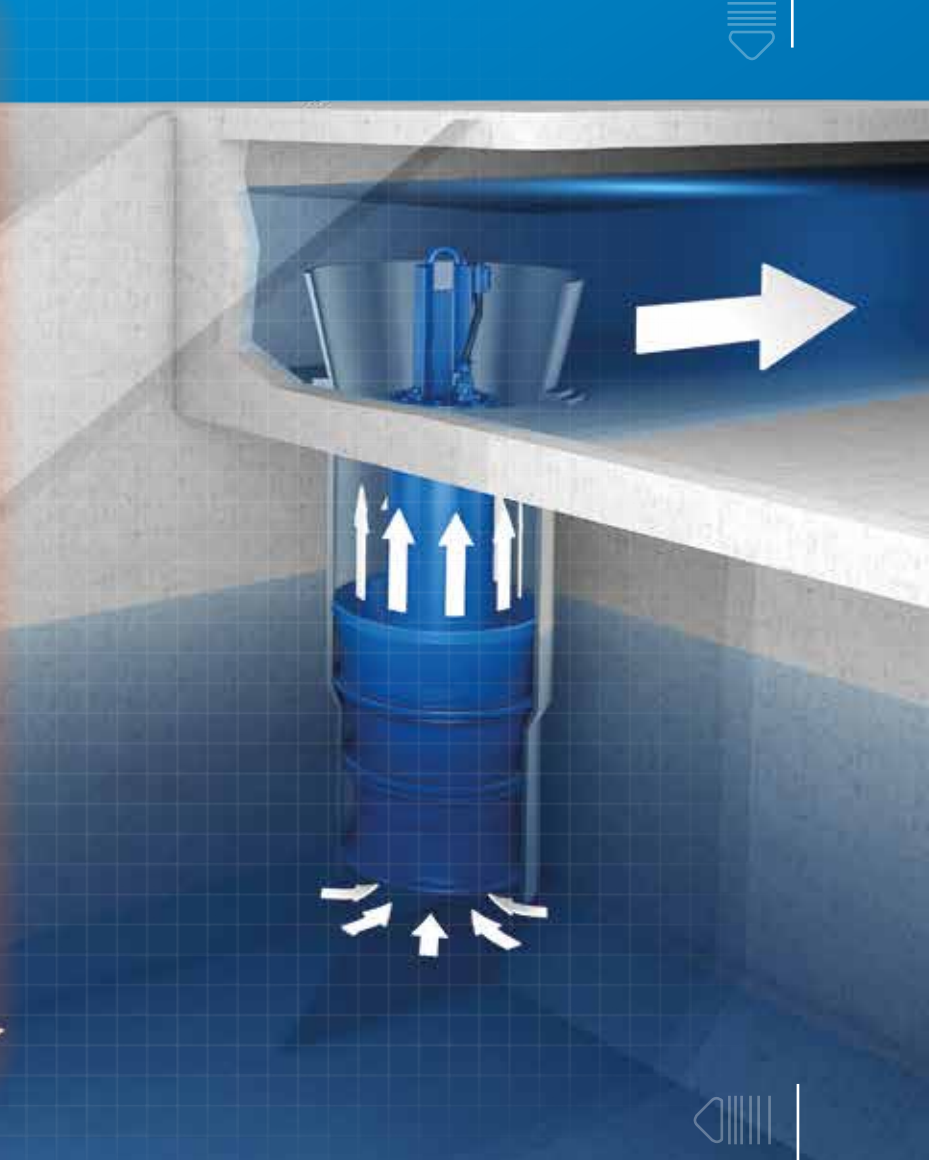


## KSB-Know-how: Planungshinweise Rohrschachtpumpe Amacan



## Sehr geehrte Partner,

In der Wasser- und Abwassertechnik sind Tauchmotorpumpen eine wirtschaftliche und technische Alternative zu konventionellen, trocken aufgestellten Pumpen. Insbesondere bieten sie bei Wartungs- und Montagearbeiten in vielerlei Hinsicht Handlungsvorteile – das gewinnt bei der allgemein zurückgehenden Personalkapazität auf Betreiberseite zunehmend an Bedeutung.

