



# AQUA AERO 3.x

## Handbuch

Software zur wirtschaftlichen Auslegung  
von Belüftungssystemen

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 2 von 107
	1 Einführung	Version: 3.0-02

### **Haftungsbeschränkung**

AQUA AERO wird stetig weiter entwickelt und an die technischen Rahmenbedingungen angepasst werden.

AQUA AERO wird sorgfältig erstellt und geprüft. Dennoch kann – wie bei allen Softwareprodukten - keine Garantie für vollständige Fehlerfreiheit übernommen werden.

AQUA AERO ist eine technische Software, die das Planungsbüro unterstützt. Die Verantwortung für das Planungsergebnis verbleibt jedoch beim zuständigen Planer.

Dieses Handbuch ist auch ein Fachbuch der Abwassertechnik, angefüllt mit hilfreichen technischen Informationen. Ohne ausdrückliche Erlaubnis von BITControl darf kein Teil dieser Unterlagen für irgendwelche Zwecke vervielfältigt oder übertragen werden, unabhängig davon, auf welche Art und Weise oder mit welchen Mitteln, elektronisch oder mechanisch, dies geschieht.

© **BITControl GmbH**

Alle Rechte vorbehalten.

### **Erstellung:**

Dokument: Handbuch  
Software: AQUA AERO 3.x  
Ersteller: Norbert Meyer  
Brigitte Jegen  
Erstelldatum: 02.08.2016  
Version: 3.0-02 vom 30.10.2018  
BITControl GmbH  
Auf dem Sauerfeld 20  
54636 Nattenheim

---

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>BENUTZERHINWEISE</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>INSTALLATION</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>BEDIENUNG</b> .....	<b>8</b>
4.1	<b>AQUA AERO starten und beenden</b> .....	<b>8</b>
4.2	<b>Bedienelemente</b> .....	<b>8</b>
4.2.1	Menüleiste.....	8
4.2.2	Symbolleiste.....	9
4.2.3	Blockschema.....	9
4.2.4	Berechnungsformular .....	11
4.3	<b>Hilfe</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>PROJEKT ANLEGEN</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>GRUNDDATEN</b> .....	<b>16</b>
6.1	<b>Beckengeometrie</b> .....	<b>16</b>
6.2	<b>Reinigungsverfahren</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>SAUERSTOFFBEDARF</b> .....	<b>20</b>
7.1	<b>Zulauf, Biologie, Ablauf</b> .....	<b>20</b>
7.2	<b>Lastfälle</b> .....	<b>22</b>
7.3	<b>Spitzen-Sauerstoffverbrauch</b> .....	<b>24</b>
7.4	<b>Erforderliche Sauerstoffzufuhr</b> .....	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>BEMESSUNG DRUCKBELÜFTUNG</b> .....	<b>26</b>
8.1	<b>Druckbelüftung</b> .....	<b>26</b>
8.1.1	Auswahl Belüfter .....	26
8.1.2	Auslegung Gebläse.....	27
8.1.3	Auswahl Gebläse .....	27
8.1.4	Gebläsestufungen.....	30
8.1.5	Ersatz-Gebläse .....	31
8.1.6	Gebläse entfernen.....	32
8.2	<b>Rührwerk</b> .....	<b>32</b>
8.3	<b>Belüfter</b> .....	<b>34</b>
8.3.1	Belüfterart .....	34
8.3.2	Konstruktion .....	34
8.4	<b>Rohrleitungen</b> .....	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>SAUERSTOFFERTRAGSWERT</b> .....	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>INVESTITIONSKOSTEN</b> .....	<b>43</b>
10.1	<b>Planungs- und Baukosten</b> .....	<b>43</b>
10.2	<b>Maschinentechnik</b> .....	<b>44</b>
10.3	<b>Elektro- und Messtechnik</b> .....	<b>45</b>
10.4	<b>Ergebnis</b> .....	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>BETRIEBSKOSTEN</b> .....	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>PROJEKTKOSTENBARWERT</b> .....	<b>49</b>

---

<b>13</b>	<b>BERICHTE .....</b>	<b>53</b>
<b>14</b>	<b>ZEICHNUNGEN .....</b>	<b>55</b>
<b>15</b>	<b>ALLGEMEINE KONSTANTEN.....</b>	<b>56</b>
<b>16</b>	<b>DATENBANK.....</b>	<b>58</b>
<b>17</b>	<b>THEORIE.....</b>	<b>60</b>
<b>17.1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>60</b>
<b>17.2</b>	<b>Grunddaten.....</b>	<b>60</b>
17.2.1	Geometrie.....	60
17.2.2	Reinigungsverfahren.....	61
<b>17.3</b>	<b>Ermittlung Sauerstoffverbrauch.....</b>	<b>65</b>
17.3.1	Allgemein.....	65
17.3.2	Schlammalter.....	65
17.3.3	Sauerstoffverbrauch.....	75
17.3.4	Sauerstoffbedarf .....	77
17.3.5	Lastfälle .....	78
<b>17.4</b>	<b>Druckbelüftung.....</b>	<b>80</b>
17.4.1	Erforderliche Sauerstoffzufuhr.....	80
17.4.2	Gebälse .....	84
17.4.3	Belüftungselemente .....	85
<b>17.5</b>	<b>Rohrleitungen.....</b>	<b>86</b>
17.5.1	Rohrquerschnitt .....	86
17.5.2	Druckverlust.....	87
<b>17.6</b>	<b>Oberflächenbelüftung .....</b>	<b>88</b>
17.6.1	Belüfterleistung .....	89
<b>17.7</b>	<b>Sauerstoffertragswert .....</b>	<b>90</b>
<b>17.8</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsberechnung .....</b>	<b>92</b>
17.8.1	Grundlagen.....	92
17.8.2	Investitionskosten .....	93
17.8.3	Reinvestitionskosten .....	93
17.8.4	Betriebskosten .....	94
17.8.5	Projektkostenbarwert .....	96
<b>18</b>	<b>SYMBOLVERZEICHNIS .....</b>	<b>98</b>
<b>19</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>102</b>
<b>20</b>	<b>INDEX .....</b>	<b>104</b>
<b>21</b>	<b>KURZPORTRÄT BITCONTROL .....</b>	<b>107</b>

---

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 5 von 107
	1 Einführung	Version: 3.0-02

# 1 Einführung

Die Belüftungstechnik ist die wichtigste Ausrüstungskomponente einer Kläranlage. Der Lufteintrag verursacht etwa 75 % der gesamten Energiekosten einer kommunalen Kläranlage. Die korrekte Auslegung der Belüftungstechnik und die Investitionskosten entscheiden meist über den Einsatz der Belüftungstechnik. Ein echter Vergleich zweier Systeme muss aber auch die Kosten während der Betriebszeit abdecken.

Mit AQUA AERO bemessen Sie für verschiedene Beckengeometrien die Belüftungseinrichtung inklusive der Rührwerke und der Rohrleitungen. Sie haben die Wahl zwischen Druckbelüftern (als Schlauch-, Teller- oder Plattenbelüfter) und Oberflächenbelüftung. In den einzelnen Bemessungsstufen bekommen Sie aus einer Datenbank passende Aggregate vorgeschlagen.

Als wichtige energetische Kenngröße wird der Sauerstoffertragswert ausgegeben. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung von AQUA AERO umfasst mit der Berechnung der Investitions- und Betriebskosten und des Projektkostenbarwertes den kompletten Lebenszyklus der Belüftung.

Wir haben eine wichtige Funktion für alle die die Auslegung optimieren wollen integriert: Es können mehrere Projekte gleichzeitig berechnet und so direkt gegenübergestellt werden. So erhalten Sie z.B. einen schnellen Vergleich der Investitions- und Betriebskosten verschiedener Belüftersysteme.

Und natürlich erhalten Sie als Ausdruck eine ausführliche Dokumentation der Bemessung und der maßstäblichen Zeichnungen.

## **Kurz zusammenfasst:**

**AQUA AERO ist ein effektives Werkzeug zur wirtschaftlichen und verfahrenstechnischen Planung der Belüftereinrichtung einer Kläranlage.**

---

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 6 von 107
	2 Benutzerhinweise	Version: 3.0-02

## 2 Benutzerhinweise

Im Folgenden haben wir einige Hinweise für die Benutzung des Handbuches zusammengestellt.

### Wichtige Textstellen

Wichtige Textstellen haben wir hervorgehoben und mit einem Symbol versehen.

Es bedeuten:

#### **info**

Hier finden Sie fachliche Informationen zum Berechnungsgang, zur Belüftungstechnik oder zu den Wirtschaftlichkeitsberechnungen.



Wichtiger Hinweis zur Bedienung von AQUA AERO oder zur technischen bzw. wirtschaftlichen Auslegung

#### **Beispiel**

Berechnungsbeispiel zur Verdeutlichung eines mathematischen oder verfahrenstechnischen Zusammenhangs

### Schreib- und Sprachkonventionen

Wir verwenden in dieser Dokumentation folgende Schreib- und Sprachkonventionen:

- Bedienelemente wie Schaltflächen, Menütitel, Eingaben usw. sind **fett** gedruckt.
- Menütitel und zugehörige Menüpunkte werden **fett** gedruckt und mit > verbunden  
Beispiel: **Datei > Beenden**
- Um die Lesbarkeit der Dokumentation zu verbessern, haben wir bewusst auf die weibliche Form und neutrale Wortschöpfungen verzichtet.
- Zahlen- und Währungsformatierungen werden aus der Voreinstellung von Windows übernommen

### Copyright

Diese Dokumentation unterliegt ebenso wie die Software einem umfassenden, durch nationale und internationale Gesetze geschützten Urheberrecht.

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 7 von 107
	3 Installation	Version: 3.0-02

## 3 Installation

### Voraussetzung

AQUA AERO benötigt einen PC, der die Systemanforderungen von Windows 7, 8 oder Windows 10 erfüllt.

AQUA DESIGNER ist eine Software, die mit einer grafischen Anwenderoberfläche arbeitet und die Merkmale von Windows nutzt. Deshalb muss Windows auf Ihrem Rechner installiert sein, um AQUA DESIGNER einsetzen zu können.

### Installation

AQUA AERO kann von unserer Internetseite [bitcontrol.info](http://bitcontrol.info) heruntergeladen werden. Die Installationsdatei ist gepackt und muss daher erst entpackt werden. Nach dem Entpacken starten Sie die Datei **setup.exe**.

AQUA AERO wird nun auf Ihrem Rechner installiert und liegt zunächst als Demo vor.

---

## 4 Bedienung

Im Folgenden wird die Bedienung von AQUA AERO beschrieben, angefangen beim Start der Software, über die Bedienelemente Menü- und Symbolleiste bis zum Blockschema und den Berechnungsformularen.

### 4.1 AQUA AERO starten und beenden

#### AQUA AERO starten

Nach erfolgreicher Installation starten Sie AQUA AERO über das Symbol auf Ihrem Rechner. AQUA AERO wird geöffnet.

#### AQUA AERO beenden

Wählen Sie **Datei > Beenden** und die Anwendung wird geschlossen.

### 4.2 Bedienelemente

#### 4.2.1 Menüleiste

Über die Menüleiste erreichen Sie die Funktionen **Datei**, **Ansicht**, **Berichte**, **Optionen**, **Fenster** und über „?“ die Hilfe.

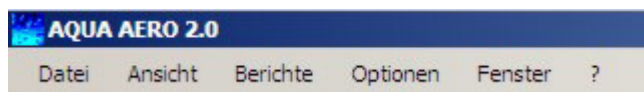


Abb. 1: Menüleiste von AQUA AERO

Die Menübefehle sind in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt.

---



Menü	Befehl / Beschreibung
<b>Datei</b>	<b>Neu:</b> Öffnet ein neues Projekt
	<b>Öffnen:</b> Öffnet ein vorhandenes Projekt (*.aero)
	<b>Schließen:</b> Schließt das aktuell geöffnete Projekt
	<b>Speichern unter...:</b> Projekt unter einem benutzerdefinierten Namen abspeichern (*.aero)
	<b>Zuletzt geöffnete Projekte:</b> Liste der 4 zuletzt bearbeiteten Projekte
	<b>Beenden:</b> AQUA AERO beenden
<b>Ansicht</b>	<b>Symbolleiste</b> ein-/ausblenden
	<b>Statusleiste</b> am unteren Bildschirmrand ein-/ausblenden
<b>Berichte</b>	<b>Detailberichte:</b> Erstellen von Einzelberichten von der Bemessung bis zum Sauerstoffertragswert in MS Word
	<b>Gesamtbericht:</b> Erstellen eines Gesamtberichtes
	<b>Zeichnung:</b> Anzeige CAD-Zeichnung der Belüftungseinrichtung
<b>Optionen</b>	<b>Sprache:</b> Auswahl der Bediensprache
	<b>Allgemeine Konstanten:</b> Festlegung verschiedener Parameter, wie z.B. Wassertemperatur oder Druckverluste
	<b>Datenbank:</b> Ändern, Hinzufügen und Löschen von Aggregaten
<b>Fenster</b>	Fensteransicht bei mehreren Projekten: <b>Überlappend</b> <b>Nebeneinander</b> <b>Untereinander</b>
	<b>Alle schließen:</b> Schließen aller Projekte
<b>Hilfe ?</b>	<b>Hilfe:</b> Öffnet die Hilfe von AQUA AERO
	<b>Info:</b> Infodialog über AQUA AERO

#### 4.2.2 Symbolleiste

Folgende Funktionen stehen Ihnen in der Symbolleiste zur Verfügung.



Öffnet ein neues AQUA AERO Projekt.



Laden und öffnen eines gespeicherten AQUA AERO Projekts.



Speichern eines AQUA AERO Projekts.



Öffnen der Online-Hilfe

#### 4.2.3 Blockschema

Nach Öffnen eines Projektes wird Ihnen am linken Rand ein **Blockschema** angezeigt. Das **Blockschema** zeigt den aktuellen Stand Ihrer Berechnung und den / die nächsten möglichen Berechnungsschritte an. Das **Blockschema** visualisiert die Berechnungsschritte und ist während der Bemessung immer sichtbar.

Dabei bedeuten:

Farbe	Bedeutung
grün	Berechnungsschritt wurde komplett durchgeführt
gelb	Nächster möglicher Berechnungsschritt
grau	Berechnungsschritt ist aktuell nicht möglich
<b>fett</b>	Aktives Berechnungsformular

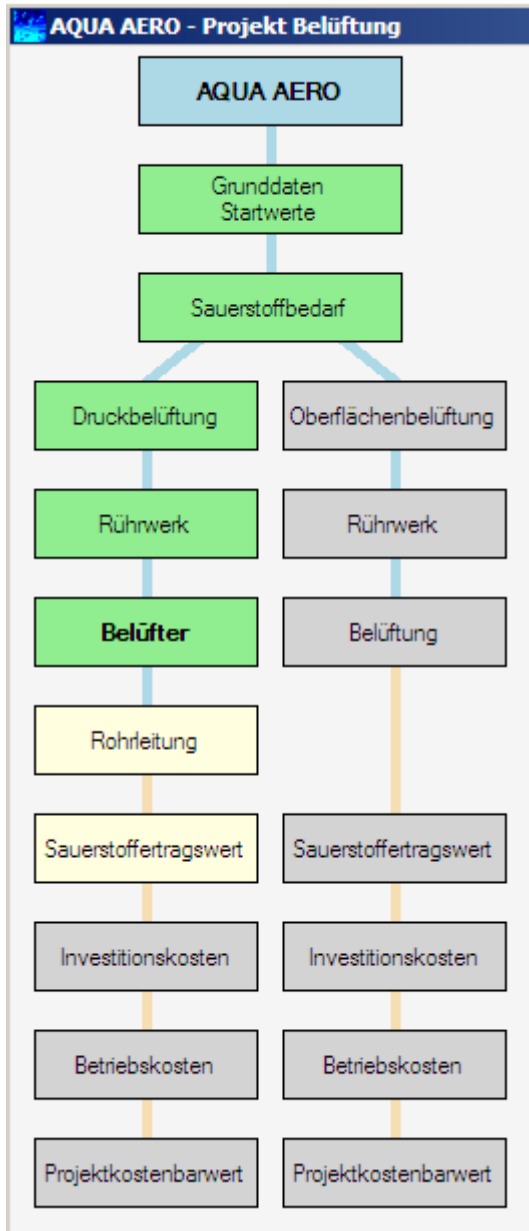


Abb. 2: Blockschema: Visualisierung der Berechnungsschritte

Durch Anklicken eines grünen oder gelben Blocks wird das zugehörige Berechnungsformular geöffnet.

## 4.2.4 Berechnungsformular

Zur Bemessung der Druckluft- bzw. Oberflächenbelüftung und zur Wirtschaftlichkeitsberechnung sind Berechnungsformulare hinterlegt, die Sie Formular für Formular abarbeiten.

Ein Berechnungsformular öffnen Sie durch Anklicken der entsprechenden Funktion im Blockschema.

Geben Sie anschließend Ihre Eingabewerte ein, speichern Sie diese mit der Schaltfläche **Übernehmen** und gehen Sie über das Blockschema (**gelb**) zum nächsten Berechnungsformular.

Zurück kommen Sie ebenfalls über das Blockschema. Wählen Sie dazu die gewünschte (**grüne**) Funktion.

Farbe	Bedeutung
weiß	Eingabefeld
grau	Ergebnisfeld bzw. nicht editierbares Feld

Das aktive Berechnungsformular ist im Blockschema mit **fetter** Schrift gekennzeichnet.

Abb. 3: Berechnungsformular Grunddaten / Startwerte

### 4.3 Hilfe

Eine Online-Hilfe unterstützt Sie bei der Bedienung von AQUA AEROI.

Sie können die Hilfe über das **Menü ?** aufrufen. Es erscheint dann der **Inhalt** der Hilfe mit einer Baumstruktur, mit der Sie das gesuchte Thema schnell finden.

**info** Zur einfachen Bedienung haben wir eine kontextsensitive Hilfe eingebaut. Mit **F1** öffnet die Online-Hilfe automatisch die Seite, auf der der Focus steht.

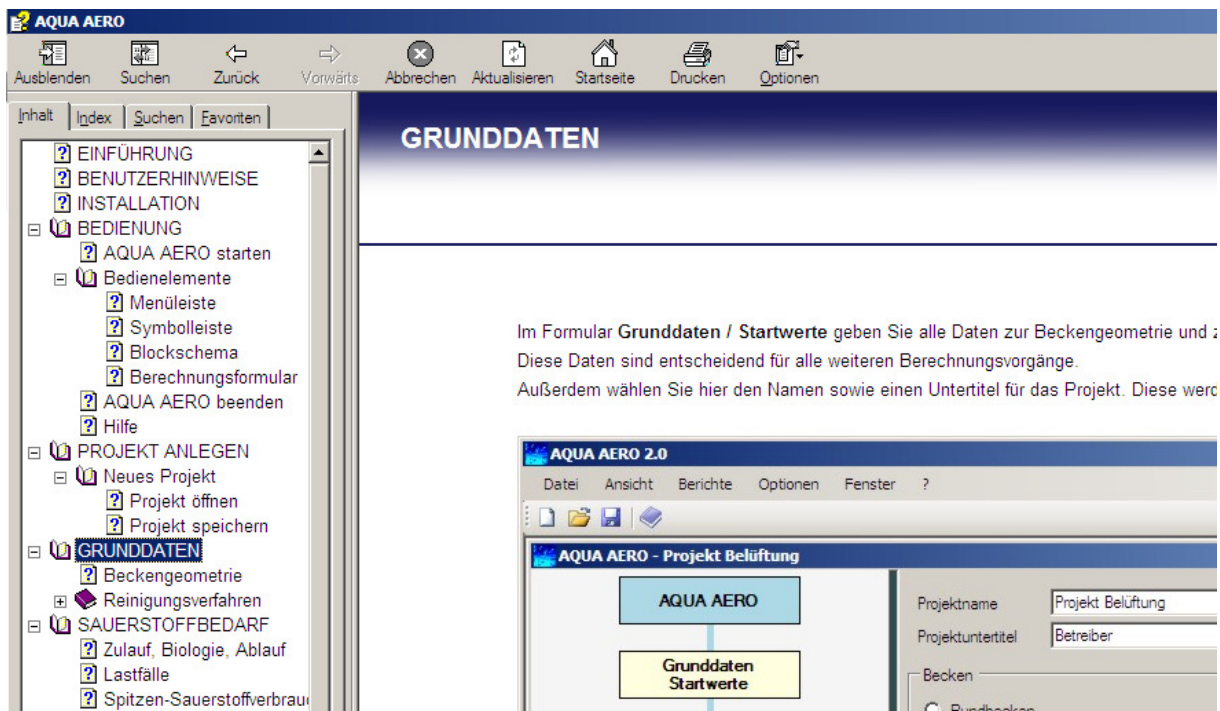


Abb. 4: Hilfe-Funktion

Über das Register **Index** sind eine Reihe wichtiger Stichwörter in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

Über **Suchen** haben Sie die Möglichkeit, nach Begriffen im ganzen Text zu suchen. Sie erhalten eine Liste mit den Textstellen, auf denen der Begriff gefunden wurde.

In der **Icon-Leiste** der Hilfefunktion gibt es standardmäßig einige Funktionen, die nachfolgend beschrieben werden.

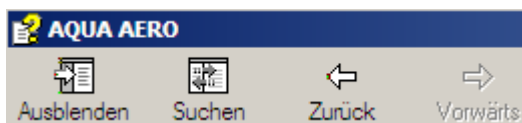


Abb. 5: Icon-Leiste der Hilfe

Mit **Ausblenden** blenden Sie den Strukturbaum aus.

Über **Suchen** bekommen Sie – nachdem Sie über das Suchen-Register einen Begriff ge-


BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 13 von 107
	4 Bedienung	Version: 3.0-02

sucht haben - die Stelle im Strukturbaum angezeigt, an der Sie sich gerade befinden. Den gleichen Effekt haben Sie, wenn Sie vom Suchen-Register zum Inhalt-Register wechseln. Mit **Zurück** und **Vorwärts** blättern Sie die Seiten der Hilfe, die Sie bereits genutzt haben (Historie). Hier wurden die Funktionen übernommen, die Sie aus dem Internet kennen.

---

## 5 Projekt anlegen

### Neues Projekt

Klicken Sie in der Symbolleiste auf das Icon  oder Sie gehen über das Menü **Datei > Neu**. Das Blockschema und das Berechnungsformular zur Eingabe der **Grunddaten / Startwerte** werden geöffnet.

### Projekt öffnen

Zum Öffnen eines Projektes wählen Sie **Datei > Öffnen** und folgen dem Standard-Dialog von Windows.

Unter **Datei > Zuletzt geöffnete Projekte** wird eine Liste der letzten vier Dateien angezeigt.

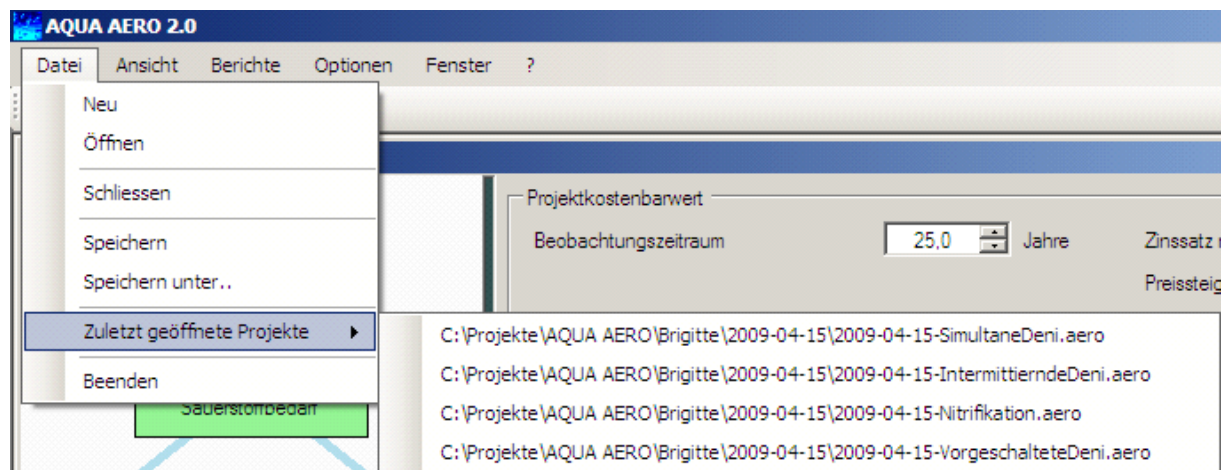


Abb. 6: Liste der zuletzt geöffneten Projekte

### Projekt speichern

Zum Speichern eines Projektes wählen Sie **Datei > Speichern** und folgen dem Standard-Dialog.

Mit **Datei > Speichern unter..** können Sie ein bereits gespeichertes Projekt zusätzlich an einer anderen Stelle ablegen.

Wollen Sie ein Projekt beenden, wählen Sie **Datei > Schließen**. Nach einer Sicherheitsabfrage wird das aktuelle Projekt beendet.

## Projekt ändern

Wenn Sie innerhalb eines Projektes Änderungen vornehmen, müssen alle in AQUA AERO nachfolgenden Berechnungsschritte neu ausgeführt und die Aggregate neu ausgewählt werden.

Es gibt zwei Ausnahmen für die Aggregate:

- Wenn Sie einen anderen Belüfter mit derselben Beaufschlagung wählen, bleibt die Gebläusauswahl bestehen.
- Die einmal ausgewählten Belüfter bleiben auch bei Änderungen innerhalb des Projektes bestehen.

Alle Eingaben in den weißen Eingabefeldern und teilweise der Zustand der Checkboxen (aktiv / nicht aktiv) bleiben erhalten. Das hat den Vorteil, dass Sie die gleichen Eingaben nicht noch mal tätigen müssen. Sie sollten aber prüfen, ob die alten Eingaben noch zu dem geänderten Projekt passen.



Bei Änderungen innerhalb eines Projektes, werden die Eingaben beibehalten. Prüfen Sie unbedingt, ob diese und die von Ihnen aktivierten Checkboxen noch zu den geänderten Bedingungen passen.

## 6 Grunddaten

Im Formular **Grunddaten / Startwerte** geben Sie alle Daten zur Beckengeometrie und zum Reinigungsverfahren ein.

Diese Daten sind entscheidend für alle weiteren Berechnungsvorgänge.

Außerdem wählen Sie hier den Namen sowie einen Untertitel für das Projekt. Diese werden in das Deckblatt der einzelnen Berichte übernommen.

Abb. 7: Berechnungsformular Grunddaten / Startwerte (rechts)

### 6.1 Beckengeometrie

Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Theorie-Kapitel unter Geometrie.

Wählen Sie die Beckenform über die Optionsbutton aus.

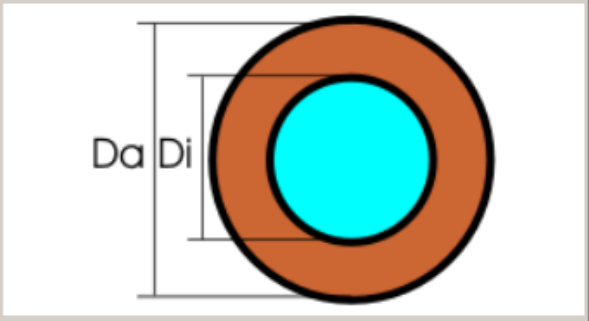
Es stehen **Rundbecken**, **Ringbecken**, **Rechteckbecken**, **Umlaufbecken** und **Sonstige Beckenform** zur Verfügung.

Die Eingabefelder für die **Beckengeometrie** passen sich automatisch an die gewählte Beckenform an.



Becken

- Rundbecken
- Ringbecken
- Rechteckbecken
- Umlaufbecken
- Sonstige Beckenfom



Beckengeometrie - Ringbecken

Wassertiefe:  m

Durchmesser, innen (Di):  m

Durchmesser, aussen (Da):  m

Anzahl Becken:

Beckenvolumen

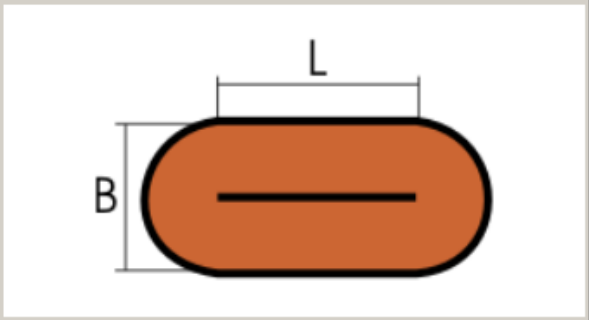
Gesamtvolumen:  m<sup>3</sup>

Abb. 8: Beckengeometrie für ein Ringbecken

Sie können die Berechnung auch für mehrere gleiche Becken durchführen. Alle Auslegungsschritte – mit Ausnahme von Rührwerk und Belüfter – beziehen sich dann auf das Gesamtvolumen. In den Berichten finden Sie jeweils die Aufstellung für ein Becken und für alle Becken.

Becken

- Rundbecken
- Ringbecken
- Rechteckbecken
- Umlaufbecken
- Sonstige Beckenfom



Beckengeometrie - Umlaufbecken

Wassertiefe:  m

Länge (L):  m

Breite (B):  m

Anzahl Becken:

Beckenvolumen

Volumen pro Becken:  m<sup>3</sup>

Gesamtvolumen:  m<sup>3</sup>

Gesamtlänge:  m

Abb. 9: Volumen für zwei Umlaufbecken

## 6.2 Reinigungsverfahren

### Stickstoff-Elimination

Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Kapitel Theorie unter Stickstoff-Elimination.

Die Wahl der Art und Weise der Stickstoff-Elimination bestimmt die Belüftungszeit ( $t_L$ ) im Belebungsbecken.

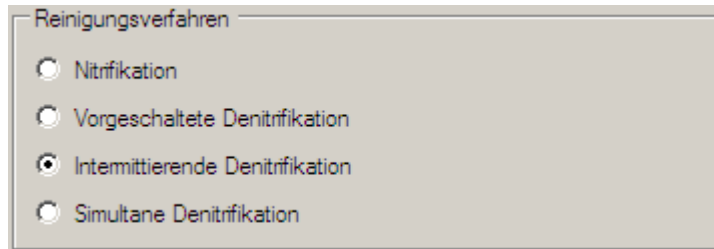


Abb. 10: Verfahren zur Stickstoff-Elimination

Es stehen folgende Optionen zur Verfügung:

- Nitrifikation (ohne anschließende Denitrifikation;  $t_L=24 \text{ h} * tR/tZ$ )
- Vorgeschaltete Denitrifikation ( $t_L=24 \text{ h} * tR/tZ$ )
- Intermittierende Denitrifikation ( $t_L$  wird berechnet)
- Simultane Denitrifikation ( $t_L=24 \text{ h} * tR/tZ$ )
- Kombinierte Denitrifikation

### Phosphat-Elimination

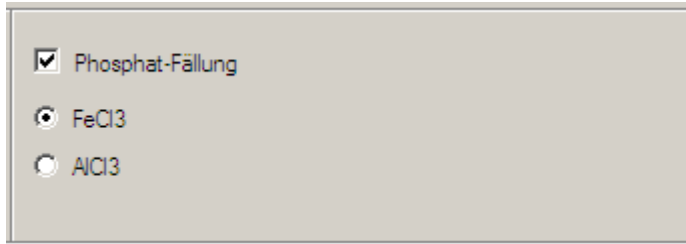
Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Kapitel Theorie unter Chemische Phosphat-Elimination.

Bei einer chemischen Phosphatfällung erhöht sich die Überschussschlamm-Produktion im Belebungsbecken, das Schlammalter sinkt.

Über die Checkbox wählen Sie, ob eine chemische Phosphatfällung berücksichtigt werden soll.

Über die Optionsbuttons wählen Sie das Fällmittel aus.

---



Phosphat-Fällung  
 FeCl<sub>3</sub>  
 AlCl<sub>3</sub>

Abb. 11: Chemische Phosphatfällung

Klicken Sie anschließend auf **Übernehmen** und wählen im Blockschema das Berechnungsformular **Sauerstoffbedarf** aus.

