     |   |
| Max. zulässige Temperatur:     | 60 °C   |   |
| Drehzahl Propeller:            | 88–114 min <sup>-1</sup>                        |   |
| Motorleistung P <sup>2</sup> : | 6–20 kW   |   |
| Ausführung:                    | Polyamid 12                                     |   |
| Durchmesser Propeller:         | 1.400 mm  |   |
| Max. Axialschub:               | 5.500 N   |   |
| Ex-Schutz:                     | II2G Ex d IIB T3                                |   |

#### PHANTOM 2500 – horizontales Tauchmotorrührwerk

|                                |                                |   |
|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Einsatzgebiete:                | Vorgrube, Fermenter, Nachgärer |  |
| Fördermedium:                  | Gärsubstrat                    |   |
| Max. zulässige Temperatur:     | 60 °C                          |   |
| Drehzahl Propeller:            | 42–46 min <sup>-1</sup>        |   |
| Motorleistung P <sup>2</sup> : | 6–10 kW                        |   |
| Ausführung:                    | Polyamid 12                    |   |
| Durchmesser Propeller:         | 2.500 mm                       |   |
| Max. Axialschub:               | 6.000 N                        |   |
| Ex-Schutz:                     | II2G Ex d IIB T3               |   |




Das kompakte TYPHOON-Rührwerk ist hervorragend für turbulenzintensive Durchmischungsanwendungen in niedrigviskosen Fluiden mit abrasiven Bestandteilen geeignet.

Sein Propeller aus hochverschleißfestem Polyamid 12 wurde mit Hilfe modernster computergestützter Simulationsverfahren entwickelt und in empirischen Praxisversuchen perfektioniert. Wie auch die Phantom-Baureihe verfügt der TYPHOON über eine doppelte Gleitringdichtung und auf Lebensdauer fettgeschmierte Lager. Durch seinen direkten getriebelosen Antrieb hat das TYPHOON-Rührwerk eine kleine, kompakte Bauform und lässt sich einfach ohne Sanftanlauf oder Frequenzumrichter betreiben. Damit ist das TYPHOON-Rührwerk die optimale Wahl für Gärrestlager oder Anmischgruben.

#### Vorteile des TYPHOON auf einen Blick

- Propeller aus PA 12 – optimierter Propeller aus verschleißbeständigem Hochleistungskunststoff für ein perfektes Rührergebnis
- doppelt abgedichtet – zwei Gleitringdichtungen aus widerstandsfähigem Siliziumkarbid
- Direktantrieb – kompakte Bauform und kein Getriebeverschleiß
- wartungsarm – bis zu 16.000 Betriebsstunden ohne Ölwechsel
- Ex-Schutz – serienmäßig ATEX
- Überwachung – drei Temperatur- und Feuchtefühler zur Motorüberwachung
- perfekter Schutz – längswasserdicht vergossene Kabeleinführung zum Schutz des Motors vor Feuchtigkeit, einfacher Kabeltausch im Servicefall ohne Spezialwerkzeug möglich

#### TYPHOON – horizontales Tauchmotorrührwerk

|                                |                              |   |
|--------------------------------|------------------------------|---|
| Einsatzgebiete:                | Speziell für Gärproduktlager |  |
| Fördermedium:                  | Gärsubstrat                  |   |
| Max. zulässige Temperatur:     | 40 °C                        |   |
| Drehzahl Propeller:            | 475 min <sup>-1</sup>        |   |
| Motorleistung P <sup>2</sup> : | 13 kW                        |   |
| Ausführung:                    | Polyamid 12                  |   |
| Durchmesser Propeller:         | 650 mm                       |   |
| Max. Axialschub:               | 2.710 N                      |   |
| Ex-Schutz:                     | II2G Ex d IIB T4             |   |

### Biogas Leistungsportfolio

- komplettes technisches und kaufmännisches Know-how für Rührwerksauslegung und Montagen
- Machbarkeitsstudien und Konzepterstellung für Neuanlagen und Anlagenrepowering
- „Computational Fluid Dynamics“ (CFD)-Strömungssimulationen
- rheologische Untersuchungen
- Konstruktion und statische Nachweise von Einbaugarnituren für Spezialanwendungen
- große Lagerhaltung von Rührwerken für kurze Lieferzeiten und kurze Reaktionszeiten

### Eisfreihaltung

In bestimmten Fällen ist es erforderlich, Gewässer oder den Zufluss in Pumpwerke in den Wintermonaten vor dem Zufrieren zu schützen, um Zufahrtsmöglichkeiten in Häfen oder Schleusen zu gewähren oder Pumpwerke, wie z. B. Schöpfwerke im Hochwasserschutz, betriebsbereit zu halten. Rührwerke können hier helfen, indem Wasser aus unteren, wärmeren Schichten an die Oberfläche geströmt wird. Ein weiterer positiver Effekt ist die Wasserbewegung an der Oberfläche, die ebenfalls ein Einfrieren verhindert.

In der Regel reichen schon kleinere Fließgeschwindigkeiten damit eine Eisfreihaltung funktioniert. Da es sich bei der Eisfreihaltung in der Regel um offene Gewässer handelt, sind oftmals Schutzvorrichtungen gegen den Kontakt mit dem Rührwerkspropeller erforderlich.

Die Verluste durch Drahtkörbe, Rohre oder ähnliche Schutzvorkehrungen sollten in der Auslegung berücksichtigt werden.

### MBBR

„MBBR“ bedeutet „Moving Bed Biological Reactor“, es handelt sich hier um hoch belastete Becken in der Biologie der Kläranlage. Um eine möglichst hohe Dichte an biologisch aktiver Substanz zu haben, werden Aufwuchskörper, sogenannte „Carrier“, verwendet. Diese sind meist aus Polyethylen und schwimmen leicht unter der Wasseroberfläche.

Es gibt sie in unterschiedlichen Formen und Größen, aber sie sollen eine möglichst große Fläche besitzen. Um einen möglichst

guten Austausch an Nährstoffen zu gewährleisten, müssen die Aufwuchskörper durch Rühren in Bewegung gehalten werden. Schnelllaufende Amamix kommen nicht in Frage, da ihre Edelstahlpropeller die Aufwuchskörper beschädigen würden. Da die Aufwuchskörper ein Fließen des Belebtschlammes behindern, muss hier mit mehr als 30 cm/s Fließgeschwindigkeit ausgelegt werden.

Eine besonders gute Durchmischung kommt zustande, wenn der Rührwerkspropeller die Aufwuchskörper in die Tiefe reißt, damit sie später an anderer Stelle wieder langsam aufsteigen können. Bei MBBR ist deshalb oft eine besondere Variante der Aufstellteile erforderlich.

„MBBR“ sollte nicht mit „MBR“ verwechselt werden, beim „Membrane Biological Reactor“ gibt es eine Membran, die größere Moleküle als Wasser nicht durchlässt. Ähnlich wie beim MBBR können im MBR höhere Schmutzlasten abgebaut werden.

### Regenbeckenreinigung

Werden Regenrückhaltebecken befüllt, ist mit einem Eintrag einer entsprechenden Schmutzfracht zu rechnen. Beim Entleeren der Speicher sollte diese Schmutzfracht mit ausgetragen werden. Es gibt mehrere Möglichkeiten, aus Regenrückhaltebecken die Schmutzfracht auszutragen bzw. zu reinigen. Neben den konventionellen Methoden der Regenbeckenreinigung mittels Spülkippen / Schwallspülung, mechanischer Räumung, Spüleinrichtungen oder pumpenbetriebener Strahlbelüftungssysteme steht ebenfalls die Reinigung mittels Rührwerken mit Axialpropeller zur Verfügung. Der Einsatz von Rührwerken sollte jedoch vorrangig in runden Regenrückhaltebecken erfolgen, da durch den Schub der Rührwerke das Wasser in Rotation versetzt wird, wodurch feste Bestandteile aufgewirbelt und in Schwebelage gehalten werden (Teetasseneffekt). Eine weitere Voraussetzung für einen guten Reinigungseffekt ist eine hohe Abzugsgeschwindigkeit des Schmutzwassers aus dem Becken. Die schlechte Reinigungswirkung an den Wänden sowie das Abschalten der Rührwerke vor Auftauchen aus dem Wasser sind u. a. Nachteile der Reinigung mittels Rührwerken. Der entscheidende Vorteil für den Einsatz von Rührwerken sind die geringen Investitions- und Betriebskosten. Ein Vergleich der einzelnen Reinigungsmöglichkeiten von Regenrückhaltebecken ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

|  | Spüleinrichtung  | Mechanische Räumler  | Spülkippen / Schwallspülung  | Strahlbelüftungssysteme  | Rührwerke mit Axialpropeller  |
|--|--|--|--|--|---|
| Bauwerksanpassung erforderlich                           | Ja, festverlegte Rohrleitungen mit Spüldüsen   | Nein   | Ja, Becken muss tiefer gegründet werden und bei größeren Becken sind Stützmauern erforderlich          | Ja, Beckenbodeneigung entgegen Reinigungsrichtung erforderlich   | Nein  |
| Fremdwasser erforderlich                                 | Ja, Trink- oder Brauchwasser   | Nein   | Ja, Trink- oder Brauchwasser   | Nein   | Nein  |
| Spezielle Beckenform erforderlich                        | Nein   | Ja, offenes Becken mit glattem Boden erforderlich                                | Ja, nur Rechteckbecken möglich   | Nein   | Ja, optimal nur bei Rundbecken mit hoher Abflussgeschwindigkeit einsetzbar      |
| Abhängigkeit vom Wasserstand                             | Ja, Reinigung nur bei entleertem Becken möglich  | Ja, Reinigung nur bei entleertem Becken möglich                                  | Ja, Reinigung nur bei entleertem Becken möglich  | Nein   | Ja, bei geringem Wasserstand besteht Einschränkung der Reinigungswirkung        |
| Faulung und Geruchsbelästigung bei längerer Verweildauer | Ja, Faulung möglich  | Ja, Faulung möglich  | Ja, Faulung möglich  | Nein, aktive Gegenwirkung durch Sauerstoffeintrag  | Ja, Faulung möglich   |
| Gleichmäßiger Verschmutzungsgrad                         | Nein   | Nein, Gefahr der Schlammverdichtung, dann mechanische Handreinigung erforderlich | Nein, systembedingter Schmutzstoß, Restentleerung ist besonders schmutzintensiv                        | Ja   | Ja, bei ausreichendem Wasserstand   |
| Seitenreinigung vorhanden                                | Nein   | Nein   | Nein   | Ja   | Nein  |
| Komplette Reinigung einschließlich von Problemzonen      | Nein, Abflussrinne setzt sich zu   | Nein, Gefahr der Schlammverdichtung  | Nein, Abflussrinne setzt sich zu; bei hoher Verschmutzung mehrfaches Spülen erforderlich               | Ja   | Nein, bei geringem Wasserstand Restverschmutzungen möglich                      |
| Bewertung  | Hoher Investitionsaufwand, hoher Wasserverbrauch, Düsen können verstopfen, Reinigungsleistung gering | Hohe Anschaffungs- und Wartungskosten, Reinigungsleistung gering                 | Hohe Investitionskosten durch speziell konstruiertes Bauwerk; zusätzliche Rinnenreinigung erforderlich | Wirtschaftliche Lösung; individuelle Lösungen für jede Beckengeometrie möglich, sehr gute Reinigungsleistung | Wirtschaftliche Lösung mit relativ guten Reinigungsergebnissen in runden Becken |

Tabelle 1: Vergleich Regenbeckenreinigungseinrichtungen

## **Einsatzmöglichkeiten von Rührwerken in Funparks**

Neben Pumpen unterschiedlicher Ausführung können ebenfalls Rührwerke zur horizontalen Strömungserzeugung in Funparks, Wildwasseranlagen oder ähnlichen Anwendungen zum Einsatz kommen. So können z. B. Rührwerke in wassergefüllten Rundkursen zur Fortbewegung von Booten, Schlauchbooten bzw. Flößen oder zur Wellenerzeugung eingesetzt werden. Ebenfalls finden Rührwerke Anwendung zur Umwälzung von künstlichen Seen oder anderen stehenden Gewässern zur Vermeidung von Algenbildung, Faulung und damit zur Verhinderung von Gerüchen.

In jedem Falle handelt es sich um individuell erarbeitete Lösungen, welche zugeschnitten an die speziellen Anforderungen angepasst werden müssen. Sprechen Sie uns bitte an, falls Sie Unterstützung für eine derartige Anwendung benötigen.

## **Aufmischen von Pumpensümpfen**

In Abwasserpumpwerken oder in Pumpwerken mit großen Feststoffanteilen, wie z. B. Sand, besteht die Gefahr, dass sich durch längeren Stillstand der Pumpen Feststoffe am Boden ablagern oder sedimentieren können. Um Ablagerungen vorzubeugen und die Feststoffe vor dem nächsten Pumpvorgang aufzuwirbeln und mit dem Wasser aus der Pumpstation auszutragen, können ein oder mehrere schnelllaufende Rührwerke im Pumpensumpf installiert werden. Darüber hinaus können diese Aggregate der Beseitigung bzw. Vermeidung von Schwimmdecken dienen. Die Rührwerke sollten vor Einschalten der Entleerungspumpen in Betrieb gehen und den Pumpensumpf, abhängig von dessen Größe, ca. 10 bis 15 Minuten aufwirbeln und kurz vor der Inbetriebnahme der Pumpen ausgeschaltet werden, damit sich durch die Turbulenzen im Pumpensumpf keine Wirbel entwickeln, die sich wiederum negativ auf den Betrieb der Pumpen auswirken können. Das bzw. die Rührwerke sollten im Pumpensumpf so installiert werden, dass sie nicht die Zuströmung ins Pumpwerk behindern und für Service- und Reparaturzwecke zugänglich sind.

## 4. Rührwerkspositionierung

### Allgemeine Hinweise

Sowohl der Rührerfolg als auch der störungsfreie Betrieb hängen wesentlich von der Positionierung der Tauchmotorrührwerke ab.

Die korrekte Anordnung des Rührwerkes basiert immer auf einer Systembetrachtung.

Berücksichtigt werden Beckenform, Beckengröße, Zuläufe, Abläufe, Einbauten, eventuell vorhandene Belüftungssysteme sowie der eingesetzte Rührwerkstyp.

Um eine möglichst optimale Durchmischung des Beckens gewährleisten zu können, sollten die Rührwerke gleichmäßig bzw. symmetrisch verteilt werden.

Die Abbildung 38 zeigt die Simulation eines Rechteckbeckens mit einem Rührwerk (1 x 2.000 N / aufgenommene Leistung 2,5 kW). Die Abbildung 39 zeigt dasselbe Rechteckbecken mit zwei Rührwerken (2 x 1.000 N / aufgenommene Leistung je 1,0 kW).

Im direkten Vergleich ist die homogenere Geschwindigkeitsverteilung im Becken mit zwei Rührwerken deutlich zu erkennen. Die Anzahl und Größe der beckenformbedingten Strömungsschwachzonen wird sichtbar reduziert.

In Abhängigkeit von Beckengröße und Form kann ein einzelnes Rührwerk zur Erzielung des gewünschten Rührergebnisses durchaus ausreichend sein.

Dennoch sorgt eine Erhöhung der Rührwerksanzahl grundsätzlich für Redundanz sowie eine gleichmäßigere Durchmischung. Besonders im Belebungsbecken kann mit Hilfe einer Erhöhung der Rührwerksanzahl Energie eingespart werden.

Dies sollte idealerweise schon in der Planungsphase berücksichtigt werden. Denn mit Hilfe einer günstigen Beckenform kann grundsätzlich die meiste Energie eingespart werden.

Die Positionierung des Tauchmotorrührwerkes hat also einen erheblichen Einfluss auf die Erfüllung der Rühraufgabe und den störungsfreien Betrieb des Rührwerkes und somit des gesamten Systems.

Hierbei muss aufgrund der unterschiedlichen Charakteristik noch einmal zwischen Rührwerken mit kleinem Propeller und hoher Propellerdrehzahl (KSB Amamix) und Rührwerken mit großem Propeller und niedriger Propellerdrehzahl (KSB Amaprop) unterschieden werden.