Im Spezialfall der Tauchmotorpumpen im Rohrschacht kommen gewichtige konstruktive Vorteile hinzu. Beispielsweise sind Tauchmotorpumpen im Vergleich zu konventionellen Rohrgehäusepumpen bei gleicher hydraulischer Leistung wesentlich kompakter dimensioniert (keine langen Wellenstränge, keine zusätzlichen Lagerstellen im Rohrschacht). Gebäude zur Aufnahme der Elektromotoren sind nicht erforderlich, denn der Antriebsmotor einer Tauchmotorpumpe befindet sich direkt an der Pumpe befestigt mit im Rohrschacht.

Diese Vorteile überzeugen immer mehr Betreiber – Amacan-Pumpen von KSB arbeiten in Be- und Entwässerungspumpwerken, Wasserwerken, Kläranlagen, Kraftwerken, in der industriellen Wasserversorgung und im Gewässer- und Katastrophenschutz.

Die Pumpen fördern dort Roh- und Reinwasser (Grundwasser, Regenwasser, Flusswasser) ebenso wie mechanisch vorgereinigtes Abwasser und Belebtschlamm.

Mehr als bei anderen Pumpen ist bei Rohrschachtpumpen die Ausführung und Gestaltung der Peripherie – also die Pumpstation insgesamt – für einen wirtschaftlichen und zuverlässigen Betrieb von höchster Bedeutung.

Neben der Auslegung der Pumpenhydraulik werden im Folgenden die Bauwerksgestaltung ebenso intensiv behandelt wie die Planung der Pumpenaufstellung und die Gestaltung des Pumpensumpfes. Überlegungen zur elektrotechnischen Ausrüstung runden die Ausführungen ab.

Die vorliegende Broschüre wendet sich an Planer und Betreiber in der Wasser- und Abwassertechnik.

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



Seite	
<b>04</b>	<b>Die Baureihe Amacan</b>
04	Laufgradformen und Leistungsbereiche
08	Ermittlung von Betriebspunkten
14	Pumpenantrieb mit Frequenzumrichter
<b>15</b>	<b>Bauwerksgestaltung</b>
15	Allgemeine Vorbemerkungen
16	Planung der Pumpenaufstellung
32	Sonderfall Amacan K
33	Gestaltung des Pumpensumpfes
38	Lösungen für Sonderfälle
39	Die Notwendigkeit von Modelltests
40	Versuchsaufbau
43	Die Bedeutung von CFD-Simulationen
45	Rechen-Einrichtungen

Seite	
<b>48</b>	<b>Rohrschachtausführungen</b>
48	Konstruktive Varianten
51	Details der Rohrschachtausführung
<b>53</b>	<b>Kabelanschlüsse</b>
<b>56</b>	<b>Quellennachweis</b>
56	Bildnachweis
56	Autor