---

## 7 Sauerstoffbedarf

Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Kapitel Theorie unter Ermittlung Sauerstoffverbrauch.

Im Berechnungsformular Sauerstoffbedarf wird aus Ihren Vorgaben – Beckengeometrie, Reinigungsverfahren, Abwasserbeschaffenheit – der Sauerstoffverbrauch OVh ermittelt und die erforderliche Sauerstoffzufuhr SOTR für Druckluft- und Oberflächenbelüftung gegenübergestellt.

The screenshot displays the 'Ermittlung Sauerstoffbedarf' (Determination of Oxygen Requirement) window in the AQUA AERO 3.0 software. The interface is divided into several sections:

- Navigation Tree (Left):** Shows a hierarchy starting with 'AQUA AERO', followed by 'Grunddaten Startwerte', 'Sauerstoffbedarf', and sub-sections for 'Druckbelüftung' and 'Oberflächenbelüftung', each with associated 'Rührwerk' (agitator) and 'Belüftung' (aeration) components. Below this are 'Rohrleitung' (piping), 'Sauerstofftragswert' (oxygen carrying capacity), 'Investitionskosten' (investment costs), 'Betriebskosten' (operating costs), and 'Projektkostenbarwert' (project cost present value).
- Parameter Section (Middle-Left):** Lists various input parameters with their values and units, such as 'Qt,d' (2.500 m³/d), 'CBSB,ZB' (300 mg/l), 'XorgN,BM' (2.35 mg/l), and 'Faktor P' (6.8).
- Table of Results (Middle-Right):** A table with columns for 'min', 'Max', 'Durchschnitt' (average), and 'Prognose' (forecast). Key results include:
 

Parameter	min	Max	Durchschnitt	Prognose
USd kg/d	358.73	435.86	352.19	449.02
<b>USd kg/d</b>	<b>415.37</b>	<b>506.66</b>	<b>408.83</b>	<b>519.82</b>
tSgesamt d	21.78	17.86	22.13	17.40
SNO3,AN	3.36	2.86	3.03	3.39
OVh kgO2/h	16.25	32.46	16.57	20.28
- Environmental Conditions (Right):** Includes settings for 'Höhe über NN' (380 m), 'Salzfaktor B' (1.0), and 'Salzfaktor fST,St' (1.0). It also shows 'Druckluft-Membranbelüftung' (pressure air membrane aeration) and 'Oberflächenbelüftung' (surface aeration) parameters like 'T °C', 'α', and 'CX'.

Abb. 12: Berechnung von Sauerstoffverbrauch und erforderlichen Sauerstoffzufuhr

### 7.1 Zulauf, Biologie, Ablauf

Geben Sie als erstes alle Daten zur Abwasserbeschaffenheit im **Zulauf** des Belebungsbeckens (ZB) und im **Ablauf** der Nachklärung (AN) ein.

Im Rahmen **Biologie** bestimmen Sie:

- welcher Stickstoff-Anteil in die Biomasse (XorgN,BM) eingebaut wird (mit direkten Auswirkungen auf den Nitrat-Ablaufwert),
- wie hoch der biologisch eliminierbare Phosphor-Anteil (XP,BM + XP,bioP) ist (je höher der Wert, desto niedriger der chemisch zu fällende Anteil)
- mit welchem Sicherheitsfaktor für Nitrifikation (SF) Sie weiterrechnen wollen.

Ermittlung Sauerstoffbedarf		
Zulauf		
Qt,d	7.500	m <sup>3</sup> /d
CBSB,ZB	300	mg/l
XTS,ZB	250	mg/l
CTKN,ZB	35,0	mg/l
CNO3,ZB	0,0	mg/l
CP,ZB	8,0	mg/l
Säurekapazität	8,0	mmol/l
Parameter		
fA	0,30	
fB	0,30	
fCSB	0,20	
Y	0,67	
b	0,17	
Stickstoffelimination		
XorgN,BM Faktor	0,07	
Ablauf		
CNH4,AN	1,0	mg/l
CorgN,AN	2,0	mg/l
CP,AN	2,0	mg/l
Kohlenstoffdosierung		
CCSB,dos	0,0	mg/l
Ydos	0,00	mg/l
Phosphorelimination		
XP,BM Faktor	0,005	
XP,bioP Faktor	0,002	
Faktor P	6,8	

Abb. 13: Eingabe der Abwasserbeschaffenheit

Der Prozessfaktor für Nitrifikation berücksichtigt Schwankungen der Wachstumsrate der Nitrifikanten und Schwankungen der Konzentrationen im Zulauf und im Ablauf.

Der Prozessfaktor ist abhängig von den Stoßfaktoren und den Reinigungsanforderungen.

$f_N$ \ $S_{NH_4,ÜW}$	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
5 mg/l $NH_4$ -N	1,5	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8
10 mg/l $NH_4$ -N	1,5	1,5	1,5	1,6	1,9	2,1

Abb. 14: Tabelle 3 aus /2/, Prozessfaktor

	min	Max	Durchschnitt	Prognose
Auslastung [%]	80,0	100,0	80,0	100,0
T °C	12,0	20,0	15,0	10,0
TSBB kg/m <sup>3</sup>	4,0	4,0	3,0	4,0
PF	1,65	1,80	1,65	1,65
VD/VBB <input type="checkbox"/>	0,46	0,60	0,46	0,20
fC	1,00	1,18	1,00	1,00
fN	1,00	1,97	1,00	1,00

Abb. 15: Anpassen des Prozessfaktors

## 7.2 Lastfälle

Um die verschiedenen Lastfälle abzubilden, werden vier Lastfallberechnungen zur Verfügung gestellt, so wie in der M 229-1 gefordert.

- Lastfall 1, Minimaler Luftbedarf
- Lastfall 2, Maximaler Luftbedarf, Bemessungsluftbedarf
- Lastfall 3, mittlerer Luftbedarf
- Lastfall 4, Prognose

Lastfälle				
	min	Max	Durchschnitt	Prognose
Auslastung [%]	80,0	100,0	80,0	100,0
T °C	12,0	20,0	15,0	10,0
TSBB kg/m <sup>3</sup>	4,0	3,0	3,0	4,0
PF	1,65	1,80	1,65	1,65
VD/VBB <input type="checkbox"/>	0,46	0,56	0,46	0,20
fC	1,00	1,20	1,00	1,00
fN	1,00	2,16	1,00	1,00
Qtd m <sup>3</sup> /d	6.000	7.500	6.000	7.500
Bd,CSB kg/d	1.800	2.250	1.800	2.250
EW E	15.000	18.750	15.000	18.750
FT	0,81	1,42	1,00	0,71
SCSB,inert,ZB mg/l	15,00	15,00	15,00	15,00
XCSB,inert,ZB mg/l	84,00	84,00	84,00	84,00
CCSB,abb,ZB mg/l	201,00	201,00	201,00	201,00
CCSB,la,ZB mg/l	40,20	40,20	40,20	40,20
Xanarog,TS,ZB mg/l	75,00	75,00	75,00	75,00
XP,BM	1,50	1,50	1,50	1,50
XP,bioP	0,60	0,60	0,60	0,60
ÜsdP kg/d	169,92	212,40	169,92	212,40
XCSB,BM mg/l	45,90	44,41	48,55	58,56
XCSB,inert,BM mg/l	17,75	18,05	17,22	15,22
ÜsdC kg/d	1.121,29	1.394,77	1.131,05	1.459,78
<b>ÜSd kg/d</b>	<b>1.291...</b>	<b>1.607...</b>	<b>1.300...</b>	<b>1.672...</b>
XorgN,BM mg/l	3,21	3,11	3,40	4,10
<b>SNO3,AN</b>	<b>9,06</b>	<b>5,63</b>	<b>9,17</b>	<b>18,25</b>
OVd,C kgO <sub>2</sub> /d	824,09	1.039,04	811,34	954,12
OVd,N kgO <sub>2</sub> /d	663,95	833,01	659,56	803,80
OVd,D kgO <sub>2</sub> /d	286,09	433,38	281,30	143,12
<b>OVh kgO<sub>2</sub>/h</b>	<b>50,08</b>	<b>105,39</b>	<b>49,57</b>	<b>67,28</b>
OVh(min) kgO <sub>2</sub> /h <input type="checkbox"/>	17,13	21,78	16,61	18,30

Abb. 16: Lastfälle

Es können verschiedene Parameter eingestellt werden. Für minimale, mittlere Last oder Prognose können z.B. verschiedene Auslastungen gewählt werden.

Bei der höheren Abwassertemperatur für den maximalen Luftbedarf kann es sinnvoll sein, die Trockensubstanzkonzentration im Becken zu reduzieren.

Für mittleren und minimalen Luftbedarf sollten die Stoßfaktoren auf 1 gesetzt werden.

Unter den einstellbaren Parametern sind die wichtigsten Berechnungsergebnisse aufgelistet.

Schließlich kann auch das Denitrifikationsverhältnis angepasst werden. Werden Nitratlaufenergebnisse errechnet, die über das Reinigungsziel hinausgehen, kann das Denitrifikationsverhältnis reduziert werden. Dadurch verlängert sich die Belüftungszeit und entsprechend sinkt die stündliche Luftmenge.

Lastfälle				
	min	Max	Durchschnitt	Prognose
Auslastung [%]	80,0	100,0	80,0	100,0
T °C	12,0	20,0	15,0	10,0
TSBB kg/m <sup>3</sup>	4,0	4,0	3,0	4,0
PF	1,65	1,80	1,65	1,65
VD/VBB <input checked="" type="checkbox"/>	0,46	0,50	0,46	0,20
fC	1,00	1,18	1,00	1,00
fN	1,00	1,97	1,00	1,00
Qtd m <sup>3</sup> /d	6.000	7.500	6.000	7.500
Bd,CSB kg/d	1.800	2.250	1.800	2.250
EW E	15.000	18.750	15.000	18.750
FT	0,81	1,42	1,00	0,71
SCSB,inert,ZB mg/l	15,00	15,00	15,00	15,00
XCSB,inert,ZB mg/l	84,00	84,00	84,00	84,00
CCSB,abb,ZB mg/l	201,00	201,00	201,00	201,00
CCSB,la,ZB mg/l	40,20	40,20	40,20	40,20
Xanarog,TS,ZB mg/l	75,00	75,00	75,00	75,00
XP,BM	1,50	1,50	1,50	1,50
XP,bioP	0,60	0,60	0,60	0,60
ÜsdP kg/d	169,92	212,40	169,92	212,40
XCSB,BM mg/l	45,90	35,63	48,55	58,56
XCSB,inert,BM mg/l	17,75	19,81	17,22	15,22
ÜsdC kg/d	1.121,29	1.354,45	1.131,05	1.459,78
<b>ÜSd kg/d</b>	<b>1.291...</b>	<b>1.566...</b>	<b>1.300...</b>	<b>1.672...</b>
XorgN,BM mg/l	3,21	2,49	3,40	4,10
<b>SNO3,AN</b>	<b>9,06</b>	<b>7,31</b>	<b>9,17</b>	<b>18,25</b>
OVd,C kgO <sub>2</sub> /d	824,09	1.091,72	811,34	954,12
OVd,N kgO <sub>2</sub> /d	663,95	851,13	659,56	803,80
OVd,D kgO <sub>2</sub> /d	286,09	409,39	281,30	143,12
<b>OVh kgO<sub>2</sub>/h</b>	<b>50,08</b>	<b>103,67</b>	<b>49,57</b>	<b>67,28</b>
OVh(min) kgO <sub>2</sub> /h	17,13	23,94	16,61	18,30

OVh(min)

Abb. 17: Denitrifikationsverhältnis gewählt für T=20°C

### 7.3 Spitzen-Sauerstoffverbrauch

Die Ergebnisse in der darunter liegenden Tabelle werden automatisch an die Eingaben angepasst, so dass Sie ganz einfach testen können, welchen Effekt welche Änderung hat.

IN AQUA AERO wird nicht nur das Ergebnis –wie hier der Spitzen-Sauerstoffverbrauch - angezeigt. Über die Darstellung sämtlicher Zwischenergebnisse, angefangen beim Schlammalter, über die Nitratbilanz bis hin zu den Stoßfaktoren, ist die Berechnung nachvollziehbar.



## 7.4 Erforderliche Sauerstoffzufuhr

Aus dem Spitzen-Sauerstoffverbrauch wird die erforderliche Sauerstoffzufuhr SOTR für die beiden unterschiedlichen Belüftungsarten ermittelt und gegenübergestellt.

Die erforderliche Sauerstoffkonzentration können Sie noch beeinflussen, indem Sie Ihren Erfahrungswert für den Sauerstoffzufuhrfaktor  $\alpha$  eingeben. Hier gibt die M 229-1 Hinweise.

Druckluft-Membranbelüftung				
T °C	12,0	20,0	15,0	10,0
$\alpha$	0,85	0,60	0,75	0,70
CX	2,0	2,0	1,5	1,5
tL h/d	12,89	12,00	12,91	19,20
f,int	1,86	2,00	1,86	1,25
patm hPa	968,41	968,41	968,41	968,41
CS,20 mg/l	9,10	9,10	9,10	9,10
CS,T mg/l	10,78	9,10	10,09	11,29
SOTR kgO2/h	139,02	444,88	149,44	144,74
Oberflächenbelüftung				
T °C	12,0	20,0	15,0	10,0
$\alpha$	0,65	0,65	0,85	0,65
CX	2,0	2,0	2,0	2,0
tL h/d	12,89	12,00	12,91	19,20
f,int	1,86	2,00	1,86	1,25
patm hPa	968,41	968,41	968,41	968,41
CS,20 mg/l	9,10	9,10	9,10	9,10
CS,T mg/l	10,78	9,10	10,09	11,29
SOTR kgO2/h	188,43	429,22	144,06	168,43

Abb. 18: Erforderliche O<sub>2</sub>-Zufuhr SOTR

Erst danach entscheiden Sie, welchen Zweig von AQUA AERO Sie weitergehen.

## 8 Bemessung Druckbelüftung

### 8.1 Druckbelüftung

#### 8.1.1 Auswahl Belüfter

Bevor Sie an die Auslegung und Auswahl der Gebläse gehen, müssen Sie sich für die Art der Belüfter entscheiden. Es stehen **Rohrbelüfter**, **Tellerbelüfter** und **Plattenbelüfter** zur Auswahl.

Klicken Sie auf das Datenbank-Symbol und wählen Sie einen geeigneten Belüfter aus. Mit **OK** verlassen Sie die Belüfter-Datenbank wieder.

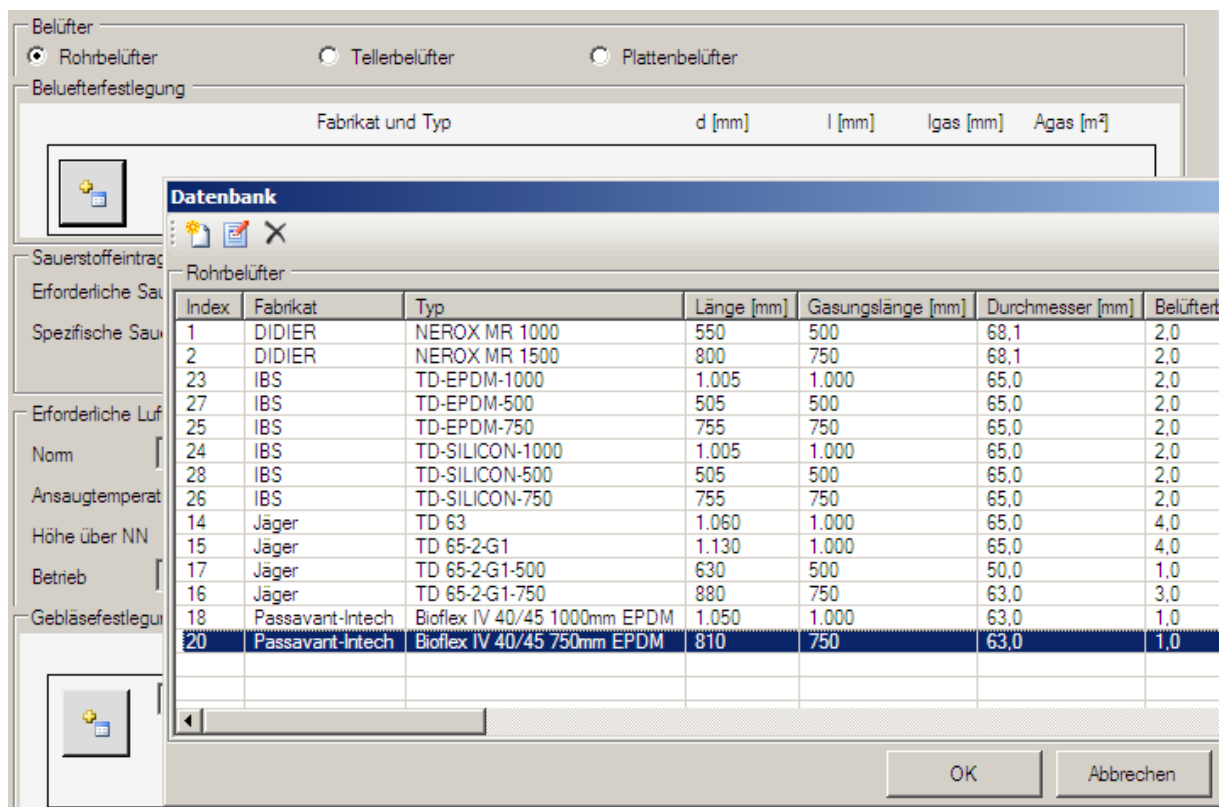


Abb. 19: Auswahl des Belüfters

Der ausgewählte Belüfter wird mit Fabrikat und Typ und den wichtigsten Merkmalen angezeigt. Entscheidend für die Auslegung der Gebläse ist die Spezifische Sauerstoffausnutzung und der Belüfter-Widerstand, beide Werte kommen aus der Datenbank.

### 8.1.2 Auslegung Gebläse

Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Theorie-Kapitel Gebläse.

Die Gebläse werden über die erforderliche Luftmenge im Betrieb und den erforderlichen Gebläsegegendruck ausgelegt. Die Auslegung erfolgt für alle Becken.

Die erforderliche Luftmenge im Betrieb ist abhängig von der Ansaugtemperatur, der Höhe über NN und der für die Bemessung gewählten spezifischen Sauerstoffausnutzung.

Der erforderliche Gebläsegegendruck ergibt sich als Summe aus dem Gegendruck aus der Eintragstiefe, den Rohrleitungen und den Belüftern. Den Druckverlust in den Rohrleitungen geben Sie über **Optionen > Allgemeine Konstanten** vor, als Standardwert wird 100 mbar vorgelegt.




Bei Änderung der Allgemeinen Konstanten, springt AQUA AERO auf die Grunddaten zurück. Alle Berechnungsvorgänge müssen dann erneut durchgeführt werden.

Belüfter						
<input checked="" type="radio"/> Schlauchbelüfter		<input type="radio"/> Tellerbelüfter		<input type="radio"/> Plattenbelüfter		
Belüfterfestlegung						
	Fabrikat/Typ	D [mm]	L [mm]	Lgas [mm]	Agas [m <sup>2</sup> ]	
	Passavant-Intech Bioflex II EPDM 1000 mm	70	1105	1000	0,168	
Gebläse - Auslegung						
Erforderliche Sauerstoffzufuhr, SOTR	444,9	kgO <sub>2</sub> /h	Laufzeit der Gebläse	12,0	h	
SSOTE Belüfter	17,0	gO <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> m)	Eintragstiefe	4,70	m	
SSOTE Bemessung	<input checked="" type="checkbox"/>	19,0	gO <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> m)	Erforderlicher Gebläsegegendruck	618	mbar
Erforderliche Luftmenge			Stufung			
Norm	4.981,82	Nm <sup>3</sup> /h	59.781,80	Nm <sup>3</sup> /d		
Ansaugtemperatur	30,0	°C	<input checked="" type="checkbox"/> Gebläsestufungen			
Höhe über NN	380	m	Minimaler Wert	25	%	
Betrieb	5.784,84	m <sup>3</sup> /h	Mittlerer Wert	50	%	
			Maximaler Wert	100	%	
				1.446,21	m <sup>3</sup> /h	
				2.892,42	m <sup>3</sup> /h	
				5.784,84	m <sup>3</sup> /h	

Abb. 20: Vorgaben für die Gebläse-Auslegung

### 8.1.3 Auswahl Gebläse

Wählen Sie zunächst die Anzahl der Gebläse. Klicken Sie dann auf die Schaltfläche  zur Auswahl des Aggregates.

Die Datenbank wird geöffnet und zeigt blau markiert das erste Gebläse an, das die Auslegungskriterien erfüllt. Die Gebläse sind in der Datenbank standardmäßig nach dem Gegendruck sortiert. Sie können aber durch Anklicken des Spaltenkopfes jede andere Sortierung vornehmen.

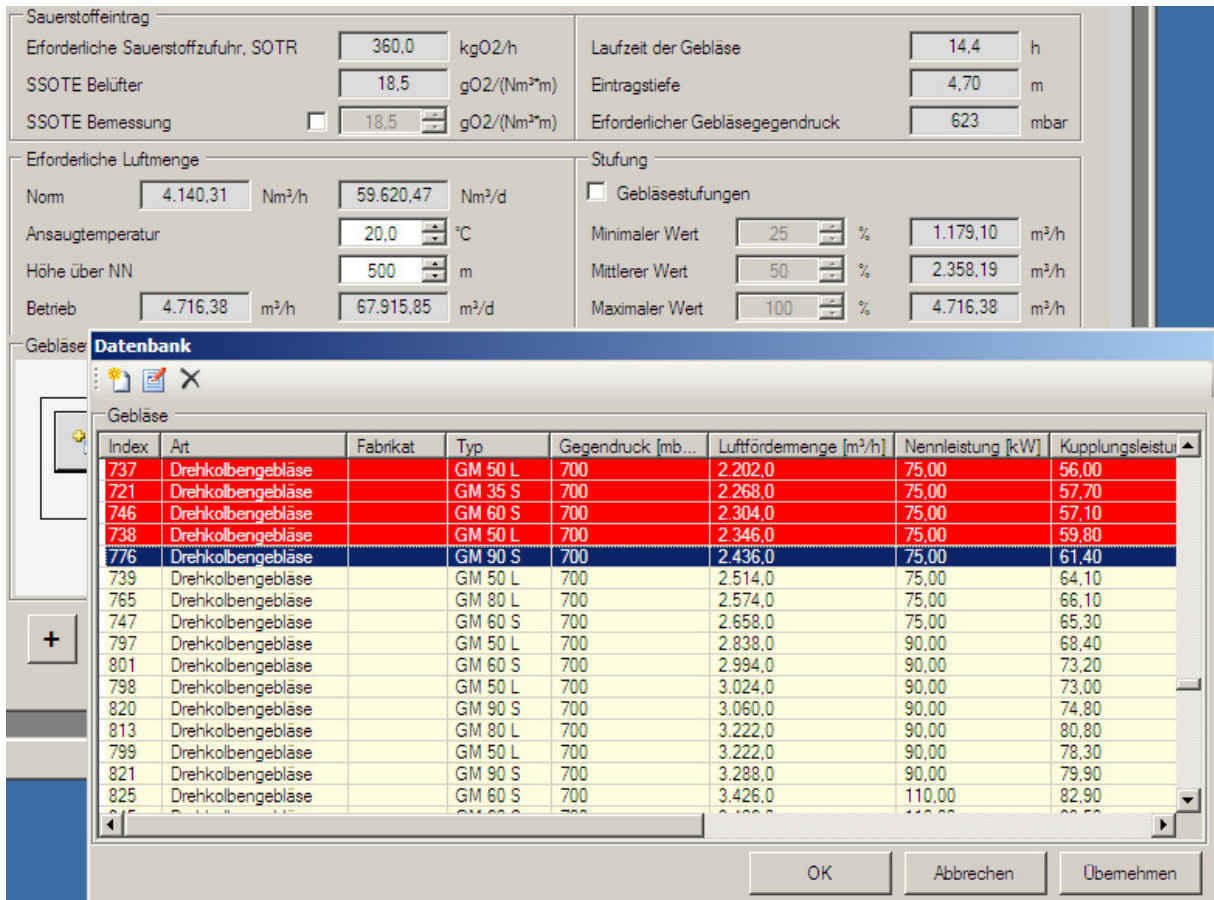


Abb. 21: Auswahl Gebläse

Die Farben bedeuten:

Farbe	Bedeutung
rot	Auslegungsbedingungen sind nicht erfüllt. D.h. der Gebläse-Gegendruck und / oder der Luftfördermenge ist / sind zu klein.
blau	Markierung
gelb	Auslegungsbedingungen sind erfüllt.

Markieren Sie das gewünschte Gebläse und drücken Sie **OK**. Die Datenbank wird geschlossen und Sie kehren zum Berechnungsformular zurück.

Im Rahmen für das Gebläse werden angezeigt:

- Fabrikat und Typ,
- Nenn- und Kupplungsleistung je Gebläse,
- Luftmenge je Gebläse und gesamte Luftmenge für diesen Gebläsetyp,
- das Verhältnis der Gebläse- Luftmenge zur erforderlichen Luftmenge und
- der Gebläse-Gegendruck.

Die Kupplungsleistung und die Luftmenge werden bei vorgegebenem Gegendruck aus den

in der Datenbank vorhandenen Daten linear interpoliert.

**info****Ermittlung des Betriebspunktes**

In der Datenbank ist für jeden Gebläsetyp die Nennleistung in Abhängigkeit von dem erforderlichen Gegendruck hinterlegt.

Das heißt ein und dasselbe Gebläse taucht in der Datenbank mit verschiedenen Paaren Gegendruck / Nennleistung auf.

Alle dazwischen liegenden Betriebspunkte werden durch lineare Interpolation ermittelt.

Wenn Sie weitere Gebläse auswählen wollen, drücken Sie auf die Schaltfläche  am unteren Rand des Berechnungsformulars. Es erscheint ein zweiter Rahmen zur Gebläseauswahl. Die Checkbox **Belüfterauslegung** ist aktiviert.

**info****Gebläseauswahl / -stufungen**

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, wie die Kläranlage über längere Zeiträume ausgelastet sein wird. Ergibt sich eine längere Phase mit niedriger Auslastung, sind z.B. Zuwächse und spätere Anschlüsse mit in die Bemessung eingegangen ist ein kleineres Gebläse mit vorzusehen oder es werden mehrere Gebläse eingeplant, so dass die Größe eines Gebläses die niedrige Belastung gut abdeckt. Durch automatischen Wechsel der Gebläse erreicht man eine gleichmäßige Auslastung der Aggregate.

Bei normaler Auslastung ist es vom vorliegenden Denitrifikationsverfahren, der Art des Belebungsverfahrens und der Anlagengröße abhängig, wie stark der Luftbedarf schwankt.

**Vorgeschaltete Denitrifikation**

Wird ständig belüftet, wird die Belüftung üblicherweise nach dem Sollwert geregelt. Die Art der Regelung, Fuzzy-, reine Sollwertregelung etc. bestimmt dabei nur, wie gut die Belüftung auf den aktuellen Bedarf reagiert. Der Luftbedarf schwankt dann ähnlich stark wie die aktuelle Belastung der Kläranlage. Gerade bei großen Kläranlagen empfiehlt es sich dann, die Gebläse abzustufen.

**Intermittierende Denitrifikation**

Hier wird der Sauerstoffbedarf zeitlich gestaucht. Die Schwankung des Sauerstoffbedarfes ist nicht so ausgeprägt wie die Ganglinie der Belastung. Entsprechend muss auch die Stufung nicht so ausgeprägt sein. Bei mittleren und kleinen Anlagen mit voller Auslastung genügt hier die Wahl von 2 Gebläsen mit je 50 % der Gesamtbelastung, ohne Reservegebläse.

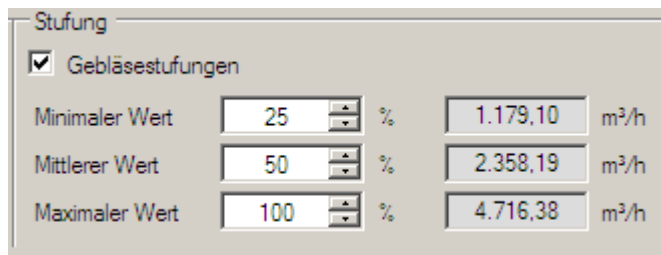
Gerade bei kleinen Anlagen wird oft für jede Straße ein frequenzgeregeltes Gebläse eingesetzt. Dies ist aus betrieblicher Hinsicht nicht optimal, kann aber in der Gesamtwirtschaftlichkeit sinnvoll sein.

## 8.1.4 Gebläsestufungen

Um die Gebläseleistung in Abhängigkeit vom aktuellen Sauerstoffbedarf zu regulieren, ist eine Leistungsstufung der Gebläse sinnvoll.


Vorgesehen sind drei Stufen die einen minimalen, mittleren und maximalen Wert der erforderlichen stündlichen Luftmenge wiedergeben.

Klicken Sie auf das Kontrollkästchen **Gebläsestufungen** und geben Sie die gewünschten Stufungen – in unserem Beispiel 25, 50 und 100% ein.



Stufung	Wert (%)	Luftmenge (m³/h)
Minimaler Wert	25	1.179,10
Mittlerer Wert	50	2.358,19
Maximaler Wert	100	4.716,38

Abb. 22: Gebläsestufungen

Klicken Sie im Rahmen Gebläsefestlegung auf das Symbol . In der Datenbank ist automatisch ein Filter für die ausgewählten Stufungen eingerichtet.

Klicken Sie z.B. auf **50%** werden alle Gebläse **hellblau markiert** angezeigt, die diesen Kriterien entsprechen. Markieren Sie ein Gebläse und drücken Sie auf **OK**. Die Datenbank wird geschlossen.

Möchten Sie nun z.B. noch zwei Gebläse mit 25% zufügen, klicken Sie zunächst die Schaltfläche **+** und geben dann die Anzahl der Gebläse ein. Beachten Sie, dass das Kontrollkästchen Belüfterauslegung aktiv ist. Öffnen Sie die Datenbank, klicken Sie auf **25%** und wählen ein geeignetes **beige markiertes** Gebläse aus.

Zur Kontrolle, welcher Anteil tatsächlich von einem Gebläse abgedeckt wird, drücken Sie auf **Übernehmen**. Im Berechnungsformular wird der Wert in % angezeigt. Klicken Sie auf **OK**, um die Datenbank zu verlassen.

Datenbank

100% 50% 25%

Gebläse

Index	Art	Fabri...	Typ	Gegendruck [mbar]	Luftfördermenge [m³/h]	Nennleistung [kW]	Kupplungsleistung [kW]
668	Drehkolbengebläse		GM 35 S	700	1.758,0	55,00	43,90
696	Drehkolbengebläse		GM 80 L	700	1.764,0	55,00	48,50
703	Drehkolbengebläse		GM 90 S	700	1.818,0	55,00	48,70
682	Drehkolbengebläse		GM 50 L	700	1.914,0	55,00	48,60
720	Drehkolbengebläse		GM 35 S	700	1.992,0	75,00	50,00
745	Drehkolbengebläse		GM 60 S	700	2.004,0	75,00	50,40
764	Drehkolbengebläse		GM 80 L	700	2.076,0	75,00	55,20
737	Drehkolbengebläse		GM 50 L	700	2.202,0	75,00	56,00
721	Drehkolbengebläse		GM 35 S	700	2.268,0	75,00	57,70
746	Drehkolbengebläse		GM 60 S	700	2.304,0	75,00	57,10
738	Drehkolbengebläse		GM 50 L	700	2.346,0	75,00	59,80
776	Drehkolbengebläse		GM 90 S	700	2.436,0	75,00	61,40
739	Drehkolbengebläse		GM 50 L	700	2.514,0	75,00	64,10
765	Drehkolbengebläse		GM 80 L	700	2.574,0	75,00	66,10
747	Drehkolbengebläse		GM 60 S	700	2.658,0	75,00	65,30
797	Drehkolbengebläse		GM 50 L	700	2.838,0	90,00	68,40

OK Abbrechen Überehmen

Abb. 23: Filter für Gebläsestufungen (hier: 50%)

### Beispiel

Es werden drei Gebläse verwendet.