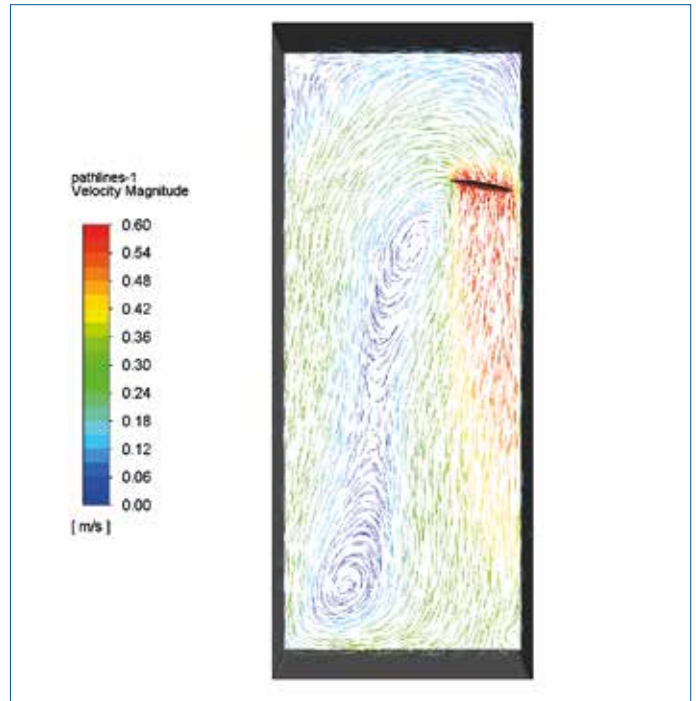


Abb. 38: Rechteckbecken mit einem Rührwerk

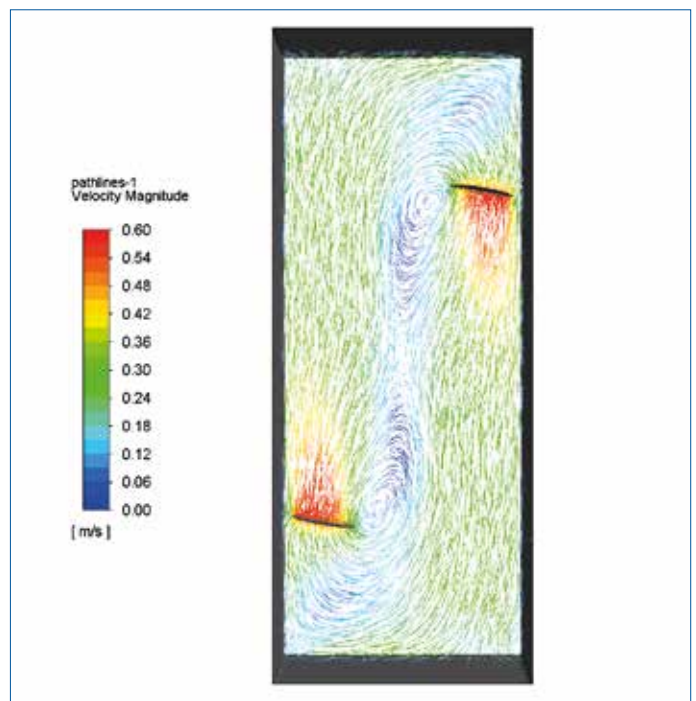


Abb. 39: Rechteckbecken mit zwei Rührwerken

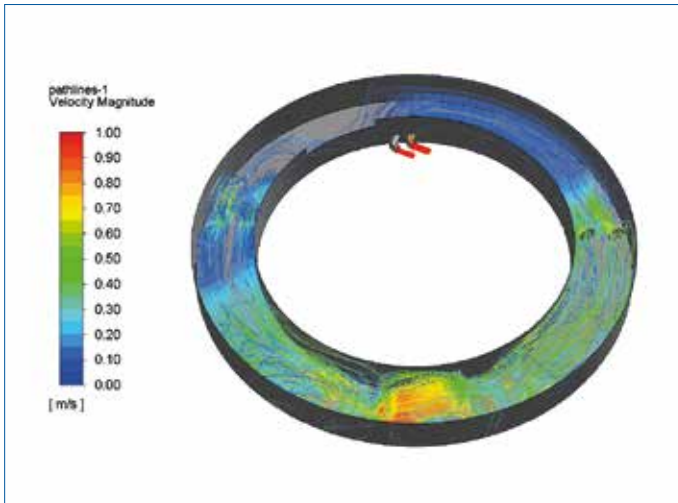


Abb. 40: Ringbeckensystem

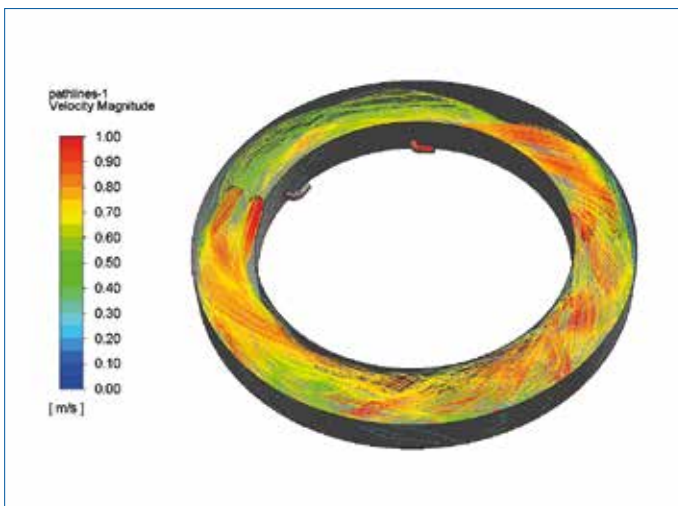


Abb. 41: Ringbeckensystem optimiert

Hocheffiziente Strömungsbeschleuniger sind durch einen großen, relativ langsam laufenden Propeller gekennzeichnet. Diese Konfiguration führt zu einem verhältnismäßig großen Förderstrom (je nach Propellerdurchmesser und Drehzahl  $0,8 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bei gleichzeitig relativ geringer Austrittsgeschwindigkeit (je nach Propellerdurchmesser und Drehzahl  $0,4 - 0,8 \text{ m/s}$ ) des Förderstromes. Zusätzlich sorgt der große Propellerdurchmesser für einen vergleichsweise großen Lastarm an der Welle. Das bedeutet in der Praxis, dass hocheffiziente Rührwerke äußerst sorgfältig positioniert werden sollten.

Scherströmungen oder erhöhte Turbulenzen führen bauartbedingt zu einer erhöhten Belastung des Aggregates. Eine ungünstige Positionierung kann folglich sowohl das Rührergebnis als auch die Lebensdauer der eingesetzten Aggregate negativ beeinflussen.

Abbildung 40 zeigt beispielhaft die Simulation eines Ringbeckens mit gleichzeitigem Betrieb von vier Rührwerken, zwei Rezirkulationspumpen und feinblasiger Tiefenbelüftung.

Die Abbildung verdeutlicht sowohl den Einfluss des Belüfterfeldes als auch den Einfluss der Rezirkulationspumpen auf die Ausbildung der gewünschten Fließgeschwindigkeit. Es ist deutlich zu erkennen, dass aufgrund der schlecht positionierten und überdimensionierten Rezirkulationspumpen keine umlaufende Strömung entsteht.

Die Abbildung 41 zeigt die Simulation des gleichen Beckens mit dem Unterschied, dass im Gegensatz zur ersten Simulation die Kapazität der Rezirkulationspumpen verringert und die Pumpen neu positioniert wurden. Die erzielte Verbesserung ist deutlich zu erkennen.

Ferner ist der produzierte Schub dieses Rührwerkstyps aufgrund seiner geringen Austrittsgeschwindigkeit am Propeller deutlich stärker beeinflusst durch eventuelle Anströmung von hinten. Dieser Umstand muss je nach gewünschter Positionierung ebenfalls Berücksichtigung finden.

Direkt angetriebene Rührwerke mit kleinem Propeller und hoher Drehzahl sind gekennzeichnet durch einen verhältnismäßig geringen Förderstrom (je nach Propellerdurchmesser und Drehzahl  $0,06 - 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bei gleichzeitig relativ hoher Austrittsgeschwindigkeit ( $2 - 2,5 \text{ m/s}$ ).

Der im Vergleich kleine Propeller sorgt dafür, dass dieser Rührwerkstyp deutlich unempfindlicher auf eine ungünstige Positionierung reagiert. Eine schlechte Positionierung führt jedoch zu einer erhöhten Belastung der Aufstellzubehöre.

Aus den genannten Gründen besteht daher die Notwendigkeit, die Positionierung der Rührwerke bereits in der frühen Planungsphase zu berücksichtigen und das Verhältnis von Beckenform und -größe, die Belüftung und das Rührwerk als funktionierendes Zusammenspiel zu betrachten (DIN 19596-3). Denn je nach geplanter Beckengeometrie ist es nötig, Wartungs- und Montageöffnungen sowie nötige Bühnen und Brücken vorzusehen. Bei größeren Füllhöhen muss überdies bedacht werden, dass eventuell Führungsrohre mit Hilfe von Mittenabstützungen gegen Schwingungen gesichert werden müssen.

Die folgenden Positionierungshinweise dienen einerseits einer optimalen Strömungserzeugung und andererseits zur Maximierung der Lebensdauer der Aggregate.

## Aufstellarten im Becken

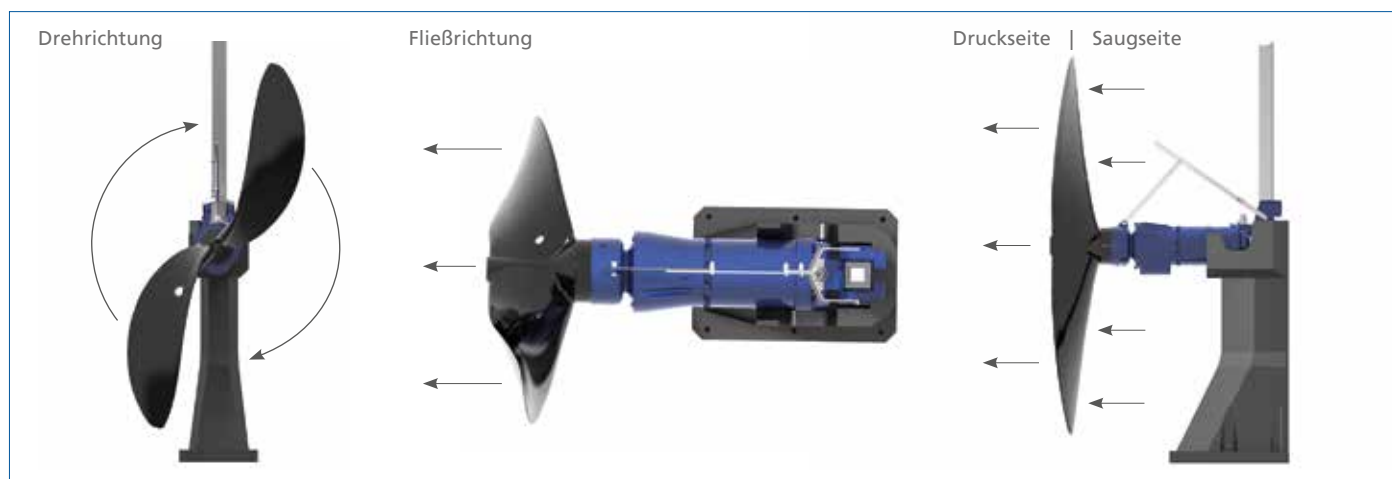


Abb. 42: Drehrichtung und Fließrichtung

## Rundbecken

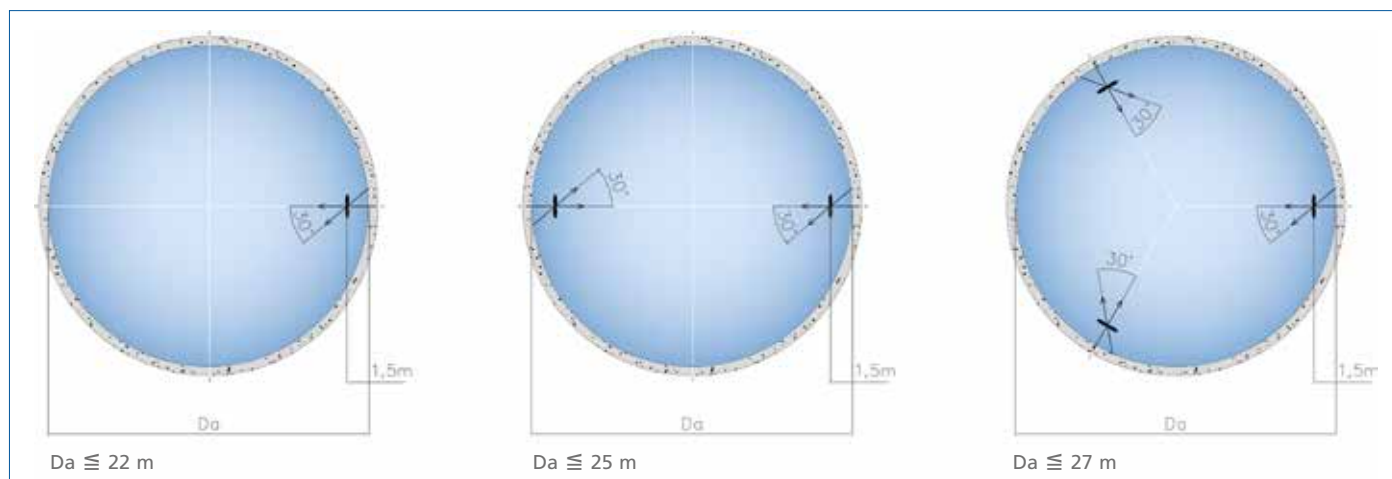


Abb. 43: Rundbecken | Positionierung allgemein

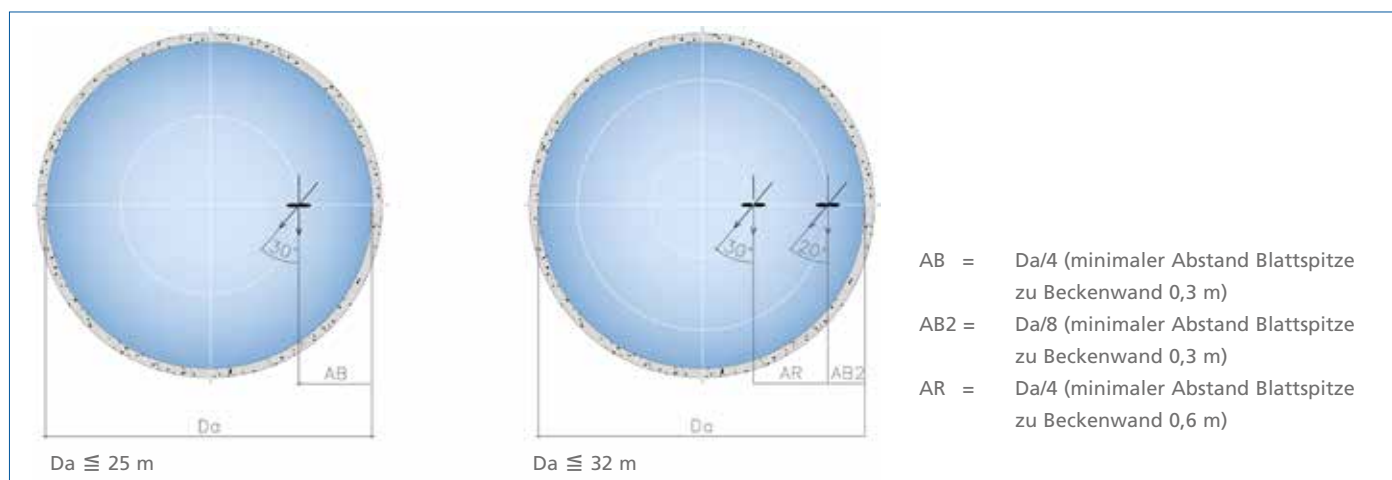


Abb. 44: Rundbecken | Positionierung allgemein

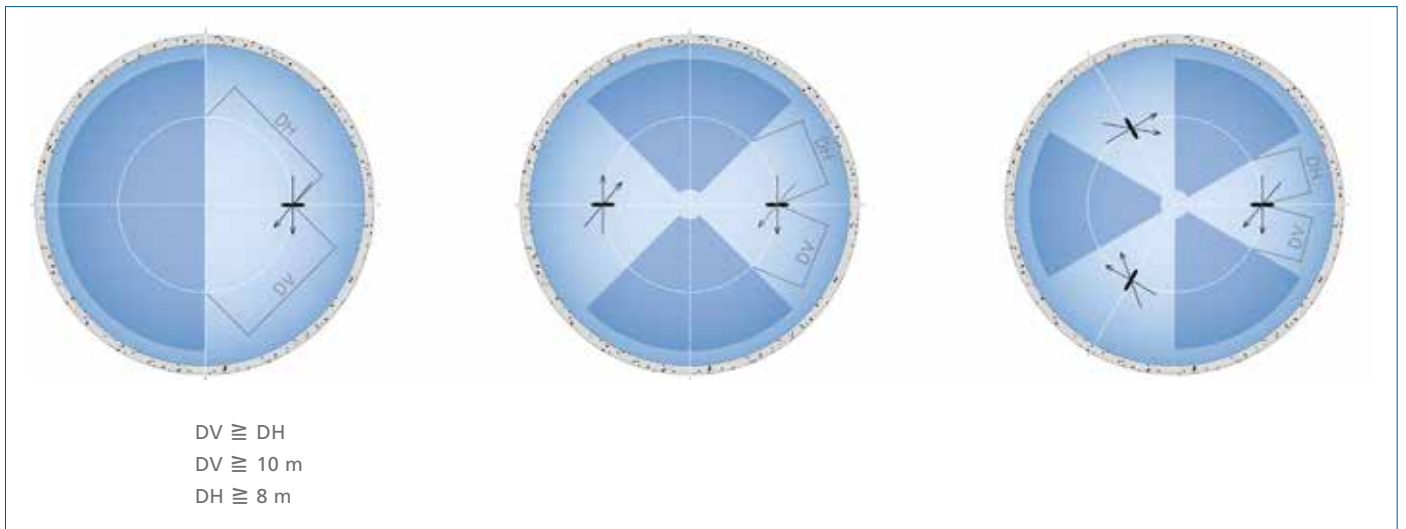


Abb. 45: Rundbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

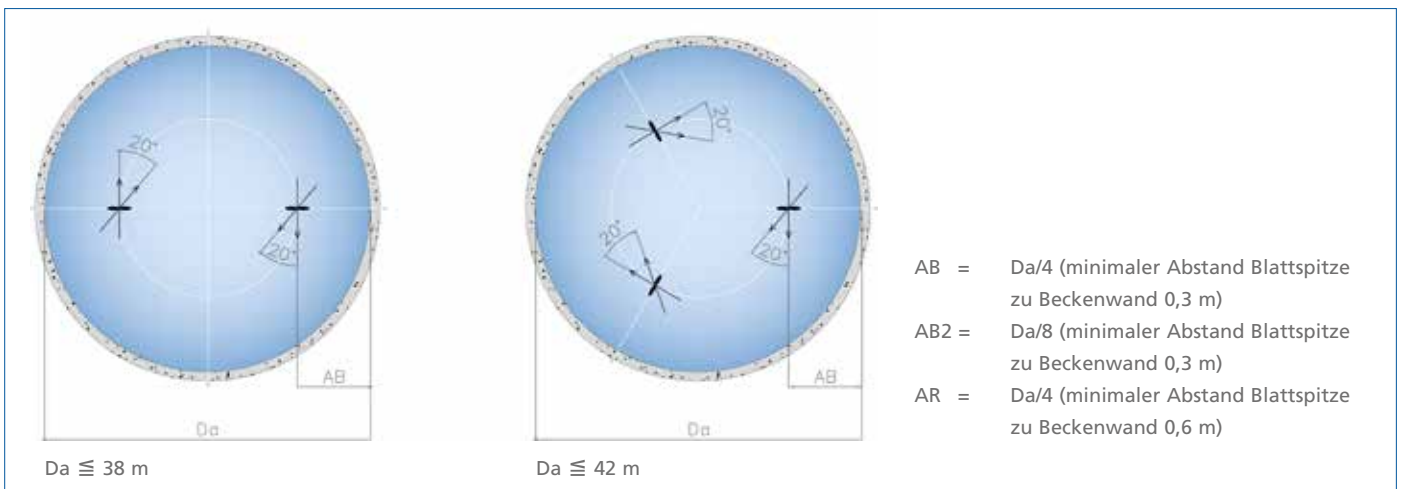


Abb. 46: Rundbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

- AB – Abstand zur seitlichen Beckenwand
- AB2 – Abstand zur seitlichen Beckenwand bei Parallelaufstellung
- W – Gerinnebreite
- Da – Durchmesser Becken / Außenringdurchmesser
- Di – Durchmesser Innenbecken / Zentralbauwerk
- AR – Abstand zwischen den Rührwerken bei Parallelaufstellung von zwei Rührwerken
- DV – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld druckseitig bei Parallelbetrieb
- DH – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld saugseitig bei Parallelbetrieb

Die angegebenen Sicherheitsabstände / Mindestabstände sollten beim Betrieb von Strömungsbeschleunigern unbedingt eingehalten werden.



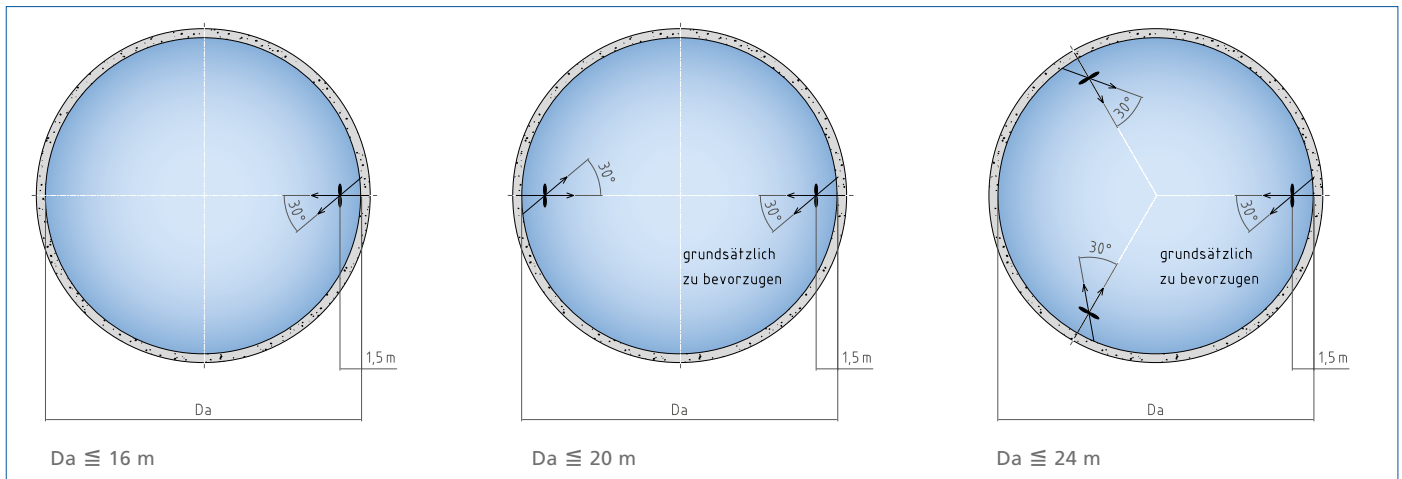


Abb. 47: Rundbecken | Schlamm-speicher (TS max. 8 % ohne Polymere)

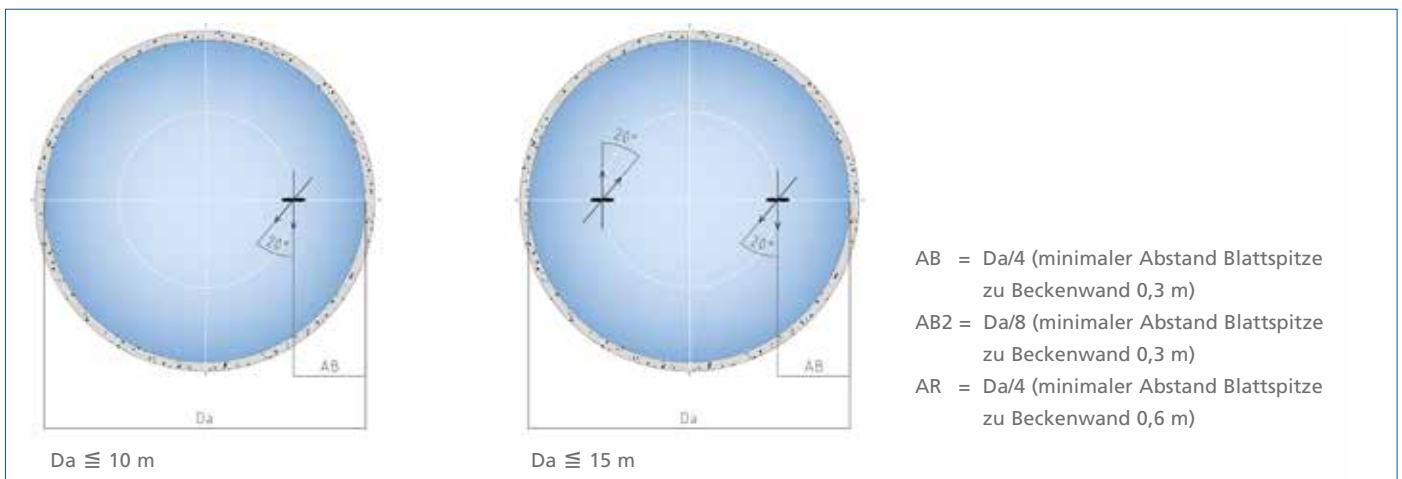


Abb. 48: Rundbecken | Regenüberlaufbecken (Entleerung erfolgt am Boden in der Beckenmitte)

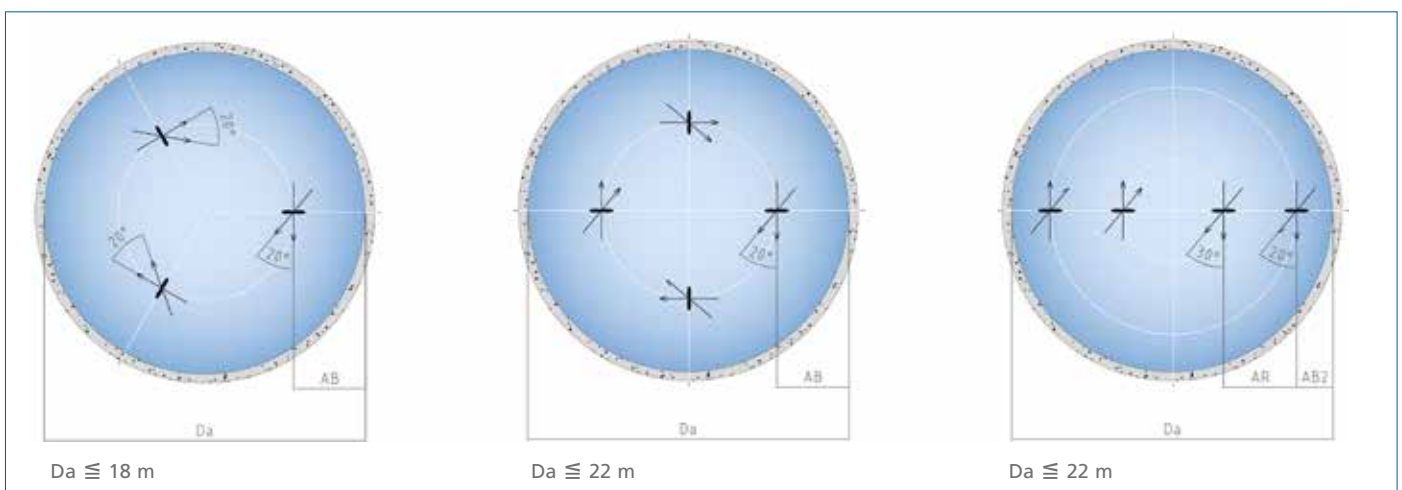


Abb. 49: Rundbecken | Regenüberlaufbecken (Entleerung erfolgt am Boden in der Beckenmitte)

## Ringbecken

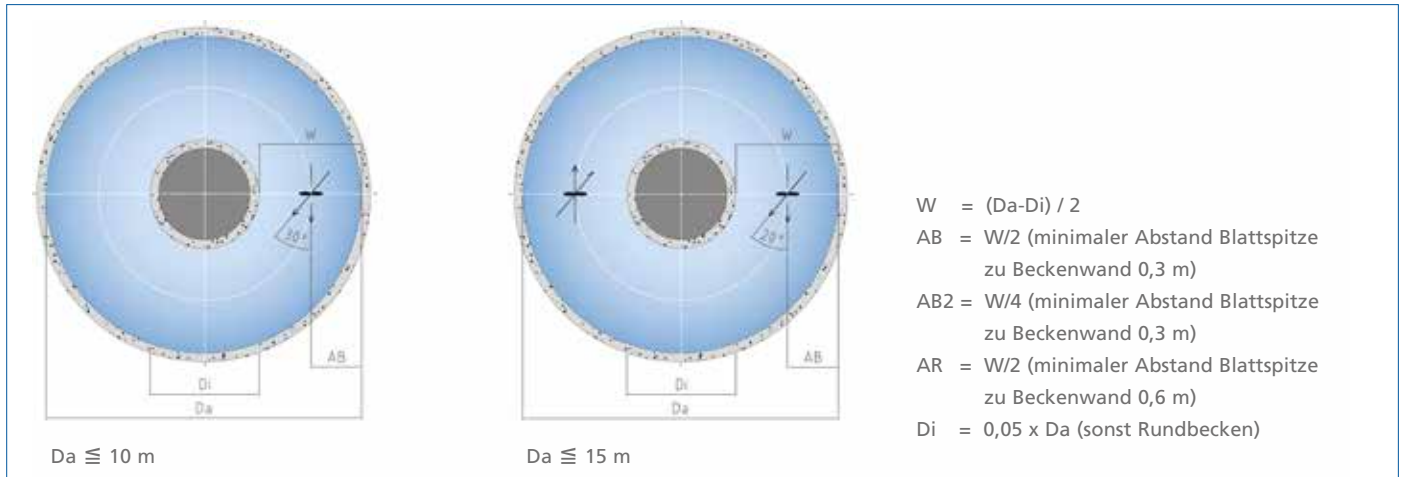


Abb. 50: Ringbecken | Regenüberlaufbecken (Entleerung erfolgt am Boden über Sammelrinne, die um das Zentralbauwerk verläuft)