Jedes Gebläse erbringt max. 50% der benötigten Luftmenge – in Summe ergibt das eine Gesamtluftförderleistung von 150%.

Jedes Gebläse kann mittels Frequenzumformer auf 25% heruntergeregelt werden. Zwei Gebläse bilden ein Paar und erbringen zusammen 100% der benötigten Luftmenge, das dritte ist das Reservegebläse und wird zugeschaltet wenn ein anderes Gebläse ausfällt (Redundanz).

Werden von der Regelung 60% der benötigten Luftmenge angefordert, läuft das erste Gebläse mit 35% und das zweite mit 25%.

Bei Anforderung von 75% Luftmenge läuft das erste Gebläse mit voller (50%) und das zweite mit halber (25%) Leistung.

### 8.1.5 Ersatz-Gebläse

Möchten Sie ein Ersatzaggregat auswählen, drücken Sie auf die Schaltfläche **+** am unteren Rand des Berechnungsformulars. Es erscheint ein weiterer Rahmen zur Gebläseauswahl. Deaktivieren Sie hier das Kontrollkästchen **Belüfterauslegung**.

Wählen Sie dann das Gebläse aus der Datenbank wie oben beschrieben.

Unten wird die **Luftmenge, gesamt** angezeigt.

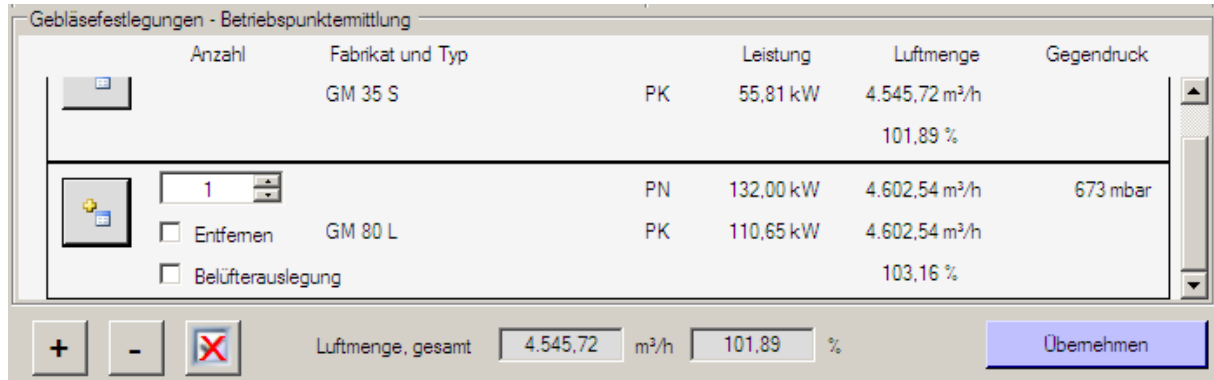


Abb. 24: Auswahl eines Ersatzaggregates

Die Ersatz-Aggregate gehen nicht in die Dimensionierung der Belüfter und der Rohrleitungen ein. Sie werden aber bei den Kosten für Investition und Wartung / Instandhaltung berücksichtigt.

### 8.1.6 Gebläse entfernen

Stellen Sie fest, dass ein Gebläse doch nicht gebraucht wird, aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Entfemen** im jeweiligen Gebläse-Rahmen und drücken Sie die Schaltfläche . Möchten Sie nur das letzte Gebläse entfernen, klicken Sie auf .

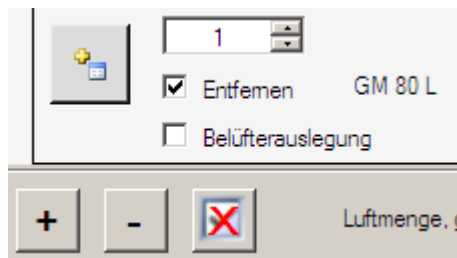


Abb. 25: Gebläse entfernen

## 8.2 Rührwerk

### Auslegung Rührwerk

Wählen Sie im Blockschema **Rührwerk** aus. Es öffnet sich das Berechnungsformular zur Auslegung und Auswahl der Rührwerke.

Grundlegender Parameter zur Auslegung der Rührwerks ist die **erforderliche Leistungsdichte**, die mit  $2,5 \text{ W/m}^3$  vorgelegt wird.



## Auswahl Rührwerk



Die Auswahl der Rührwerke erfolgt für ein Becken.

Nach Eingabe der erforderlichen Leistungsdichte (Sollwert), geben Sie die Anzahl der Rührwerke ein und wählen diese über die Datenbank aus.

Alle Rührwerke, die den Sollwert erfüllen, sind gelb markiert. Markieren Sie das geeignete Rührwerk und klicken Sie auf **OK**.

Im Rahmen für die Auswahl der Rührwerke werden angezeigt:

- Fabrikat und Typ
- Nennleistung je Rührwerk,
- Durchmesser und
- Leistungsdichte.

Darunter finden Sie die Anzahl der Rührwerke für alle Becken, sofern mehrere Becken ausgewählt wurden.

Abb. 26: Auslegung und Auswahl der Rührwerke

## Kein Rührwerk

Natürlich besteht auch die Möglichkeit kein Rührwerk auszuwählen, wenn die Umwälzung z.B. über Belüftungsstöße gewährleistet wird. Das hat den Vorteil, dass sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten niedriger sind als bei Systemen mit Rührwerken.

Geben Sie in das Eingabefeld Anzahl **0** ein und gehen Sie über das Blockschema weiter zu den Belüftern.

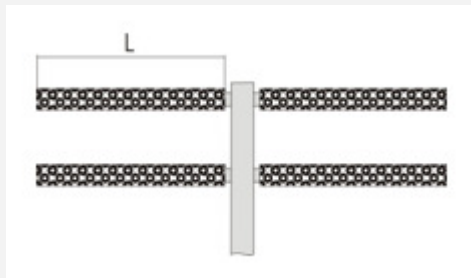
## 8.3 Belüfter

### 8.3.1 Belüfterart

Die Belüfterart wurde bereits im Formular **Druckbelüftung** ausgewählt, da die Belüfterdaten für die Gebläseauslegung erforderlich sind.

#### **info**

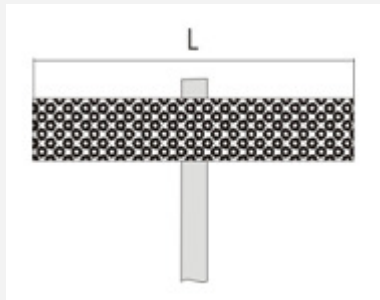
#### Länge und Anordnung von Rohrbelüftern:



#### Plattenbelüfter und Tellerbelüfter:

Es wird für die maßstäbliche Zeichnung angenommen, dass die beiden Belüfterarten in der Mitte auf das Verteilerrohr aufgesetzt ist.

Länge und Anordnung eines Plattenbelüfters ist nachfolgend abgebildet.



### 8.3.2 Konstruktion



Die Konstruktion der Belüftungseinrichtung erfolgt für ein Becken.

Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Theorie-Kapitel unter Belüftungselemente.

Abhängig von der Beckenform und der Belüfterart konstruieren Sie über Eingabeparameter, Optionsbutton und Kontrollkästchen die Belüftungseinrichtung.

Sie können variieren:

- die Beaufschlagung der Belüfter (sollte nicht größer sein als die Beaufschlagung der aus der Datenbank gewählten Belüfter)
- Anzahl der Gitter
- Anzahl der Querverteiler
- Anordnung der Belüfter
- Abstände Wand, Belüfter, Gitter, Rührwerke

Für die Option **Sonstige Beckenform** gibt es keine Möglichkeit zur Konstruktion der Belüftungseinrichtung. Über die Beaufschlagung können Sie lediglich die Anzahl der Belüfter ändern.

Alle Änderungen werden in der Zeichnung direkt aktualisiert, so dass Sie die Konstruktion einfach und schnell an die vorhandene Situation anpassen können.

Die Konstruktion wird in einer CAD-Umgebung maßstabsgerecht dargestellt. Sie können die Zeichnung (eingeschränkt) bearbeiten und in verschiedenen Dateiformaten exportieren, siehe dazu Zeichnungen.

Mit diesen beiden Funktionen steht Ihnen ein wirklich einfaches und effizientes Werkzeug zur Konstruktion der Belüfter für unterschiedliche Belüfertypen und die gängigen Beckenformen zur Verfügung.

Im Folgenden sind einige Beispiele dargestellt.

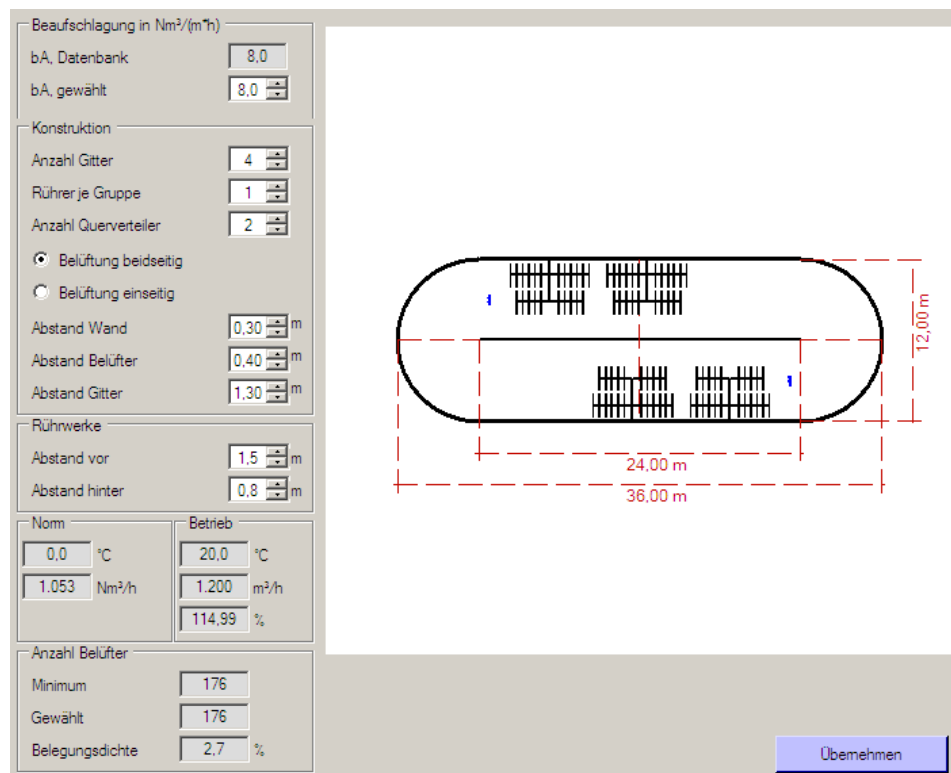


Abb. 27: Rohrbelüfter im Umlaufbecken

Beaufschlagung in Nm <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> h)	
bA, Datenbank	8,0
bA, gewählt	8,0
Konstruktion	
Anzahl Gitter	4
Rührer je Gruppe	1
Anzahl Querverteiler	3
<input type="radio"/> Belüftung beidseitig <input checked="" type="radio"/> Belüftung einseitig	
Abstand Wand	0,30 m
Abstand Belüfter	0,40 m
Abstand Gitter	1,30 m
Rührwerke	
Abstand vor	1,5 m
Abstand hinter	0,8 m
Nom	Betrieb
0,0 °C	20,0 °C
1,053 Nm <sup>3</sup> /h	1,200 m <sup>3</sup> /h
	108,95 %
Anzahl Belüfter	
Minimum	176
Gewählt	176
Belegungsichte	3,8 %

Übernehmen

Abb. 28: Rechteckbecken mit Rohrbelüftern / einseitig

Beaufschlagung in Nm <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> h)	
bA, Datenbank	8,0
bA, gewählt	8,0
Konstruktion	
Anzahl Gitter	8
Anzahl Querverteiler	7
<input checked="" type="radio"/> gleichmäßige Aufteilung <input type="radio"/> abgestufte Aufteilung	
Abstand Wand	0,40 m
Abstand Belüfter	0,30 m
<input checked="" type="checkbox"/> Gitter zusammenfassen	
Position	0
Breite	270
Nom	Betrieb
0,0 °C	20,0 °C
4,585 Nm <sup>3</sup> /h	5,223 m <sup>3</sup> /h
	101,77 %
Anzahl Belüfter	
Minimum	574
Gewählt	576
Belegungsichte	8,4 %

Übernehmen

Abb. 29: Tellerbelüfter im Ringbecken, mit der Funktion "Gitter zusammenfassen"

## 8.4 Rohrleitungen

Die theoretischen Grundlagen finden Sie im Theorie-Kapitel unter Rohrleitungen

Klicken Sie im Blockschema auf **Rohrleitung** und das Berechnungsformular zur Auslegung der Rohrleitungen wird geöffnet.

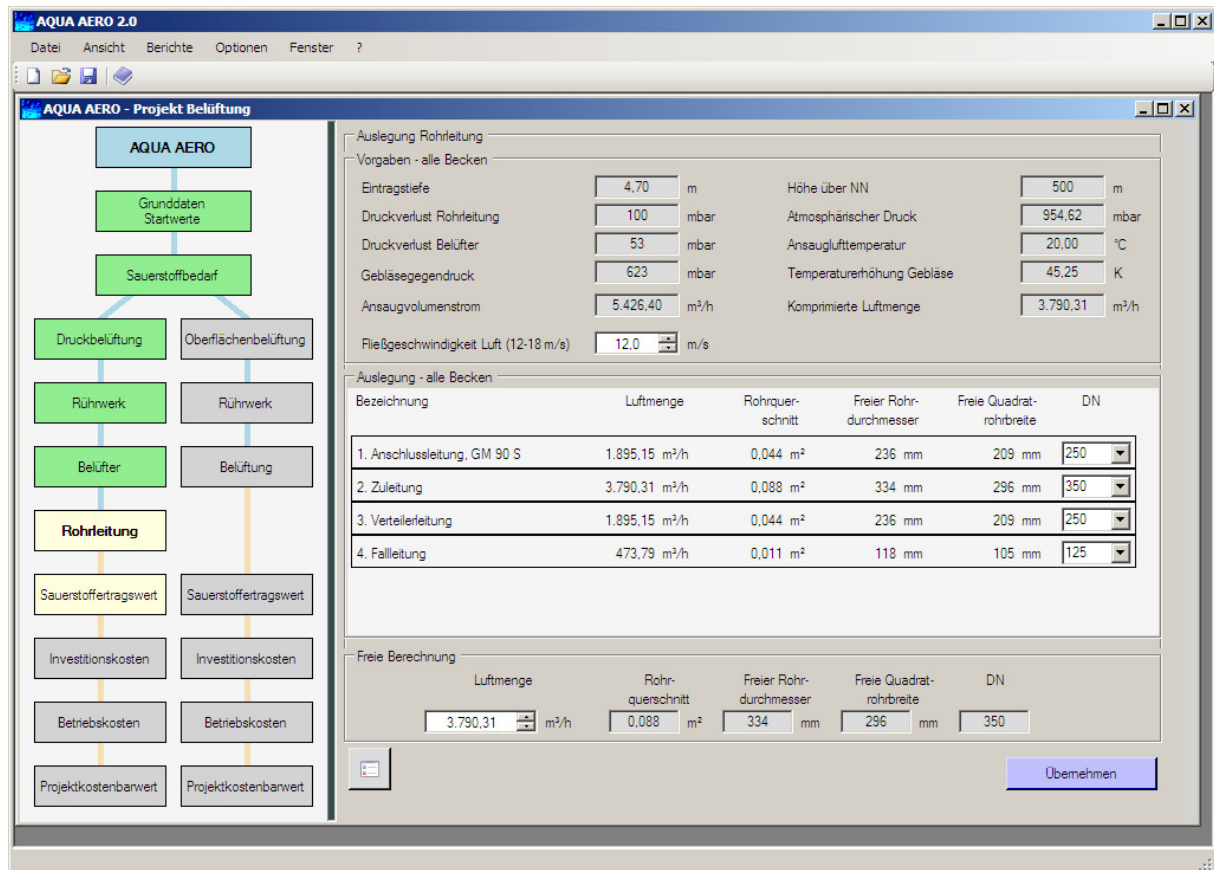


Abb. 30: Auslegung der Rohrleitungen

Im oberen Rahmen werden die Vorgaben angezeigt. Unter der Annahme einer adiabaten Verdichtung wird aus der Luftmenge des Gebläses die komprimierte Luftmenge ermittelt. Diese ist Grundlage für die Dimensionierung der Rohrleitungen.

Wählen Sie nun noch die **Fließgeschwindigkeit Luft** in m/s aus.

### info

Empfohlen wird eine Fließgeschwindigkeit zwischen 12 und 18 m/s.

Im Rahmen Auslegung erhalten Sie eine Zusammenstellung aller Leitungen für die ausgewählten Becken und Gebläse.

Auslegung - alle Becken					
Bezeichnung	Luftmenge	Rohrquerschnitt	Freier Rohrdurchmesser	Freie Quadratrohrbreite	DN
1. Anschlussleitung, GM 90 S	1.895,15 m <sup>3</sup> /h	0,044 m <sup>2</sup>	236 mm	209 mm	250
2. Zuleitung	3.790,31 m <sup>3</sup> /h	0,088 m <sup>2</sup>	334 mm	296 mm	350
3. Verteilerleitung	1.895,15 m <sup>3</sup> /h	0,044 m <sup>2</sup>	236 mm	209 mm	250
4. Falleitung	473,79 m <sup>3</sup> /h	0,011 m <sup>2</sup>	118 mm	105 mm	125

Abb. 31: Auslegung Rohrleitungen

Dabei gilt:

Die **Anschlussleitung** wird auf die komprimierte Luftmenge des zugehörigen Gebläses ausgelegt.

Alle anderen Leitungen werden auf die komprimierte Gesamtluftmenge der in der Belüftung enthaltenen Gebläse ausgelegt. Dabei wird natürlich die Anzahl der jeweiligen Leitungen berücksichtigt.

### Beispiel

#### Gewählt sind:

Zwei Gebläse GM 35S

Ein Reservegebläse GM 80L

Zwei Umlaufbecken

#### Angezeigt wird:

Anschlussleitung (1) zu Gebläse GM 35S mit der komprimierten Luftmenge für diese Gebläseleistung  
Für die Investitionskosten werden die Anschlussleitungen für zwei Gebläse berücksichtigt

Anschlussleitung (1) zu Gebläse GM 80L mit der komprimierten Luftmenge für diese Gebläseleistung

Zuleitung (3) zu den beiden Belüftungsbecken; die komprimierte Luftmenge wird auf die beiden Becken aufgeteilt  
Für die Investitionskosten werden beide Zuleitungen berücksichtigt

Das Rohrleitungsnetz und die Bezeichnung der einzelnen Leitungen wird eingeblendet, wenn

Sie die Schaltfläche  anklicken.

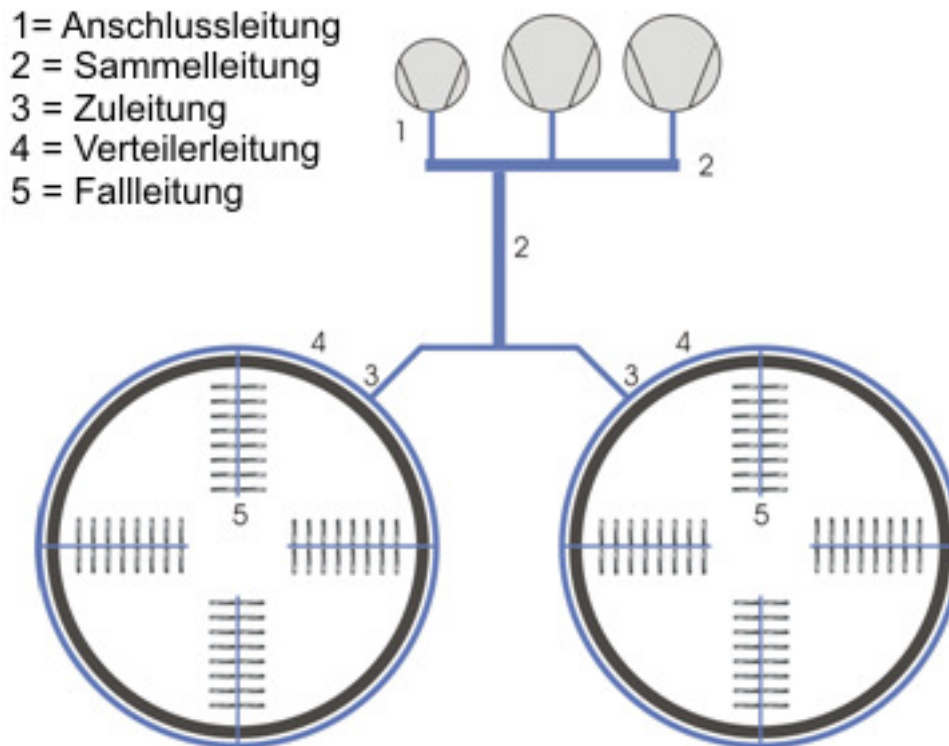


Abb. 32: Rohrleitungsnetz

Wählen Sie anschließend den Rohrdurchmesser DN für die einzelnen Leitungen aus und bestätigen Sie Ihre Auswahl mit **Übernehmen**.

Im Rahmen **Freie Berechnung** besteht die Möglichkeit, die Luftmenge schnell auf einen Durchmesser umzurechnen. Die Berechnung hat keine Auswirkung auf die weitere Bemessung.

Luftmenge	Rohrquerschnitt	Freier Rohrdurchmesser	Freie Quadratrohrbreite	DN
3.105,18 m <sup>3</sup> /h	0,072 m <sup>2</sup>	303 mm	268 mm	350

Abb. 33: Freie Berechnung der Rohrleitungen

Mit der Auslegung der Rohrleitungen ist die Bemessung der Belüftungseinrichtung abgeschlossen. Im Blockschaema wird dies durch die blauen Verbindungslinien zwischen den Blöcken dargestellt.

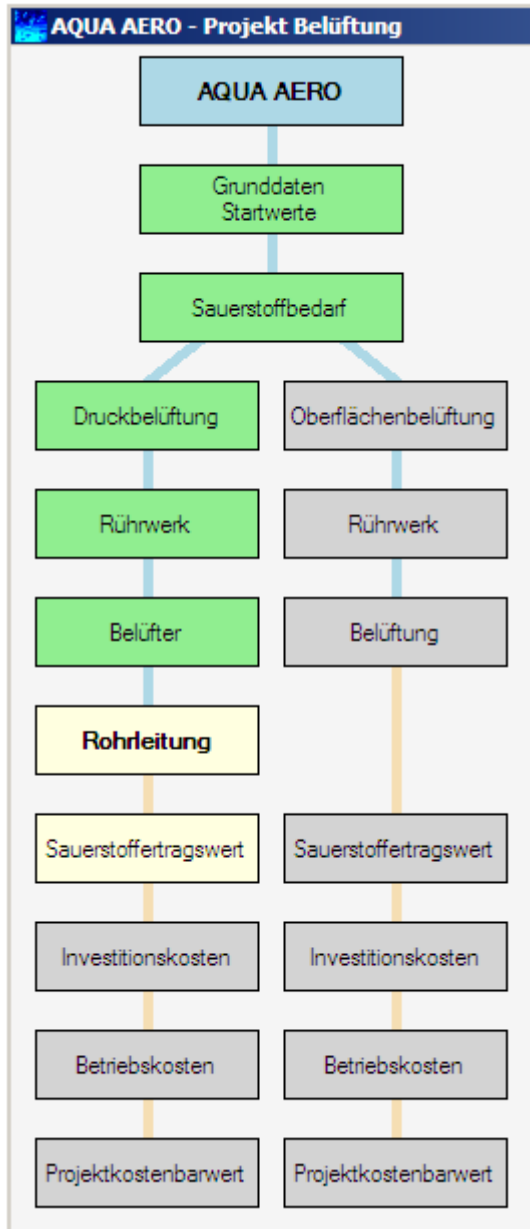


Abb. 34: Abgeschlossene Auslegung der Druckbelüftung

Es folgen nun die Auswertungen für den Sauerstoffertragswert, die Investitions- und Betriebskosten sowie den Projektkostenbarwert.



## 9 Sauerstoffertragswert

Die Theorie zum Sauerstoffertragswert finden Sie im Theorie-Kapitel unter Sauerstoffertragswert.

Der Sauerstoffertragswert SAE ist die entscheidende Kennzahl für die Wirtschaftlichkeit eines Belüftungssystems. Er gibt an, wie viel Energie aufgewendet werden muss, um eine bestimmte Menge Sauerstoff in das Becken einzutragen.

Zur Berechnung des Sauerstoffertragswertes wird die Leistungsaufnahme der Gebläse und der Rührwerke benötigt.

Geben Sie zuerst für die Gebläse die **mechanischen Verluste** und bei Bedarf die Verluste des Frequenzumrichters **FU** ein. Mithilfe der Verluste, des Wirkungsgrades und der Kuppelungsleistung für jedes Gebläse, wird die gesamte Leistungsaufnahme ermittelt.

Die tatsächliche **Leistungsaufnahme** der Rührwerke hängt von verschiedenen Faktoren ab. Sie kann beim Hersteller für die konkrete Situation erfragt werden. In AQUA AERO wird die Nennleistung vorgelegt.

Gebläse						
Anzahl	Motorwirkun...	Verluste		Leistungsaufnahme		elektrische Leistungs...
2	95,00 %	mech.	2,0 %	PN	75,00 kW	PAel 62,99 kW
<input type="checkbox"/> Frequenzumformer		FU	3,0 %	PK	58,67 kW	
Elektrische Leistungsaufnahme, gesamt						PAel 125,99 kW

Rührwerke		Gebläse	
Anzahl	2	SSOTE Bemessung	18,5 gO <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> m)
Nennleistung, pro Rührwerk	4,40 kW	SSOTE Betrieb	18,5 gO <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> m)
Leistungsaufnahme, pro Rührwerk	4,40 kW	Eintragstiefe	4,70 m
Leistungsaufnahme, gesamt	8,80 kW		

Ergebnis	
Sauerstoffeintrag, pro Stunde	471,83 kgO <sub>2</sub> /h
O <sub>2</sub> -Ertragswert, Gebläse	3,75 kgO <sub>2</sub> /kWh
O <sub>2</sub> -Ertragswert, Gebläse und Rührwerke	3,50 kgO <sub>2</sub> /kWh

Abb. 35: Berechnung des Sauerstoffertragswertes

Sie haben an dieser Stelle die Möglichkeit unabhängig von der Bemessung eine **spezifische Sauerstoffausnutzung** für den Betrieb einzugeben. Dieser wird dann zur Bestimmung des Sauerstoffertragswertes herangezogen.

Für die **spezifische Sauerstoffausnutzung** SSOTE gilt:

Bemessung: Auslegung auf den Spitzenbedarf

Betrieb: Auslegung auf durchschnittlichen Bedarf (i.d.R. eine höhere O<sub>2</sub>-Ausnutzung)

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 42 von 107
	9 Sauerstoffertragswert	Version: 3.0-02

Als Ergebnis der Berechnung erhalten Sie den **stündlichen Sauerstoffeintrag** SOTR und den **Sauerstoffertragswert** für die Gebläse und für die Kombination Gebläse / Rührwerke.

---

## 10 Investitionskosten

Die Theorie zur Berechnung der Investitionskosten finden Sie im Theorie-Kapitel unter Investitionskosten.

In der Investitionskostenberechnung werden neben der reinen Maschinenteknik auch die Kosten von Planung, Elektro- und Messtechnik und von baulichen Maßnahmen berücksichtigt. Die Positionen sind:

- Planungskosten
- Baukosten für Gebläseraum, Fundamente (Bau I)
- Baukosten für Erdarbeiten, Leitungsverlegung (Bau II)
- Maschinenteknik
- Elektrotechnik
- Messtechnik

Neben für den für die Investition erforderlichen Größen wird an dieser Stelle auch die Nutzungsdauer abgefragt. Dies geschieht, damit alle Angaben zu den Positionen an einer einzigen Stelle gemacht werden können. Die Nutzungsdauer hat keine Auswirkung auf die Investition, sondern wird zur Berechnung der Reinvestition benötigt.

### 10.1 Planungs- und Baukosten

Die **Planungskosten** werden in AQUA AERO pauschal berücksichtigt.

Für den Gebläseraum werden Länge, Breite und Höhe aus den ausgewählten Gebläsen ermittelt und vorgelegt. Sie können die Abmessungen aber auch frei wählen. Geben Sie den Richtpreis ein und die **Baukosten I** sind berechnet.

Für den Erdaushub wird ein Wert von 10 m<sup>3</sup> vorgelegt, den Sie an Ihre Situation anpassen können. Über den Richtpreis werden die **Baukosten II** berechnet.

Für **Baukosten I und II** ist eine Nutzungsdauer von 25 Jahren vorgelegt. Die Nutzungsdauer wird zur Berechnung der Reinvestitionskosten herangezogen.

---

Investition			
Sonstiges - Planung			
Kosten Planung	5.000,00 €		
Bau - Gebläseraum, Fundamente			
Länge	4,60 m	Volumen, umbauter Raum	34,50 m <sup>3</sup>
Breite	3,00 m	Baukosten	8.625,00 €
Höhe	2,50 m	Nutzungsdauer	25,0 Jahre
Richtpreis, Kosten umbauter Raum	250,00 €/m <sup>3</sup>		
Bau - Erdarbeiten, Leitungsverlegung			
Erdaushub	10,00 m <sup>3</sup>	Baukosten	1.000,00 €
Richtpreis, Kosten Aushub	100,00 €/m <sup>3</sup>	Nutzungsdauer	25,0 Jahre

Abb. 36: Invest für Planung und Bauarbeiten

## 10.2 Maschinentechnik

Im Rahmen für die Maschinentechnik werden alle während der Bemessung ausgewählten Aggregate der Maschinentechnik angezeigt. Zusätzlich sind die erforderlichen Leitungen von der Anschlussleitung bis zur Sammelleitung enthalten. Sie können das Leitungsmaterial, z.B. HDEP, V2A oder V4A wählen und verschiedene Schieber aussuchen. Für die Gebläse steht als Zusatzfunktion die Schallhaube zur Verfügung.

- Folgende Eingabe müssen gemacht werden:
- Material und Länge der verschiedenen Leitungen (Länge von Verteiler- und Fallleitung werden vorgelegt)
- Anzahl und Art des Schiebers
- Schallhaube ja/nein
- Auswahl Datensatz für die Belüftungsgitter
- Anzahl Aushebevorrichtung (vorgelegt wird die Anzahl der Becken)
- Einzelpreise für alle Positionen (teilweise werden Preise aus der Datenbank vorgelegt)
- Nutzungsdauer für alle Positionen (vorgelegt wird eine reelle Nutzungsdauer nach Anlage 1-1 der KVR-Richtlinien /10/)

Maschinentechnik				Einzelpreis €/Einheit	Nutzungsdauer Jahre
Anzahl	Fabrikat, Typ				
2	Rührwerk, Flygt 4430			1,00	20,0
2	Gebälse, GM 90 S <input type="checkbox"/> Schallhaube			1,00 0,00	20,0
2	Anschlussleitung, GM 90 S, DN 250	V2A	1,00 m	65,00	25,0
2	Schieber DN 250	Absperrklappe		250,00	12,5
1	Zuleitung, DN 350	HDPE	1,00 m	166,00	25,0
1	Schieber DN 350	Absperrklappe		350,00	12,5
1	Verteilung, DN 250	V2A	104,00 m	65,00	25,0
2	Schieber DN 250	Absperrklappe		250,00	12,5
8	Falleitung, DN 125	V4A	5,00 m	68,00	25,0
8	Schieber DN 125	Absperrklappe		125,00	12,5
8	Gitter			1,00	10,0
Kein Datensatz vorhanden!					