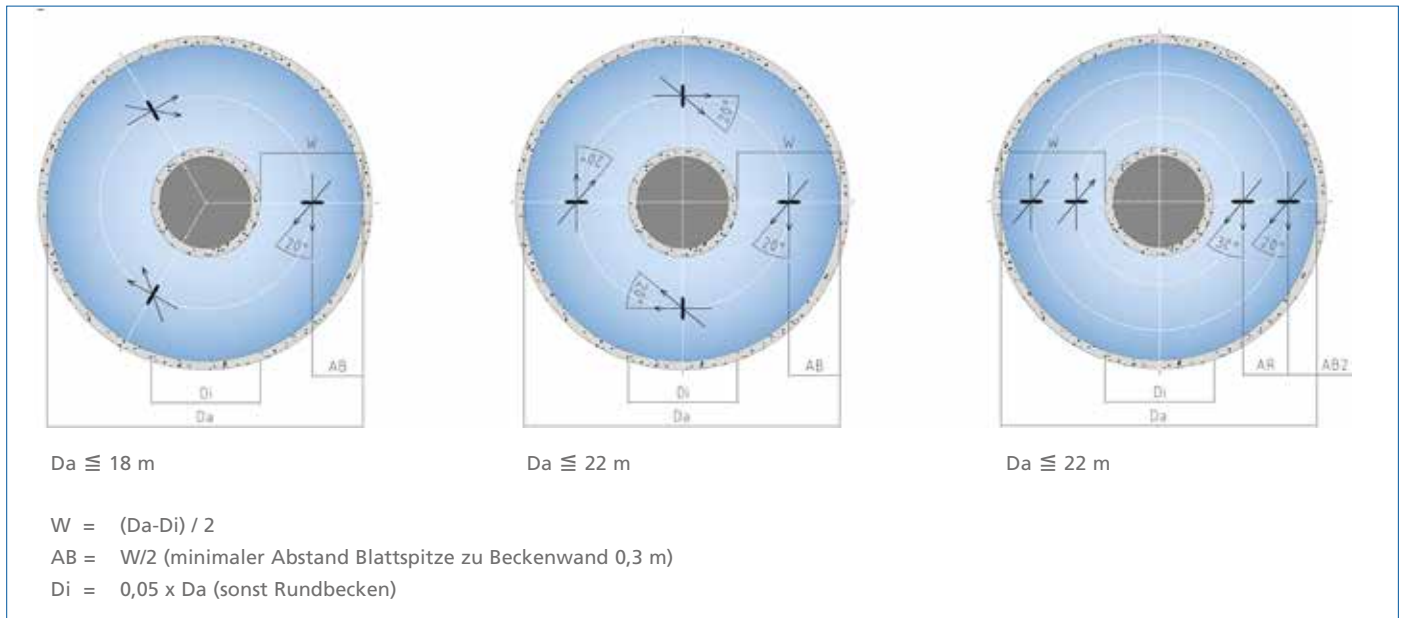


Abb. 51: Ringbecken

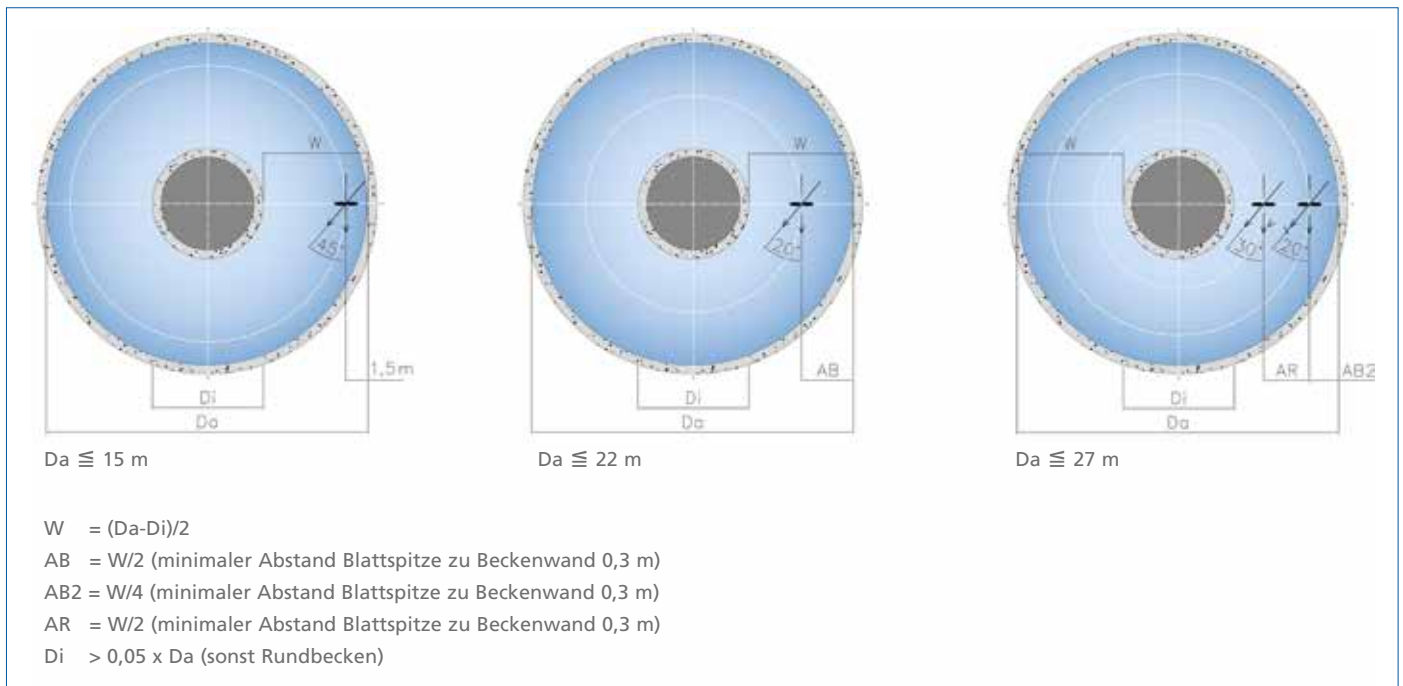


Abb. 52: Ringbecken | Positionierung allgemein

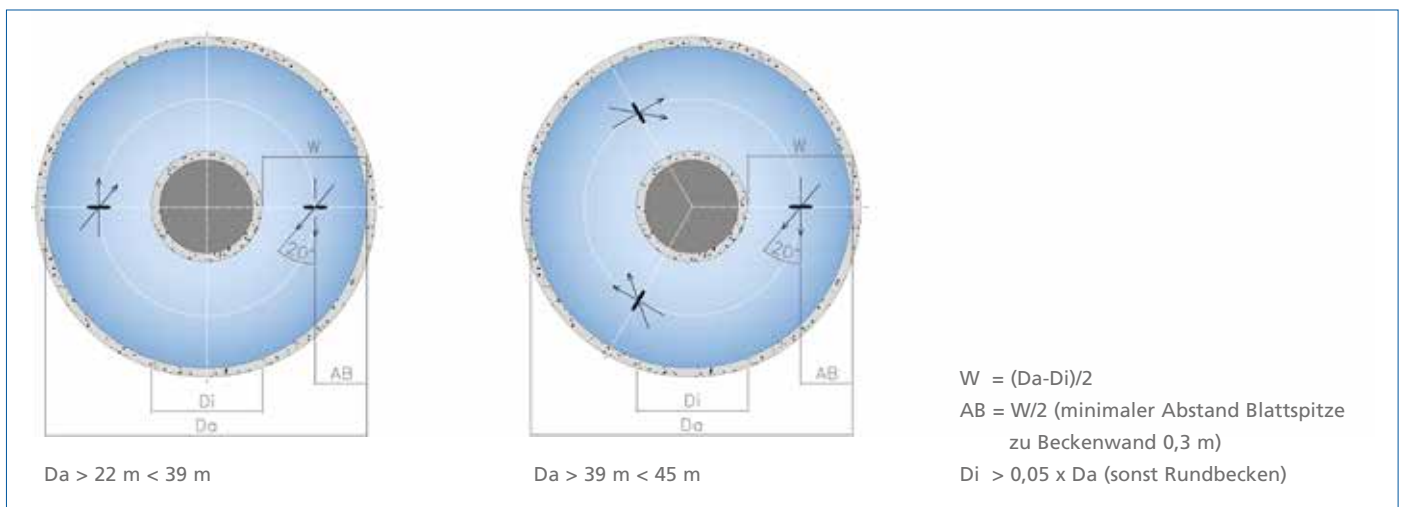


Abb. 53: Ringbecken

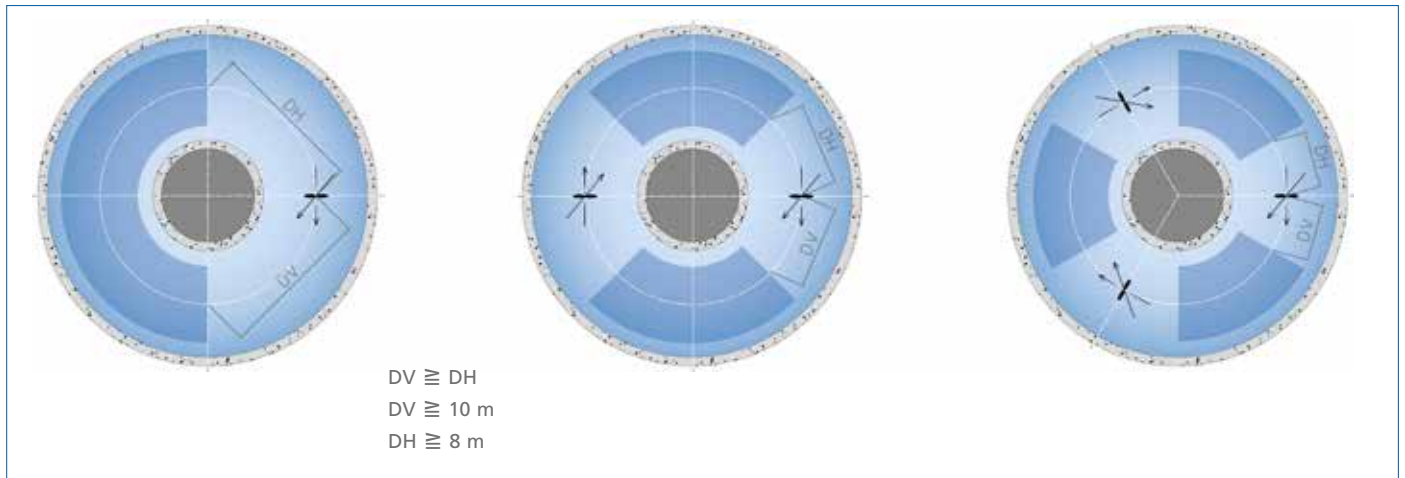


Abb. 54: Ringbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

AB – Abstand zur seitlichen Beckenwand

AB2 – Abstand zur seitlichen Beckenwand bei Parallelaufstellung

W – Gerinnebreite

Da – Durchmesser Becken / Außenringdurchmesser

Di – Durchmesser Innenbecken / Zentralbauwerk

AR – Abstand zwischen den Rührwerken bei Parallelaufstellung von zwei Rührwerken

DV – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld druckseitig bei Parallelbetrieb

DH – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld saugseitig bei Parallelbetrieb

Die angegebenen Sicherheitsabstände / Mindestabstände sollten beim Betrieb von Strömungsbeschleunigern unbedingt eingehalten werden.

## Quadratbecken

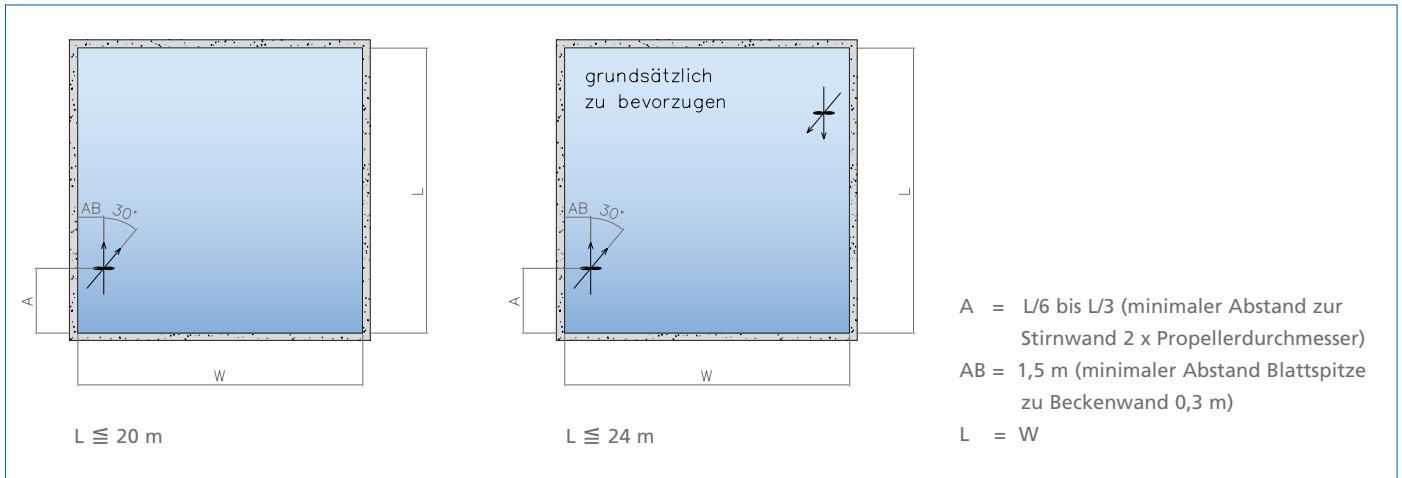


Abb. 55: Quadratbecken | Positionierung allgemein

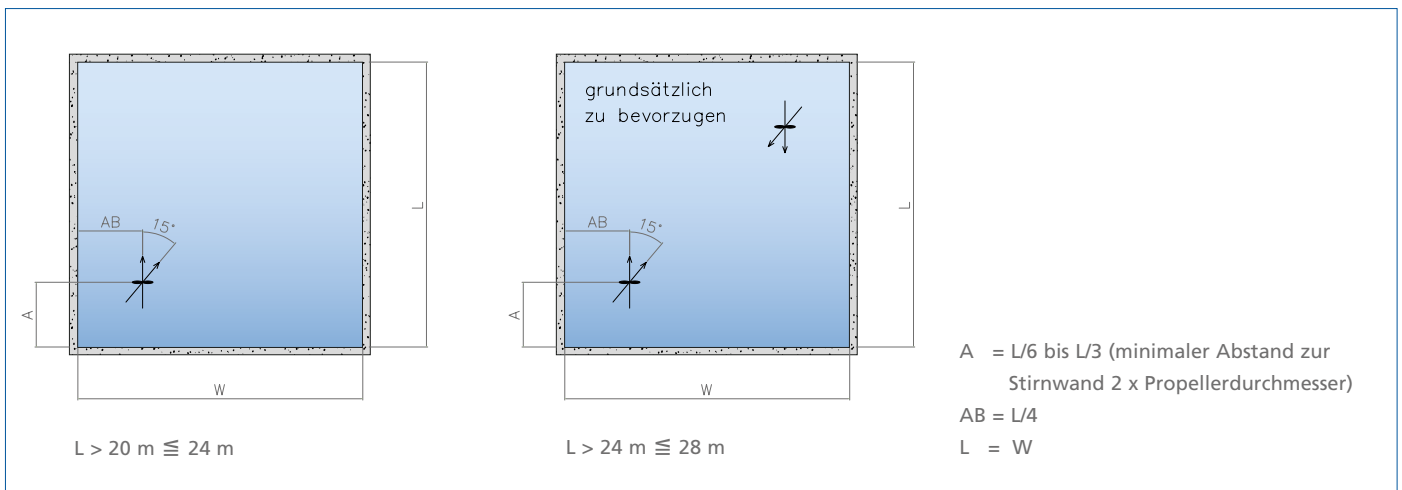


Abb. 56: Quadratbecken

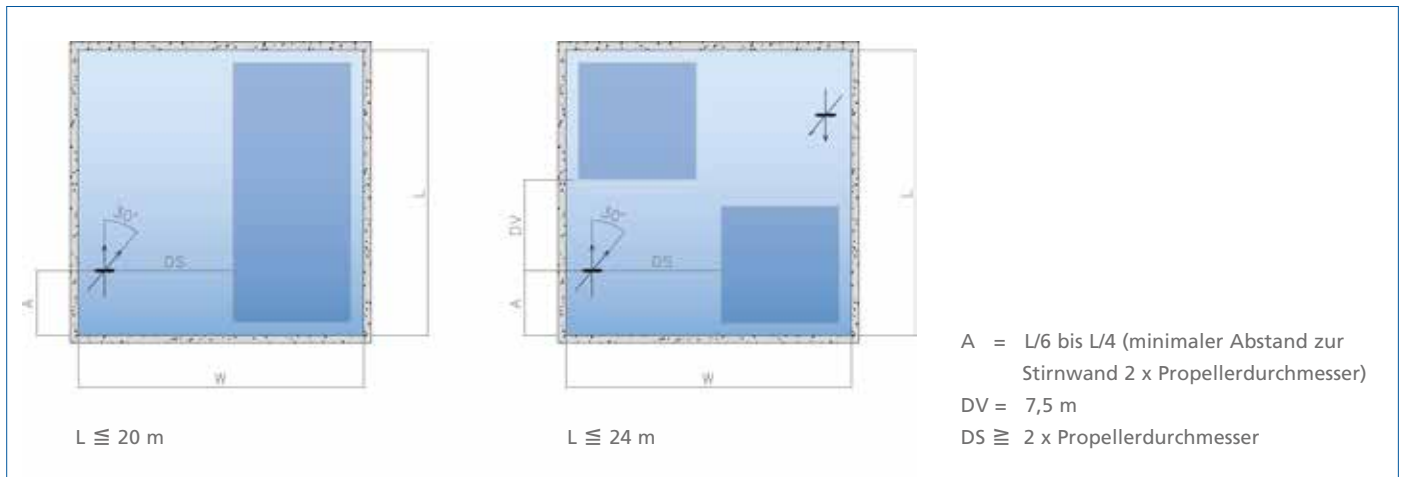


Abb. 57: Quadratbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

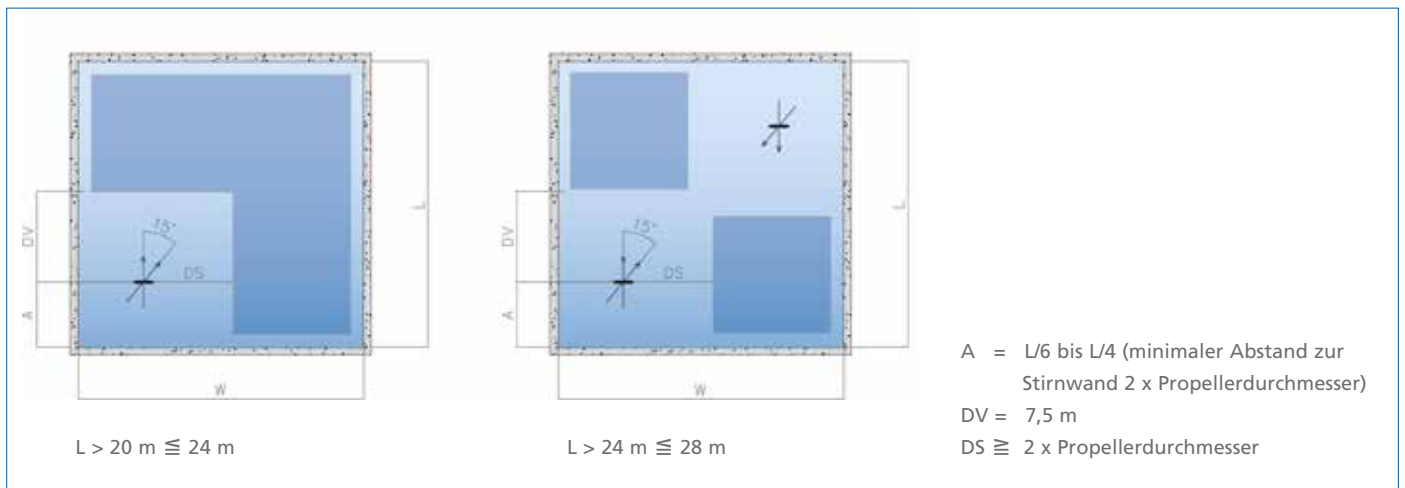


Abb. 58: Quadratbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

$A$  – Sicherheitsabstand saugseitig zur Beckenwand  
 $AB$  – Abstand zur seitlichen Beckenwand  
 $B1$  – Abstand Rührwerke bei Aufstellung in Reihe

$W$  – Gerinnebreite  
 $L$  – Beckenlänge

$DS$  – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld seitlich bei Parallelbetrieb

$DV$  – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld druckseitig bei Parallelbetrieb

$DH$  – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld saugseitig bei Parallelbetrieb

Die angegebenen Sicherheitsabstände / Mindestabstände sollten beim Betrieb von Strömungsbeschleunigern unbedingt eingehalten werden.

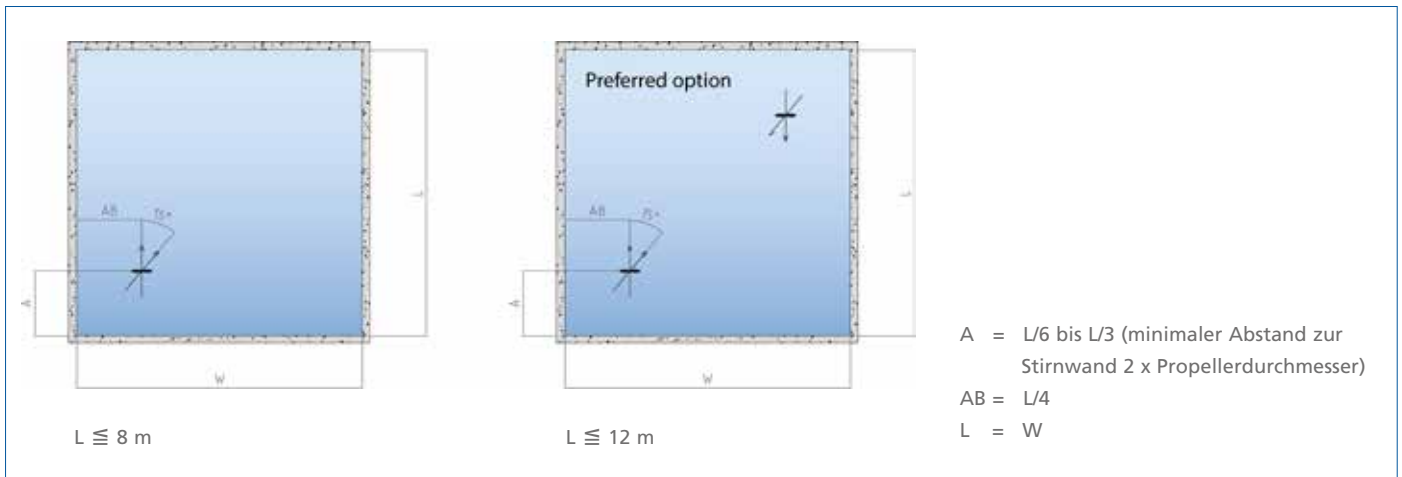


Abb. 59: Quadratbecken | Regenüberlaufbecken (Entleerung erfolgt am Boden in der Beckenmitte)

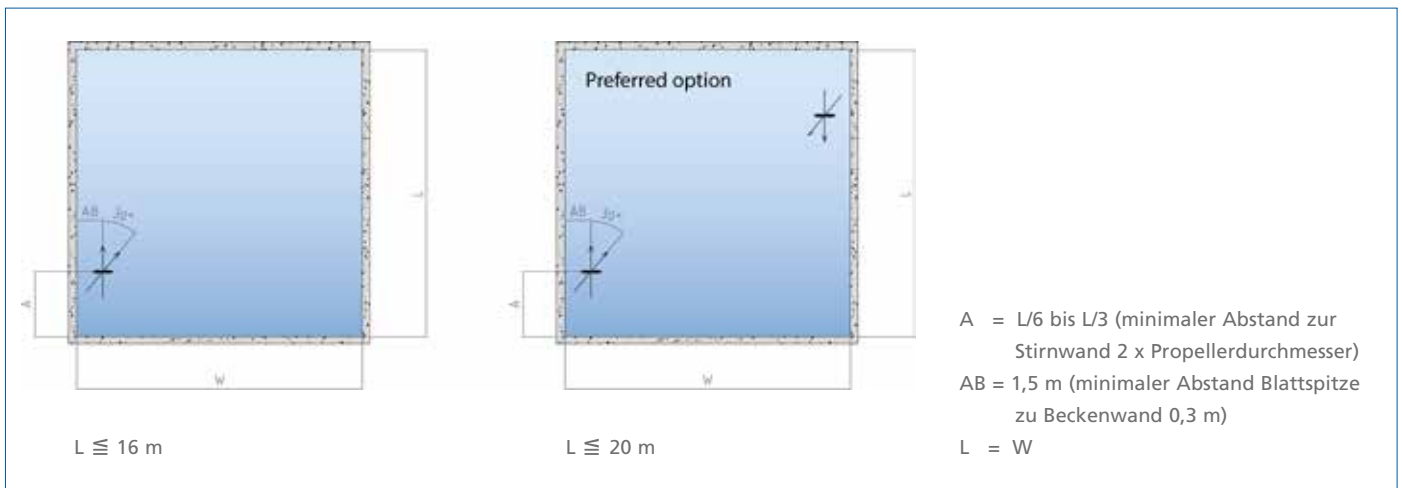


Abb. 60: Quadratbecken | Schlamm Speicher (TS max. 8 % ohne Polymere)