Abb. 37: Investition für die Maschinentechnik

**info**

Die Nutzungsdauer dient als Vorgabe zur Berechnung der Reinvestkosten. Sie geht nicht in die Investitionskosten ein.

### 10.3 Elektro- und Messtechnik

Für die Elektro- und Messtechnik geben Sie Pauschalkosten und die Nutzungsdauer ein.

Elektrotechnik		Schaltschrank	50.000,00 €	Kosten E-Technik	65.000,00 €
		Verkabelung	15.000,00 €	Nutzungsdauer	20,0 Jahre
Messtechnik		Kosten Messtechnik	10.000,00 €	Nutzungsdauer	10,0 Jahre

Abb. 38: Elektro- und Messtechnik

### 10.4 Ergebnis

Das komplette Investitionsvolumen für das Belüftungssystem mit Planung, Baumaßnahmen,

Maschinentechnik, Elektro- und Messtechnik wird am unteren Rand des Berechnungsformulars angezeigt. Bewegen Sie dazu den Scrollbalken nach unten.

Ergebnis					
Baumaßnahmen	9.625,00	€	Planung	5.000,00	€
Maschinentechnik	12.139,00	€			
Elektrotechnik	75.000,00	€	Investition, gesamt	101.764,00	€

Übernehmen

Abb. 39: Ergebnis Investitionskosten

Klicken Sie auf **Übernehmen** und gehen Sie über das Blockschema zum nächsten Formular.

## 11 Betriebskosten

Die Theorie zur Berechnung der Betriebskosten finden Sie unter

Betriebskosten.

Klicken Sie auf den Block **Betriebskosten**. Es öffnet sich ein Berechnungsformular, in dem die Betriebskosten ermittelt werden. Diese unterteilen sich in

- Energiekosten Gebläse
- Energiekosten Rührwerk
- Kosten für Betriebsmittel
- Kosten für Wartung / Instandhaltung

### Energiekosten

Geben Sie im Rahmen **Vorgaben** den Strompreis des Energieversorgers ein.

Falls ein Zonentarif besteht, klicken Sie das Kontrollkästchen **EVU Niedrigtarif (NT)** an und geben die erforderlichen Daten (Preis je kWh, Zeitraum NT, Anteil HT-Fracht) ein.

Prüfen Sie anschließend den **Faktor mittlerer Sauerstoffbedarf** für die Berechnung von Energiebedarf und –kosten der Gebläse.

Im Feld **Anzahl, in der belüfteten Phase** können Sie die Rührwerke eingeben, die 24 h/d, also in der unbelüfteten und in der belüfteten Phase laufen. Diese werden dann mit einer Betriebszeit von 24 h/Tag, die anderen nur mit der nicht belüfteten Zeit gewertet.

Die Energiekosten für die Gebläse und Rührwerke werden automatisch berechnet.

Betriebskosten - alle Becken			
Vorgaben			
EVU Hochtarif (HT)	0,12	€/kWh	Belüftungszeit der Gebläse, pro Tag
<input checked="" type="checkbox"/> EVU Niedrigtarif (NT)	0,08	€/kWh	Anzahl Becken
Zeitraum Niedrigtarif, pro Tag	9,0	h	Anteil Fracht im HT-Zeitraum
			70 %
Energiekosten Gebläse in Abhängigkeit des Sauerstofftragswertes			
Faktor mittlerer Sauerstoffbedarf	0,86		Energiekosten HT, pro Tag
mittlerer Sauerstoffbedarf im Betrieb	309,60	kgO <sub>2</sub> /h	Energiekosten NT, pro Tag
Sauerstofftragswert, Gebläse	3,75	kgO <sub>2</sub> /kWh	Energiekosten gesamt, pro Tag
			107,14 €
Energiekosten Rührwerk			
Anzahl	2		Energiekosten HT, pro Tag
Leistungsaufnahme, pro Rührwerk	4,40	kW	Energiekosten NT, pro Tag
Anzahl, in der belüfteten Phase	1		Energiekosten gesamt, pro Tag
			16,63 €

Abb. 40: Berechnung der Energiekosten

## Sonstige Betriebskosten

Wollen Sie weitere Betriebskosten, wie z.B. Betriebsmittel, Hilfsstoffe, Wartung und Instandhaltung eingeben, aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Sonstiges**.

<input checked="" type="checkbox"/> Sonstiges					
Betriebsmittel und Hilfsstoffe, pro Jahr	<input type="text" value="500,00"/>	€	Investition Aggregate	<input type="text" value="4,00"/>	€
Wartung/Instandhaltung, pro Jahr	<input type="text" value="5,00"/>	%	Wartung/Instandhaltung, pro Jahr	<input type="text" value="0,20"/>	€
prozentualer Anteil der Investitionskosten					
Ergebnis					
Energiekosten Gebläse, pro Jahr	<input type="text" value="39.132,49"/>	€	Energiekosten, pro Jahr	<input type="text" value="45.207,32"/>	€
Energiekosten Rührwerke, pro Jahr	<input type="text" value="6.074,84"/>	€	Sonstige Kosten, pro Jahr	<input type="text" value="500,20"/>	€
Energieverbrauch, pro Jahr	<input type="text" value="420.193,43"/>	kWh	Betriebskosten, pro Jahr	<input type="text" value="45.707,52"/>	€
					<input type="button" value="Übernehmen"/>

Abb. 41: Sonstige Betriebskosten und Ergebnis

Für die **Betriebsmittel und Hilfsstoffe** geben Sie pauschal die Jahreskosten ein.

Für **Wartung und Instandhaltung** können Sie einen Prozentsatz der Investitionskosten für die Aggregate (Gebläse und Rührwerke) eingeben. Die jährlichen Kosten werden berechnet.

## Gesamte Betriebskosten

Als Ergebnis erhalten Sie eine Aufstellung der Betriebskosten mit den einzelnen Positionen.



## 12 Projektkostenbarwert

Die theoretischen Grundlage zur finanzmathematischen Umrechnung auf die Barwerte, finden Sie unter Projektkostenbarwert.

Über den Projektkostenbarwert können zwei Belüftungssysteme mit unterschiedlichen Investitions- und Betriebskosten verglichen werden. Dazu werden die anfallenden Kosten auf den Bezugszeitpunkt (Zeitpunkt 0) umgerechnet.

The screenshot shows the 'AQUA AERO - Projekt Belüftung' window. On the left is a flowchart starting with 'AQUA AERO', leading to 'Grunddaten Startwerte', 'Sauerstoffbedarf', and then branching into 'Druckbelüftung' and 'Oberflächenbelüftung'. Below these are 'Rührwerk', 'Belüfter', 'Rohrleitung', 'Sauerstoffertragswert', 'Investitionskosten', and 'Betriebskosten', all leading to 'Projektkostenbarwert'.

On the right, the 'Projektkostenbarwert' section has input fields:
 

- Beobachtungszeitraum: 25.0 Jahre
- Zinssatz real: 3.00 % p.a.
- Preissteigerung (ohne Energie): 2.00 % p.a.
- Preissteigerung Energie: 2.50 % p.a.

The 'Reinvestition' table is as follows:

Nutzungsdauer	Bezeichnung	Investition	Nominale Reinvestition
	Planung	5.000,00 €	0,00 €
25,00 Jahre	Bau - Gebläseraum, Fundamente	8.625,00 €	0,00 €
25,00 Jahre	Bau - Erdarbeiten, Leitungsverlegung	1.000,00 €	0,00 €
7,00 Jahre	Maschinenteknik 1	0,00 €	0,00 €
10,00 Jahre	Maschinenteknik 2	9,00 €	18,00 €
12,50 Jahre	Maschinenteknik 3	2.350,00 €	2.350,00 €
20,00 Jahre	Maschinenteknik 4	4,00 €	4,00 €
25,00 Jahre	Maschinenteknik 5	9.776,00 €	0,00 €

At the bottom, a summary table shows:

	Nominale Kosten	Barwert
Investitionskosten	101.764,00 €	101.764,00 €
Reinvestitionskosten	87.372,00 €	50.604,58 €
Betriebskosten	45.707,52 €/a	1.072.597,70 €
<b>Projektkostenbarwert</b>		<b>1.224.966,27 €</b>

An 'Übernehmen' button is located at the bottom right.

Abb. 42: Projektkostenbarwert

Geben Sie als erstes den **Beobachtungszeitraum** für Ihr Projekt ein, i.d.R. sind das bei einem Belüftungssystem 25 Jahre. Alle Investitionen, deren Nutzungsdauer kleiner als der Beobachtungszeitraum ist, müssen ein- oder mehrmals neu angeschafft werden.

Geben Sie anschließend den **Zinssatz** ein, mit dem die Investitionen auf den Bezugszeitpunkt angezinst werden. Empfohlen wird ein Zinssatz von 3,00 % p.a. /10/.

Wählen Sie nun noch die **Preissteigerungsrate** für Energie und die allgemeine Preissteigerungsrate. Die Preissteigerungsrate wird nur für die **Betriebskosten** und deren Barwerte berücksichtigt. Sie gilt nicht für die Investitionen, da man hier nicht von einer allgemeinen Preissteigerung ausgehen kann. Sind Zinssatz und Preissteigerungsrate gleich, heben sie sich auf.

Projektkostenbarwert

Beobachtungszeitraum:  Jahre

Zinssatz real:  % p.a.

Preissteigerung (ohne Energie):  % p.a.

Preissteigerung Energie:  % p.a.

Abb. 43: Eingabe von Zeitraum, Zinssatz und Preissteigerung

Im Rahmen werden die Investitionen angezeigt. Dabei werden alle Anschaffungen der Maschinenteknik nach deren Nutzungsdauer in einem Paket Maschinenteknik 1, Maschinenteknik 2 usw. zusammengefasst.

Nutzungsdauer	Bezeichnung	Investition	Nominale Reinvestition
	Planung	5.000,00 €	0,00 €
25,00 Jahre	Bau - Gebläseraum, Fundamente	8.625,00 €	0,00 €
25,00 Jahre	Bau - Erdarbeiten, Leitungsverlegung	1.000,00 €	0,00 €
 7,00 Jahre	Maschinenteknik 1	0,00 €	0,00 €
 10,00 Jahre	Maschinenteknik 2	9,00 €	18,00 €
 12,50 Jahre	Maschinenteknik 3	2.350,00 €	2.350,00 €
 20,00 Jahre	Maschinenteknik 4	4,00 €	4,00 €
 25,00 Jahre	Maschinenteknik 5	9.776,00 €	0,00 €

Abb. 44: Investition und nominale Reinvestition

Wenn Sie auf eine Schaltfläche links neben der Maschinenteknik klicken, werden die Pakete aufgeklappt und Sie sehen, welche Maschinen, Leitungen, Schieber, etc. sich dahinter verbergen.




Nutzungsdauer	Bezeichnung
25,00 Jahre	Bau - Erdarbeiten, Leitungsverlegung
 7,00 Jahre	Maschinenteknik 1
	Belüfter Passavant-Intech Bioflex IV 40/45 750mm EP
 10,00 Jahre	Maschinenteknik 2
	Gitter
	Aushebevorrichtung
 12,50 Jahre	Maschinenteknik 3
	Schieber DN250

Abb. 45: Reinvestition "aufgeklappt"

Im unteren Teil des Formulars erhalten Sie das Ergebnis der Kostenberechnung dargestellt:

- **Nominale Kosten** für Investition, Reinvestition und Betrieb
- **Barwerte** für Investition, Reinvestition und Betrieb (abgezinst auf den Bezugszeitpunkt, inklusive Preissteigerungsrate für Betriebskosten)
- **Projektkostenbarwert** als Summe der Barwerte

	Nominale Kosten	Barwert
Investitionskosten	101.764,00 €	101.764,00 €
Reinvestitionskosten	87.372,00 €	50.604,58 €
Betriebskosten	45.707,52 €/a	1.072.597,70 €
<b>Projektkostenbarwert</b>		<b>1.224.966,27 €</b>

[Übernehmen](#)

Abb. 46: Übersicht Nominale Kosten und Barwerte

Sie haben jetzt die komplette Berechnung, von der Auslegung der Belüftereinrichtung über die Ermittlung von Sauerstoffertragswert, Investition- und Betriebskosten bis hin zum Projektkostenbarwert durchlaufen.

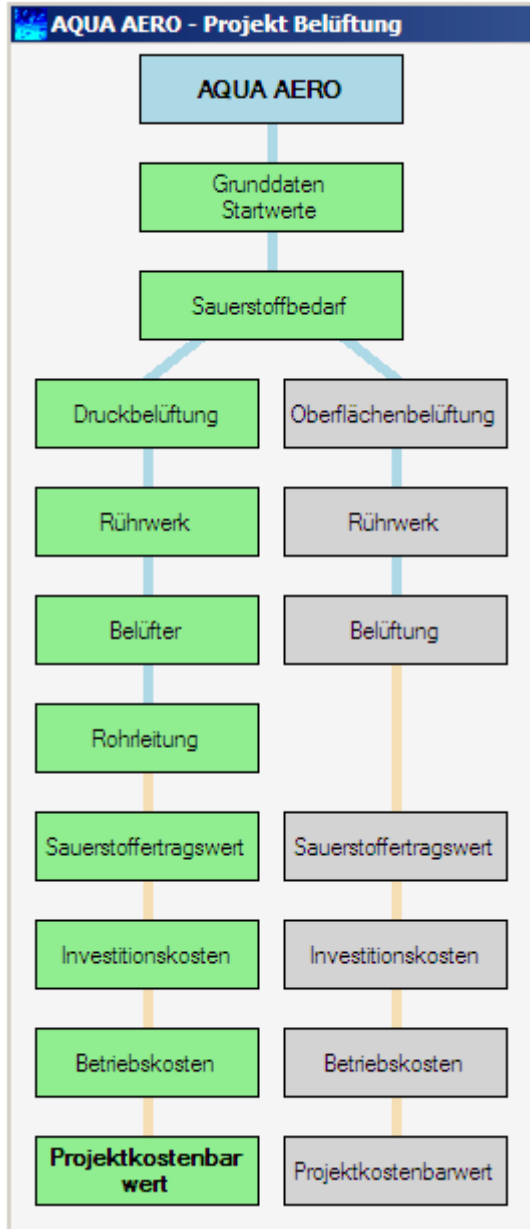


Abb. 47: Vollständiges Projekt

## 13 Berichte

Für jede Berechnungsstufe wird ein ausführlicher Bericht erstellt, der den Berechnungsweg mit Zwischenergebnissen und Formeln widerspiegelt.

Folgende Berichte stehen zur Verfügung:

- Bemessung
- Rohrleitung
- Sauerstofftragswert
- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Projektkostenbarwert
- Gesamtbericht

Alle Berichte, können erst generiert werden, wenn die jeweilige Berechnung abgeschlossen ist, d.h. Sie haben die Daten mit **Übernehmen** bestätigt und das Feld im **Blockschema** ist grün markiert.

Nur für den Bericht **Bemessung** gibt es eine Ausnahme: Der Bericht wird soweit generiert, wie Sie mit Ihrer Berechnung sind. Wenn also beispielsweise nur die erforderliche Sauerstoffzufuhr von Interesse ist, müssen Sie nicht erst die Belüftung und die Rührwerke auslegen, um einen Ausdruck zu erhalten.

Haben Sie ein Projekt von der Bemessung bis zum Projektkostenbarwert vollständig durchgerechnet, steht Ihnen ein **Gesamtbericht** zur Verfügung.

Zum Erstellen eines Berichtes gehen Sie auf **Menü > Berichte** und wählen Ihren Detailbericht oder den Gesamtbericht aus.

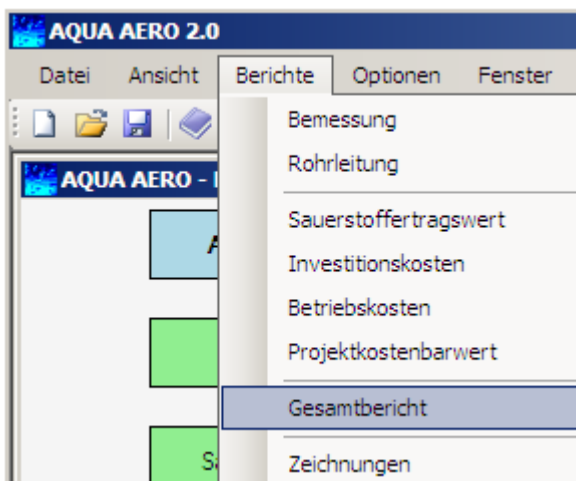


Abb. 48: Berichte

MS Word wird geöffnet und ein ausführlicher Bericht erzeugt. Im Deckblatt sind Ihre Angaben aus den Grunddaten übernommen. Für den Bericht stehen Ihnen jetzt alle Funktionen von Word zur Verfügung.

---

**Spitzen-Sauerstoffverbrauch**

Temperatur>Lastfälle	T	°C	10,00	12,00	20,00
Sicherheitsfaktor für Nitrifikation	SF	-	1,80	1,80	1,80
TS-Gehalt im Belüftungsschleim	TS <sub>SB</sub>	kg/m <sup>3</sup>	5,00	5,00	5,00
BSB <sub>5</sub> -Schlammbelastung	BTS	kg/(kg·d)	0,05	0,05	0,05
Erforderliches aerobes Schlammalter	ITS <sub>aerob</sub>	d	8,33	6,64	3,12
Tempfaktor für endogene Veratmung	FT	-	0,71	0,81	1,42
Tägliche Schlammproduktion	US <sub>d</sub>	kgTS/d	1.249,5	1.228,9	1.180,6
Gesamt-Schlammalter	ITS	d	16,05	16,32	17,28
Spez. O <sub>2</sub> -Verbrauch für C-Elimination	O <sub>2</sub> /C <sub>5B</sub>	kgO <sub>2</sub> /kgB <sub>5B</sub>	1,14	1,17	1,27
O <sub>2</sub> -Verbrauch für C-Elimination	O <sub>2</sub> /C	kgO <sub>2</sub>	1.140,93	1.171,03	1.271,31
Denitrifizierendes Nitrat	SN <sub>03,denitr</sub>	mg/l	28,87	30,00	32,40
Zu denitrifizierendes Nitrat	NO <sub>3,D</sub>	mg/l	34,00	34,00	34,00
Nitrat-Ablauf/Nachklärung	SN <sub>03,AN</sub>	mg/l	5,13	4,00	1,60
O <sub>2</sub> -Gewinn durch Denitrifikation	O <sub>2</sub> /D	kgO <sub>2</sub>	418,87	436,00	469,80
O <sub>2</sub> -Verbrauch für Nitrifikation	O <sub>2</sub> /N	kgO <sub>2</sub>	731,00	731,00	731,00
Denitrifikationsverhältnis, maximal	VD/VB <sub>max</sub>	-	0,48	0,50	0,50
Denitrifikationsverhältnis, gewählt	VD/VB	-	0,48	0,50	0,50
Belüftungzeit	TL	h	12,48	12,00	12,00
Stoßfaktor für Kohlenstoffarmung	YC	-	1,14	1,14	1,14
Stoßfaktor für Ammoniumoxidation	YN	-	1,95	1,93	1,89
O <sub>2</sub> -Verbrauch, max N	O <sub>2</sub> /D (1,N)	kgO <sub>2</sub>	172,35	179,15	181,68
O <sub>2</sub> -Verbrauch, max C	O <sub>2</sub> /D (C,1)	kgO <sub>2</sub>	126,12	131,05	136,97
O <sub>2</sub> -Verbrauch, mittel	O <sub>2</sub> /D (1,1)	kgO <sub>2</sub>	116,72	122,25	127,71
O <sub>2</sub> -Verbrauch, max N (ohne Dent)	O <sub>2</sub> /N (1,N)	kgO <sub>2</sub>	108,88		
O <sub>2</sub> -Verbrauch, max C (ohne Dent)	O <sub>2</sub> /N (C,1)	kgO <sub>2</sub>	84,88		

**Erforderliche Sauerstoffzufuhr**

Belüftungssystem:	Druckluftbelüftung				
Temperatur>Lastfälle	T	°C	10,00	12,00	20,00
O <sub>2</sub> -Sättigungskonzentration (T)	C <sub>S,T</sub>	mg/l	11,29	10,78	9,10
O <sub>2</sub> -Sättigungskonzentration (20°C)	C <sub>S,20</sub>	mg/l	9,10	9,10	9,10
O <sub>2</sub> -Konzentration Belüftungsschleim	C <sub>X</sub>	mg/l	2,00	2,00	2,00
Tempkorrektur Belüftungskoeffizient	θ <sub>(T-20)</sub>	-	0,79	0,83	1,00
Faktor für Wasserüberdruck	fd	-	1,23	1,23	1,23
Korrekturfaktor (T,d)	-	-	1,19	1,20	1,22
Std. O <sub>2</sub> -Zufuhr, max N	oOC <sub>D</sub> (1,N)	kgO <sub>2</sub> /h	205,71	216,27	221,35
Std. O <sub>2</sub> -Zufuhr, max C	oOC <sub>D</sub> (C,1)	kgO <sub>2</sub> /h	149,34	157,47	166,87
Std. O <sub>2</sub> -Zufuhr, mittel	oOC <sub>D</sub> (1,1)	kgO <sub>2</sub> /h	139,32	146,90	155,59
Std. O <sub>2</sub> -Zufuhr, max N (ohne Dent)	oOC <sub>N</sub> (1,N)	kgO <sub>2</sub> /h	127,84		
Std. O <sub>2</sub> -Zufuhr, max C (ohne Dent)	oOC <sub>N</sub> (C,1)	kgO <sub>2</sub> /h	101,31		

Ungünstigster Lastfall: Denitrifikation  
 Temperatur: TL<sub>Lastfall</sub> = 20,00 °C  
**Erforderliche Sauerstoffzufuhr: erf.oOC = 221,35 kgO<sub>2</sub>/h**

**Gebläse**

**Auslegung Gebläse**

**Erforderliche Norm-Luftmenge (p<sub>0</sub>, T<sub>0</sub>)**  
 Erf. O<sub>2</sub>-Zufuhr erf.oOC = 221,35 kgO<sub>2</sub>/h  
 Sauerstoffzufuhrfaktor φ = 0,66  
 Erf. O<sub>2</sub>-Zufuhr, Nachweis in Reinwasser OC = SOTR = 340,64 kgO<sub>2</sub>/h  
 Spez. O<sub>2</sub>-Ausnutzung SSOTE = 18,5 gO<sub>2</sub>/(m<sup>3</sup>·m)  
 Erf. Norm-Luftmenge, stündlich erf.QL<sub>h,0</sub> = 3.916,45 Nm<sup>3</sup>/h

Gebläselaufzeit TL = 12,0 h  
 Erf. Norm-Luftmenge, täglich erf.QL<sub>d,0</sub> = 46.597,42 Nm<sup>3</sup>/d

**Erforderliche Luftmenge (p,T) unter Betriebsbedingungen**

Ansaugtemperatur T<sub>Ansaug</sub> = 20,0 °C  
 Höhe über NN h<sub>atm</sub> = 500 m  
 Atm. Druck p<sub>atm</sub> = 955 mbar  
 Erf. Luftmenge, stündlich erf.QL<sub>h</sub> = 4.461,37 m<sup>3</sup>/h  
 Erf. Luftmenge, täglich erf.QL<sub>d</sub> = 53.536,48 m<sup>3</sup>/d

**Erforderlicher Gebläse-Gegendruck**

Eintragtiefe h<sub>D</sub> = 4,70 m  
 Rohrleitungswiderstand p<sub>Rohr</sub> = 150 mbar  
 Belüftungswiderstand p<sub>Belüf</sub> = 53 mbar  
 Gebläsegegendruck, erf. erf.p = 673 mbar

**Gebläsestufungen**

025 % - Minimaler Wert QL<sub>h</sub> = 1.115,34 m<sup>3</sup>/h  
 050 % - Mittlerer Wert QL<sub>h</sub> = 2.230,69 m<sup>3</sup>/h  
 100 % - Maximaler Wert QL<sub>h</sub> = 4.461,37 m<sup>3</sup>/h

**Auswahl Gebläse**

Nr	St.	Gebläse	Typ	QL	Gesamt	PN	PK	P
				m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	kW	kW	mbar
1	2	Drehkolbengebläse	GM 35 S	2.272,88	4.545,72	76,00	86,81	873
2	Erstaz	1 Drehkolbengebläse	GM 80 L	4.602,54	4.602,54	132,00	110,68	873

**Rührwerk**

Art: Horizontal  
 Fabrikat / Typ: Flygt 4430  
 Erforderliche Leistungsdichte L<sub>Def</sub> = 2,50 W/m<sup>2</sup>  
 Anzahl Rührwerke, je Becken n<sub>RW</sub> = 2 -  
 Leistungsdichte, gewählt LD = 3,98 W/m<sup>2</sup>  
 Durchmesser Rührwerk DRW = 1.400 mm  
 Nennleistung PN = 4,00 kW

Abb. 49: Bericht Bemessung mit detaillierter Darstellung der Lastfälle

## 14 Zeichnungen

Sie können sich von der Konstruktion der Belüftereinrichtung eine CAD-Zeichnung erstellen lassen. Gehen Sie dazu in das Blockschema **Belüfter**. Klicken Sie auf die Zeichnung und die CAD-Zeichnung wird geöffnet. Es stehen Ihnen jetzt alle Funktionen von proWorks Flipper CAD zur Verfügung.

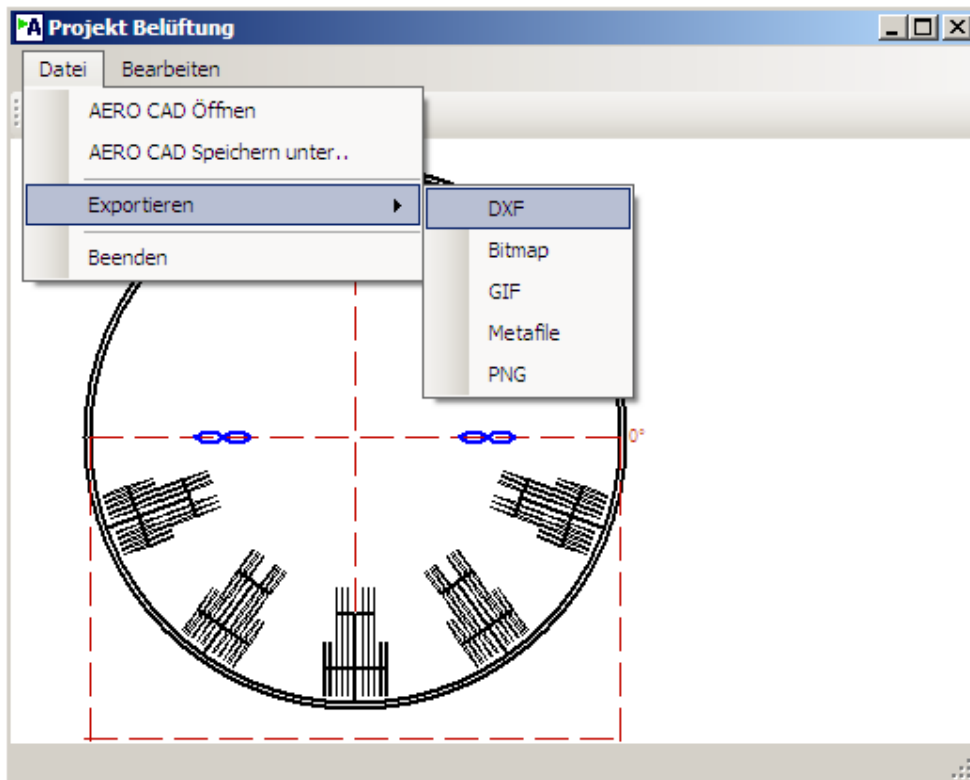


Abb. 50: CAD-Zeichnung

Sie können die Datei zur späteren Ansicht und Bearbeitung in AQUA AERO ablegen. Wählen Sie dazu **Datei > AERO CAD Speichern unter**. Gespeicherte AERO-CAD-Zeichnungen öffnen Sie, indem Sie über die Menüleiste **Dokumentation > Zeichnungen** das Zeichnungsmodul aufrufen und die Datei öffnen.

Möchten Sie die Datei jedoch in einem anderen Format speichern, gehen Sie über **Datei > Exportieren** und wählen Sie das gewünschte Format aus.

Zur Auswahl stehen:

- DXF
- Bitmap
- GIF
- Metafile
- PNG

Den CAD-Modus verlassen Sie mit **Datei > Beenden**.

## 15 Allgemeine Konstanten

In AQUA AERO haben Sie die Möglichkeit Allgemeine Konstanten als Grundlage für die Berechnung fest zu legen.

Gehen Sie dazu in der Menüleiste auf **Optionen > Allgemeine Konstanten**. Es öffnet sich eine Eingabemaske.

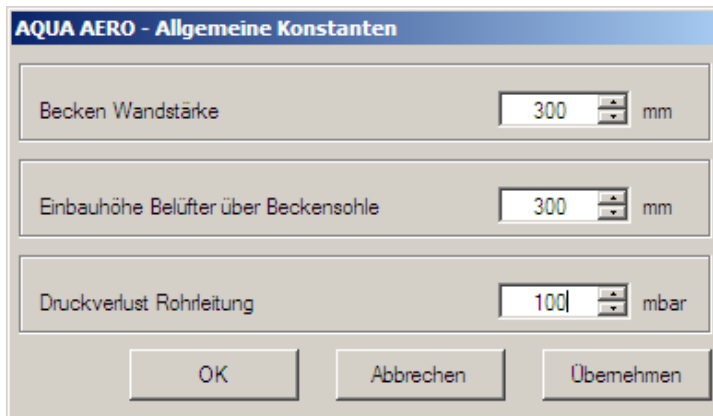


Abb. 51: Eingabemaske für die Allgemeinen Konstanten

Folgende Konstanten können festgelegt werden:

- Wandstärke der Becken
- Einbauhöhe der Belüfter
- Druckverlust der Rohrleitungen

Die **Wandstärke Becken** geht in keine Berechnung ein. Sie wird für die maßstabsgerechte Zeichnung benötigt.

Die **Einbauhöhe Belüfter über Beckensohle** wird zur Berechnung der Einblastiefe benötigt. Diese wiederum beeinflusst den erforderlichen Gebläsegegendruck und die erforderliche Luftmenge.

Der **Druckverlust Rohrleitung** geht in die Ermittlung des erforderlichen Gebläsegegendrucks ein.



Wenn Sie eine Allgemeine Konstante mitten in der Berechnung ändern, hat das Auswirkung auf den ganzen Berechnungsverlauf. Deshalb springt AQUA AERO für alle laufenden Projekte immer automatisch auf den Block **Grunddaten** zurück. Ihre Eingabewerte bleiben erhalten, aber alle Aggregate müssen neu ausgewählt werden.

Passen Sie die Werte Ihrem Bedarf an und drücken Sie anschließend **OK**.

Da sich mit der Änderung der Konstanten die Auslegung ändert, erscheint eine Sicherheitsabfrage. Alle Projekte werden mit Änderung einer Konstante auf die **Grunddaten** zurückgesetzt.



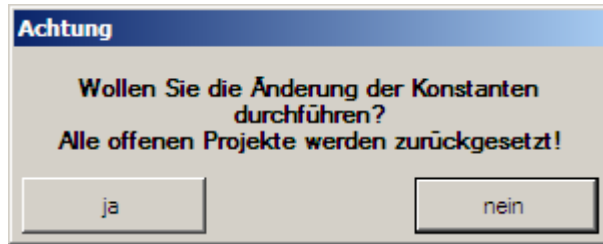


Abb. 52: Sicherheitsabfrage

Bestätigen Sie mit **Ja** und speichern Sie die Eingabe mit **OK**. Beginnen Sie anschließend die Auslegung wieder bei den **Grunddaten**.

---

## 16 Datenbank

In AQUA AERO sind alle Ausrüstungskomponenten mit Bezeichnungen, Kennwerten und Preisen in einer Datenbank gespeichert.

Die Datenbank wird mit den gängigen Fabrikaten ausgeliefert, kann und sollte – v.a. hinsichtlich der Preise - vom Anwender angepasst und ergänzt werden. Bei einem späteren Update bleiben die eingegebenen Daten natürlich erhalten.

Für jede Komponente ist eine eigene Tabelle eingerichtet, die Sie über die Menüleiste **Optionen > Datenbank** erreichen.

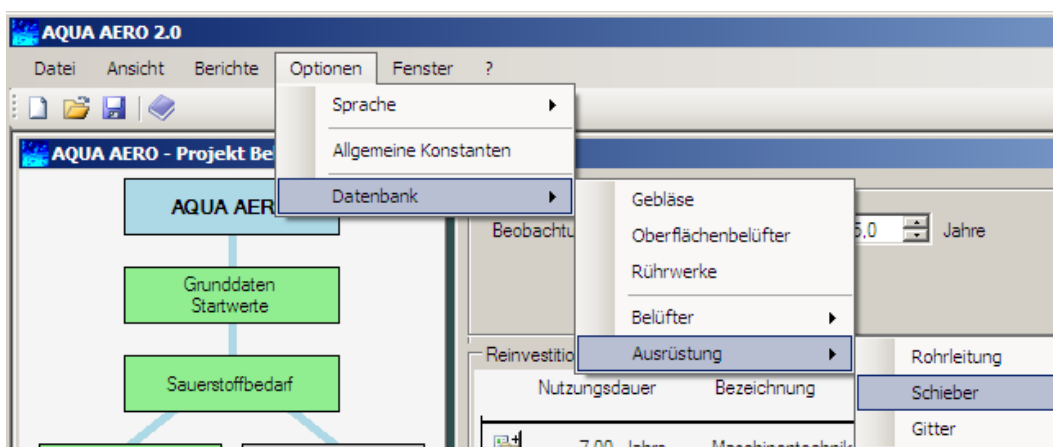



Abb. 53: Optionen > Datenbank

Die gewählte Tabelle aus der Datenbank wird geöffnet.

Mit den Icons am oberen Rand können Sie Aggregate hinzufügen, bearbeiten oder löschen.

Index	Art	Fabrikat	Typ	Gegendruck [mbar]	Luftfördermenge [m³/h]	Nennleistung [kW]	Kupplung
1079	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	5.705,0	200,00	159,00
1070	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	750	5.752,0	160,00	132,00
1082	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	7.103,0	250,00	207,00
1072	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	750	6.679,0	200,00	160,00
1073	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	750	7.150,0	200,00	176,00
1074	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	2.894,0	110,00	83,00
1075	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	3.393,0	132,00	95,00
1076	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	3.838,0	132,00	106,00
1078	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	4.992,0	160,00	138,00
1080	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	5.824,0	200,00	163,00
1081	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	1.000	6.632,0	250,00	190,00
1069	Schraubenverdichter	Aerzener	VML 95	750	5.040,0	132,00	113,00
1046	Drehkolbengebläse	Kaeser	FB 620 C	560	3.413,0	0,00	0,00
1044	Drehkolbengebläse	Kaeser	FB 620 C	570	3.413,0	75,00	68,50
1043	Drehkolbengebläse	Kaeser	FB 620 C	565	3.413,0	75,00	68,50
1045	Drehkolbengebläse	Kaeser	FB 790 C	800	3.263,0	110,00	90,50

Abb. 54: Tabelle Gebläse

Zum **Einfügen** neuer Daten klicken Sie auf das Icon , ganz rechts in der Iconleiste. Es öffnet sich ein Dialog, in den Sie z.B. die Kenndaten eines neuen Gebläses eingeben. Mit **OK** speichern Sie die Daten und kehren zur Tabelle zurück.

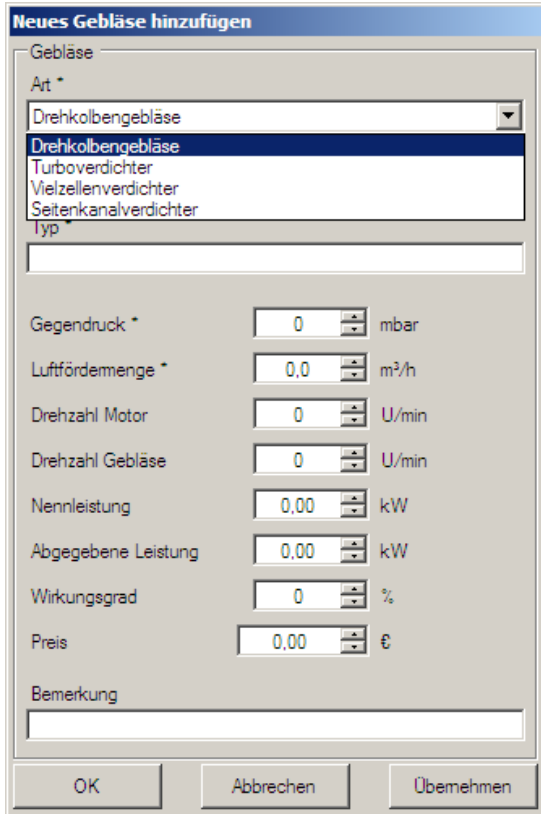




Abb. 55: Datensatz Gebläse hinzufügen

Zum **Ändern** markieren Sie zuerst den Datensatz und klicken auf das Symbol  in der Mitte der Iconleiste. Es öffnet sich ein Dialog, in dem Sie die Daten ändern und speichern können.

Zum **Löschen** markieren Sie zuerst die Datensätze und klicken auf das Symbol . Es erscheint eine Sicherheitsabfrage, die Sie mit **Ja** beantworten.

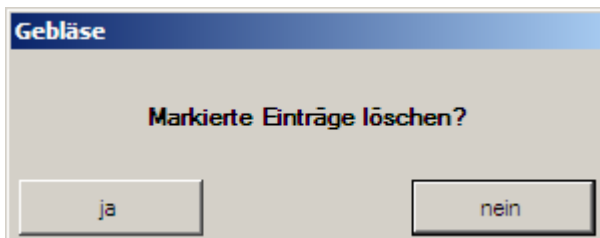


Abb. 56: Sicherheitsabfrage vor dem Löschen eines Datensatzes

Die Datenbank verlassen Sie mit **Schließen**.

## 17 Theorie

### 17.1 Einführung

In den nachfolgenden Kapiteln finden Sie die theoretischen Grundlagen zum AQUA AERO. Dazu gehört erstens die Herleitung der technischen Belüfterauslegung mit der Ermittlung von Sauerstoffbedarf und Sauerstoffzufuhrvermögen, die Umrechnung von Reinwasser auf Schmutzwasser sowie weitere Anpassungen an die Betriebsbedingungen vor Ort.

Zweitens wird als wichtige Kenngröße – die quasi den Übergang zwischen der reinen technischen Auslegung eines Belüftungssystems und deren Wirtschaftlichkeit bildet – der Berechnungsweg für den Sauerstoffertragswert beschrieben.

Der dritte Teil enthält die Wirtschaftlichkeitsberechnung, angefangen bei den Investitions- und Reinvestitionskosten über die Betriebskosten bis hin zum Projektkostenbarwert.

### 17.2 Grunddaten

Die entscheidenden Parameter für die Auslegung der Belüftungstechnik sind die Belastung, die Beckengeometrie und die ausgewählten Reinigungsverfahren.

#### 17.2.1 Geometrie

Als Belebungsbecken stehen vier Standard-Beckenform und eine Sonderform zur Verfügung. Das jeweilige Beckenvolumen ergibt sich aus der Geometrie:

Rundbecken	$V_{AT} = n_{AT} * h_W * \frac{\pi}{4} * D_{AT}^2 \quad [m^3]$
Ringbecken	$V_{AT} = n_{AT} * h_W * \frac{\pi}{4} * (D_{AT}^2 - D_{AT,i}^2) \quad [m^3]$
Rechteckbecken	$V_{AT} = n_{AT} * h_W * L_{AT,1} * L_{AT,2} \quad [m^3]$
Umlaufbecken	$V_{AT} = n_{AT} * h_W * \left( L_{AT} * D_{AT} + \frac{\pi}{4} * D_{AT}^2 \right) \quad [m^3]$
Sonstige Beckenform	$V_{AT} \text{ eingeben}$

International:		Deutsch:	
$D_{AT}$	Outer free diameter of the activated chamber	$D_{BB}$	Äußerer lichter Durchmesser des Belebungsbeckens m
$D_{AT,i}$	Inner Diameter of a ring chamber	$D_{BB,i}$	Innendurchmesser beim Ringbecken m
$h_W$	Water level	$h_W$	Höhe des Wasserspiegels m
$L_{AT}$	Length of the aeration tank	$L_{BB}$	Länge Belebungsbecken m
$n_{AT}$	Number of tanks	$n_{BB}$	Beckenanzahl -
$V_{AT}$	Volume of the aeration tank	$V_{BB}$	Volumen des Belebungsbeckens $m^3$

## 17.2.2 Reinigungsverfahren

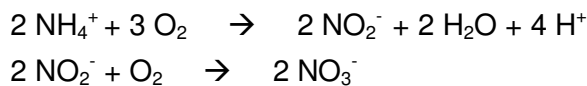
### Übersicht

Als Reinigungsverfahren stehen insgesamt vier Varianten für die Stickstoff-Elimination und weitere drei für die Phosphat-Elimination zur Verfügung. Die Reinigungsverfahren werden im Folgenden kurz beschrieben.

### Stickstoff-Elimination

#### Nur Nitrifikation

Nach der Umwandlung des organisch gebundenen Stickstoffs in Ammonium, wird das Ammonium in zwei Schritten über Nitrit zu Nitrat oxidiert. Dazu benötigen die Nitrifikanten Sauerstoff.



Dieser Prozess der Nitrifikation kann nur ablaufen, wenn die Verweilzeit der dafür zuständigen Bakterien ausreicht, wenn also das aerobe Schlammalter eingehalten wird.

Wird in AQUA AERO die Option **Nitrifikation** als Reinigungsverfahren gewählt, findet keine Denitrifikation statt.

Die Belüftungszeit für die Auslegung ist:

$$tL = 24h$$

#### Nitrifikation / Denitrifikation

Bei der Denitrifikation wird das gelöste Nitrat (und Nitrit) unter Ausschluss von Sauerstoff zu elementarem Stickstoff reduziert. Bei diesem Prozess wird Sauerstoff frei. Stickstoff liegt anschließend nicht mehr als Nährstoff im Abwasser vor, sondern entweicht als Gas.

Die Grundgleichung der Denitrifikation lautet:



Wird in AQUA AERO eine Variante **mit Denitrifikation** als Reinigungsverfahren gewählt, bedeutet das:

- Es findet vorher immer Nitrifikation statt. Das aerobe Schlammalter muss eingehalten werden.
  - Die Belüftungszeit wird bei der Intermittierenden Denitrifikation errechnet, bei allen anderen Verfahren wird sie auf 24 h gesetzt.
-

Für das maximale Denitrifikationsverhältnis gilt unabhängig vom gewählten Denitrifikationsverfahren folgende Beziehung:

$$\frac{V_D}{V_{AT}} \max = 1 - \frac{t_{SS,aerob}}{t_{SS}}$$

International:

t<sub>SS</sub> Sludge age, cell residence time

t<sub>SS,aerob</sub> Aerobic sludge age

V<sub>AT</sub> Volume of the aeration tank

V<sub>D</sub> Volume of the biological reactor  
used for denitrification

Deutsch:

t<sub>TS</sub> Schlammalter

t<sub>TS,aerob</sub> Aerobes Schlammalter

V<sub>BB</sub> Volumen des Belebungsbeckens

V<sub>D</sub> Für Denitrifikation genutztes  
Volumen des Belebungsbeckens

d

d

m<sup>3</sup>

m<sup>3</sup>

### Vorgeschaltete Denitrifikation

Bei der vorgeschalteten Denitrifikation finden Denitrifikation und Nitrifikation räumlich getrennt statt. Die Trennung wird erreicht, indem ein Teil, das s.g. Denitrifikationsvolumen, nicht belüftet wird, während der andere Teil des Belebungsbeckens 24 h lang belüftet wird.

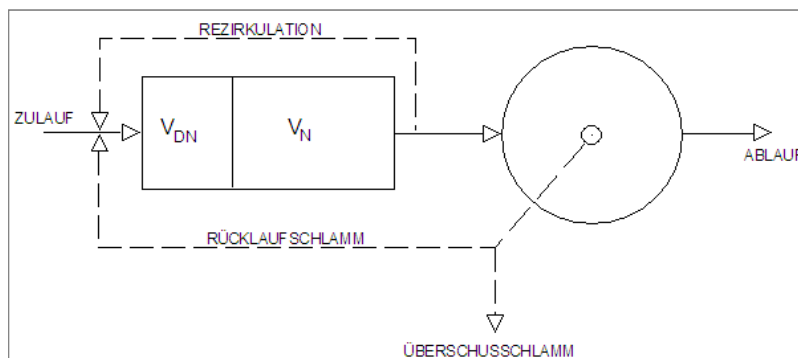


Abb. 57: Fließbild der vorgeschalteten Denitrifikation

Die Belüftungszeit ist:

$$tL = 24h$$

### Simultane Denitrifikation

Bei der simultanen Denitrifikation werden die Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation durch den Umlauf durch belüftete und unbelüftete Zonen erreicht, z.B. im Umlaufbecken.

Die Belüftungszeit beträgt:

$$tL = 24h$$

Das Verfahren ist nur schwer zu regeln, das tatsächliche Denitrifikationsvolumen kaum zu bestimmen. Das Verfahren passt zu den Beckenformen Umlaufbecken und Ringbecken.

### Intermittierende Denitrifikation

Bei der intermittierenden Denitrifikation wird die Oxidation des Ammoniums zu Nitrat und die Reduktion des Nitrats zu N<sub>2</sub> durch den Wechsel von belüfteten und unbelüfteten Zeiten erreicht.

Die Belüftungszeit ergibt sich dann aus dem gewählten Denitrifikationsverhältnis:

$$tL = \left(1 - \frac{V_D}{V_{AT}}\right) * 24h \quad [h]$$

Da die Sauerstoffzufuhr nicht über 24 h, sondern nur in der Belüftungszeit erfolgt, muss die Belüftung bei intermittierender Denitrifikation größer ausgelegt werden als bei vorgeschalteter und simultaner Denitrifikation.

Vorteile der intermittierenden Denitrifikation sind die gute Regelbarkeit und die theoretisch erreichbaren hohen Denitrifikationsraten durch hohe interne Rezirkulationsraten.

### Kombinierte Denitrifikation

Bei kombinierter Denitrifikation wird intermittierende und vorgeschaltete Denitrifikation kombiniert. Der Anteil der vorgeschalteten Denitrifikation muss dabei mindestens 0,15 betragen. Der Denitrifikationsprozess kann dann in seiner Gesamtheit wie vorgeschaltete Denitrifikation betrachtet werden. Trägt man die Denitrifikationskapazität für intermittierend und vorgeschaltet übereinander auf, erkennt man, dass die Denitrifikationskapazität der intermittierenden Denitrifikation etwa im gleichen Maße abnimmt, wie diejenige der vorgeschalteten zunimmt, wenn man die Verhältnisse im zulässigen Bereich verändert.

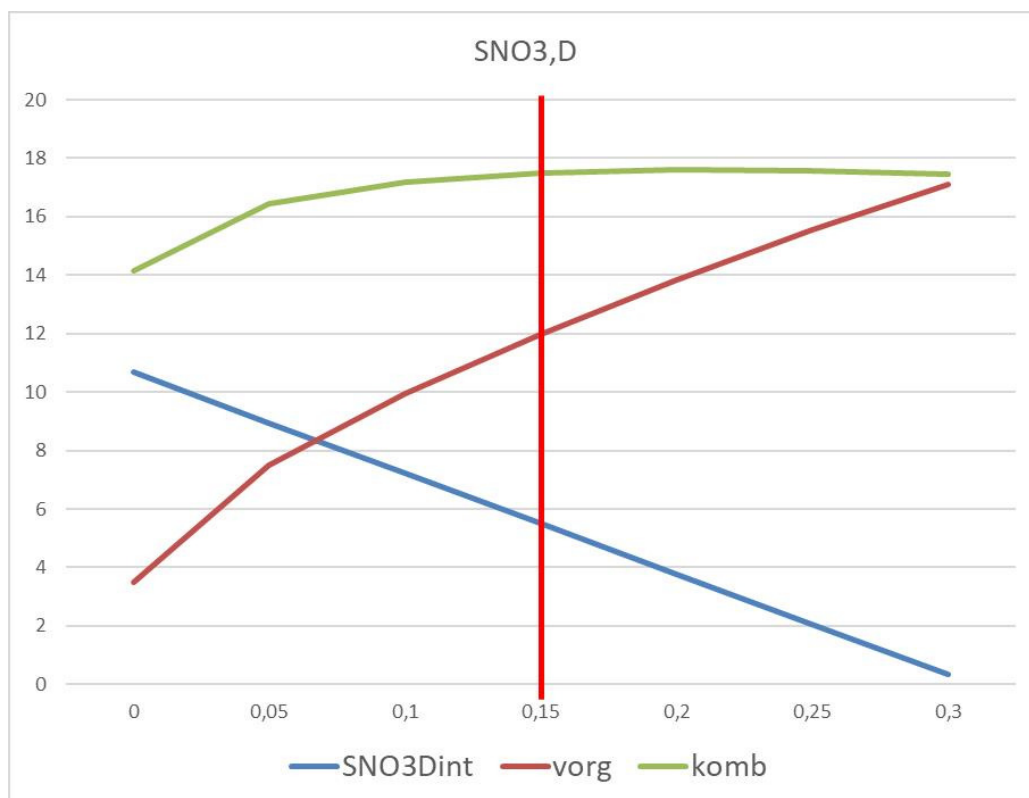


Abb. 58: Denitrifikationskapazität

### Biologische Phosphat-Elimination

Bakterien nutzen einerseits Phosphat-Verbindungen für ihren Energie- und Stoffwechsel bzw. den Zellaufbau. Darüber hinaus gibt es Bakterien, die Phosphate als Energiespeicher einlagern können. Diesen Vorgang bezeichnet man auch als biologische Fällung.

Der insgesamt biologisch verwertbare Anteil wird in AQUA AERO eingegeben und spaltet sich dann auf in den Anteil für den Zellaufbau (XP,BM) und den Anteil für die biologische Fällung (XP,bioP).

$$\text{bioP, gesamt} = P, BM + P, \text{bioP} \quad \text{mit} \quad \max P, BM = 0,0015 \left[ \frac{\text{kgP}}{\text{kgBSB}} \right]$$

$$X_{P,BM} = P, BM * C_{BOD,IAT} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

$$X_{P,bioP} = P, \text{bioP} * C_{BOD,IAT} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

### Chemische Phosphat-Elimination

Zusätzlich zur biologischen Elimination kann die chemische Phosphat-Elimination mit Aluminium- oder Eisensalz gewählt werden. Je höher der Anteil der biologisch eliminierten Phosphat-Fracht gewählt wurde, desto geringer ist der chemisch zu fällende Anteil.

Der chemisch zu fällende Phosphatanteil ergibt sich aus der Stoffbilanz:

$$X_{P, \text{Prec}} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,BioP} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

International:	Deutsch:	
$C_{BOD,IAT}$ Concentration of BOD <sub>5</sub> in the homogenised sample, Influent activated tank	$C_{BSB,ZB}$ BSB <sub>5</sub> -Konzentration im Zulauf zum Belebungsbecken	mg/l
$C_{P,EST}$ Concentration of phosphorus, effluent sedimentation tank	$C_{P,NB,Z}$ Phosphor Konzentration im Ablauf Nachklärung	mg/l
$C_{P,IAT}$ Concentration of phosphorus, inflow aeration tank	$C_{P,BB,Z}$ Phosphor Konzentration im Zulauf Belebungsbecken	mg/l
$P_{bio,P}$ Total bio phosphate, referred to BOD <sub>5</sub>	$P_{bio,P}$ Gesamtes Bio-Phosphat, bezogen auf den BSB <sub>5</sub>	kg P/kg BSB <sub>5</sub>
$X_{P,BioP}$ Concentration of phosphorus removed with biological excess phosphorus removal process	$X_{P, \text{Prec}}$ Bei der biologischen P-Elimination biologisch gebundener Phosphor	mg/l
$X_{P,BM}$ Concentration of phosphorus embedded in the biomass	$X_{P,BM}$ In die Biomasse eingebauter Phosphor (Zellaufbau)	mg/l
$X_{P, \text{Prec}}$ Concentration of phosphorus removed by simultaneous precipitation	$X_{P, \text{Fäll}}$ Durch Fällung eliminiertes Phosphor	mg/l
$P, BM$ Phosphate for celle design, referred to BOD <sub>5</sub>	$P, BM$ Phosphat für Zellaufbau, bezogen auf den BSB <sub>5</sub>	kg P/kg BSB <sub>5</sub>



Sowohl die biologische als auch die chemische Phosphatfällung erhöhen die Überschuss-schlammproduktion und beeinflussen damit auch die Verweilzeit der Bakterien im Belebungsbecken bzw. das Schlammalter.

## 17.3 Ermittlung Sauerstoffverbrauch

### 17.3.1 Allgemein

Die Berechnungsmethoden zur Auslegung der Belüftungseinrichtung beziehen sich i.W. auf die DWA-A 131 und das Arbeitsblatt M 229-1.

Im AQUA AERO werden folgende Schritte nacheinander ausgeführt:

- Ermittlung des Schlammalters
- Berechnung des für die C- und N-Elimination erforderlichen täglichen O<sub>2</sub>-Bedarfs
- Ermittlung des stündlichen Spitzen-Sauerstoffverbrauchs unter Berücksichtigung der Stoßfaktoren

Dabei werden sowohl die Temperaturabhängigkeit als auch die Druckabhängigkeit der biologischen und physikalischen Vorgänge im Belebungsbecken berücksichtigt.

### 17.3.2 Schlammalter

Der Sauerstoffverbrauch zum Abbau der C-Verbindungen ist abhängig vom Gesamtschlammalter  $t_{SS}$  ( $t_{TS}$ ). Das Schlammalter ist ein Maß für die Verweilzeit des Belebtschlammes im Belebungsbecken.

Für eine erfolgreiche Nitrifikation ist mindestens das aerobe Schlammalter einzuhalten.

Ist das Gesamt-Schlammalter kleiner als das aerobe Schlammalter, reicht die Verweilzeit der Nitrifikanten nicht aus. Es findet keine Nitrifikation statt, der Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation ist gleich Null.

### Aerobes Schlammalter

Bei Anlagen mit Nitrifikation ist für die Bemessung das aerobe Schlammalter einzuhalten.

$$t_{SS,aerob,dim} = PF * 3,4 * 1,103^{(15-T)} \quad [d]$$

International:

$B_{d,BOD}$  Daily BOD<sub>5</sub>-load  
 PF process factor for nitrification  
 T Temperature  
 $t_{SS,aerob}$  Aerobic sludge age

Deutsch:

$B_{d,BSB5}$  Tägliche BSB<sub>5</sub>-Fracht kg/d  
 PF Prozessfaktor für Nitrifikation -  
 T Abwassertemperatur °C  
 $t_{TS,aerob}$  Aerobes Schlammalter d

Der Prozessfaktor PF ist abhängig von den Schwankungsfaktoren f<sub>C</sub>, f<sub>N</sub> und den Reinigungsanforderungen, siehe Tabelle 3 aus /2/:

Zwischen diesen Werten wird linear interpoliert.

Der Prozessfaktor für Nitrifikation berücksichtigt Schwankungen der Wachstumsrate der Nitrifikanten und Schwankungen der Konzentrationen im Zulauf und im Ablauf /2/.

### Gesamt-Schlammalter

Das Schlammalter  $t_{SS}$  wird über Iteration für vier Temperatur-Lastfälle ermittelt.

Dabei werden folgende Formeln verwendet:

Die Bemessung erfolgt auf Basis des CSB. Mit Hilfe von Faktoren erfolgt zunächst eine Fraktionierung des CSB. Wurde Vorklärung gewählt, gelten für die Dimensionierung der Belebung die Werte nach Vorklärung.

Aus der Belastung ist gegeben:

Im Zulauf

Konzentration des CSB in der homogenisierten Probe	$C_{CSB,Z}$	mg/l
Konzentration der mit 0,45 mm Membranfilter abfiltrierbaren Stoffe nach Trocknung bei 105°C	$X_{TS,Z}$	mg/l
Konzentration des Kjeldalstickstoffs (KN = org.N + NH <sub>4</sub> -N) in der homogenisierten Probe	$C_{KN,Z}$	mg/l
Konzentration des Phosphors in der homogenisierten probe als Phosphor	$C_{P,Z}$	mg/l
Konzentration des Nitratstickstoffs in der filtrierten Probe als Stickstoff	$S_{NO_3,Z}$	mg/l

Nach Vorklärung

Konzentration des CSB in der homogenisierten Probe	$CCSB,ZB$	mg/l
Konzentration der mit 0,45 mm membranfilter abfiltrierbaren Stoffe nach Trocknung bei 105°C	$X_{TS,ZB}$	mg/l
Konzentration des Kjeldalstickstoffs (KN = org.N + NH <sub>4</sub> -N) in der homogenisierten Probe	$CKN,ZB$	mg/l
Konzentration des Phosphors in der homogenisierten probe als Phosphor	$CP,ZB$	mg/l
Konzentration des Nitratstickstoffs in der filtrierten Probe als Stickstoff	$S_{NO_3,ZB}$	mg/l

### Fraktionierung des CSB

Anteil der anorganischen Stoffe an den abfiltrierbaren Stoffen (Glührückstand), in die Wahl des Faktors fließen Kommentare aus einem Artikel in der KA von 02/2016 /62/ ein.	$f_B$	-
Inerter Anteil am partikulären CSB /62/	$f_A$	-
Anteil des leicht abbaubaren CSB am Abbaubaren CSB	$f_{CSB}$	-

$$X_{CSB,ZB} = X_{TS,ZB} * 1,6 * (1-f_B)$$

$$S_{CSB,ZB} = C_{CSB,ZB} - X_{CSB,ZB}$$

$$S_{CSB,inert,ZB} = 0,05 * C_{CSB,ZB}$$

$$X_{CSB,inert,ZB} = f_A * X_{CSB,ZB}$$

$$C_{CSB,abb,ZB} = C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,ZB} - X_{CSB,inert,ZB}$$

$$C_{CSB,la,ZB} = f_{CSB} * C_{CSB,abb,ZB}$$

$$X_{anorg,TS,ZB} = f_B * X_{TS,ZB}$$

## Bemessungstemperatur

Als Bemessungstemperatur gilt die Temperatur, bei der Stickstoffelimination gefordert wird.

In Deutschland ist dies gemäß der Abwasserverordnung:

$$T_{Bem} = T_{ÜW} = 12^{\circ}\text{C}$$

## Aerobes Schlammalter

Für eine gesicherte Nitrifikation wird der Prozessfaktor eingeführt.

$f_N$	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
$S_{NH_4,ÜW}$						
5 mg/l $NH_4$ -N	1,5	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8
10 mg/l $NH_4$ -N	1,5	1,5	1,5	1,6	1,9	2,1

Abb. 59: Tabelle 3 aus /2/, Prozessfaktor

$$t_{Tsa} = PF * 3,4 * 1,103^{(15 - T_{Bem})} \text{ d}$$

$T_{Bem}$  Bemessungstemperatur °C

## Überschussschlammproduktion aus Kohlenstoffelimination

Auf den Abwasserzufluss bezogene CSB-Konzentration des Überschussschlammes

$$X_{CSB,ÜS} = X_{CSB,inert,ZB} + X_{CSB,BM} + X_{CSB,inert,BM}$$

CSB der Biomasse

$$X_{CSB,BM} = (C_{CSB,abb,ZB} * Y + C_{CSB,Dos} * Y_{CSB,Dos}) * \frac{1}{1 + b * t_{TS} * F_T}$$

Ertragskoeffizient

$$Y = 0,67 \quad \text{g/g}$$

Ertragskoeffizient für externe Kohlenstoffquelle

$Y_{CSB,dos}$

$Y_{CSB,Dos}$  aus Tabelle 1 /2/

Zerfallskoeffizient

$b = 0,17 \quad d^{-1}$

Temperaturfaktor für endogene Veratmung

$F_T = 1,072^{(T-15)}$

Inerter Anteil des CSB der Biomasse

$X_{CSB,inert,BM} = 0,2 * X_{CSB,BM} * t_{TS} * b * F_T$

Tägliche Schlammproduktion aus der Kohlenstoffelimination

$$\dot{U}_{d,C} = Q_{d,Konz} * \left( \frac{X_{CSB,\dot{U}S}}{0,8 * 1,45} + X_{anorgTS,ZB} \right) / 1000 \quad \left[ \frac{kg}{d} \right]$$

### Überschussschlammproduktion aus Phosphatelimination

Konzentration des Phosphors in der homogenisierten Probe als Phosphor, im Zulauf zum biologischen Reaktor	CP,ZB	mg/l
Konzentration des Phosphors wie oben, im Ablauf der Nachklärung	CP,AN	mg/l
In die Biomasse eingebauter Phosphor	XP,BM	mg/l
Bei der biologischen Phosphorelimination biologisch gebundener Phosphor	XP,bioP	mg/l
Durch Fällung eliminiertes Phosphor	XP,Fäll	mg/l

$$\dot{U}_{d,P} = Q_{d,Konz} * (3 * X_{P,bioP} + 6,8 * X_{P,Fäll,Fe} + 5,3 * X_{P,Fäll,Al}) / 1000 \quad [kg/d]$$

$$X_{P,BioP} = 0,006 * C_{CSB,ZB} \quad [mg/l]$$

$$X_{P,BM} = 0,005 * C_{CSB,ZB} \quad [mg/l]$$

$$X_{P,Fäll} = C_{P,ZB} - C_{P,AN} - X_{P,BM} - X_{P,BioP} \quad [mg/l]$$

$$\dot{U}_{d,P} = Q_{d,Konz} * (3 * X_{P,bioP} + 6,8 * X_{P,Fäll,Fe} + 5,3 * X_{P,Fäll,Al}) / 1000 \quad [kg/d]$$

### Gesamte Überschussschlammproduktion

$$\dot{U}_{d,S} = \dot{U}_{d,C} + \dot{U}_{d,P} [kg/d]$$

### Berechnung der zu denitrifizierenden Nitratstickstoffkonzentration

Konzentration des Stickstoffs in der homogenisierten Probe als Gesamtstickstoff, im Zulauf zum biologischen Reaktor	CN,ZB	mg/l
Konzentration des gelösten organischen Stickstoffs, im Ablauf der Nachklärung, kann mit 2 mg/l angesetzt werden.	SorgN,AN	mg/l
Konzentration des Ammoniumstickstoffs in der filtrierten Probe, im Ablauf der Nachklärung, in der Regel wird dieser Wert in der Bemessung zur Sicherheit mit 0 mg/l angesetzt.	SNH4,AN	mg/l
Konzentration des Nitratstickstoffs in der filtrierten Probe, im Ablauf der Nachklärung	SNO3,AN	mg/l
In der Biomasse eingebauter organischer Stickstoff	XorgN,BM	mg/l
An inerte partikuläre Stoffe gebundener organischer Stickstoff	XorgN,inert	mg/l

$$S_{NO3,D} = C_{N,ZB} - S_{orgN,AN} - S_{NH4,AN} - S_{NO3,AN} - X_{orgN,BM} - X_{orgN,inert} \text{ [mg/l]}$$

$$X_{orgN,BM} = 0,07 * X_{CSB,BM} \text{ [mg/l]}$$

$$X_{orgN,inert} = 0,03 * (X_{CSB,inert,BM} + X_{CSB,inert,ZB}) \text{ [mg/l]}$$

### Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau

Konzentration des CSB in der homogenisierten Probe im Zulauf zur Belebung	C <sub>CSB,abb,ZB</sub>	mg/l
Konzentration der Aufstockung des CSB durch externen Kohlenstoff zur Verbesserung der Denitrifikation	C <sub>CSB,dos</sub>	mg/l
CSB der Biomasse	X <sub>CSB,BM</sub>	mg/l
Inerter Anteil des CSB der Biomasse	X <sub>CSB,inert,BM</sub>	mg/l

$$OV_C = C_{CSB,abb,ZB} + C_{CSB,dos} - X_{CSB,BM} - X_{CSB,inert,BM} \text{ [mg/l]}$$

### Sauerstoffbedarf in der Denitrifikationszone

Zur Ermittlung des Volumenanteiles für die Denitrifikation wird der Sauerstoffbedarf in der Denitrifikationszone  $OV_{C,D}$  berechnet.  $OV_{C,D}$  ist für die verschiedenen Denitrifikationsverfahren unterschiedlich.