## Rechteckbecken

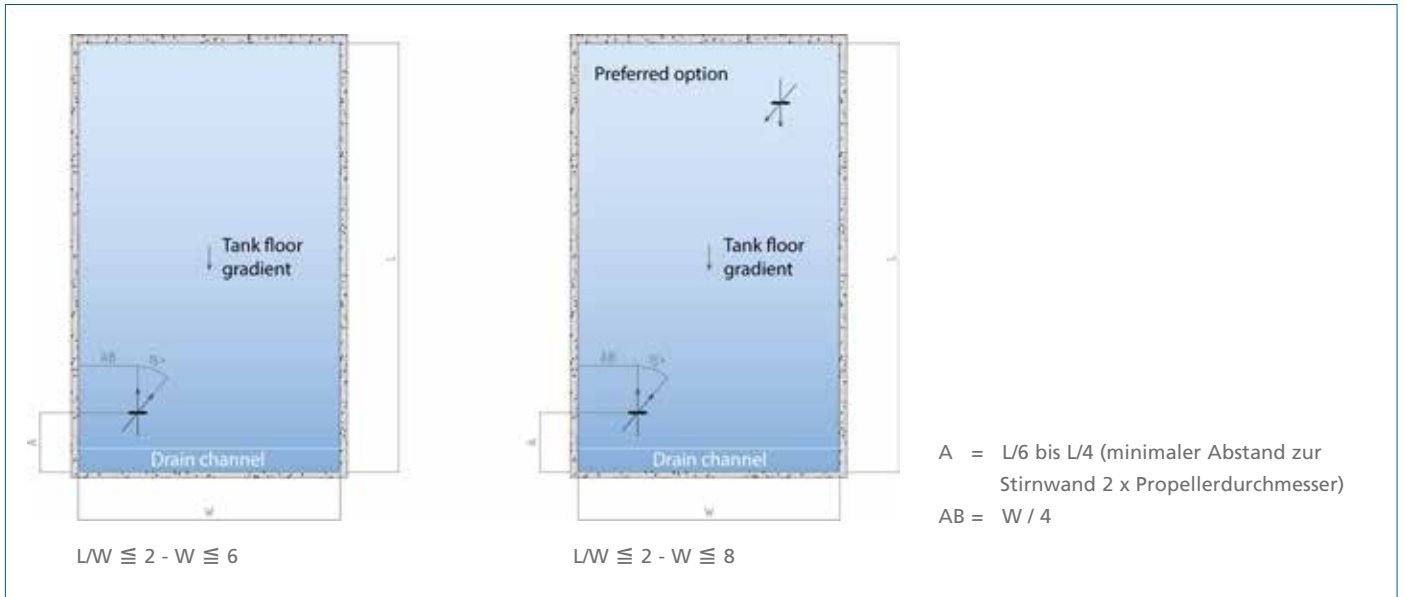


Abb. 61: Rechteckbecken | Regenüberlaufbecken

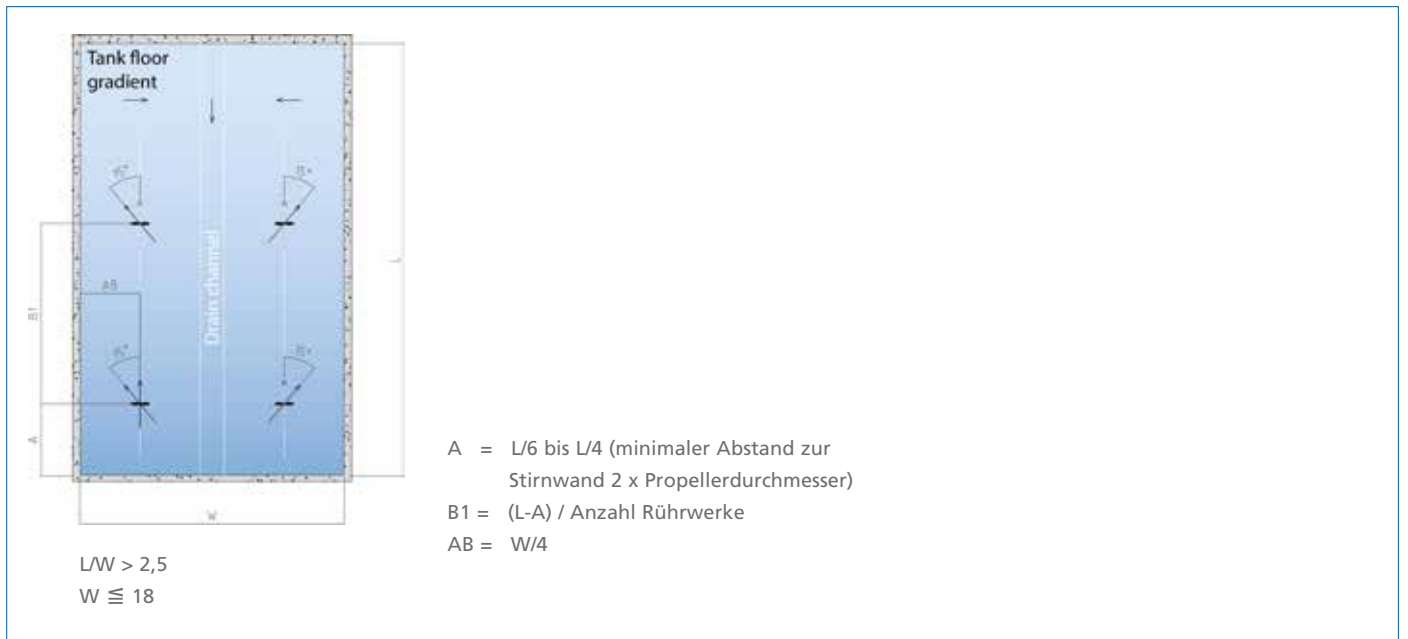


Abb. 62: Rechteckbecken | Regenüberlaufbecken



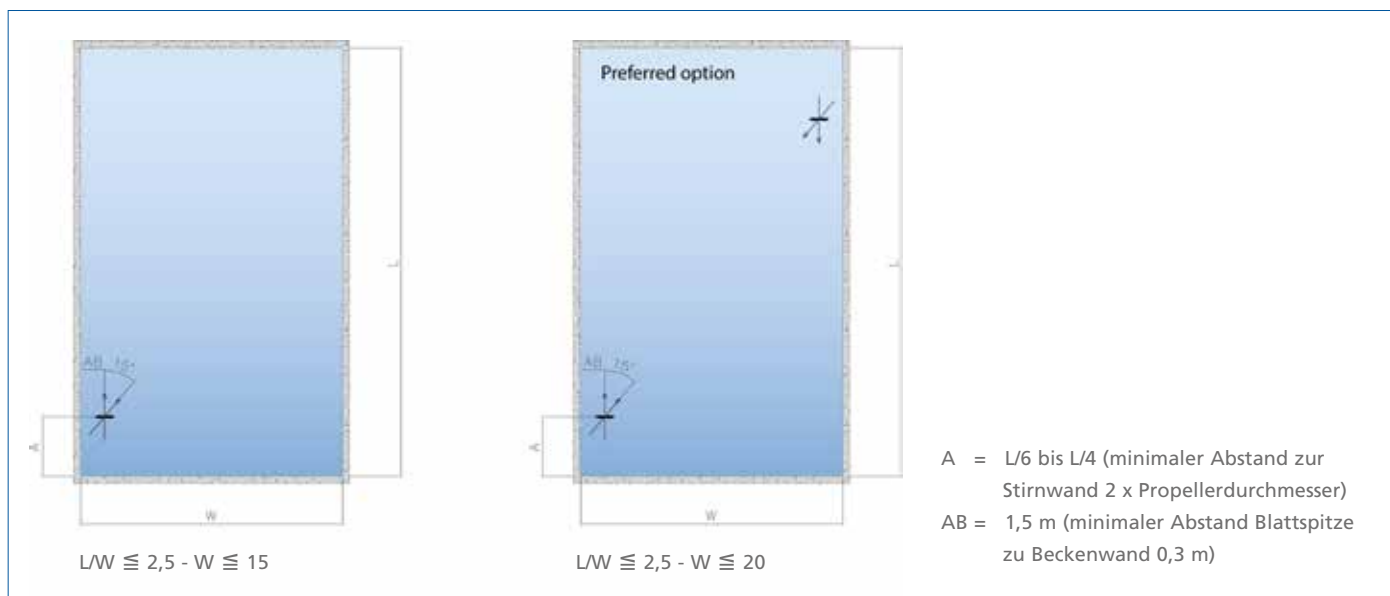


Abb. 63: Rechteckbecken | Positionierung allgemein

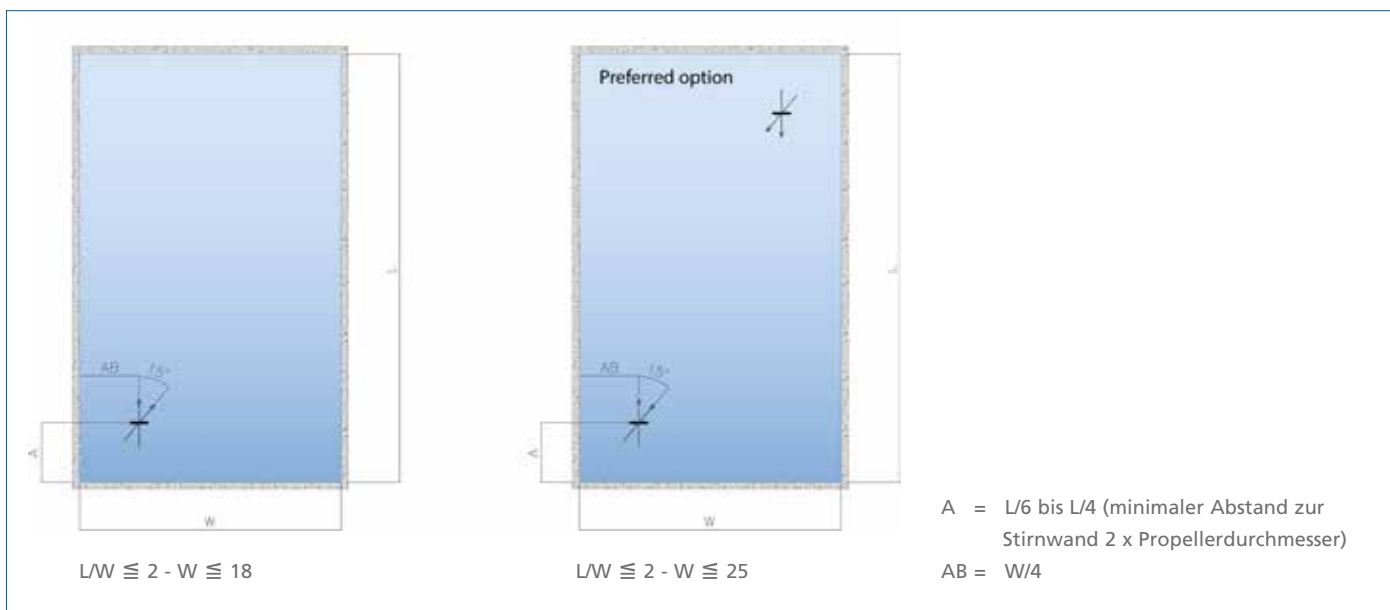


Abb. 64: Rechteckbecken

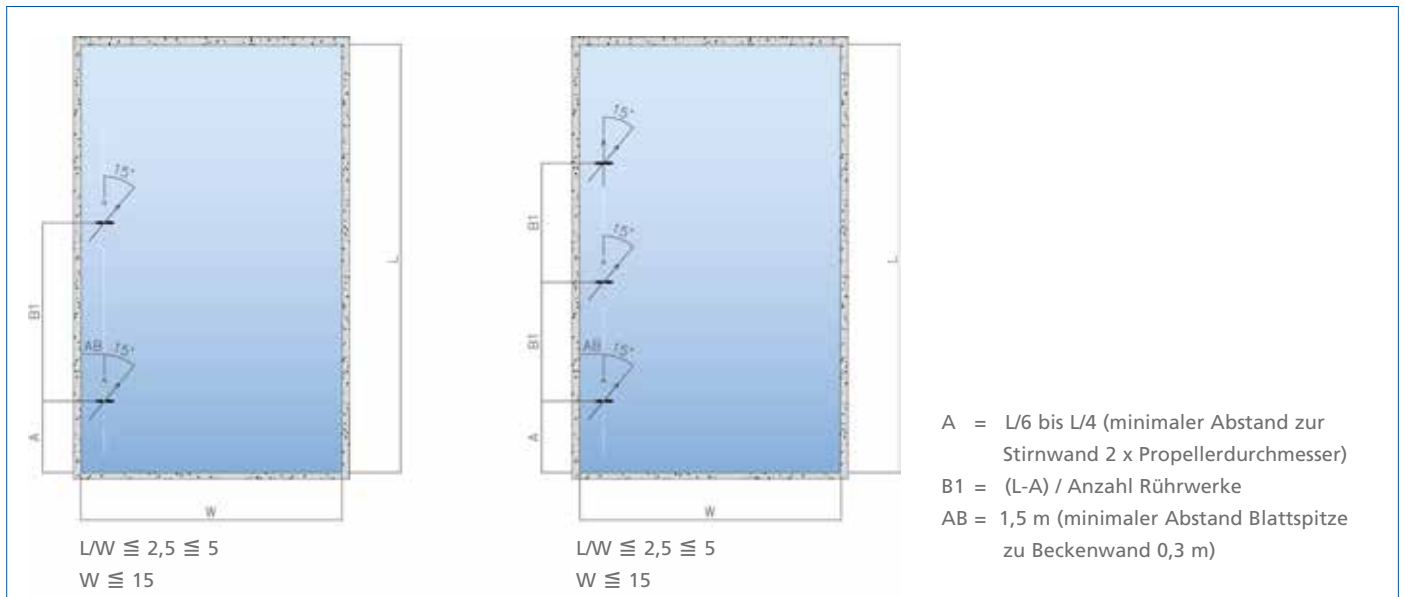


Abb. 65: Rechteckbecken | Positionierung allgemein

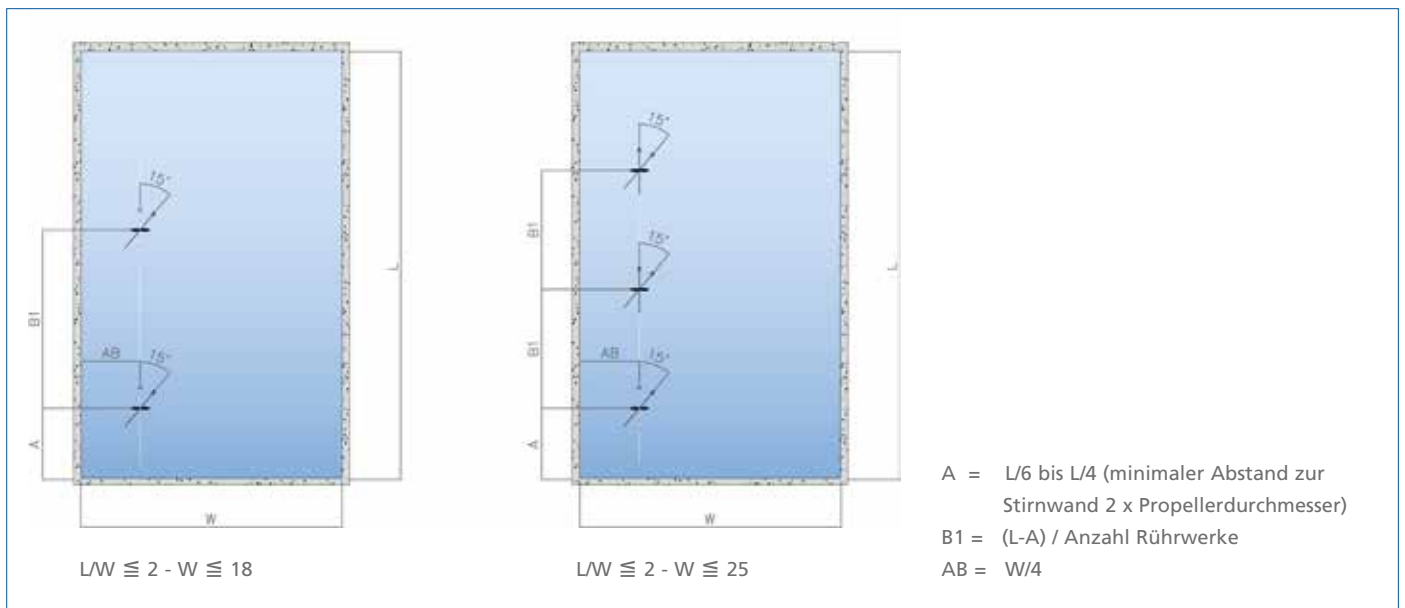


Abb. 66: Rechteckbecken

- A – Sicherheitsabstand saugseitig zur Beckenwand
- AB – Abstand zur seitlichen Beckenwand
- B1 – Abstand Rührwerke bei Aufstellung in Reihe

- W – Gerinnebreite
- L – Beckenlänge

- DS – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld seitlich bei Parallelbetrieb
- DV – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld druckseitig bei Parallelbetrieb
- DH – Sicherheitsabstand zum Belüfterfeld saugseitig bei Parallelbetrieb

Die angegebenen Sicherheitsabstände / Mindestabstände sollten beim Betrieb von Strömungsbeschleunigern unbedingt eingehalten werden.