Der Sauerstoffbedarf für die Denitrifikationszone  $OV_{C,D}$  setzt sich aus dem Sauerstoffbedarf für den leicht abbaubaren CSB  $OV_{C,la}$  und dem Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau  $OV_C$  zusammen.

## Intermittierende Denitrifikation

Bei der intermittierenden Denitrifikation wird die Oxidierung des Ammoniums zu Nitrat und die Reduktion des Nitrats zu  $N_2$  und Wasser durch den Wechsel von belüfteten und unbelüfteten Zeiten erreicht. Die unbelüftete Zeit pro Tag entspricht dabei dem Verhältnis des ermittelten Denitrifikationsvolumens zum Gesamtvolumen.

Dies bedeutet, dass die Belüftung bei intermittierender Denitrifikation größer ausgelegt werden muss als bei vorgeschalteter und simultaner Denitrifikation.

Die Rührwerke werden auf das Gesamtvolumen ausgelegt.

Vorteile der intermittierenden Denitrifikation sind die gute Regelbarkeit und die theoretisch erreichbaren hohen Denitrifikationsraten durch die hohe interne Rezirkulation. Während bei vorgeschalteter Denitrifikation eine maximale Rezirkulationsrate von 4 empfohlen wird, können voll durchmischte Becken mit Rezirkulationsraten von 20 angesetzt werden.

$$OV_{C,la,int} = C_{CSB,dos} * (1 - Y_{CSB,dos})$$

$$OV_{C,D} = 0,75 * (OV_{C,la,int} + (OV_C - OV_{C,la,inter}) * V_D/V_{BB}) \quad [mg/l]$$

## Vorgeschaltete Denitrifikation

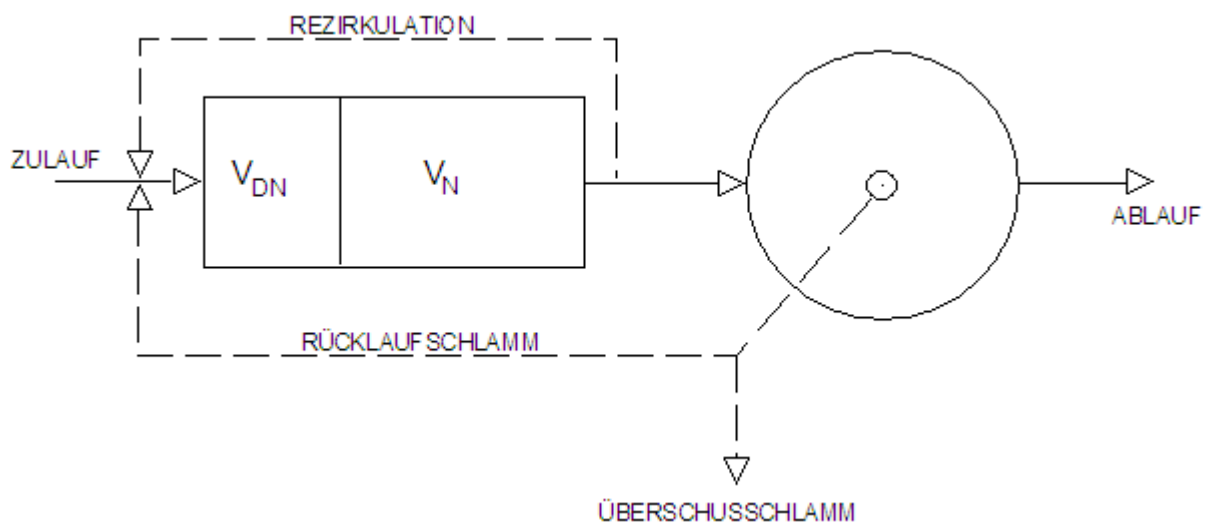


Abb. 60: Fließbild der vorgeschalteten Denitrifikation

$$OV_{C,la,vorg} = f_{CSB} * C_{CSB,abb,ZB} * (1 - Y) + C_{CSB,dos} * (1 - Y_{CSB,dos})$$

$$OV_{C,D} = 0,75 * (OV_{C,la,vorg} + (OV_C - OV_{C,la,vorg}) * (V_D/V_{BB})^{0,68})$$

Aus den Ablaufforderungen für Ammonium und Nitrat ergibt sich die erforderliche Rezirkulationsrate.

## Stickstoffbilanz und Wirkungsgrad der Denitrifikation

Vorgänge die bei jedem Denitrifikationsverfahren räumlich oder zeitlich getrennt ablaufen, lassen sich bei der vorgeschalteten Denitrifikation genau definieren. Es existiert eine Denitrifikationsphase, eine Nitrifikationsphase und eine Rückführung von während der Nitrifikation

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 71 von 107
	17 Theorie	Version: 3.0-02

gebildetem Nitrat.

Für die Stickstoffbilanz der Denitrifikation wird nur derjenige Stickstoffanteil betrachtet, der nitrifiziert und denitrifiziert wird. Der zulaufende Stickstoff liegt im Wesentlichen als Ammonium vor. Organisch gebundener Stickstoff wird durch Ammonifikation im Laufe des Abbauprozesses in Ammonium umgewandelt. Ein Teil des Stickstoffs verlässt die Anlage als organisch gebundener Stickstoff. Ein weiterer Teil wird durch die Mikroorganismen des Belebtschlammes aufgenommen.

Der nitrifizierte Anteil an Stickstoff ist damit:

$$NH_4-N_{Nit} = TKNo - N_{\text{ÜS}} - \text{orgNe} \quad [\text{mg/l}]$$

Ein Teil des nitrifizierten Stickstoffes wird denitrifiziert. Der verbleibende Rest verlässt die Anlage.

$$NH_4-N_{Nit} = NO_3-N_D + NO_3-N_e$$

Die Rücklaufverhältnisse sind definiert als:

$$RV = QRS/Q \text{ und } RZ = QRZ/Q$$

Im Denitrifikationsbecken wird sämtliches zugeführtes Nitrat denitrifiziert. Gleichzeitig enthält die Rezirkulation kein Ammonium sondern nur Nitrat. Also entspricht die Menge an Ammonium, die das Denitrifikationsbecken verlässt, der Menge an zu nitrifizierendem Stickstoff im Zulauf.

$$Q * NH_4-N_{Nit} = (Q + Q_{RS} + Q_{RZ}) * NH_4-N_{e,D}$$

Sämtliches Ammonium wird nitrifiziert. Es wird mit QRZ und QRS zurückgeführt und verlässt mit der gleichen Konzentration die Anlage mit dem Ablauf Q.

$$Q * NH_4-N_{Nit} = Q * (1 + RV + RZ) * NO_3-N_e$$

Aus obigen Gleichungen ergibt sich:

$$\frac{NO_3 - N_D}{NO_3 - N_e} = RV + RZ$$

$$\eta_D = \frac{NO_3 - N_D}{NO_3 - N_D + NO_3 - N_e} = 1 - \frac{1}{1 + RV + RZ}$$

Rezirkulationsrate:

$$RZ_{\text{gesamt}} = \frac{[N]_o - [NH_4 - N]_e}{[NO_3 - N]_e - [NO_3 - N]_o} - 1$$

Von diesem Wert muss das Rücklaufverhältnis abgezogen werden, um die interne Rezirkulation zu erhalten.

Interne Rezirkulation:

$$RZ = RZ_{\text{gesamt}} - RV$$

Wirkungsgrad:

$$\eta_D \leq 1 - \frac{1}{1 + RZ}$$

Die zeichnerischen Oberflächen und die Bauwerksangaben stehen für die vorgeschaltete Denitrifikation nicht im gleichen Umfang zur Verfügung wie für die übrigen Reinigungsverfahren. Eine Aufteilung in Denitrifikationsvolumen und Nitrifikationsvolumen wird in dieser Version für die Bauwerke noch nicht durchgeführt.

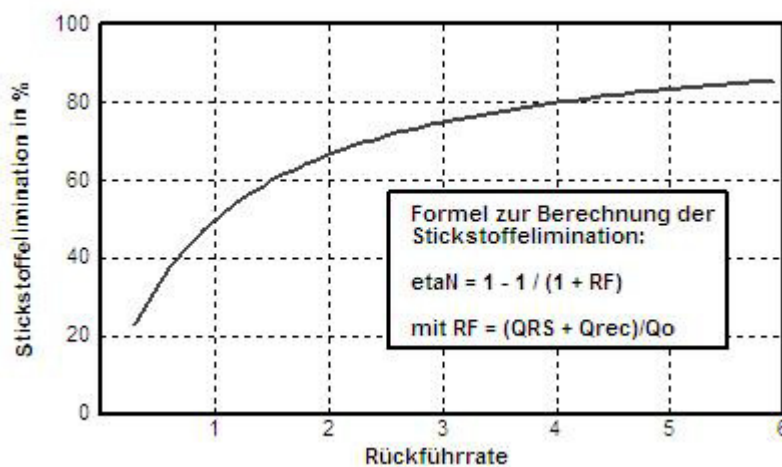


Abb. 61: Stickstoffelimination in Abhängigkeit der Rückföhrtrate bei der vorgeschalteten Denitrifikation

Nachdem Sie das Nachklärbecken festgelegt haben, stehen Ihnen externe Becken als Rundbecken oder Rechteckbecken zur Verfügung. Sie können im Formular **A 131 Belüftungsbecken** die Außenmaße des Bauwerkes festlegen. Eine Auftrennung in Denibecken und Nitribecken ist für die grafische Darstellung nicht möglich. Rechnerisch und in der Dokumentation wird diese Aufteilung natürlich durchgeführt und nachgewiesen. Die im Formular **A 131 Belüftungsbecken** angegebenen Werte sind jedoch ausreichend, um die Belüftung und Umwälzung festzulegen.

Im Formular **Belüftung A 131** wird bei Wahl von vorgeschalteter Denitrifikation eine Belüftungszeit von 24 Stunden und Belüftung ohne getrennte Umwälzung im Nitrifikationsbecken vorgelegt. Die Umwälzung wird nur auf das Denitrifikationsvolumen bezogen.

In der grafischen Oberfläche Membranbelüftung können Sie die Gitterform und Gittergröße festlegen. Die zeichnerische Darstellung des Beckens zeigt nur das Nitrifikationsvolumen. Zeichnungen für die Gesamt-Biologie können bei vorgeschalteter Denitrifikation nicht ausgegeben werden. Lediglich das Nitrifikationsbecken kann ausgegeben werden. Es ist also möglich, die Aufteilung der Belüftung grafisch zu dokumentieren.

Die Betriebskostenberechnung steht auch für vorgeschaltete Denitrifikation in vollem Umfang zur Verfügung. Die Rezirkulation wird bei den Betriebskosten berücksichtigt.



## Simultane Denitrifikation

Wie bei der vorgeschalteten Denitrifikation wird die Belüftung auf 24 h bemessen bzw. vorgeschlagen. Die Rührwerke werden auf das Gesamtvolumen ausgelegt. Die simultane Denitrifikation lässt sich nur ungenau regeln, da die Nitrifikations- und Denitrifikationszeiten durch den Umlauf durch belüftete und unbelüftete Zonen erreicht werden.

Bei der Berechnung nach Hochschulansatz wird der Atmungserhöhungsfaktor für simultane Denitrifikation mit  $a = 1$  angesetzt. Darauf wird im Kapitel zum Hochschulansatz noch einmal gesondert hingewiesen.

$$OV_{C,D} = 0,75 * OV_C * V_D/V_{BB} \quad [\text{mg/l}]$$

## Kombinierte vorgeschaltete/Intermittierende Denitrifikation

Werden mindestens 15 % des Gesamtvolumens als Denitrifikationsstufe vorgesehen, kann das Gesamtsystem als vorgeschaltete Denitrifikation bemessen werden.  $OV_{C,D}$  wird dann anteilig für die Anteile der Denitrifikationsverfahren berechnet.

$$OV_{C,la,vorg} = f_{CSB} * C_{CSB,abb,ZB} * (1-Y) + C_{CSB,dos} * (1-Y_{CSB,dos}) \quad [\text{mg/l}]$$

$$OV_{C,D,vorg} = 0,75 * (OV_{C,la,vorg} + (OV_C - OV_{C,la,vorg}) * (V_D/V_{BB,vorg})^{0,68}) \quad [\text{mg/l}]$$

$$OV_{C,la,int} = C_{CSB,dos} * (1-Y_{CSB,dos})$$

$$OV_{C,D,int} = 0,75 * (OV_{C,la,int} + (OV_C - OV_{C,la,int}) * V_D/V_{BB,int}) \quad [\text{mg/l}]$$

$$OV_{C,D} = OV_{C,D,vorg} + OV_{C,D,int}$$

International:		Deutsch:	
$B_{d,BOD}$	Daily BOD <sub>5</sub> -load	$B_{d,BSB5}$	Tägliche BSB <sub>5</sub> -Fracht kg/d
$C_{BOD,IAT}$	Concentration of BOD <sub>5</sub> in the homogenised sample; Influent activated tank	$C_{BSB,ZB}$	BSB <sub>5</sub> -Konzentration im Zulauf zum Belebungsbecken mg/l
$F_T$	Temperature factor for endogenous respiration	$F_T$	Temperaturfaktor für endogene Veratmung -
$SP_d$	Daily waste activated sludge production (solids)	$ÜS_d$	Tägliche Schlammproduktion kg/d
$SP_{d,P}$	Daily sludge production from phosphorus removal	$ÜS_{d,P}$	Tägliche Schlammproduktion aus der Phosphorelimination kg/d
$SS_{AT}$	Mixed liquor suspended solids in the activated tank (MLSS)	$TS_{BB}$	Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken kg/m <sup>3</sup>
$t_{SS}$	Sludge age, cell residence time	$t_{TS}$	Schlammalter d
$X_{P,BM}$	Concentration of phosphorus embedded in the biomass	$X_{P,BM}$	In die Biomasse eingebauter Phosphor mg/l
$X_{P,prec}$	Concentration of phosphorus removed by simultaneous precipitation	$X_{P,Fall}$	Durch Fällung eliminierter Phosphor mg/l
$X_{SS}$	Concentration of suspended solids of wastewater; Influent activated tank	$X_{TS,ZB}$	Trockensubstanzkonzentration im Zulauf zum Belebungsbecken mg/l

Dabei wird die Überschussschlammproduktion durch biologische und chemische Phosphatelimination  $SP_{d,P}$  berücksichtigt.

$$SP_{d,P} = Q_{d,DW} * (3 * X_{P,BioP} + 6,8 * X_{P,Pre c,Fe} + 5,3 * X_{P,Pre c,Al}) / 1000 \quad \left[ \frac{kg}{d} \right]$$

Mit:

$$X_{P,BioP} = P_{Bio,t} * C_{BOD,IAT} - X_{P,BM} \quad \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

$$X_{P,Pre c} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,BioP} \quad \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

Bei Fällung mit  $FeCl_3$  ist  $X_{P,Pre c,Al} = 0$ , bei Fällung mit  $AlCl_3$  ist  $X_{P,Pre c,Fe} = 0$ .

### Empfehlungen der A 131 für den Grad der biologischen Phosphataufnahme:

ohne vorgeschaltetes Anaerobbecken oder bei fallweiser Rückführung der Rezirkulation in das Anaerobbecken

$$X_{P,BioP} = 0,005 * C_{CSB,ZB}$$

mit vorgeschaltetem Anaerobbecken

$$X_{P,BioP} = 0,01 - 0,0125 * C_{CSB,ZB}$$

SNO<sub>3,AN</sub> ≥ 15 mg/l bei tiefen Temperaturen

$$X_{P,BioP} = 0,0075 - 0,01 * C_{CSB,ZB}$$

International:

$C_{BOD,IAT}$  Concentration of BOD<sub>5</sub> in the homogenised sample, Influent activated tank

$C_{P,EST}$  Concentration of phosphorus, effluent sedimentation tank

$C_{P,IAT}$  Concentration of phosphorus, inflow aeration tank

$P_{bio,t}$  Total bio phosphate, referred to BOD<sub>5</sub>

$Q_{d,DW}$  Inflow at dry weather per day

$SP_{d,P}$  Daily sludge production from phosphorus removal

$X_{P,BioP}$  Concentration of phosphorus removed with biological excess phosphorus removal process

$X_{P,BM}$  Concentration of phosphorus embedded in the biomass

$X_{P,Pre c}$  Concentration of phosphorus removed by simultaneous precipitation

Deutsch:

$C_{BSB,ZB}$  BSB<sub>5</sub>-Konzentration im Zulauf zum Belebungsbecken mg/l

$C_{P,NB,Z}$  Phosphor Konzentration im Ablauf Nachklärung mg/l

$C_{P,BB,Z}$  Phosphor Konzentration im Zulauf Belebungsbecken mg/l

$P_{bio,t}$  Gesamtes Bio-Phosphat, bezogen auf den BSB<sub>5</sub> kg P/kg BSB<sub>5</sub>

$Q_{t,d}$  täglicher Trockenwetterzufluß m<sup>3</sup>/d

$ÜS_{d,P}$  Tägliche Schlammproduktion aus der Phosphorelimination kg/d

$X_{P,Pre c}$  Bei der biologischen P-Elimination biologisch gebundener Phosphor mg/l

$X_{P,BM}$  In die Biomasse eingebauter Phosphor (Zellaufbau) mg/l

$X_{P,Fäll}$  Durch Fällung eliminerter Phosphor mg/l

### 17.3.3 Sauerstoffverbrauch

Übersicht der verwendeten Formelzeichen:

Auf den Abwasserzufluss bezogene Konzentration des Sauerstoffverbrauchs für Kohlenstoffelimination	$OV_C$	mg/l
täglicher Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination	$OV_{d,C}$	kg/d
mittlerer täglicher Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination im Jahresmittel	$OV_{d,C,aM}$	kg/d
täglicher Sauerstoffverbrauch	$OV_d$	kg/d
Sauerstoffbedarfsäquivalent in der Denitrifikation (über Nitratsauerstoff gedeckter Sauerstoffverbrauch der Kohlenstoffelimination)	$OV_{C,D}$	mg/l
Sauerstoffäquivalent in der vorgeschalteten Denitrifikation bei Verfahrenskombination	$OV_{C,D,vg}$	mg/l
Sauerstoffbedarf aus extern während der Denitrifikationszeit zudosiertem Kohlenstoff	$OV_{C,la}$	mg/l
Sauerstoffbedarf aus extern während der Denitrifikationszeit zudosiertem Kohlenstoff bei intermittierender Denitrifikation	$OV_{C,la,int}$	mg/l
Sauerstoffbedarf aus extern während der Denitrifikationszeit zudosiertem Kohlenstoff bei vorgeschalteter Denitrifikation	$OV_{C,la,vorg}$	mg/l
täglicher Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffelimination, der durch die Denitrifikation gedeckt wird.	$OV_{d,D}$	kg/d
täglicher Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation	$OV_{d,N}$	kg/d
stündlicher Sauerstoffverbrauch	$OV_h$	kg/h
mittlerer stündlicher Sauerstoffverbrauch im Jahresmittel	$OV_{h,aM}$	kg/h
maximaler stündlicher Sauerstoffverbrauch	$OV_{h,max}$	kg/h
minimaler stündlicher Sauerstoffverbrauch	$OV_{h,min}$	kg/h

$OV_C$  beziffert den gesamten Sauerstoffverbrauch für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen und ergibt sich aus folgender Formel:

$$OV_C = C_{CSB,abb,ZB} + C_{CSB,dos} - X_{CSB,BM} - X_{CSB,inert,BM} \quad [mg/l]$$

Sauerstoffbedarf aus leicht abbaubarem CSB und extern dosiertem CSB

vorgeschaltet

$$OV_{C,la,vorg} = f_{CSB} * C_{CSB,abb,ZB} * (1 - Y) + C_{CSB,dos} * (1 - Y_{CSB,dos}) \quad [mg/l]$$

intermittierend

$$OV_{C,la,int} = C_{CSB,dos} * (1 - Y_{CSB,dos}) \quad [mg/l]$$

$f_{CSB}$

Verhältnis aus  $C_{CSB,la,ZB}/C_{CSB,abb,ZB}$

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 76 von 107
	17 Theorie	Version: 3.0-02

Für den Sauerstoffverbrauch in der Denitrifikationszone gilt für die verschiedenen Verfahren

vorgeschaltete Denitrifikation

$$OV_{C,D} = 0,75 * \left[ OV_{C,la,vorg} + (OV_C - OV_{C,la,vorg}) * \left( \frac{V_D}{V_{BB}} \right)^{0,68} \right] \quad [mg/l]$$

intermittierende Denitrifikation mit Dosierung von externem Substrat während der Denitrifikationszeit

$$OV_{C,D} = 0,75 * \left[ OV_{C,la,vorg} + (OV_C - OV_{C,la,int}) * \left( \frac{V_D}{V_{BB}} \right) \right] \quad [mg/l]$$

simultane Denitrifikation ohne vorgeschaltete Anaerobbecken

$$OV_{C,D} = 0,75 * OV_C * \left( \frac{V_D}{V_{BB}} \right) \quad [mg/l]$$

Verfahrenskombination vorgeschaltete mit anschließender simultaner/intermittierender Denitrifikation, wenn mindestens 15 % des Gesamtvolumens als vorgeschaltete Denitrifikation ausgeführt werden

$$OV_{C,D} = 0,75 * \left[ OV_{C,la,vorg} + (OV_C - OV_{C,la,vorg}) * \left( \frac{V_D}{V_{BB}} \right)^{0,68} \right] \quad [mg/l]$$

Das zu denitrifizierende Nitrat ist aus der Stickstoffbilanz bekannt.

$$S_{NO3,D} = C_{N,ZB} - S_{orgN,AN} - S_{NH4,AN} - S_{NO3,AN} - X_{orgN,BM} - X_{orgN,inert} \quad [mg/l]$$

Das Denitrifikationsverhältnis wird iterativ so ermittelt, dass

$$x = \frac{OV_{C,D}}{2,86 * S_{NO3,D}}$$

Dann entspricht das Sauerstoffangebot aus Nitrat, der Sauerstoffzehrung aus Kohlenstoff in der Denitrifikationszone.

### 17.3.4 Sauerstoffbedarf

Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffelimination

$$OV_{d,C} = Q_{d,Konz} * OV_C / 1.000 \quad [kgO_2/d]$$

Der spezifische Sauerstoffbedarf für den Abbau der Stickstoffverbindungen  $OV_N$  ist abhängig davon, ob Nitrifikation und/oder Denitrifikation als Reinigungsprozess gewählt wurden. Die im Kapitel Grundlagen angegebenen chemischen Gleichungen zeigen, dass bei der Nitrifikation Sauerstoff zur Oxidation von Ammonium über Nitrit zu Nitrat benötigt wird.

Bei der Denitrifikation wird das Nitrat zu elementarem Stickstoff und in geringen Mengen zu  $N O_2$  reduziert. Dabei wird der im Nitrat gebundene Stickstoff zur anoxischen Atmung genutzt. Der für den Abbau der Stickstoffverbindungen benötigte Sauerstoffbedarf wird durch die Denitrifikation vermindert.

$$OV_{d,N} = Q_d * 4,3 * \frac{S_{NO_3,D} - S_{NO_3,ZB} + S_{NO_3,AN}}{1000} \quad \left[ \frac{kgO_2}{d} \right]$$

$S_{NO_3}$  Konzentration des Nitratstickstoffs in der  
filtrierten Probe als N mg/l

Stöchiometrisch sind zur Oxidation von 1 Mol Ammonium 2 Mol  $O_2$  erforderlich. Dies entspricht  $4,6 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4\text{-N}$ . Da auch für den Zellaufbau der Nitrifikanten Ammonium verbraucht wird, ist der Sauerstoffbedarf etwas geringer und der Faktor wird in obiger Gleichung von 4,6 auf 4,3 verringert ATV-Handbuch /1/, Seite 297.

$$OV_{d,D} = Q_{d,Konz} * 2,86 * \frac{S_{NO_3,D}}{1000} \quad \left[ \frac{kgO_2}{d} \right]$$

stündlicher Sauerstoffverbrauch

$$OV_h = \frac{f_C * (OV_{d,C} - OV_{d;D}) + f_N * OV_{d,N}}{24} \quad \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

Für die Ermittlung der Sauerstofflast müssen Stoßbelastungen berücksichtigt werden. Für Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen werden deshalb Stoßfaktoren ( $f_C$ ,  $f_N$ ) eingeführt. Diese sind für den Anwendungsbereich von AQUA DESIGNER gemäß der ATV-A 131 in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Schlammalter in Tagen					
	4	6	8	10	15	25
$f_C$	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,10
$f_N$ für $\leq 20.000 \text{ EW}$	-	-	-	2,4	2,00	1,50
$f_N$ für $> 100.000 \text{ EW}$	-	-	2,0	1,8	1,50	-

Tabelle 1: Stoßfaktoren für den Sauerstoffverbrauch (Tabelle 7 aus A131 /2/)

Der Stoßfaktor  $f_N$  spiegelt das Verhältnis der Ammoniumfracht in der Spitzenstunde zur Durchschnittsfracht.

Bei  $f_C$  ist dies nicht der Fall, da die Hydrolyse von Feststoffen ausgleichend wirkt.

Die Sauerstofflast ergibt sich nun auf der einen Seite aus dem spezifischen Sauerstoffbedarf und auf der anderen Seite aus den Diffusionsgesetzen, die den Übergang des Sauerstoffs aus der Luftblase in das Wasser beschreiben. Wichtig für den Sauerstoffübergang ist die Differenz zwischen Sauerstoffsättigungskonzentration des Abwassers und der tatsächlichen Sauerstoffkonzentration.

Für reine Nitrifikation ist die Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken mit etwa 2 mg/l angenommen. Für Anlagen mit intermittierender Denitrifikation ist für die Belüftungsphase ebenfalls eine Sauerstoffkonzentration von 1 - 2 mg/l angesetzt. Die Sättigungskonzentration beträgt bei 10 °C 11,24 mg/l und bei 20°C 9,18 mg/l.

Umlaufbecken mit simultaner Denitrifikation und Oberflächenbelüftern:

$$C_x = 0,5 \text{ mg/l}$$

Luftsauerstoffsättigungskonzentrationen in Wasser in Abhängigkeit von der Wassertemperatur bei Normdruck 1013 hPa (DIN 38408, Teil 22, Entwurf):

T °C	cs mg/l
4	13,1
6	12,4
8	11,8
10	11,3
12	10,8
14	10,3
16	9,9
18	9,5
20	9,1
22	8,7
24	8,4
26	8,1
28	7,8
30	7,6

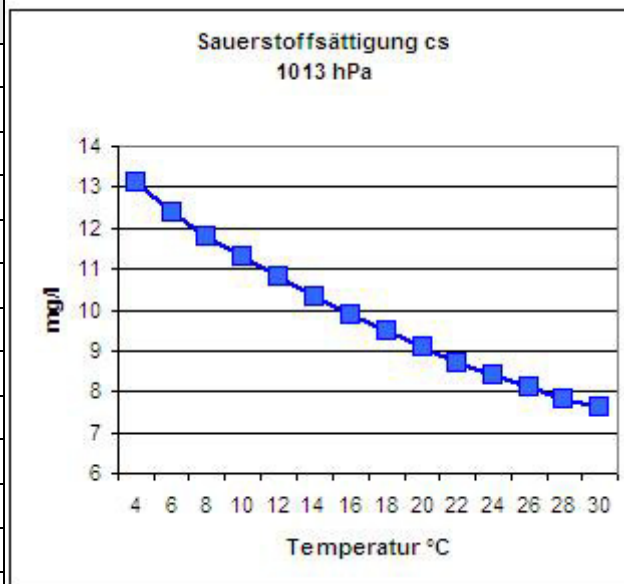


Abb. 62: Sauerstoffsättigungskonzentration von Sauerstoff im Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

### 17.3.5 Lastfälle

Die Lastfälle und die Auslegung der Belüftungs- und Umwälzeinrichtung erfolgt auf Basis des Merkblattes DWA-M 229-1 /59/.

Ausgangspunkt sind die Sauerstoffbedarfsermittlungen und Stoßfaktoren aus der DWA A131 /2/. Auf Basis dieser Werte müssen mindestens 4 Lastfälle für die Auslegung des Belüftungssystems und die Abstufung der Gebläse geprüft werden.

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 79 von 107
	17 Theorie	Version: 3.0-02

AQUA DESIGNER führt zwei weitere Lastfälle, Lastfall 0 und 5 auf, um zusätzliche Informationen zur Verfügung zu stellen.

### Lastfall 0: Sauerstoffbedarf bei Bemessungsbedingungen

Bemessungstemperatur, Bemessungsschlammalter und Mindestvolumen

### Lastfall 1: Durchschnittlicher Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand, $OV_{h,aM}$

Bewertung von Jahreswerten, z.B. Wirtschaftlichkeit

Lastfall mit mittlerer Jahresfracht und Jahresmitteltemperatur

$$OV_{h,aM} = \frac{(OV_{d,C,aM} - OV_{d,D,aM}) + OV_{d,N,aM}}{24} \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

### Lastfall 2: Maximaler Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand, $OV_{h,max}$

Dimensionierung der Belüftungs- und Durchmischungseinrichtung

höchste Wassertemperatur, ungünstigster Lastfall

Sonderfälle, die sich auf den maximalen Sauerstoffbedarf auswirken, z.B. saisonale Spitzen sind hier zu berücksichtigen.

$$OV_{h,max} = \frac{fC * (OV_{d,C,max} - OV_{d,D,max}) + fN * OV_{d,N,max}}{24} \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

### Lastfall 3: Minimaler Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand, $OV_{h,min}$

Abstufung von Gebläsen und Oberflächenbelüftern, Nachweis der Mindestbelastung von Belüftern.

Es wird die minimale Lastsituation für zwei verschiedene Zustände berücksichtigt. Entsprechend kann OV nach zwei verschiedenen Ansätzen gewählt werden.

a) kein signifikanter Frachtanteil bei Nachtzufluss

$$\frac{OV_{d,C,aM}}{\left( \frac{3,92}{tTS * 1,072^{(T_w-15)} + 1,66} \right) * 24} \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

b) signifikanter Frachtanteil bei Nachtzufluss

$$OV_{h,min} = \frac{f_{C,min} * (OV_{d,C,min} - OV_{d,D,min}) + f_{N,min} * OV_{d,N,min}}{24} \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

### Lastfall 4: O2-Bedarfswerte für Prognose- und ggf. Revisions-Zustand

Ergänzender Lastfall zur Sicherstellung der verfahrenstechnischen Flexibilität

## 17.4 Druckbelüftung

### 17.4.1 Erforderliche Sauerstoffzufuhr

#### SOTR Druckluftbelüftung

Der Rechenweg vom ermittelten Sauerstoffbedarf zur Luftmenge ist für alle Lastfälle gleich. AQUA DESIGNER bietet dem erfahrenen Ingenieur jedoch bei jedem Lastfall die Möglichkeit, betriebliche Parameter unterschiedlich zu wählen. So kann die Sauerstoffkonzentration im Betrieb für die Lastfälle verschieden eingestellt werden.