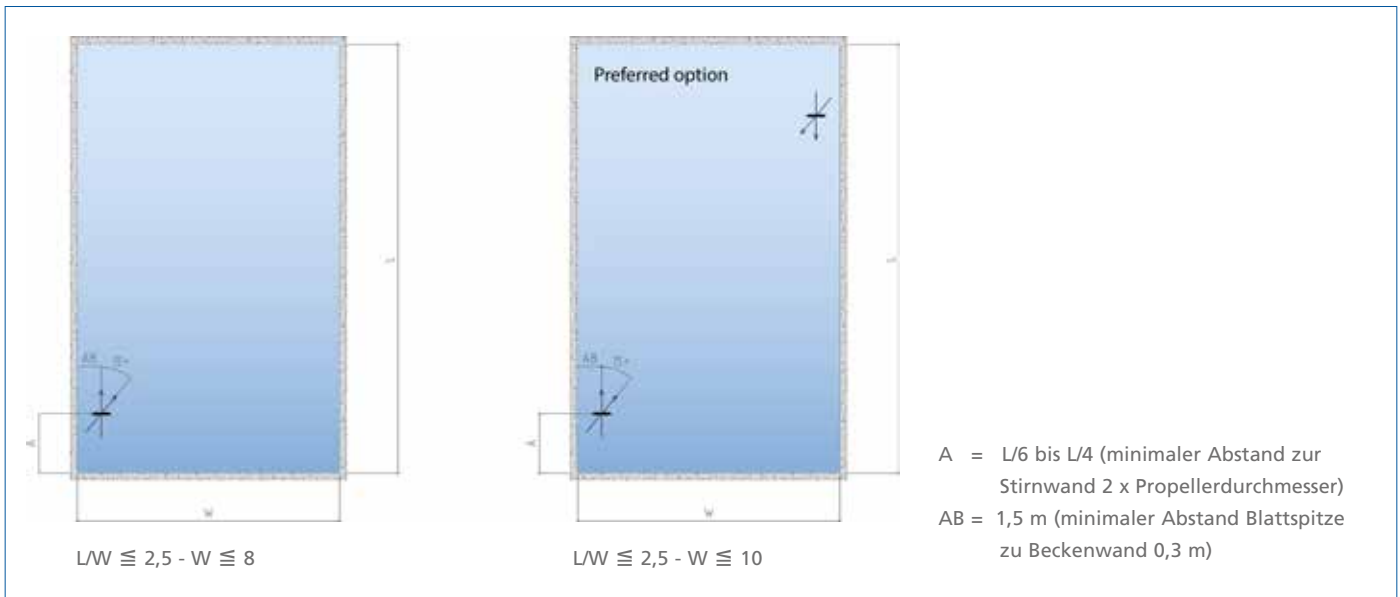


Abb. 67: Rechteckbecken | Schlamm-speicher (TS max. 8 % ohne Polymere)

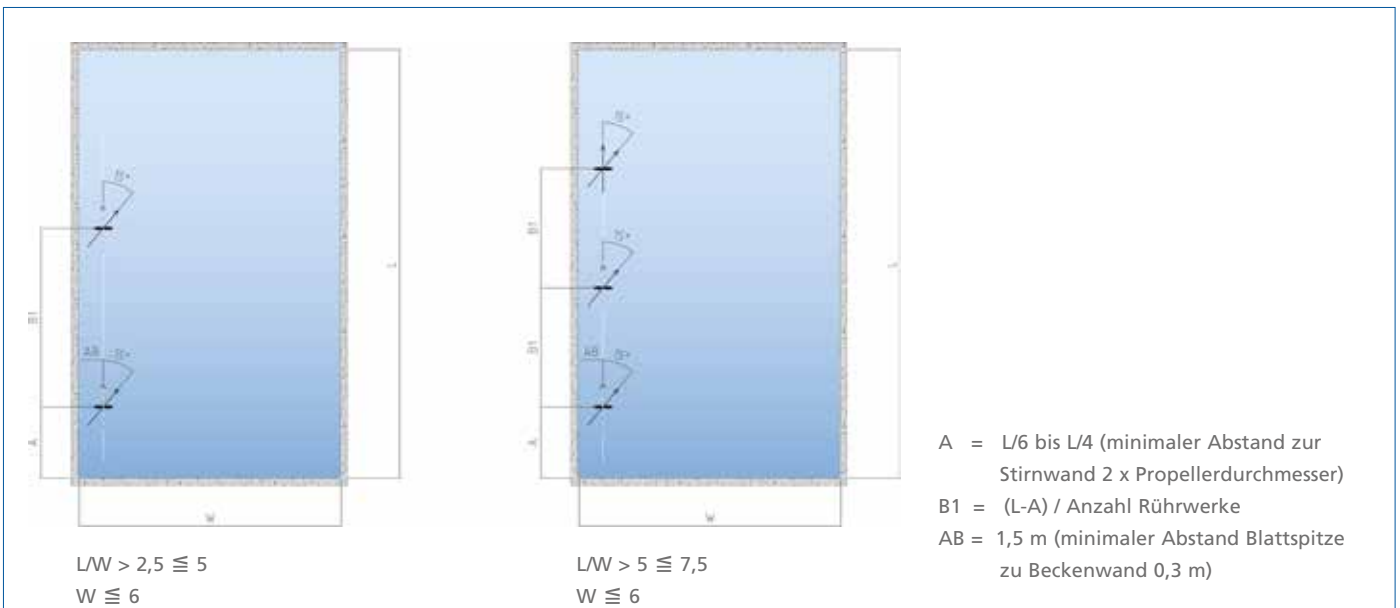


Abb. 68: Rechteckbecken | Schlamm-speicher (TS max. 8 % ohne Polymere)