Maßgebliche Größe für die Auslegung der Belüftungseinrichtung ist die notwendige Sauerstoffzufuhr SOTR.

$$SOTR = \frac{f_d \cdot \beta_{St} \cdot C_{S,20} \cdot f_{S,St}}{\alpha \cdot f_{S,\alpha} \cdot (f_d \cdot \beta_\alpha \cdot C_{S,T} \cdot \frac{p_{atm}}{1.013} - C_x) \cdot \theta^{(T_w-20)}} \cdot OV_h \quad (\text{kg/h O}_2)$$

Hier gehen verschiedene Einflussfaktoren ein

- Höhe über dem Meeresspiegel für die Anpassung des atmosphärischen Druckes und damit der Sättigungskonzentration
- Tiefenfaktor für die Wassertiefe
- Grenzflächenfaktor für die Umrechnung von Reinwasser auf Schmutzwasser
- Sauerstoffsättigungskonzentration bei Betriebstemperatur
- Sauerstoffsättigungstemperatur bei 20° als Basistemperatur für Temperaturfaktoren
- Salzfaktor aufgrund des Einflusses auf die Oberflächenspannung

#### **Luftdruck in Abhängigkeit der geodätischen Höhenlage**

$$p_{atm} = 1.013,25 * \left( \frac{288 - 0,0065 * h_{geo}}{288} \right)^{5,255} \quad [hPa]$$

#### **Tiefenfaktor für die Wassertiefe**

$$f_d = 1 + hD/20,7$$

hD                      Einblastiefe m



## Grenzflächenfaktor, Umrechnung auf Schmutzwasser

Die gemäß dem beschriebenen Algorithmus ermittelte Sauerstofflast gilt für den Sauerstoffeintrag in Reinwasser. Im Abwasser finden Zehrungsvorgänge statt. Außerdem wird der Sauerstoffeintrag durch die abweichenden Eigenschaften von Abwasser, z.B. durch die unterschiedliche Oberflächenspannung, verschlechtert. Aufgrund dessen muss in Abwasser mehr Luft eingetragen werden, um die gewünschte Sauerstoffkonzentration aufrechtzuerhalten.

Für die Umrechnung des Sauerstoffbedarfes von Reinwasser auf Schmutzwasser wird der Grenzflächenfaktor  $\alpha$  eingeführt. Der Grenzflächenfaktor ist sehr veränderlich und von vielen Abwasser- und Betriebsbedingungen abhängig.

Verschiedene  $\alpha$ -Werte werden von Günkel-Lange KA 11/2015 oder /14/, Tabelle 1 angegeben.

Verfahrensvariante	Richtwerte		
	Lastfall 2 (maximaler Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand) $\alpha_{\min}$	Lastfall 1 (durchschnittlicher Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand) $\alpha_{\text{mittel}}$	Lastfall 3 (minimaler Sauerstoffbedarf im Ist-Zustand) $\alpha_{\max}$
Stickstoffelimination mit kontinuierlichem Durchfluss <sup>1)</sup>	0,60	0,75	0,85
SBR-Verfahren zur Stickstoffelimination <sup>2)</sup>	0,50	0,65	0,80
MBR-Verfahren ( $TS \sim 12 \text{ g/l}$ , $t_{TS} = 25 \text{ d}$ ) <sup>2)</sup>	0,50	0,60	0,70
Simultane aerobe Stabilisierung <sup>1)</sup>	0,70	0,80	0,90
Kohlenstoffelimination <sup>1)</sup>	0,35	0,50	0,60

ANMERKUNGEN  
1) von Messwerten abgeleitet.  
2) von Literaturwerten abgeleitet.

Abb. 63: Tabelle alpha-Werte

Ein interessanter Aspekt ist z.B., dass der Grenzflächenfaktor stark abhängig ist von der Schlammbelastung. Bei ausgeprägter Pfropfenströmung bzw. bei in Reihe durchflossenen Becken sind daher über den Fließweg ansteigende  $\alpha$ -Werte zu erwarten, wenn kein Frachtausgleich über den Fließweg stattfindet.

Der  $\alpha$ -Wert dient dazu, von Reinwasserbedingungen auf Schmutzwasserbedingungen umzurechnen. Diese Sauerstoffmenge wird also benötigt, um den Sauerstoffbedarf, wie er oben für reines Wasser ermittelt wurde, auch im Schmutzwasser abdecken zu können. Da der um den Faktor  $\alpha$  erhöhte Wert jedoch vor Inbetriebnahme einer Anlage im Reinwasser nachgewiesen werden muss, wird er üblicherweise als Sauerstoffzufuhr im Reinwasser bezeichnet.

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 82 von 107
	17 Theorie	Version: 3.0-02

Die Sauerstoffzufuhr im Reinwasser ergibt sich damit nach folgender Formel:

$$SOTR_{\text{Reinwasser}} = \frac{\alpha SOTR}{\alpha} \quad \left[ \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}} \right]$$

Sauerstoffsättigung in Abhängigkeit von der Temperatur

$$c_{s,T} = \frac{2.234,34}{(TW + 45,93)^{1,31403}} \quad [\text{mg/l}]$$

### Salzfaktor

Der Salzfaktor ist bei normalen Bedingungen  $\beta = 1$  und  $f_{\text{ST,ST}} = 1$ . Dies gilt bei den bei uns üblichen Konzentrationen von  $< 1 \text{ mg/l}$ .

In ariden Regionen wird oft Meerwasser für die Toilettenspülung genutzt. Dann erhöht sich natürlich auch die Salzkonzentration im Abwasser. Auch durch Infiltration von salzhaltigem Grundwasser in undichte Kanäle, z.B. in Meeresnähe kann es zu signifikanten Erhöhungen der Salzkonzentration kommen. Ein weiterer Anwendungsfall sind natürlich spezielle industrielle Abwässer. /60/

### Erhöhungsfaktor $f_{\text{int}}$

#### Intermittierend

Wird intermittierend belüftet, wird die Luft nicht über 24 Stunden, sondern nur während der Nitrifikationsphase eingetragen. Die notwendige stündliche Sauerstoffzufuhr muss dann auf die verkürzte Belüftungszeit umgerechnet werden.

$$f_{\text{int}} = \frac{1}{1 - \frac{V_D}{V_{BB}}}$$

$$SOTR_{\text{int}} = SOTR * f_{\text{int}} \quad [\text{kgO}_2/\text{h}]$$

### Kombinierte vorgeschaltete und intermittierende Denitrifikation

Bei kombinierter vorgeschalteter und intermittierender Denitrifikation wird ein Anteil von mindestens  $0,15 * V_{BB}$  als vorgeschaltete Denitrifikation ausgeführt. Für intermittierende Denitrifikation gilt dann:

$$VD/V_{BB} \text{ intermittierend} = VD/V_{BB} \text{ gesamt} - VD/V_{BB} \text{ vorgeschaltet}$$

$$f_{\text{int,komb.}} = \frac{1}{1 - \frac{V_D}{V_{BB \text{ intermittierend}}}}$$

## Umrechnungsfaktor SBR

Bei SBR-Anlagen muss die Belüftungszeit zusätzlich auf die Reaktionszeit umgerechnet werden.

$$f_{SBR} = \frac{1}{m_Z * t_R}$$

$m_Z$  = Anzahl der Zyklen pro Tag in  $d^{-1}$

$t_R$  = Dauer der Reaktionsphase in h

$$SOTR_{SBR} = SOTR * f_{SBR} * 24 \quad [kgO_2/h]$$

## Luftmenge

### Unter Normbedingungen

Der Luftbedarf ergibt sich mit der spezifischen Sauerstoffzufuhr und der Einblastiefe.

$$Q_{L,N} = \frac{1.000 * SOTR}{SSOTR * hD} \left[ \frac{m_N^3}{h} \right]$$

SOTR      notwendige Sauerstoffzufuhr      [kgO<sub>2</sub>/h]

SSOTR    spezifische Sauerstoffzufuhr      gO<sub>2</sub>/(m<sup>3</sup>xm)

hD        Einblastiefe                              m

Die spezifische Sauerstoffausnutzung ist ein produktspezifischer Wert. Die Herstellerangabe ist dabei immer auf Grundlage der betrieblichen Rahmenbedingungen, z.B. Belüfterbelastung und Flächenbelegung festzulegen.

Das Sauerstoffeintragsvermögen kann als spezifische Sauerstoffausnutzung SSOTE in [%/m] oder als SSOTR in [gO<sub>2</sub>/(m<sup>3</sup>xm)] angegeben werden.

Bei 300 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> gilt

$$SSOTE = SSOTR/3$$

In AQUA DESIGNER wird ein Wert von 19 gO<sub>2</sub>/(m<sup>3</sup>xm) vorgelegt. Dieser Wert ist nach dem Stand der Technik für flächige Belegung und getrennte Umwälzung und Belüftung als konservativ verwendbar.

Es wird empfohlen, die spezifische Sauerstoffausnutzung für die gewählte Belüfteranordnung und Beaufschlagung zur Absicherung anzufragen.

## Volumenstrom der angesaugten Luft

Die obige Ermittlung der Luftmenge erfolgte für Normbedingungen.

$T_N$	Temperatur im physikalischen Normzustand	273,15 K
$p_N$	Normluftdruck	1.013 hPa
$\rho_N$	Dichte der Luft unter Normbedingungen	1,293 kg/m <sup>3</sup>
$\varphi$	relative Luftfeuchtigkeit	%

Der so ermittelte Volumenstrom im Normzustand  $Q_{L,N}$  muss in den Volumenstrom im Ansaugzustand  $Q_1$  umgerechnet werden.

$$Q_1 = \frac{T_N * T_{L,1}}{T_N} * \frac{p_N}{p_{1,abs} - \varphi * p_S} * Q_{L,N} \quad \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$p_{1,abs}$	Absoluter Druck auf der Saugseite des Gebläses	hPa
$T_{L,1}$	Temperatur der angesaugten Luft	°C
$p_S$	Sättigungsdampfdruck	hPa

$$p_S = \frac{6,112 * EXP(17,62 * T_{L,1})}{243,12 + T_{L,1}} \quad [hPa]$$

### Absoluter Druck auf der Saugseite

$$p_{1,abs} = p_{atm} - \Delta p_1 \quad [hPa]$$

$p_{atm}$  wird weiter oben bereits für SOTR berechnet.

Der Druckverlust auf der Saugseite ist ein Betriebswert.

### Dichte im Ansaugzustand

$$\rho_1 = \rho_N * \frac{T_N}{T_N + T_{L,1}} * \frac{p_{1,abs} - \varphi * p_S}{p_{N,abs}} + \varphi * \rho_S \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$\rho_S$  Wasserdampfdichte im Sättigungszustand kg/m<sup>3</sup>

$$\rho_S = \frac{p_S * 0,018015}{8,315 * (273,15 + T_{L,1})} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$Q_1 = \frac{T_N + T_{L,1}}{T_N} * \frac{p_N}{p_{1,abs} - \varphi * p_S} * Q_{L,N}$$

## 17.4.2 Gebläse

Das Gebläse wird nach der erforderlichen stündlichen Luftmenge  $Q_L$  und dem erforderlichen Gegendruck ausgewählt.

Die erforderliche Luftmenge wird an die Betriebsbedingungen (T,P) angepasst. Dabei wird über die internationale Höhenformel auch die Höhe des Aufstellortes berücksichtigt. Je höher der Standort über NN, desto größer ist auch die erforderliche Luftmenge.

Bei Auswahl von mehreren Gebläsen (z.B. bei Gebläsestufungen) werden die Luftmengen der einzelnen Gebläse zu einer Gesamtluftmenge  $Q_L$  addiert.

Der erforderliche Gebläsegegendruck ist die Summe aus dem Rohrleistungsverlusten, dem Belüfterwiderstand und dem Wasserdruck. Den Rohrleistungsverlust geben Sie unter **Optionen > Allgemeine Konstanten** vor. Der Belüfterwiderstand kommt aus der Datenbank und der ergibt sich aus der Einblastiefe.

### Ermittlung des Betriebspunktes

In der Datenbank ist für jeden Gebläsetyp die Nennleistung in Abhängigkeit von dem erforderlichen Gegendruck hinterlegt.

Das heißt ein und dasselbe Gebläse taucht in der Datenbank mit verschiedenen Paaren Gegendruck / Nennleistung auf.

Alle dazwischen liegenden Betriebspunkte werden durch lineare Interpolation ermittelt.

## 17.4.3 Belüftungselemente

### Anzahl

Im Gegensatz zu den Gebläsen werden die Belüfterelemente auf Basis des Normzustandes ausgelegt.

D.h. Die Gesamtluftmenge der Gebläse muss wieder auf den Normzustand zurückgerechnet werden:

$$Q_{L,0} = \frac{Q_L * p * T_0}{p_0 * T} \quad [m^3]$$

Die Anzahl der Belüftersegmente bzw. die Belüfterlänge ergibt sich aus:

$$n = \frac{Q_{L,0}}{b_A} \quad [piece, m]$$

International:		Deutsch:		
$b_A$	Load of the aerators	$b_A$	Belüfterbeaufschlagung	Nm <sup>3</sup> /(m*h) oder Nm <sup>3</sup> /(Stück*h)
$n$	Number of aerators	$n$	Anzahl Belüftersegmente	-
$Q_L$	Air volume flow per hour	$Q_L$	stündliche Luftmenge	m <sup>3</sup> /h
$Q_{L,}$	Capacity of a blower	$Q_{L,}$	Tatsächliche Förderkapazität der gewählten Gebläse	m <sup>3</sup> /h
$Q_{L,0}$	Capacity of a aerator (standard conditions)	$Q_{L,0}$	Förderkapazität der Belüfterelemente (Normbedingungen)	m <sup>3</sup> /h

## Belegungsdichte

Die entscheidende Größe für das Sauerstoffzufuhrvermögen der Belüfter ist die Belegungsdichte. Die Belegungsdichte das Verhältnis der Gasungsfläche der Belüfter Oberfläche des Belebungsbeckens.

Die Gasungsfläche ist i.d.R. in der Belüfter-Datenbank hinterlegt. Ist kein Wert vorhanden, wird die Gasungsfläche für Rohrbelüfter nach Wagner /WAR 100, 1.38/ ermittelt. Dabei wird angenommen, dass diese über den gesamten perforierten Umfang ausgasen.

Seitlich befinden sich auf den Membranen unperforierte Streifen. Diese Streifen legen sich an die Luftaustrittöffnungen des Stützrohres und verhindern, dass bei abgeschalteter Belüftung Schlamm in die Rohre eindringt. Diese Streifen sind etwa 30 mm breit.

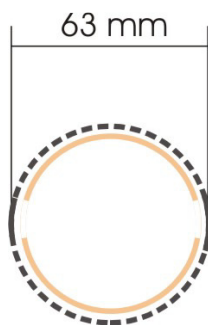


Abb. 64: Perforierte Fläche eines Rohrbelüfters

Bei typischen Abmessungen wird zur Berechnung der Gasungsfläche von folgendem Wert ausgegangen.

*Perforierte Fläche:*                      *0,16 m<sup>2</sup>/m-Belüfterlänge*

## 17.5 Rohrleitungen

### 17.5.1 Rohrquerschnitt

Das Belüftungssystem besitzt üblicherweise ein verzweigtes Rohrleitungsnetz mit unterschiedlichen Querschnitten.

Die Druckluft wird bei Umgebungsdruck und mit der Temperatur des Gebläseraumes angesaugt. Durch die Gebläse wird die Luft auf den Betriebsdruck in den Rohrleitungen verdichtet und die Temperatur der Luft erhöht sich aufgrund der Kompression.

Bei der Auslegung der Rohrlängendurchmesser werden Kompression und Temperaturerhöhung berücksichtigt.

Die ideale Gasgleichung wird verwendet, um die Zustandsänderung des Gases zu beschreiben. Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte während des Verdichtens freiwerdende Wärme zur Temperaturerhöhung des Gases führt (adiabatische Verdichtung). Dann gilt nach Poisson /13/, S.130f. für das Druckverhältnis:

$$\frac{p_C}{p_S} = \left( \frac{T_C}{T_S} \right)^{\chi/(\chi-1)} = \left( \frac{Q_{L,S}}{Q_{L,C}} \right)^{\chi}$$

International:

Index C	Pressure site (compression)
p <sub>S</sub>	Pressure, suction site
Q <sub>L,S</sub>	Capacity of a blower, suction site = Q <sub>L,Blower</sub>
T <sub>S</sub>	Temperature, suction site
κ = 1.4	Coeffizient for adiabatic compression

Deutsch:

Index D	Druckseite	
p <sub>A</sub>	Druck, Ansaugseite	mbar
Q <sub>L,A</sub>	Luftmenge der gewählten Gebläse, Ansaugseite = Q <sub>L,Gebläse</sub>	m <sup>3</sup> /h
T <sub>A</sub>	Temperatur, Ansaugseite	T
κ = 1,4	Adiabatenkoeffizient für 2-atomige Gase	-

Aus der o.g. Beziehung lässt sich sowohl die Temperatur nach der Kompression T<sub>C</sub> als auch die komprimierte Luftmenge Q<sub>L,C</sub> ermitteln.

Der erforderliche Rohrquerschnitt ergibt sich aus der Luftmenge und der gewählten Fließgeschwindigkeit:

$$A_{pipe} = \frac{Q_{L,C}}{v_L * 3600} \quad [m^2]$$

International:

A <sub>pipe</sub>	Cross section of a pipe
Q <sub>L,C</sub>	Capacity of a blower, pressure site
v <sub>L</sub>	Velocity of air

Deutsch:

A <sub>Rohr</sub>	Rohrquerschnitt	m <sup>2</sup>
Q <sub>L,D</sub>	Luftmenge, Druckseite	m <sup>3</sup> /h
v <sub>L</sub>	Luftgeschwindigkeit im Rohr	m/s

Die Fließgeschwindigkeit wird mit 12 m/s vorgeschlagen. Sie sollte 16 m/s nicht übersteigen. Wird die Fließgeschwindigkeit zu hoch, steigt der Druckverlust und es kann zu starkem Pfeifen in den Rohrleitungen kommen.

## 17.5.2 Druckverlust

Die Druckverlust der Rohrleitung wird unter **Optionen > Allgemeine Konstanten** mit 100 mbar vorgelegt.

Der Druckverlust hängt von einigen Faktoren ab. Dies sind z.B.

- Länge der Rohrleitung
- Anzahl der Krümmen
- Material der Rohrleitung
- Fließgeschwindigkeit in den Rohrleitungen

Bei sehr kurzen Rohrleitungen und geringen Strömungsgeschwindigkeiten kann der Druckverlust verringert werden. Liegen jedoch keine auf die vorliegende Situation passenden Erfahrungswerte vor, ist dieser vorher abzustimmen bzw. zu berechnen.

## 17.6 Oberflächenbelüftung

### Bitte beachten

Die Oberflächenbelüftung ist nicht Bestandteil der Version 3.0. Die theoretischen Grundlagen sind bereits in die Dokumentation aufgenommen, um die Unterschiede zur Druckluftbelüftung deutlich zu machen.

### SOTR Oberflächenbelüftung

Es gilt wie bei der Druckbelüftung für die notwendige Sauerstoffzufuhr

$$SOTR = \frac{f_d * \beta_{St} * c_{s,20} * f_{S,ST}}{\alpha * f_{S,\alpha} * (f_d * \beta_{\alpha} * c_{S,T} * \frac{P_{atm}}{1.013} - c_x) * \Theta^{(TW-20)}} * OV_h \quad \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

Tiefenfaktor  $f_d$  für Oberflächenbelüftung

$$f_d = h_{BB}/150$$

Für die **Druckluftbelüftung** lesen Sie hier weiter, die Theorie zur Oberflächenbelüftung finden Sie unter Oberflächenbelüftung .

Nach Lutz / Härtel /12/ wird die Sauerstoffsättigungskonzentration  $C_S$  bei der Temperatur T wie folgt ermittelt:

$$C_{S,T} = \frac{2234,34}{(T + 45,93)^{1,31403}} \quad \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

Mit  $f_d$  wird der Einfluss des Wasserüberdrucks berücksichtigt. Es gilt für Oberflächenbelüftung:

$$f_d = 1 + 0,07h_w / 10,35$$

International:	Deutsch:	
$C_S$ Dissolved oxygen saturation concentration dependent on the temperature and partial pressure	$C_S$ Sauerstoff-Sättigungskonzentration, abhängig von der Temperatur und dem Partialdruck	mg/l
$C_{S,T}$ Dissolved oxygen saturation concentration dependent on temperature and standard pressure	$C_{S,T}$ Sauerstoff-Sättigungskonzentration, abhängig von der Temperatur und dem Standard-Druck	mg/l
$C_x$ Dissolved oxygen concentration in aeration tanks (DO)	$C_x$ Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken	mg/l
$f_d$ Factor for the effect of pressure on oxygen saturation concentration	$f_d$ Faktor für Einfluss des Wasserüberdruckes auf die $O_2$ -Sättigungskonzentration	-
$h_w$ Water level	$h_w$ Höhe des Wasserspiegels	m
$OU_h$ Oxygen uptake rate (hourly)	$OV_h$ Stündlicher Sauerstoffverbrauch	kg/h
req. $\alpha$ OC Oxygen transfer of an aeration facility in activated sludge with $C_x$ , T, p	erf. $\alpha$ OC $O_2$ -Zufuhr einer Belüftungseinrichtung in belebtem Schlamm bei $C_x$ , T, p	kg/h



T	Temperature	T	Temperatur	°C
V <sub>AT</sub>	Volume of the aeration tank	V <sub>BB</sub>	Volumen des Belebungsbeckens	m <sup>3</sup>
V <sub>D</sub>	Volume of the biological reactor used for denitrification	V <sub>D</sub>	Für Denitrifikation genutztes Volumen des Belebungsbeckens	m <sup>3</sup>
Θ=1,024	Temperature correction	Θ=1,024	Temperaturkorrektur Belüftungskoeffizient	-

### 17.6.1 Belüfterleistung

Die für die Sauerstoffzufuhr erforderliche Gesamtleistung N ergibt sich:

$$N = \frac{SOTR}{SAE} \quad [kW]$$

Für die raumbezogene Sauerstoffzufuhr gilt:

$$SSOTR = k_B * h_d * D_m^2 * v_u^{(2,5bis3)}$$

Hochzahl 2,5, gültig vorwiegend für Walzen  
3,0, gültig vorwiegend für Kreisel

Typische Bereiche von Sauerstoffübertragungsraten für verschiedene Typen von Oberflächenbelüftern:

Belüftertyp	Übertragungsrate kgO <sub>2</sub> /kW/h			
	Standard/ Reinwasser 20°C, 0 mg/l		Betrieb/ Schmutzwasser 15°C, 2 mg/l	
	langsamlaufender Kreisel	1,2	- 3,0	0,7
schnell laufender Kreisel	1,2	- 2,2	0,7	- 1,2
Belüfterwalze	0,9	- 2,2	0,5	- 1,1

Aus /8/, Seite 572

Typische Behälterdimensionen für Oberflächenbelüfter:

Belüfterleistung	Tiefe	Breite
kW	m	m
7,0	3,0 - 3,7	9,1 - 12,2
15,0	3,7 - 4,3	10,7 - 15,2
22,0	4,0 - 4,6	12,2 - 1,3
30,0	3,7 - 5,2	13,7 - 19,8
37,0	4,6 - 5,5	13,7 - 22,9
56,0	4,6 - 6,1	15,2 - 25,9
75,0	4,6 - 6,1	18,3 - 27,4

Aus /8/, Seite 574

## Umwälzung

Die erforderliche Eintragsleistung ist abhängig von dem Beckenvolumen und der Beckenform.

### Rechteckbecken, Rundbecken

Beckenvolumen	500 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>	2000 m <sup>3</sup>
Spezifischer Energieeintrag W/m <sup>3</sup>	20	15	10

Aus /9/, 10 – 23

### Umlaufbecken, Ringbecken

Für Umlauf - und Ringbecken gilt ein spezifischer Energieeintrag von 10 W/m<sup>3</sup>.

## Getrennte Umwälzung

Werden für die Umwälzung zusätzlich Rührwerke eingesetzt, gilt ein Richtwert von 1,5 W/m<sup>3</sup> /4/.

## 17.7 Sauerstoffertragswert

Der Sauerstoffertragswert SAE bestimmt die Wirtschaftlichkeit des Belüftungssystems. Es wird ermittelt, wie viel Sauerstoff mit einer kWh in das Belebungsbecken eingetragen werden kann. Je höher der Sauerstoffertragswert, desto effizienter das Belüftungssystem.

Für die Berechnung wird zuerst die Leistungsaufnahme der Gebläse und Rührwerke ermittelt und anschließend der tatsächliche Sauerstoffeintrag in das Belebungsbecken.

### Leistung der Gebläse

Die Kupplungsleistung der Gebläse am Betriebspunkt wird mit den Werten aus der Gebläse-Datenbank errechnet.

Für die tatsächliche Leistungsaufnahme werden neben dem Wirkungsgrad des Gebläses auch die mechanischen und ggf. die Frequenzumrichter-Verluste berücksichtigt:

$$PA_{\text{Gebläse}} = \frac{PK * (1 + V_{\text{mech}}\%) * (1 + VFU\%)}{\eta} \quad [kW]$$

## Leistung der Rührwerke

Die tatsächliche Leistungsaufnahme der Rührwerke kann in AQUA AERO nicht ermittelt werden. Hier sind Angaben des Rührwerkslieferanten notwendig, die Lufteintrag, Beckenform und Aufstellort der Rührwerke berücksichtigen. Dieser Wert muss daher angefragt und in das Formular Sauerstoffertragswert eingegeben werden.

## Gesamte Leistungsaufnahme

Die gesamte Leistungsaufnahme ist die Summe aus der Gebläse- und Rührwerksleistung.

$$PA = PA_{\text{Gebläse}} + PA_{\text{Rührwerk}} \quad [kW]$$

## Tatsächlicher Sauerstoffeintrag

Die gewählten Gebläse sind größer als der Minimalwert, der sich aus der Dimensionierung ergibt, so dass der tatsächliche Sauerstoffeintrag neu ermittelt werden muss.

$$SOTR = \frac{Q_L * SSOTE * h_D}{1000} \quad \left[ \frac{kgO_2}{h} \right]$$

## Sauerstoffertragswert

Für die Berechnung des Sauerstoffertragswertes SAE wird der Sauerstoffeintrag auf die Leistungsaufnahme der Maschinen bezogen.

Sauerstoffertragswert bezogen auf die Gebläse:

$$SAE_{\text{Gebläse}} = \frac{SOTR}{PA_{\text{Gebläse}}} \quad \left[ \frac{kgO_2}{kWh} \right]$$

Sauerstoffertragswert bezogen auf die Gebläse und Rührwerke:

$$SAE = \frac{SOTR}{PA} \quad \left[ \frac{kgO_2}{kWh} \right]$$

International:

$h_D$	Immersion depth of air
PA	Power input
PK	Coupling power
$Q_L$	Air volume flow per hour
SAE	Oxygen efficiency
SOTR=OC	Standard oxygen transfer rate
SSOTE	Specific standard oxygen transfer efficiency

Deutsch:

$h_D$	Einblastiefe	m
PA	Leistungsaufnahme	kW
PK	Kupplungsleistung	kW
$Q_L$	Stündliche Luftmenge	m <sup>3</sup> /h
SAE=OP	Sauerstoffertragswert	kgO <sub>2</sub> /kWh
SOTR=OC	Erforderliche Sauerstoffzufuhr	kgO <sub>2</sub> /h
SSOTE	Spezifische Sauerstoffzufuhr unter Standard-Bedingungen	gO <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> *m)

Die nachfolgende Tabelle gibt Richtwerte für den Sauerstoffertragswert unterschiedlicher Druckluftsysteme an.

<b>Leistungstabelle für Druckluftbelüftungssystem</b>				
	<b>Günstig</b>		<b>mittel</b>	
	SSOTE % %/m	SAE kg/kWh	SSOTE% %/m	SAE kg/kWh
<b>Reinwasserbedingungen</b>				
Flächendeckende Elemente	8,0	4,5	6,0	3,4
Flächendeckende Folienplatten	10,6	5,5	8,0	4,1
Umwälzung und Belüftung	6,7	4,2	5,0	3,2
<b>Betriebsbedingungen</b>				
Flächendeckende Elemente	4,8	2,7	3,6	2,0
Flächendeckende Folienplatten	6,4	3,2	4,8	2,5
Umwälzung und Belüftung	4,1	2,5	3,1	2,0

Tabelle 2: Aus /9/, S.10-33, Tabelle 2 Modifizierte Richtwerttabelle für Druckluftbelüftungssysteme

## 17.8 Wirtschaftlichkeitsberechnung

### 17.8.1 Grundlagen

Um zwei verschiedene Belüftungssysteme kostenmäßig zu vergleichen, müssen alle Kosten über einen definierten Untersuchungszeitraum erfasst und auf den gleichen Bezugspunkt umgerechnet werden. Dabei werden die Investitions-, die Reinvest- und die Betriebskosten erfasst.

Kosten, die vor dem Bezugszeitpunkt anfallen, werden aufgezinnt, Kosten die danach anfallen abgezinst (diskontiert). Kosten zum Bezugszeitpunkt werden als Barwert bezeichnet, die Summe als **Projektkostenbarwert**.

<b>Wert</b>	<b>Bedeutung</b>
Nutzungsdauer	Nutzungsdauer für Maschinen, Bauwerke, etc. Wenn die Nutzungsdauer kleiner als der Beobachtungszeitraum ist, muss reinvestiert werden.
Untersuchungszeitraum	Zeitraum, über den der Projektkostenbarwert ermittelt werden soll; Bei einem Belüftungssystem ist ein Zeitraum von 25 Jahren sinnvoll.
Bezugszeitpunkt	Beginn des ersten Betriebsjahres (Bezugszeitpunkt „0“ für alle finanzmathematischen Umrechnungen)
Zinssatz	Langfristiger Zinssatz für wasserwirtschaftliche Infrastrukturmaßnahmen Empfohlen wird 3,00 % p.a. /10/
Projektkostenbarwert	Summe der Barwerte eines Projektes zum Bezugszeitpunkt (d.h. Investitionskosten plus diskontierte Betriebs- und Reinvestitionskosten, da Bezugszeitpunkt = 0)

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung von AQUA AERO orientiert sich an den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR - Leitlinien) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) /10/. Die im Folgenden verwendeten Formeln und Definitionen sind den KVR - Leitlinien /10/ entnommen.

### 17.8.2 Investitionskosten

Zur Vereinfachung werden die Investitionen als einmalige Zahlungen im Bezugsjahr, also zum Zeitpunkt „0“ angenommen. Sie müssen daher weder auf- noch abgezinst werden. Diese Vereinfachung ist zulässig, da die Investition für die Belüftungstechnik i.d.R. zusammen und kurz vor der Inbetriebnahme stattfindet.

### 17.8.3 Reinvestitionskosten

Es gibt eine Reihe von Anlagenteilen, die innerhalb des Untersuchungszeitraums ausgetauscht werden müssen, weil deren Nutzungsdauer kleiner als der Untersuchungszeitraum ist. Zur Ermittlung des Projektkostenbarwertes sind die Reinvestitionskosten zu berücksichtigen – und zwar als Barwert, umgerechnet auf den Bezugszeitpunkt. Hierbei wird keine Preissteigerung berücksichtigt, da man in der Maschinenbaubranche nicht von einer kontinuierlichen Preissteigerung ausgehen kann.