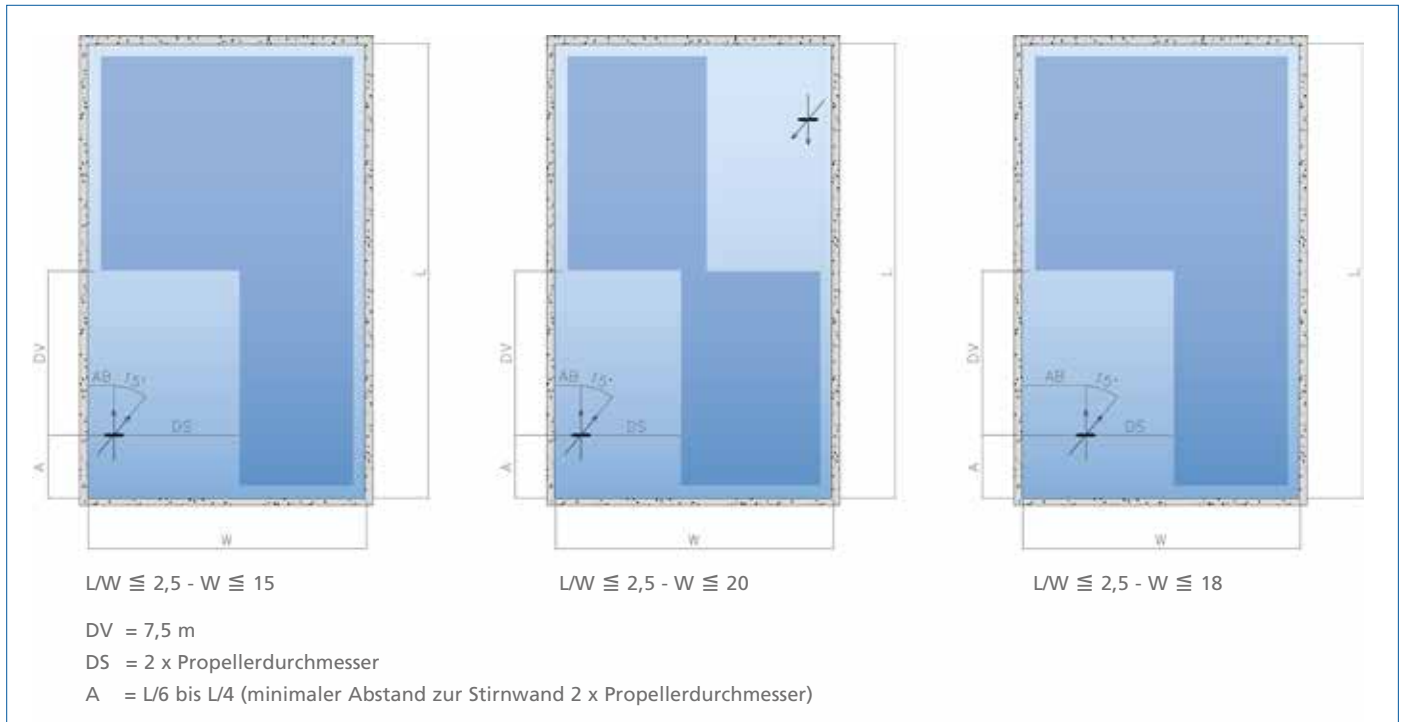


Abb. 69: Rechteckbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

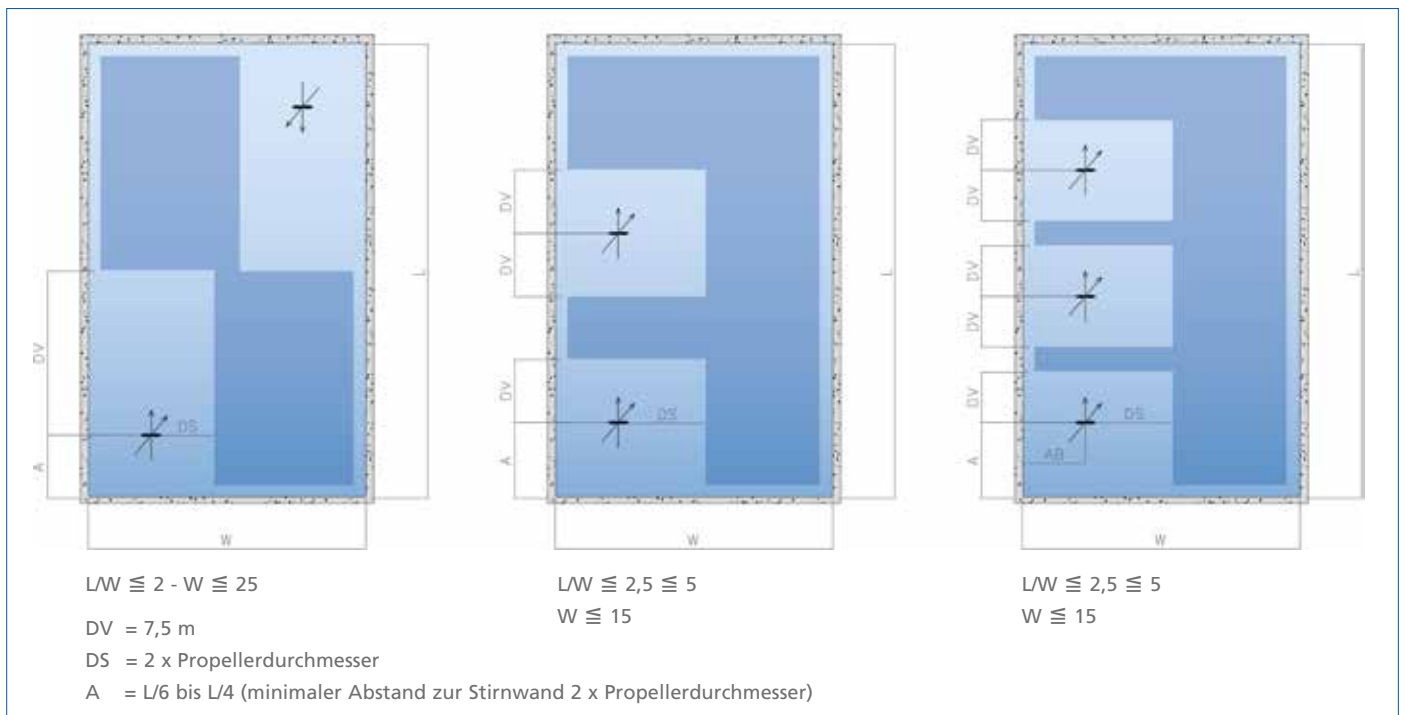


Abb. 70: Rechteckbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

## Umlaufbecken

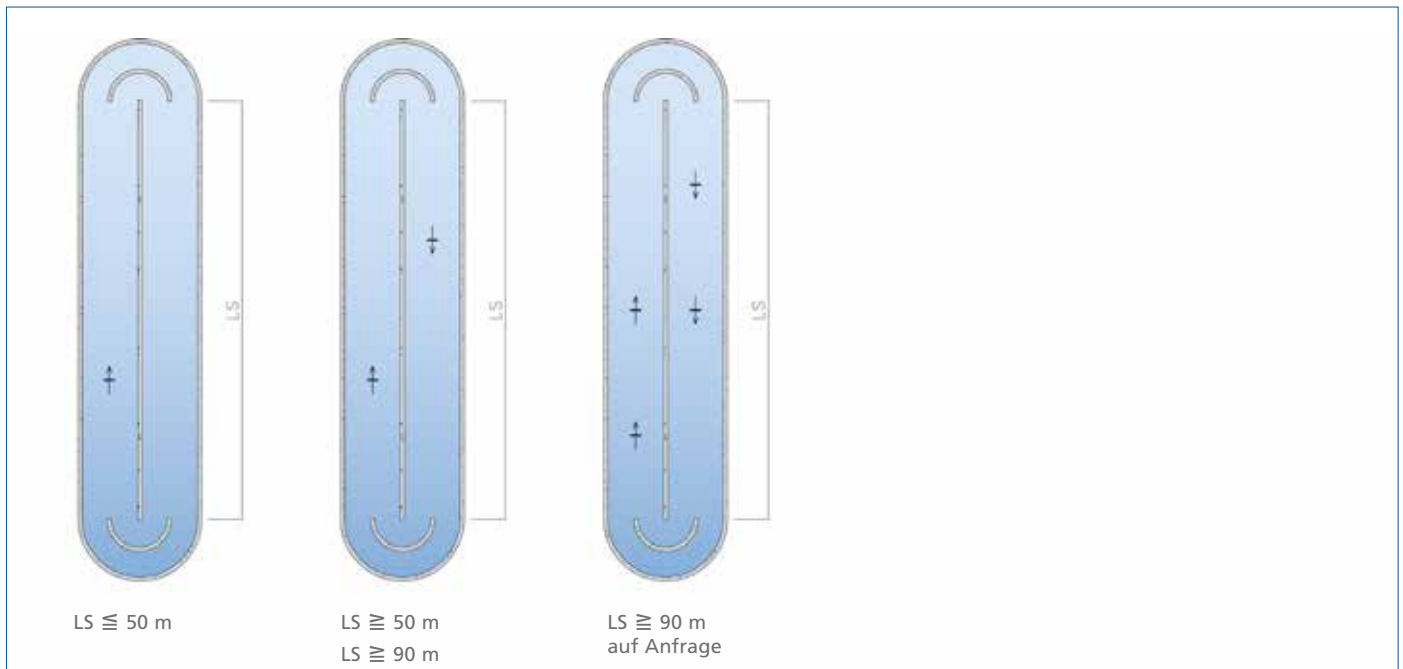


Abb. 71: Umlaufbecken | Anzahl Rührwerksinstallationspunkte

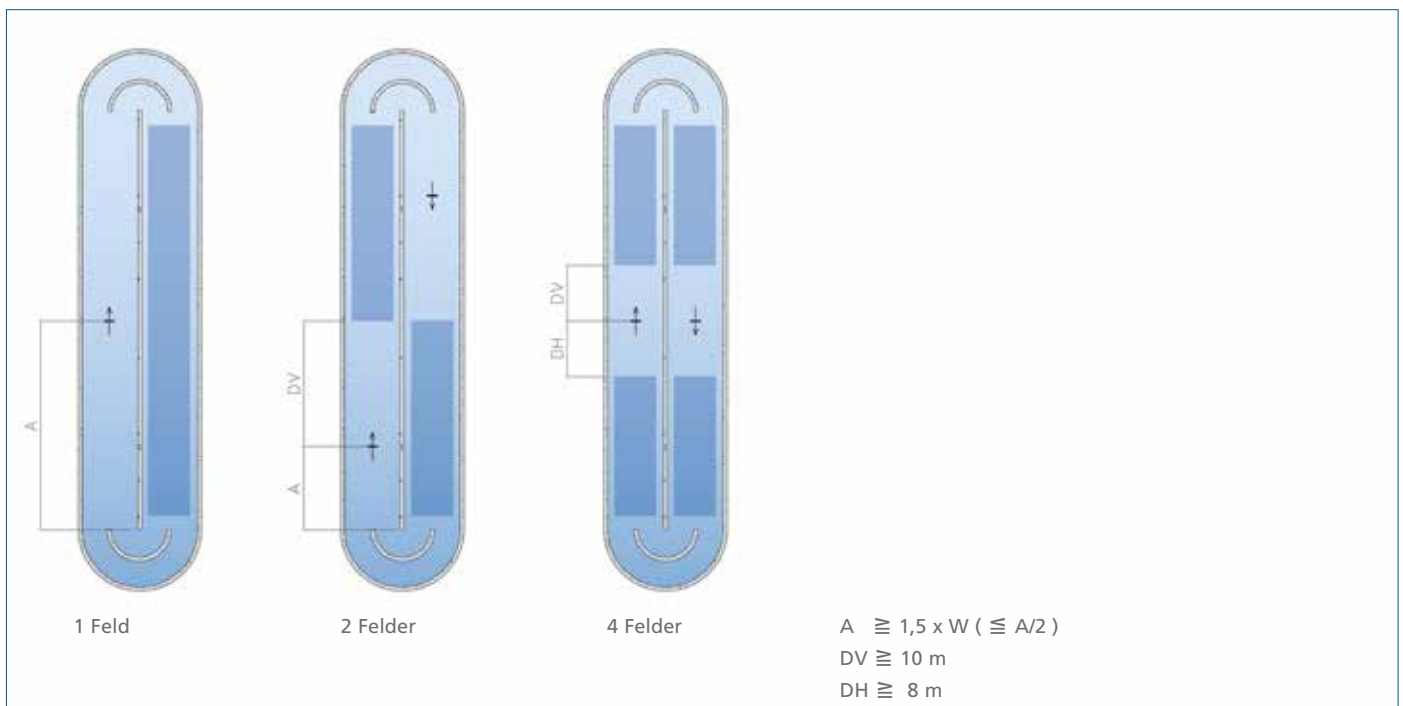


Abb. 72: Umlaufbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

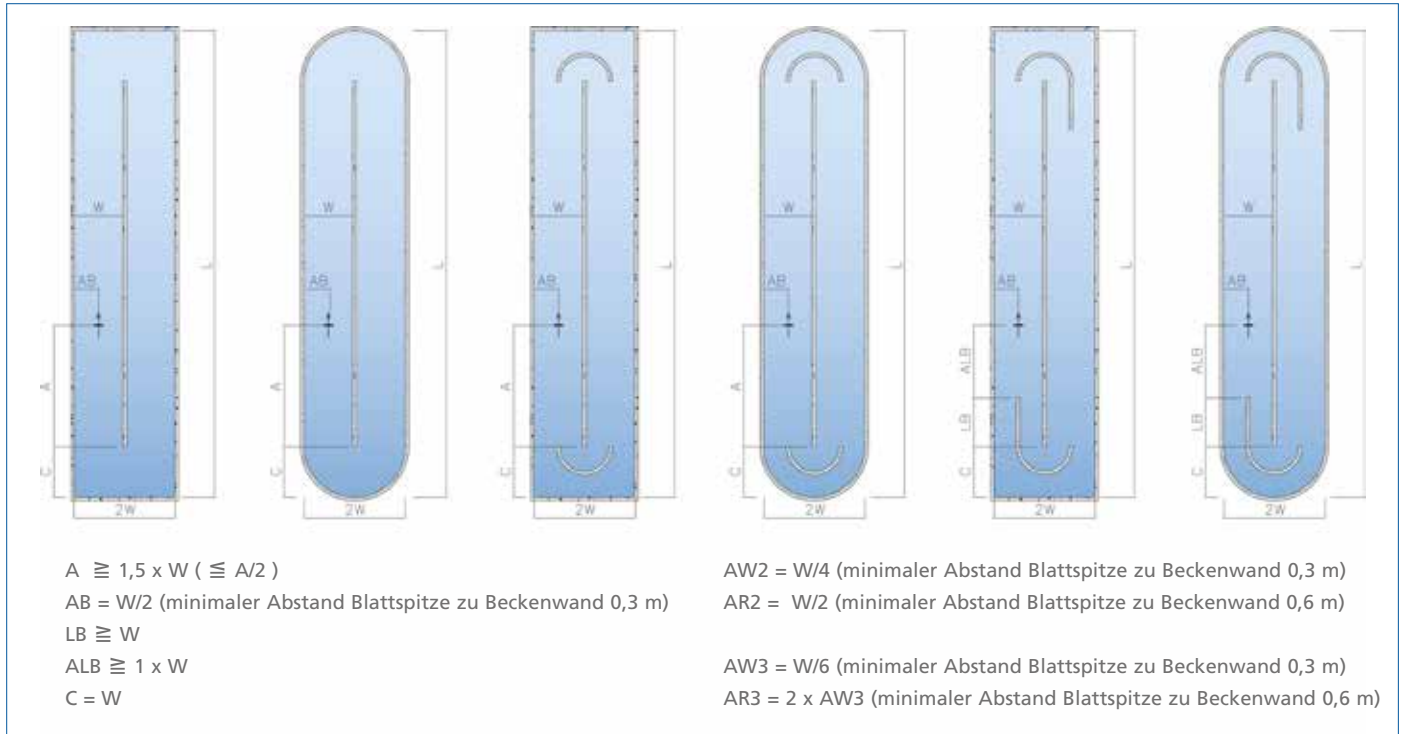


Abb. 73: Umlaufbecken | Allgemein

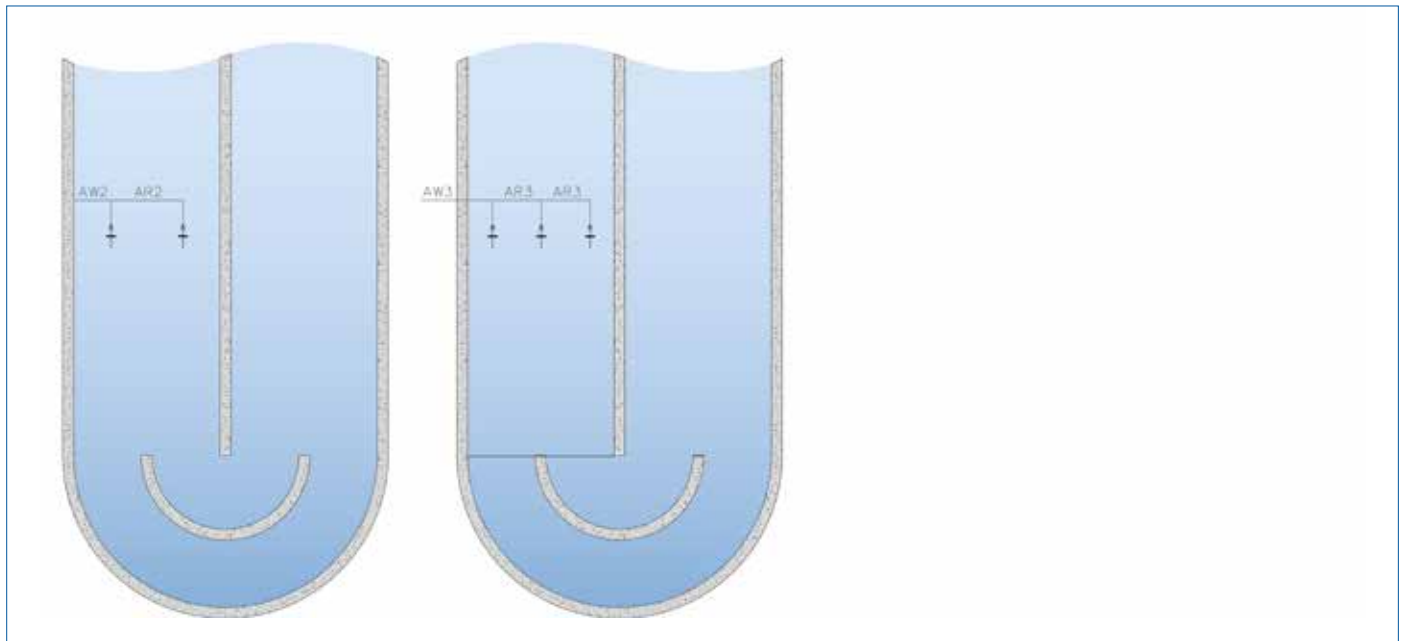


Abb. 74: Umlaufbecken

## Mäanderbecken

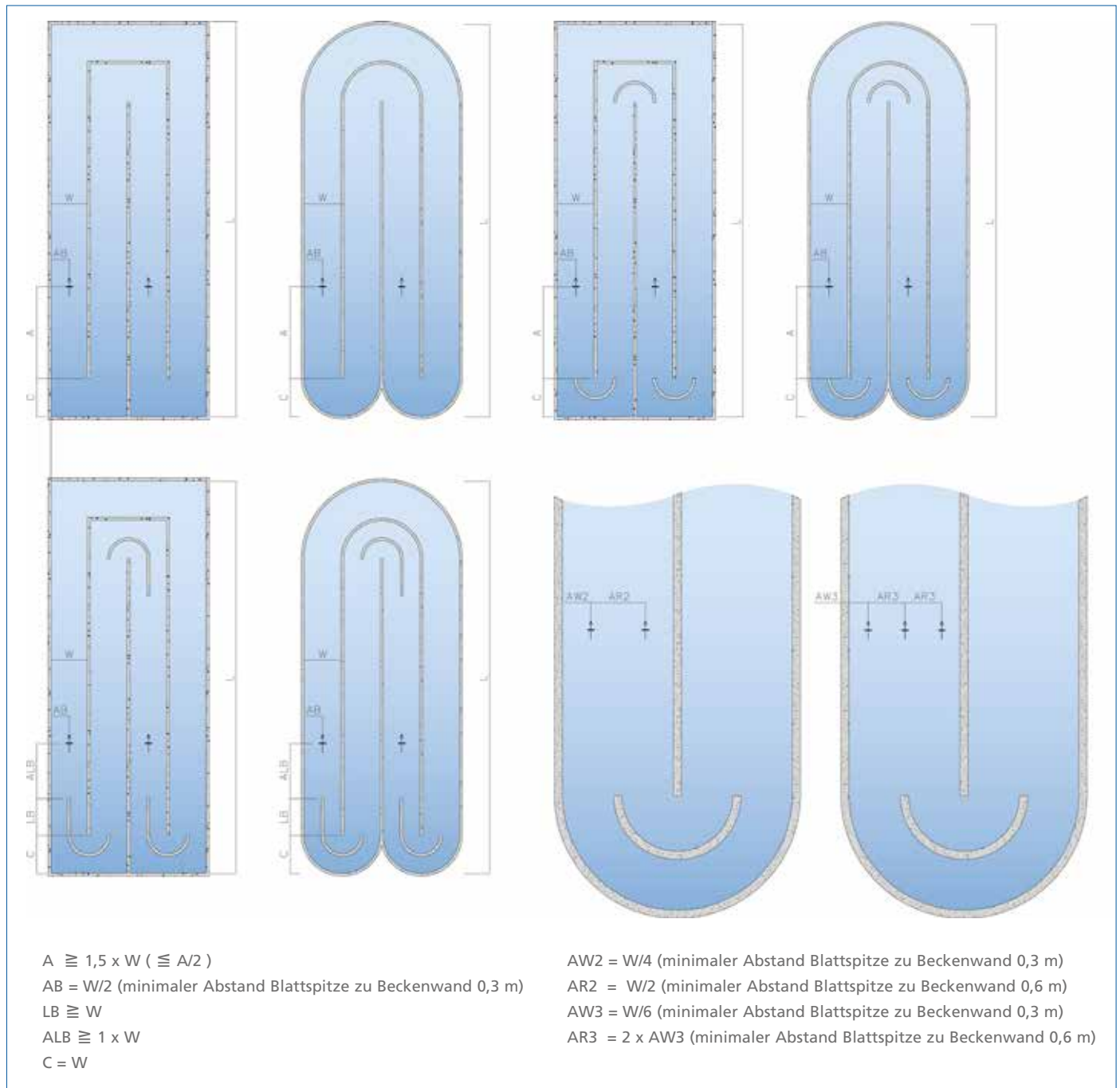


Abb. 75: Mäanderbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb

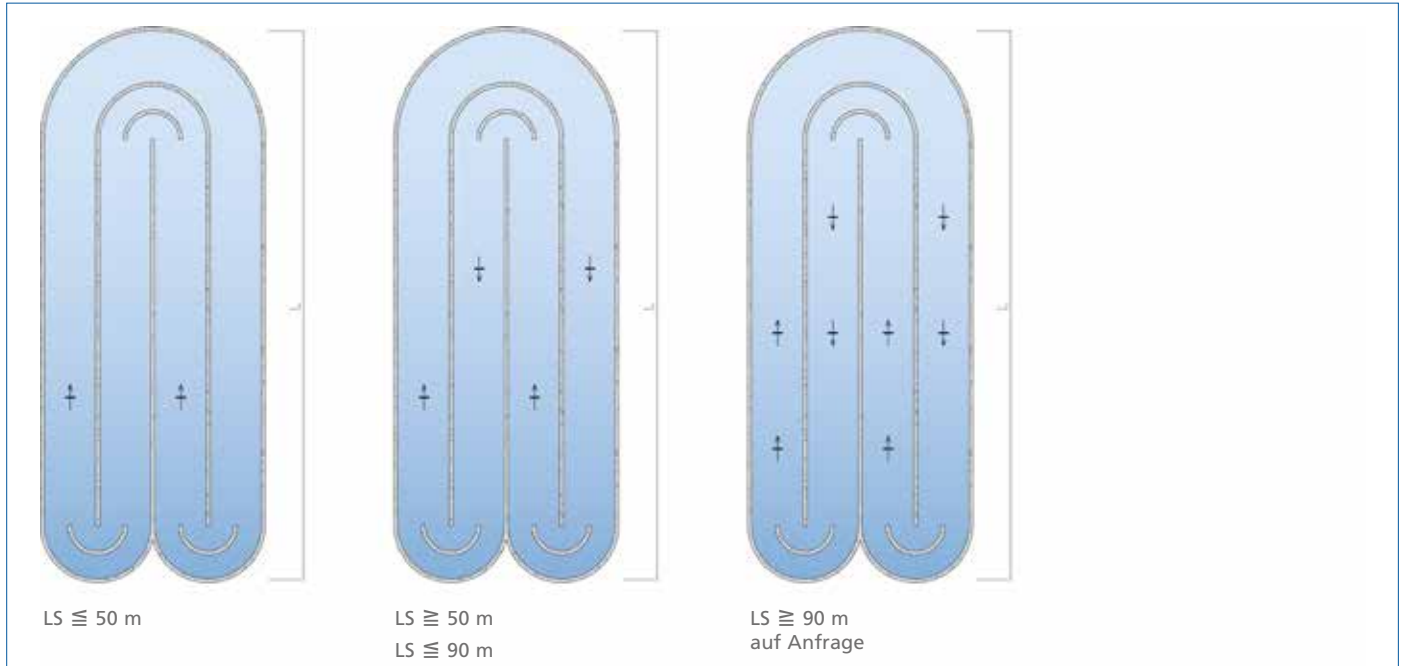


Abb. 76: Mäanderbecken | Anzahl Rührwerksinstallationspunkte

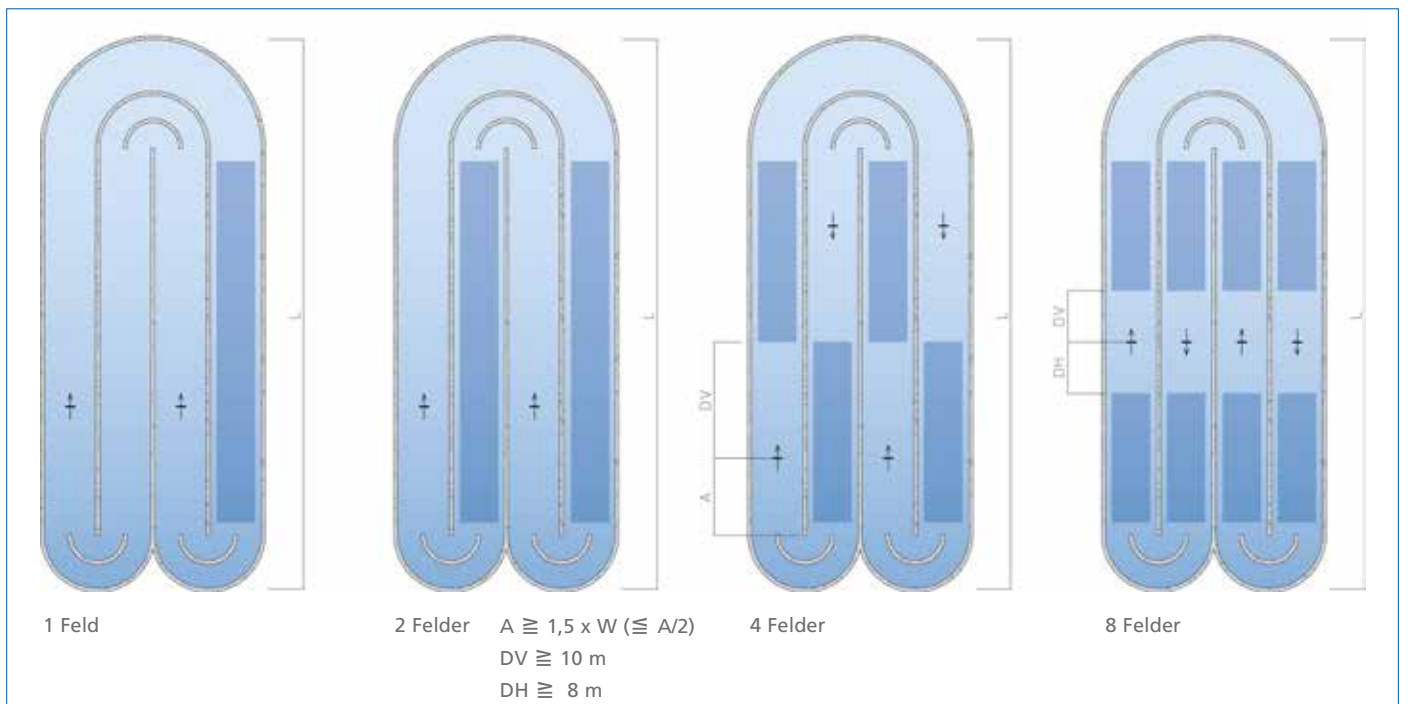


Abb. 77: Mäanderbecken | Positionierung Belüfterfelder bei Parallelbetrieb



## Wurfweite

Wie im vorherigen Abschnitt ausgeführt, werden Tauchmotorrührwerke in Abhängigkeit ihrer Funktion und der Beckenparameter ausgelegt.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, eine Aussage über die „Wurfweite“ der Rührwerke zu treffen. Dazu werden, z. B. mit Hilfe einer CFD-Simulation, Isotachen (Linien gleicher Geschwindigkeit) ermittelt und grafisch dargestellt (siehe Abbildung). Auf Anfrage kann für jedes Tauchmotorrührwerk ein spezifisches Wurfweitendiagramm erstellt werden.

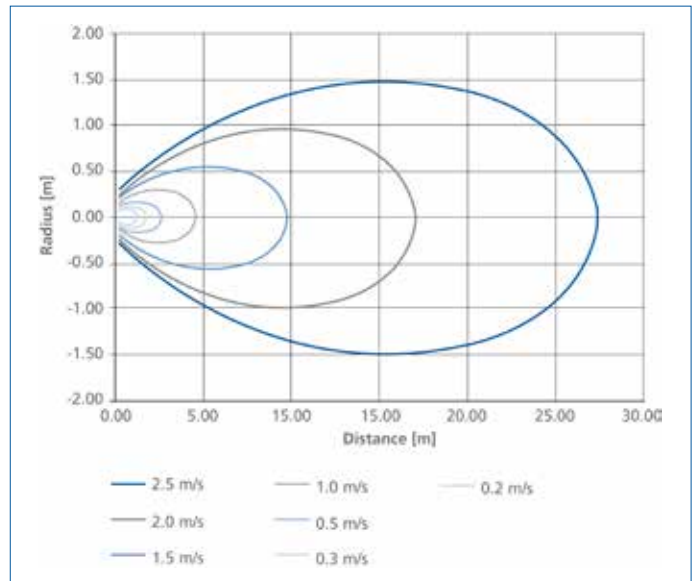


Abb. 78: Wurfweitendiagramm Amamix C 3231

## 5. CFD

Rührprozesse in der Klärtechnik werden mit freilaufenden Propellern realisiert. Die Propellergröße ist dabei gegenüber dem Beckenvolumen klein. Der eigentliche Rührprozess erfolgt über den Impuls des vom Propeller erzeugten Freistrahls. Dieser Impuls wird über die Schubkraft des Propellers gemessen, wobei der Schub  $F$  die wichtigste Größe für die Beschreibung eines Rührwerkes darstellt. Der Freistrahл lässt sich auf unterschiedliche Weise nutzen. Zum einen wird die kinetische Impulskraft des Strahles zur Aufrechterhaltung einer Umlaufströmung verwendet, zum anderen die durch den Propeller eingetragene Energie für die Homogenisierung und Dispergierung des Beckeninhaltes genutzt (Mischen). Bei KSB werden zwei Aggregattypen eingesetzt, welche folglich als Rührer und Mischer bezeichnet werden.

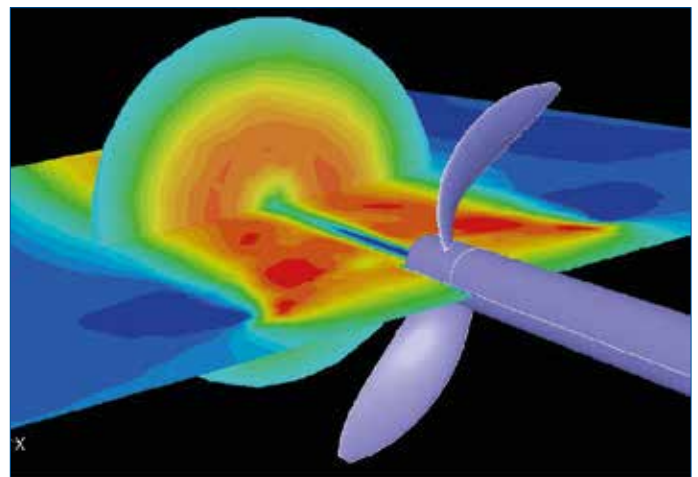


Abb. 79: Freilaufendes Rührwerk

Rührer dienen der Aufrechterhaltung einer Kanalströmung. Die Einhaltung einer Mindestkanalgeschwindigkeit gewährleistet das Suspendieren von Schlammflocken und verhindert Absatzvorgänge. Auftretende Strömungswiderstände im Kanal müssen durch die Impulskraft des Rührers kompensiert werden (Gefälleersatz).

Mischer haben das Ziel, ein vorgegebenes Beckenvolumen durch den vom Mischer geförderten Volumenstrom und durch das Entrainment des Freistrahles zu homogenisieren und körnige Feststoffe zu suspendieren.

Schub aus Impuls:

$$F = \rho \cdot A_s \cdot v_s \cdot (v_4 - v_1) \quad \text{Formel (5)}$$

Legende:

- F = Schub [N]
- $\rho$  = Dichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $A_s$  = Querschnitt Propellerebene [ $\text{m}^2$ ]
- $v_s$  = Strömungsgeschwindigkeit in der Propellerebene [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- $v_4$  = Strömungsgeschwindigkeit hinter dem Propeller [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- $v_1$  = Strömungsgeschwindigkeit vor dem Propeller [ $\text{m}/\text{s}$ ]

Schub aus Druck:

$$F = A_s \cdot \rho / 2 \cdot (v_{42} - v_{12}) \quad \text{Formel (6)}$$

$$v_s = (v_4 + v_1) / 2 \quad \text{Formel (7)}$$

Legende:

- F = Schub [N]
- $\rho$  = Dichte
- $A_s$  = Querschnitt Propellerebene [ $\text{m}^2$ ]
- $v_{42}$  = Geschwindigkeitsdifferenz [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- $v_{12}$  = Geschwindigkeitsdifferenz [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- $v_s$  = Strömungsgeschwindigkeit in der Propellerebene [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- $v_4$  = Strömungsgeschwindigkeit hinter dem Propeller [ $\text{m}/\text{s}$ ]
- $v_1$  = Strömungsgeschwindigkeit vor dem Propeller [ $\text{m}/\text{s}$ ]

Die Verringerung des Strahldurchmessers von  $A_s$  auf  $A_4$  wird als Strahlkontraktion bezeichnet.

Nutzleistung bei Rührwerken:

$$P_N = F \cdot v_1 \quad \text{Formel (8)}$$

Legende:

- $P_N$  = Nutzleistung [W]
- F = Schub [N]
- $v_1$  = Strömungsgeschwindigkeit vor dem Propeller [ $\text{m}/\text{s}$ ]

### Berechnung der Beckenströmung

Unter Verwendung von CFD-Software kann der qualitative Nachweis der hydraulischen Leistungsparameter von Rührwerken erfolgreich durchgeführt werden.

Der Druckverlust  $\Delta p = g \cdot \Delta h \cdot \rho$  wird durch Reibungs- und Formverluste verursacht.

Druckverlust:

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda \cdot L}{D_h} + \sum_i \zeta_i \right) \cdot \rho \cdot \frac{V_B^2}{2} \quad \text{Formel (9)}$$

Legende:

- $\Delta p$  = Druckverlust [Pa]
- $\lambda$  = Rohrreibungsbeiwert
- L = Länge
- $D_h$  = äquivalenter fluidmechanischer Durchmesser [m]
- $\rho$  = Dichte
- $\zeta$  = Verlustbeiwert
- $V_B$  = Strömungsgeschwindigkeit [ $\text{m}/\text{s}$ ]

Widerstandskraft:

$$F_W = \Delta p \cdot A_f = \left( \frac{\lambda \cdot L}{D_h} + \sum \zeta_i \right) \cdot \rho \cdot \frac{V_B^2}{2} \quad \text{Formel (10)}$$

$$F_W = \text{konst.} \cdot V_B^2 \rightarrow V_B \sim \sqrt{F_W} \quad \text{Formel (11)}$$

Legende:

$F_W$  = Widerstandskraft [N]

$\Delta p$  = Druckverlust [Pa]

$A_f$  = Querschnitt [m<sup>2</sup>]

$\lambda$  = Rohrreibungsbeiwert

$L$  = Länge

$D_h$  = äquivalenter fluidmechanischer Durchmesser [m]

$\rho$  = Dichte

$\zeta$  = Verlustbeiwert

$V_B$  = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Widerstandskraft:

$$F_{\text{Rührwerk}} = - F_W \quad \text{Formel (12)}$$

Das Rührwerk kompensiert die Strömungswiderstände durch den Schub! Nach unseren Erfahrungen ist man mit dem numerischen Ansatz erfolgreich, wenn folgende Randbedingungen gegeben sind:

- durch Erfahrung begründete Formulierung des physikalischen Berechnungsziels
- Aufbau des Rechenmodells entsprechend den Anforderungen
- Kontrolle der qualitativen Aussagen der Rechnung anhand von einfachen Ansätzen
- Berechnung einer größeren Anzahl unterschiedlicher Varianten zum Aufbau einer Matrix innerhalb der Produktentwicklung
- Ergebnisanalyse zur Entwicklung einer Optimierungsstrategie
- Nachweis dieser Strategie durch Modellversuch und Produktumsetzung (Messung)

## Belüftung

Belüftungseinrichtungen sind Teil der Beckengeometrie.

Der Widerstand der Einrichtungen und des Lufteintrages muss berücksichtigt werden.

Dies ist ein UDF-Modul, welches die Auswirkungen von Auftriebskräften von Belüftungsfeldern innerhalb einer einphasigen Rechnung berücksichtigt. Die Einbringung von Luft und die daraus entstehenden Sekundärströmungen werden durch die Lösung einer zusätzlichen Transportgleichung modelliert. In Abhängigkeit vom Luftgehalt werden Quell- und Senkenterme erzeugt, die den Strömungswiderstand der Luftblasen und die Auftriebskräfte darstellen.

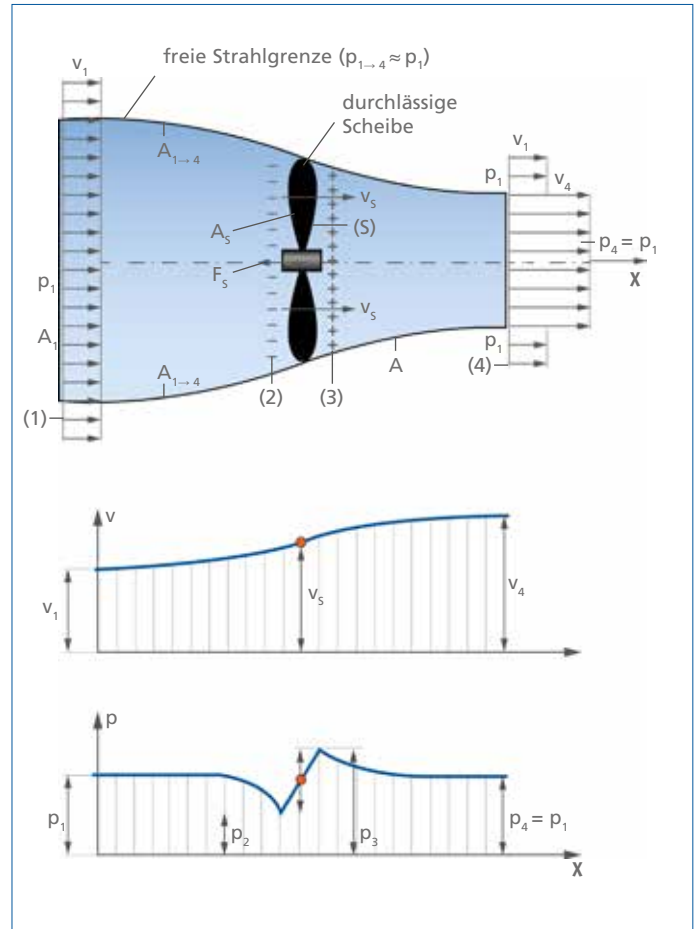


Abb. 80: Strahlkontraktion



Abb. 81: Stromlinien entlang mehrerer Belüfterfelder

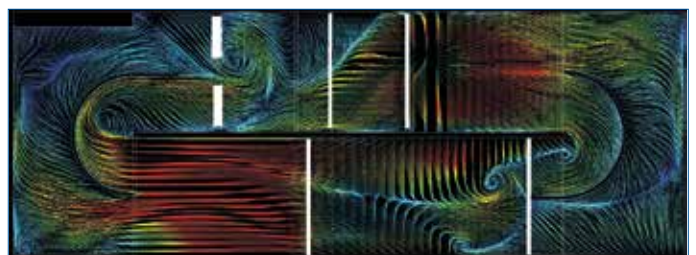


Abb. 82: Stromlinien an der Oberfläche

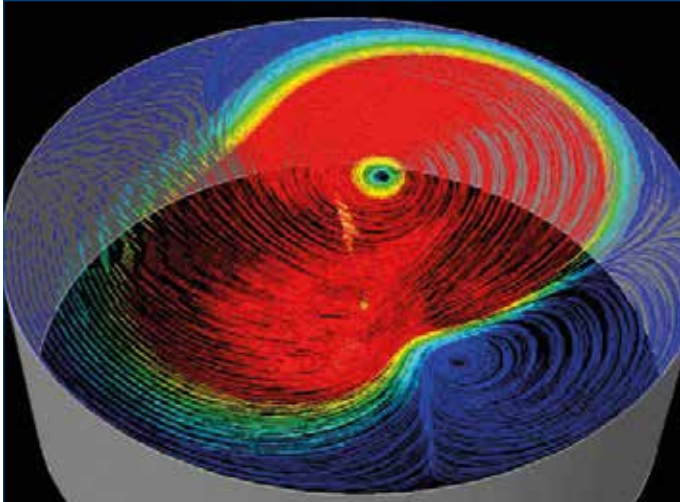


Abb. 83: Stromlinien an der Oberfläche

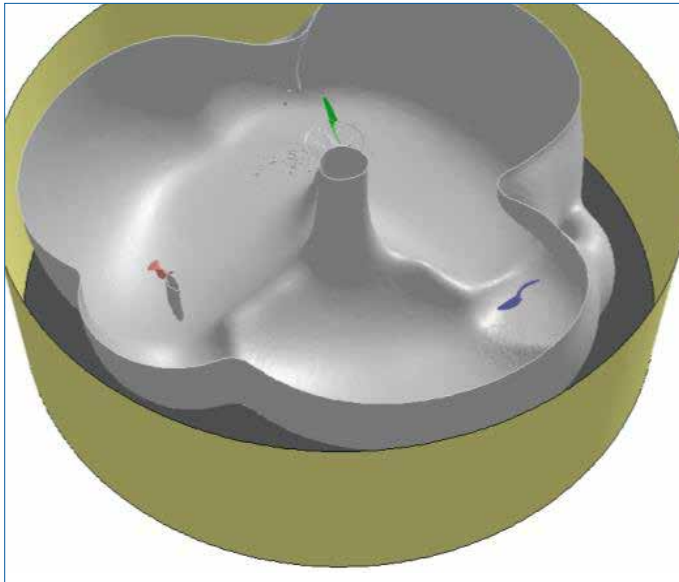


Abb. 84: Mischvolumen

Auf Basis umfangreicher Beckenrechnungen wurde durch Verbindung mit den vorhandenen Erfahrungen ein zuverlässiges Auslegungstool erarbeitet. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wurde durch Geschwindigkeitsmessungen und Oberflächenbeobachtungen nachgewiesen.

### Höherviskose Medien – Biogas

Bei nichtnewtonischen Medien (z. B. bei Biogasanwendungen) muss die Abhängigkeit der Viskosität von der Scherrate näherungsweise berücksichtigt werden.

Mittels CFD wird die Qualität der Rührwerke, der Reaktor- und der Oberflächenströmung sowie des Substrattransportes untersucht. Bei strukturviskosen Medien gibt es ein von dem Rührwerkstyp, der Position, der Rührwerksanzahl und Rührwerksdrehzahl abhängiges, optimales Mischvolumen.

Die Aufgabe ist es, ein Mischvolumen  $v > v_{\text{Grenz}}$  bei minimalem Energieeintrag bereitzustellen.

Rechenmodelle strukturviskoser Medien:

- Die Viskosität  $\eta$  ist abhängig von der Scherrate
- $\eta = f(\dot{\gamma})$  wird im Rotationsviskosimeter ermittelt
- Näherung für  $\eta = f(\dot{\gamma})$  als UDF-programmierbar

Auswertung einer großen Anzahl von Rechnungen mit variabler Geometrie (Kreis-, Ring-, Kanalbecken) verschiedener Abmessungen, unterschiedlicher Rheologie ( $K$ ,  $m$ ), unterschiedlicher Rührwerke und übereinstimmende Vergleiche von CFD-Rechnungen mit Messungen bestätigen den Modellansatz. Auf Basis der Modellbetrachtungen konnten einfache Verfahren für eine Abschätzung des Mischvolumens abgeleitet werden.

### Ziele der CFD-Rechnungen

- Bestimmung der charakteristischen Strömungsformen
- qualitative und quantitative Wiedergabe der Geschwindigkeiten
- Abschätzung von Größe und Energieinhalt einer Mischzone (Kaverne) bei Biogasreaktoren
- Analyse der Rührwerke hinsichtlich ihres Einsatzes und ihrer Anordnung
- Nachweis von Totwassergebieten
- Mögliche Abschätzung der Rührwerksbelastung
- Nachweis von potentiellen Oberflächenwirbeln

## Bildnachweise

Abb. 13 – 16    öko-control GmbH  
Abb. 37        PTM GmbH Halle (Saale)

## Autoren

Kapitel 1        Hr. Dipl.-Ing. Becker, Michael  
                      Hr. Dipl.-Ing. (FH) Domagala, Markus  
                      Hr. Forner, Matthias

Kapitel 2        Hr. Dipl.-Ing. Becker, Michael  
                      Hr. Dipl.-Ing. (FH) Domagala, Markus  
                      Hr. Forner, Matthias

Kapitel 3        Hr. Kutzko, Rainer  
                      Hr. Dipl.-Ing. (FH) Domagala, Markus  
                      Hr. Forner, Matthias  
                      Hr. Dipl.-Ing. Deutsch, Karl-Heinz  
                      Hr. Dipl.-Ing. Linsel, Uwe  
                      Hr. Dipl.-Ing. (FH) Kronberg, Andreas

Kapitel 4        Hr. Dipl.-Ing. Springer, Peer  
                      Hr. Dipl.-Ing. Müller, Matthias



## Technik, die Zeichen setzt

### Hotline

Deutschlandweit zu Ihrem Vertriebshaus aus dem Festnetz 0,14€/Minute (Mobilfunktarif kann höher ausfallen)

Tel. +49 1805 5724-80  
Fax +49 1805 5724-89

KSB-24-h-Service-Hotline

Tel. +49 6233 86-0  
Fax +49 6233 86-3401

### Vertriebshaus Berlin

vertrieb-berlin@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 30 43578-5010  
Fax +49 30 43578-5055

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 30 43578-5014  
Tel. +49 30 43578-5022  
Fax +49 30 43578-5058

### Vertriebshaus Hannover

vertrieb-hannover@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 511 33805-0  
Fax +49 511 33805-55

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 40 69447-0  
Fax +49 40 69447-256

### Vertriebshaus Nürnberg

vertrieb-nuernberg@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 911 58608-70  
Fax +49 911 58608-57

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 911 58608-80  
Fax +49 911 58608-56

### Österreich

**KSB Österreich GmbH**

info@ksb.at

### Ersatzteile

Tel. +43 5 91030-263  
Fax +43 5 91030-200

### Service-Center Ost, Wien

Tel. +43 5 91030-255  
Fax +43 5 91030-200

### Service-Center West, Salzburg

Tel. +43 5 91030-822  
Fax +43 5 91030-200

### Vertriebshaus Halle

vertrieb-halle@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 345 4826-5310  
Fax +49 345 4826-5355

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 345 4826-5340  
+49 345 4826-5356  
Fax +49 345 4826-5358

### Vertriebshaus Mainz

vertrieb-mainz@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 6131 25051-0  
Fax +49 6131 25051-55

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 6131 25051-41  
Fax +49 6131 25051-58

### Vertriebshaus Region West

vertrieb-west@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 214 20694-10  
Fax +49 214 20694-55

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 214 20694-10  
Fax +49 214 20694-57

### Schweiz

**KSB (Schweiz) AG**

sales-ch@ksb.com

Tel. +41 43 2109-933  
Fax +41 43 2109-966

**KSB (Suisse) SA**

romandie-ch@ksb.com

Tel. +41 21 9235-142  
Fax +41 21 9235-120

Der KSB-Newsletter –  
melden Sie sich an:  
[www.ksb.de/newsletter](http://www.ksb.de/newsletter)



### Vertriebshaus Hamburg

vertrieb-hamburg@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 40 69447-0  
Fax +49 40 69447-255

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 40 69447-0  
Fax +49 40 69447-256

### Vertriebshaus München

vertrieb-muenchen@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 89 72010-200  
Fax +49 89 72010-275

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 911 58608-80  
Fax +49 911 58608-56

### Vertriebshaus Stuttgart

vertrieb-stuttgart@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

Tel. +49 711 78902-7970  
Fax +49 711 78902-7955

Technische  
Gebäudeausrüstung

Tel. +49 711 78902-7910  
Fax +49 711 78902-7956



**KSB SE & Co. KGaA**  
Johann-Klein-Straße 9  
67227 Frankenthal (Deutschland)  
[www.ksb.com](http://www.ksb.com)

Besuchen Sie uns auch unter  
[www.ksb.com/sozialemedien](http://www.ksb.com/sozialemedien)