Für den Diskontierungsfaktor DFAKE für einmalige Zahlungen gilt:

$$DFAKE(i; n) = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Die Barwerte IK (0) ergeben sich aus der Multiplikation der nominalen Reinvestkosten mit dem Diskontierungsfaktor.

$$IK(0) = IK(n) * DFAKE$$

International:		Deutsch:		
DFAKE	Discount factor for a single payment	DFAKE	Diskontierungsfaktor für einmalige Zahlungen	-
i	Interest rate (absolute), for example 3% = 0,03	i	Zinssatz (absolut), z.B. 3% = 0,03	-
IK(0)	Current worth of investment at the reference date „0“	IK(0)	Barwert der Investitionskosten zum Zeitpunkt „0“	€
IK(n)	Investment costs at the date n	IK(n)	Investitionskosten zum Zeitpunkt n	€
n	Project life time in years	n	Beobachtungszeitraum in Jahren	-

#### Beispiel

Untersuchungszeitraum n = 25 Jahre, Zinssatz i = 3%

Durchschnittliche Nutzungsdauer einer Pumpe = 10 Jahre

Während des Beobachtungsraums muss die Pumpe zweimal erneuert werden, im Jahr n1 = 10 und im Jahr n2 = 20. Die Pumpe kostet IK(n) = 20.000 €.

Die Reinvestitionskosten (IK) der Pumpe werden auf den Bezugszeitpunkt zurückgerechnet.

$$\begin{aligned}
 IK(0) &= IK(n) * (DFAKE(3\%;10) + DFAKE(3\%;20)) \\
 &= 20.000 \text{ €} * (0,74409 + 0,55368) \\
 &= 25.944,40 \text{ €}
 \end{aligned}$$

## 17.8.4 Betriebskosten

### Allgemein

Die Umrechnung der Betriebskosten in einen Barwert ist etwas komplizierter, da es sich hier um eine **Zahlungsreihe** handelt, die einer **jährlichen Steigerungsrate** unterliegt.

Der Diskontierungsfaktor für eine Zahlungsreihe mit progressiver Steigerung (d.h. einer jährlichen Steigerungsrate) errechnet sich zu:

$$DFAKRP(r, i, n) = (1+r) \frac{(1+i)^n - (1+r)^n}{(1+i)^n (i-r)}$$

$$BK(0) = BK * DFAKRP$$

International:		Deutsch:	
BK	Operational costs	BK	Betriebskosten (bekannt) €
BK(0)	Current worth of the operational costs, incl. cost increase	BK(0)	Barwert der Betriebskosten inkl. Preissteigerung €
DFAKRP	Discount factor for a numerical series with progressive increase	DFAKRP	Diskontierungsfaktor für eine Zahlungsreihe mit Progressiver Steigerung -
i	Interest rate (absolute), for example 3% = 0,03	i	Zinssatz (absolut), z.B. 3% = 0,03 -
n	Project life time in years	n	Beobachtungszeitraum in Jahren a
r	Yearly rate of increase	r	Jährliche Preissteigerungsrate -



Für  $i = r$  wird  $DFAKRP = n$ .

Die Betriebskosten sind in AQUA AERO unterteilt in Energiekosten und sonstige Betriebskosten. Für beide Positionen können unterschiedliche Preissteigerungsraten angegeben werden.

Der Ersatz von Ausrüstungsteilen, wie z.B. der Austausch der Belüfter werden in den Investitionskosten als Reinvestitionskosten berücksichtigt.

Wir gehen davon aus, dass die Personalkosten für den Betrieb der unterschiedlichen Belüftungssysteme in etwa gleich hoch sind. Sie gehen deshalb nicht in die Betriebskosten ein.

## Energiekosten

Bei der Druckluftbelüftung setzen sich die Energiekosten v.a. aus dem Energiebedarf der Gebläse und der Rührwerke zusammen. Da der Energieverbrauch nur in Ausnahmefällen direkt an den Maschinen gemessen wird, erfolgt eine Abschätzung über den Sauerstoffertragswert bei den Gebläsen und über die Leistungsaufnahme bei den Rührwerken.

## Gebälse

Der Betrieb der Gebläse ist abhängig von der Belastung der Kläranlage, was eine variable Fahrweise bedingt. Der Energieverbrauch kann somit nicht über die Laufzeit der Gebläse erfolgen.

Deshalb wird der Sauerstoffertragswert SAE zur Ermittlung des Energiebedarfes herangezogen. Die Energiekosten werden dann über eine mittlere Gebläseleistung abgeschätzt.

$$PA_m = \frac{SOTR * m}{SAE_{Blower}} \quad [kWh / h]$$

$$BK_{Blower} = PA_{Blower, middle} * tL * \left( TarifHT * \frac{Load\%}{100} + TarifNT * \frac{100 - Load\%}{100} \right) \quad [€ / d]$$

International:

BK Energy cost blower  
Load% Load high tarif time  
m Factor

Deutsch:

BK Energiekosten Gebläse €  
Fracht% Fracht in der HT-Zeit %  
m Faktor zur mittlere Sauerstofflast -  
PA Leistungsaufnahme kW  
SAE=OP Sauerstoffertragswert kgO<sub>2</sub>/kWh  
SOTR Mittlere Sauerstoffzufuhr kgO<sub>2</sub>/h  
rate  
Tarif Energiepreis (high, low) €/kWh  
t<sub>L</sub> Operation time of the blowers h/d

Der für die Bemessung der Belüftung maßgebliche Sauerstoffbedarf SOTR berücksichtigt Bedarfsspitzen. Für die Betriebskosten ist nur ein mittlerer Sauerstoffbedarf maßgeblich. Hier gilt dann für die Stoßfaktoren fN und fC = 1.

Setzt man fN = 1 und fC = 1 ergibt sich ein Sauerstoffbedarf OVh, der etwa 13 % niedriger liegt als der Sauerstoffbedarf unter Berücksichtigung der Stoßfaktoren.

Für die Ermittlung der Betriebskosten wird daher ein Faktor 0,86 für den durchschnittlichen Sauerstoffbedarf vorgelegt.

Die Belüftungszeit tL ist mit Ausnahme der intermittierenden Denitrifikation gleich 24 h.

## Rührwerke

Der Energiebedarf der Rührwerke wird über die Leistungsaufnahme ermittelt. Die Eingaben aus der Berechnung des Sauerstoffertragswertes werden zur Berechnung der Betriebskosten übernommen.

Bei günstigen Beckenformen und Belüfterverteilungen kann es wirtschaftlich sein, während der Belüftungsphase einige oder alle Rührwerke abzuschalten. Für diese Rührwerke wird der Energiebedarf dann nur für die unbelüftete Phase ermittelt.

Der Energiebedarf  $W$  der Rührwerke setzt sich zusammen aus dem Leistungsanteil in der belüfteten und der unbelüfteten Phase. Für die Betriebskosten werden Hoch- und Niedertarifzeit anteilig gewichtet. Es gilt:

$$W_{Mixer} = PA_{bel.Phase} * 24h/d + PA_{unbel.Phase} * (24h/d - tL) \quad [kWh/d]$$

$$BK_{Mixer} = W_{Mixer} * \left( \frac{24 - tNT}{24} * TarifHT + \frac{tNT}{24} * TarifNT \right) \quad [€/d]$$

International:		Deutsch:		
BK	Energy cost mixer	BK	Energiekosten Rührwerk	€
PA	Power input (aerated / non aerated)	PA	Leistungsaufnahme (belüftete / nur unbelüftete Phase)	kW
Tarif	Energy price (high, low)	Tarif	Energiepreis HT- bzw NT-Zeit	€/kWh
t <sub>L</sub>	Operation time of the blowers	t <sub>L</sub>	Belüftungszeit	h/d
tNT	Low tarif time	tNT	NT-Zeit	%
W <sub>Mixer</sub>	Energy consumption of the mixer	W <sub>Rührwerk</sub>	Energiebedarf der Mixer	kWh/d

Werden alle Rührwerke durchgängig betrieben, ist die Anzahl der Rührwerke in der belüfteten Phase gleich der Anzahl der Rührwerke.

Besteht der Stromtarif nur aus einer Komponente, ist tNT = 0.

### Sonstige Betriebskosten

Zu den Sonstigen Betriebskosten gehören Betriebsmittel und Hilfsstoffe (z.B. Schmieröl) und Kosten für Wartung und Instandhaltung. Letztere werden als Anteil an den Investitionskosten für die Gebläse (inkl. Schallhaube und Reservegebläse) und Rührwerke eingegeben.

### 17.8.5 Projektkostenbarwert

Der **Projektkostenbarwert** eines Belüftungssystems ergibt sich aus den Investitions-, den Reinvestitions- und Betriebskosten, jeweils umgerechnet auf den vorgegeben Bezugszeitpunkt (Zeitpunkt 0). Da hier als Bezugszeitpunkt „0“ gewählt ist, sind die Investitionskosten gleichzeitig die Barwerte, während die Kosten zur Reinvestition und die laufenden Kosten abgezinst (diskontiert) werden müssen.

$$PKBW(0) = IK(0) + RIK(0) + BK(0)$$



## International:

BK(0) Current worth of the operational costs

IK(0) Current worth of investment at the reference date „0“

PKBW(0) Current worth at reference time „0“

RIK(0) Current worth of the reinvest costs

## Deutsch:

BK(0) Barwert der Betriebskosten €

IK(0) Barwert der Investitionskosten zum Zeitpunkt „0“ €

PKBW(0) Projektkostenbarwert zum Zeitpunkt „0“ €

RIK(0) Barwert der Reinvestitionskosten €

## 18 Symbolverzeichnis

Deutsch:		International:		
$A_{\text{Rohr}}$	Rohrquerschnitt	$A_{\text{pipe}}$	Cross section of a pipe	m <sup>2</sup>
$b_A$	Belüfterbeaufschlagung	$b_A$	Load of the aerators	Nm <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> *h) Nm <sup>3</sup> /(St.*h)
$B_{d,\text{BSB5}}$	Tägliche BSB5-Fracht	$B_{d,\text{BOD}}$	Daily BOD5-load	kg/d
BK	Betriebskosten / Energiekosten	BK	Operational costs	€
BK(0)	Barwert der Betriebskosten inkl. Preissteigerung	BK(0)	Current worth of the operational costs, incl. cost increase	€
$C_{\text{BSB,ZB}}$	BSB <sub>5</sub> -Konzentration im Zulauf zum Belebungsbecken	$C_{\text{BOD,IAT}}$	Concentration of BOD <sub>5</sub> in the homogenised sample, Influent activated tank	mg/l
$C_{\text{P,NB,Z}}$	Phosphor Konzentration im Ablauf Nachklärung	$C_{\text{P,EST}}$	Concentration of phosphorus, effluent sedimentation tank	mg/l
$C_{\text{P,BB,Z}}$	Phosphor Konzentration im Zulauf Belebungsbecken	$C_{\text{P,IAT}}$	Concentration of phosphorus, inflow aeration tank	mg/l
$C_S$	Sauerstoff-Sättigungskonzentration, abhängig von der Temperatur und dem Partialdruck	$C_S$	Dissolved oxygen saturation concentration dependent on the temperature and partial pressure	mg/l
$C_{S,T}$	Sauerstoff-Sättigungskonzentration, abhängig von der Temperatur und dem Standard-Druck	$C_{S,T}$	Dissolved oxygen saturation concentration dependent on temperature and standard pressure	mg/l
$C_X$	Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken	$C_X$	Dissolved oxygen concentration in aeration tanks (DO)	mg/l
$D_{\text{BB}}$	Äußerer lichter Durchmesser des Belebungsbeckens	$D_{\text{AT}}$	Outer free diameter of the activated chamber	m
$D_{\text{BB,i}}$	Innendurchmesser beim Ringbecken	$D_{\text{AT,i}}$	Inner Diameter of a ring chamber	m
DFAKE	Diskontierungsfaktor für einmalige Zahlungen	DFAKE	Discount factor for a single payment	-
DFAKRP	Diskontierungsfaktor für eine Zahlungsreihe mit progressiver Steigerung	DFAKRP	Discount factor for a numerical series with progressive increase	-
$f_c$	Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung	$f_c$	Peak factor for carbon respiration	-
$f_d$	Faktor für Einfluss des Wasserüberdruckes auf die O <sub>2</sub> -Sättigungskonzentration	$f_d$	Factor for the effect of pressure on oxygen saturation concentration	-
$f_N$	Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation	$f_N$	Peak factor for ammonium respiration	-
$F_T$	Temperaturfaktor für endogene Veratmung	$F_T$	Temperature factor for endogenous respiration	-
h	Höhe über NN	h	Geo height NN	m
$h_D$	Einblastiefe	$h_D$	Immersion depth of air	m
$h_w$	Höhe des Wasserspiegels	$h_w$	Water level	m
i	Zinssatz (absolut), z.B. 3% = 0,03	i	Interest rate (absolute), for example 3% = 0,03	-
IK(0)	Barwert der Investitionskosten zum Zeitpunkt „0“	IK(0)	Current worth of investment at the reference date	€

Deutsch:		International:		
			„0“	
IK(n)	Investitionskosten zum Zeitpunkt n	IK(n)	Investment costs at the date n	€
L <sub>BB</sub>	Länge Belebungsbecken	L <sub>AT</sub>	Length of the aeration tank	m
Fracht%	Fracht in der HT-Zeit	Load%	Load high tariff time	%
m	Faktor zur mittlere Sauerstofflast	m	Factor	-
n	Anzahl	n	Number	-
n <sub>BB</sub>	Beckenanzahl	n <sub>AT</sub>	Number of tanks	-
OC	O <sub>2</sub> -Zufuhr einer Belüftungseinrichtung in Reinwasser bei C <sub>x</sub> =0, T=20°C, p=1013hPa	OC	Oxygen transfer of an aeration facility in clean water with C <sub>x</sub> =0, T=20°C, p=1013hPa	kg/h
OV <sub>d,C</sub>	Täglicher Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination	OU <sub>d,C</sub>	Daily oxygen uptake for carbon removal	kg/d
OV <sub>d,D</sub>	Täglicher Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination, der durch die Denitrifikation gedeckt wird	OU <sub>d,D</sub>	Daily oxygen uptake for carbon removal, which is covered by denitrification	kg/d
OV <sub>d,N</sub>	Täglicher Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation	OU <sub>d,N</sub>	Daily oxygen uptake for nitrifikation	kg/d
OV <sub>h</sub>	Stündlicher Sauerstoffverbrauch	OU <sub>h</sub>	Oxygen uptake rate (hourly)	kg/h
p	Betriebsdruck	p	Operating pressure	mbar
P,BM	Phosphat für Zellaufbau, bezogen auf den BSB <sub>5</sub>	P,BM	Phosphate for celle design, referred to BOD <sub>5</sub>	kg P/kg BSB <sub>5</sub>
p <sub>0</sub>	Normdruck (=1013,25 mbar)	p <sub>0</sub>	Standard pressure (=1013,25 mbar)	mbar
PA	Leistungsaufnahme	PA	Power input	kW
Pbio,P	Gesamtes Bio-Phosphat, bezogen auf den BSB <sub>5</sub>	Pbio,P	Total bio phosphate, referred to BOD <sub>5</sub>	kg P/kg BSB <sub>5</sub>
PK	Kupplungsleistung	PK	Coupling power	kW
PKBW(0)	Projektkostenbarwert zum Zeitpunkt „0“	PKBW(0)	Current worth at reference time „0“	€
p <sub>A</sub>	Druck, Ansaugseite	p <sub>S</sub>	Pressure, suction site	mbar
Q <sub>d</sub>	Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter	Q <sub>d,DW</sub>	Daily wastewater inflow with dry weather	m <sup>3</sup> /d
Q <sub>t,d</sub>	Täglicher Trockenwetterzufluß	Q <sub>d,DW</sub>	Inflow at dry weather per day	m <sup>3</sup> /d
Q <sub>L</sub>	Stündliche Luftmenge	Q <sub>L</sub>	Air volume flow per hour	m <sup>3</sup> /h
Q <sub>L,0</sub>	Stündliche Luftmenge unter Normbedingungen	Q <sub>L,0</sub>	Air volume flow per hour, standard conditions	m <sup>3</sup> /h
Q <sub>L,0</sub>	Förderkapazität der Belüfterelemente (Normbedingungen)	Q <sub>L,0</sub>	Capacity of a aerator (standard conditions)	m <sup>3</sup> /h
Q <sub>L,D</sub>	Luftmenge, Druckseite	Q <sub>L,C</sub>	Capacity of a blower, pressure site	m <sup>3</sup> /h
Q <sub>L,A</sub>	Luftmenge der gewählten Gebläse, Ansaugseite = Q <sub>L,Gebläse</sub>	Q <sub>L,S</sub>	Capacity of a blower, suction site = Q <sub>L,Blower</sub>	m <sup>3</sup> /h
r	Jährliche Preissteigerungsrate	r	Yearly rate of increase	-
erf.αOC	O <sub>2</sub> -Zufuhr einer Belüftungseinrichtung in belebtem Schlamm bei C <sub>x</sub> , T, p	req.αOC	Oxygen transfer of an aeration facility in activated sludge with C <sub>x</sub> , T, p	kg/h
RIK(0)	Barwert der Reinvestitions-	RIK(0)	Current worth of the rein-	€

Deutsch:		International:		
	kosten		vest costs	
SAE=OP	Sauerstoffertragswert	SAE	Oxygen efficiency	kgO <sub>2</sub> /kWh
SF	Sicherheitsfaktor für Nitrifikation	SF	Safety factor for nitrification	-
S <sub>NH4,AN</sub>	Ammonium Stickstoff, Ablauf Nachklärbecken	S <sub>NH4,EST</sub>	Concentration of ammonium nitrogen, effluent of sec. settling tank	mg/l
S <sub>NO3,D</sub>	Zu denitrifizierender Nitratstickstoff	S <sub>NO3,D</sub>	Concentration of nitrate nitrogen to be denitrified	mg/l
S <sub>NO3,denitrifizierbar</sub>	Konzentration des denitrifizierbaren Nitratstickstoffs	S <sub>NO3,denitrifiable</sub>	Concentration of denitrifiable nitrate nitrogen	mg/l
S <sub>NO3,D,AN</sub>	Nitratstickstoff, Ablauf Nachklärbecken	S <sub>NO3,EST</sub>	Concentration of nitrate nitrogen, effluent of sec. settling tank	mg/l
S <sub>NO3,ZB</sub>	Nitratstickstoff, Zulauf Belebungsbecken	S <sub>NO3,IAT</sub>	Concentration of nitrate nitrogen, influent of activated tank	mg/l
S <sub>orgN,AN</sub>	Nitratstickstoff, Ablauf Nachklärbecken	S <sub>orgN,EST</sub>	Concentration of nitrate nitrogen, effluent of sec. settling tank	mg/l
SOTR=OC	Erforderliche Sauerstoffzufuhr	SOTR=OC	Standard oxygen transfer rate	kgO <sub>2</sub> /h
ÜS <sub>d</sub>	Tägliche Schlammproduktion	SP <sub>d</sub>	Daily waste activated sludge production (solids)	kg/d
ÜS <sub>d,P</sub>	Tägliche Schlammproduktion aus der Phosphorelimination	SP <sub>d,P</sub>	Daily sludge production from phosphorus removal	kg/d
TS <sub>BB</sub>	Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken	SS <sub>AT</sub>	Mixed liquor suspended solids in the activated tank (MLSS)	kg/m <sup>3</sup>
SSOTE	Spezifische Sauerstoffzufuhr unter Standard-Bedingungen	SSOTE	Specific standard oxygen transfer efficiency	gO <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> *m)
SSOTE%	Spezifische Sauerstoffausnutzung	SSOTE%	Specific oxygen transfer capacity	%/m
T	Temperatur	T	Temperature	°C
T <sub>0</sub>	Standard Temperatur (=273,15 K)	T <sub>0</sub>	Standard temperature (=273,15 K)	K
Tarif	Energiepreis HT- bzw NT-Zeit	Tarif	Energy price (high, low)	€/kWh
t <sub>L</sub>	Belüftungszeit	t <sub>L</sub>	Operation time of the blowers	h/d
t <sub>NT</sub>	NT-Zeit	t <sub>NT</sub>	Low tariff time	%
T <sub>A</sub>	Temperatur, Ansaugseite	T <sub>S</sub>	Temperature, suction site	T
t <sub>TS</sub>	Schlammalter	t <sub>SS</sub>	Sludge age, cell residence time	d
t <sub>TS,aerob</sub>	Aerobes Schlammalter	t <sub>SS,aerob</sub>	Aerobic sludge age	d
V <sub>BB</sub>	Volumen des Belebungsbeckens	V <sub>AT</sub>	Volume of the aeration tank	m <sup>3</sup>
V <sub>D</sub>	Für Denitrifikation genutztes Volumen des Belebungsbeckens	V <sub>D</sub>	Volume of the biological reactor used for denitrification	m <sup>3</sup>
v <sub>L</sub>	Luftgeschwindigkeit im Rohr	v <sub>L</sub>	Velocity of air	m/s
W <sub>Rührwerk</sub>	Energiebedarf der Mixer	W <sub>Mixer</sub>	Energy consumption of the mixer	kWh/d
X <sub>orgN,AN</sub>	In die Biomasse eingebauter organischer Stickstoff	X <sub>orgN,BM</sub>	Concentration of organic nitrogen embedded in the biomass	mg/l

Deutsch:		International:		
$X_{P, Prec}$	Bei der biologischen P-Elimination biologisch gebundener Phosphor	$X_{P, BioP}$	Concentration of phosphorus removed with biological excess phosphorus removal process	mg/l
$X_{P, Fäll}$	Durch Fällung eliminiertes Phosphor	$X_{P, Prec}$	Concentration of phosphorus removed by simultaneous precipitation	mg/l
$X_{TS, ZB}$	Trockensubstanzkonzentration im Zulauf zum Belebungsbecken	$X_{SS}$	Concentration of suspended solids of wastewater; Influent activated tank	mg/l
$\alpha$	Verhältnis von Sauerstoffzufuhr in belebtem Schlamm und in Reinwasser	$\alpha$	Quotient of oxygen transfer in activated sludge and in clean water	-
$\alpha_{OC}$	$O_2$ -Zufuhr einer Belüftungseinrichtung in belebtem Schlamm bei $C_x=0$ , $T=20^\circ C$ , $p=1013hPa$	$\alpha_{OC}$	Oxygen transfer of an aeration facility in activated sludge with $C_x=0$ , $T=20^\circ C$ , $p=1013hPa$	kg/h
$\Theta=1,024$	Temperaturkorrektur Belüftungskoeffizient	$\Theta=1,024$	Temperature correction	-
$\kappa = 1,4$	Adiabatenkoeffizient für 2-atomige Gase	$\kappa = 1.4$	Coeffizient for adiabatic compression	-
$\varphi$	Relative Feuchte	$\varphi$	Relative humidity	%

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 102 von 107
	19 Literaturverzeichnis	Version: 3.0-02

## 19 Literaturverzeichnis

- /1/ apl. Prof. Dr. Ing. M. Wagner, TU - Darmstadt  
Leistung und Bemessung von Belüftungseinrichtungen  
Wasserwirtschaftskurse M/2  
Kommunale Abwasserbehandlung, 11. - 13. Oktober 2006, Kassel
  - /2/ DWA-A 131, (06/2016):  
Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen  
DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.  
Hennef, 2016
  - /3/ Dr. - Ing. Martin Wagner  
Sauerstoffeintrag und Sauerstofftrag von Belüftungssystemen und  
deren Bestimmung mit modernen Messmethoden  
Schriftenreihe WAR 100, Darmstadt 1997
  - /4/ Dr. Wilhelm Frey  
Vergleichende Betrachtung der Betriebsergebnisse von Druck-  
und Oberflächenbelüftungssystemen in Österreich  
Seminar Belüftungstechnik 4/2006
  - /5/ ATV Handbuch  
Biologische und weitergehende Abwasserreinigung  
Ernst & Sohn, Berlin, 1997
  - /6/ Pöpel, H.J., Wagner, M.,  
Grundlagen von Belüftung und Sauerstoffeintrag  
WAR - Schriftenreihe, TH Darmstadt, Band 37, 1989
  - /7/ Seminar Oberflächenbelüftung, Wiesbaden  
Technische Akademie Hannover, März 2003
  - /8/ Metcalf & Eddy  
Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse  
3.edition, USA, 1991
  - /9/ Prof. Dr. Martin Wagner  
Wasserwirtschaftskurse M/2 Kommunale Abwasserbehandlung;  
Leistung und Bemessung von Belüftungseinrichtungen  
DWA, Hennef 2006
  - /10/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)  
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen  
(KVR - Leitlinien)  
Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 7. Auflage, Berlin, 2005
  - /11/ Rolf Kayser  
ATV-DVWK-Kommentar: Bemessung von Belebungs- und SBR-Anlagen,  
2001
  - /12/ Lutz Härtel
-

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 103 von 107
	19 Literaturverzeichnis	Version: 3.0-02

Modellansätze zur dynamischen Simulation des Belebtschlammverfahrens,  
Schriftenreihe WAR 47,  
Darmstadt, 1990

/13/ Vauck, Müller: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik,  
VEB, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1989

/14/ DWA-M 229-1  
Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen  
- Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung  
DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.  
Hennef, September 2017

/15/ Handbuch Energie in Kläranlagen  
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft  
des Landes Nordrhein - Westfalen, September 1999

Lieferanteninformationen Rührwerke  
Flygt, EMU, KSB

Lieferanteninformationen Gebläse  
Aerzener, Kaeser

Lieferanteninformationen Belüfter  
OMS, OTT, Supraflex, Invent

Lieferanteninformationen Oberflächenbelüfter  
Passavant-Intech, Landustrie, Fuchs, Biogest

## 20 Index

- A 229-1
    - Lastfälle 78
  - Adiabate Verdichtung 37
  - Adiabate Verdichtung, Theorie 86
  - Aerobes Schlammalter 65
  - AQUA AERO beenden 8
  - AQUA AERO starten 8
  - Atmungserhöhungsfaktor 73
  - Beckengeometrie 16
  - Bedienung 8
  - Belegungsichte 86
  - Belüfter
    - Art 34
    - Beaufschlagung 35
    - Konstruktion 34
  - Belüfter Auswahl 26
  - Belüftung
    - A 229-1 78
  - Belüftungselemente 85
  - Beobachtungszeitraum 49
  - Berichte 53
  - Betriebskosten 47
  - Betriebskosten, Theorie 94
  - Betriebsmittelkosten 48
  - Bezugszeitpunkt
    - Barwert 49
    - Definition 92
  - Blockschema 9
  - CAD-Zeichnung 55
  - Datenbank 58
    - Datensatz ändern 59
    - Datensatz einfügen 59
    - Datensatz löschen 59
  - Denitrifikation 61
    - Grundgleichung 61
    - Intermittierend 63
    - Simultan 62
    - Vorgeschaltet 62
  - Dichte
    - im Ansaugzustand 84
  - Diskontierungsfaktor 93
  - Diskontierungsfaktor, progressiv 94
  - Druckbelüftung 26
  - Druckverlust 27
  - Druckverlust, Rohrleitung 87
  - Druckverlust, Theorie 85
  - Eingabefeld 11
  - Energiebedarf
    - Gebläse 95
    - Rührwerke 95
  - Energiekosten 47
  - Ergebnisfeld 11
  - fint 82
  - fint, kombiniert 82
  - Fließgeschwindigkeit 87
  - Gebläse
    - Auswahl 27
    - Betriebspunkt 29
    - Datenbank 27
    - Ersatz 31
    - Gegendruck 27
    - Leistungsaufnahme 90
    - Löschen 32
    - Luftmenge 28
    - Stufung 30
    - Verluste 41
  - Gebläse Auslegung 27
  - Gesamt-Schlammalter 66
  - Grenzflächenfaktor 81
  - Grunddaten 16
  - Hilfe 12
    - Iconleiste 12
    - Index 12
  - Installation 7
  - intermittierend
    - Erhöhungsfaktor 82
  - intermittierende Denitrifikation 70
  - Intermittierende Denitrifikation 63
-



Investitionskosten 43	Phosphat-Elimination 64
Investitionskosten, Theorie 93	Stickstoff-Elimination 61
Konstanten	Reinvestitionskosten, Theorie 93
Druckverlust 56	Reinwasserbedingungen 81
Einbauhöhe 56	Rezirkulationsrate 70
Wandstärke 56	Rohrleitungen 37
Kontakt 107	Rohrleitungen, Theorie 86
Lastfälle	Rührwerke 32
A 229-1 78	Auslegung 32
Sauerstoffbedarf 78	Auswahl 33
Leistung	Laufzeit 96
Gebläse 90	Leistungsaufnahme 41
Rührwerke 91	Leistungsaufnahme, Theorie 91
Luftdruck 80	Leistungsdichte 32
Luftmenge	SAE <i>Siehe</i> Sauerstoffertragswert
angesaugte Luft 83	Salzfaktor 82
Belüfter Norm 85	Sättigungsdampfdruck 84
Gebläse 28	Sauerstoffbedarf 20
Gebläse, Theorie 84	Abbau C-Verbindungen (BSB) 75
Komprimiert 86	Abbau N-Verbindungen 77
Normbedingungen 83	Durchschnittlich 79
Menüleiste 8	minimal 79
Nitrifikation 61	Mittlerer 95
notwendige Sauerstoffzufuhr 80	Sauerstoffertragswert
Nutzungsdauer, Def. 92	Formel 91
Phosphat-Elimination 18	Formular 41
Biologisch 64	Theorie 90
Chemisch 64	Sauerstofflast 77
Preissteigerungsrate 49	Sauerstoffsättigungskonzentration 78
Projekt	Sauerstoffverbrauch 24
Ändern 15	Theorie 65
Neu 14	Sauerstoffzufuhr, erf.
Öffnen 14	Formular 25
Speichern 14	Schlammalter 65
Projektkostenbarwert 49, 96	Aerob 65
Projektkostenbarwert, Def. 92	Gesamt 66
Prozessfaktor 67	simultane Denitrifikation 73
Reinigungsverfahren 18, 20	Simultane Denitrifikation 62
Phosphat-Elimination 18	SOTR 25
Stickstoff-Elimination 18	Druckbelüftung 80
Reinigungsverfahren, Theorie 61	Oberflächenbelüftung 88

---

Spezifische Sauerstoffausnutzung	Oberflächenbelüftung 88
Bemessung 27	Überschussschlammproduktion 66
Betrieb 41	Umrechnungsfaktor
SSOTE <i>Siehe</i> Spez. Sauerstoffausn.	SBR 83
Steigerungsrate 94	Untersuchungszeitraum, Def. 92
Stickstoff-Elimination	Vertrieb 107
Auswahl 18	vorgeschaltete Denitrifikation 72
Theorie 61	Vorgeschaltete Denitrifikation 62
Stoßfaktoren 77	Wartungskosten 48
Support 107	Wirtschaftlichkeitsberechnung 92
Symbolleiste 9	Zeichnung 55
Systemanforderungen 7	Exportieren 55
Temperaturerhöhung 86	Speichern 55
Theorie 60	Zinssatz 49
Tiefenfaktor	Zinssatz,Def. 92
Druckluft 80	

---

BITControl	AQUA AERO 3.x - Handbuch	Seite: 107 von 107
	21 Kurzporträt BITControl	Version: 3.0-02

## 21 Kurzporträt BITControl

# BITControl

## ist mehr als Hard- und Software

Unser Leistungsspektrum:

- Software zur Planung von Kläranlagen: AQUA DESIGNER
- Software zur wirtschaftlichen Auslegung der Belüftungstechnik: AQUA AERO
- Prozessleit- und Fernwirktechnik für Abwasser, Wasseraufbereitung und Biogas: AQUA und BIO PROVI
- Online Anlagen-Dokumentation: PROVI ONLINE
- Online Datensicherung: PROVI BACKUP
- Energy-Analyse PROVI ENERGY
- Fachplanung nach HOAI für Maschinen- und Elektrotechnik
- Verfahrenstechnische Studien zur Energieeffizienz und Optimierung des Kläranlagenbetriebs

### Ihr Ansprechpartner:

BITControl GmbH, Auf dem Sauerfeld 20, 54636 Nattenheim

Telefon: +49 65 69 / 962 55-11

Telefax: +49 65 69 / 962 55-19

[www.bitcontrol.info](http://www.bitcontrol.info)

[mail@bitcontrol.info](mailto:mail@bitcontrol.info)

---