# Die Baureihe Amacan

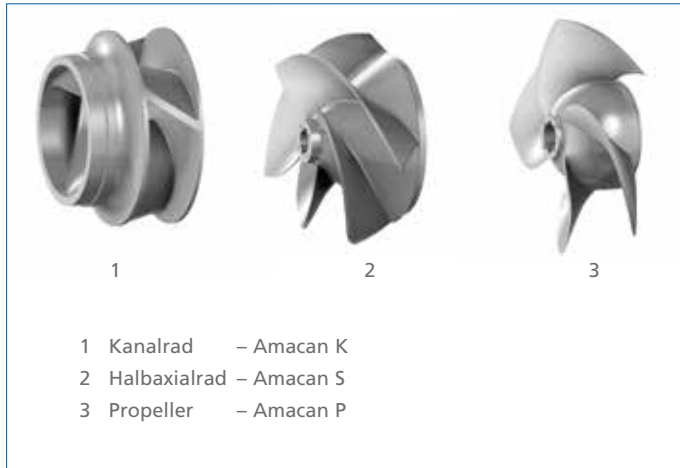


Abb. 1: Verfügbare Laufradformen für Amacan-Pumpen



Abb. 2: Montage einer Tauchmotorpumpe mit Mobilkran



Abb. 3: Pumpstation mit Gebäude

## Laufradformen und Leistungsbereiche

Zum Fördern größerer Volumenströme bewähren sich in den verschiedensten Anwendungen Tauchmotorpumpen in Rohrschachtausführung. Solche Tauchmotorpumpen können optional mit drei unterschiedlichen Laufradformen ausgestattet sein (siehe Abb. 1). Somit können diese Pumpen die unterschiedlichsten Medien fördern – vom relativ sauberen Grauwasser bis hin zum Abwasser oder Belebtschlamm (siehe Tabelle 1). Welche Laufradform für die jeweilige Anwendung am besten geeignet ist, das hängt von der Beschaffenheit / Zusammensetzung des Fördermediums und von der Förderaufgabe ab.

Fördermedien	Hinweise und Empfehlungen
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfung des freien Laufraddurchgangs</li> <li>durch Rechen bzw. eine Überlaufschwelle vorreinigen</li> </ul>
Flusswasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>durch Rechen oder Geröllfang vorreinigen</li> </ul>
Regenwasser / Abwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfung des freien Laufraddurchgangs</li> <li>durch Rechen bzw. eine Überlaufschwelle vorreinigen</li> <li>bei einem Propellerlaufrad ist gegebenenfalls ein Sonderspaltring erforderlich</li> </ul>
Belebtschlamm	<ul style="list-style-type: none"> <li>max. 2 % Trockensubstanzanteil</li> </ul>
Meerwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfung möglicher Werkstoffkombinationen bzw. Anbau von Opferanoden mit halbjährlicher Kontrolle, des speziellen Korrosionsschutzanstrichs</li> </ul>

Tabelle 1: Hinweise und Empfehlungen für verschiedene Fördermedien

Die Auswahlraster in den Abb. 5, Abb. 7 und Abb. 9 für die verschiedenen Laufradformen zeigen, welche Baugröße einer gewählten Pumpenbaureihe die gewünschte Förderaufgabe erfüllen kann. Bei der Auswahl ist zu beachten, welche Laufradform sich für welches Fördermedium eignet. Zum Teil sind beim Einsatz einer bestimmten Laufradform auch zusätzliche Anforderungen an die Gestaltung und an die technische Ausrüstung der Pumpstation zu beachten.

Der konstruktive Aufbau moderner Tauchmotorpumpen im Rohrschacht bietet im Vergleich zu konventionellen Rohrgehäuse-Pumpen eine Reihe von Vorteilen. Beispielsweise sind diese Pumpen bei gleicher hydraulischer Leistung (Laufrad) wesentlich kompakter dimensioniert (keine langen Wellenstränge, keine zusätzlichen Lagerstellen im Rohrschacht). Das Handling einer Tauchmotorpumpe ist deutlich einfacher, was speziell Wartungs- und Montagearbeiten vereinfacht.

Gebäude zur Aufnahme der Elektromotoren bzw. der Klimatisierungen zur Wärmeabfuhr sind nicht erforderlich. Der Antriebsmotor einer Tauchmotorpumpe befindet sich mit im Rohr-schacht. Meist sind für Montage- und Wartungsarbeiten entsprechend der Einbautiefe vor Ort große Hebezeuge installiert. Diese Hebezeuge erfordern recht hohe Investitionen, obwohl sie nur für die zyklischen Wartungsarbeiten bzw. bei Montage/Demontage zum Einsatz kommen. Für die gleichen Aufgaben reichen beim Einsatz von Tauchmotorpumpen Amacan im allgemeinen kostengünstigere Mobilkräne vollkommen aus. Um diesen Vorteil nutzen zu können, sind entsprechende Zufahrten bei der Planung mit vorzusehen.



Abb. 4: Amacan K und Schnitt

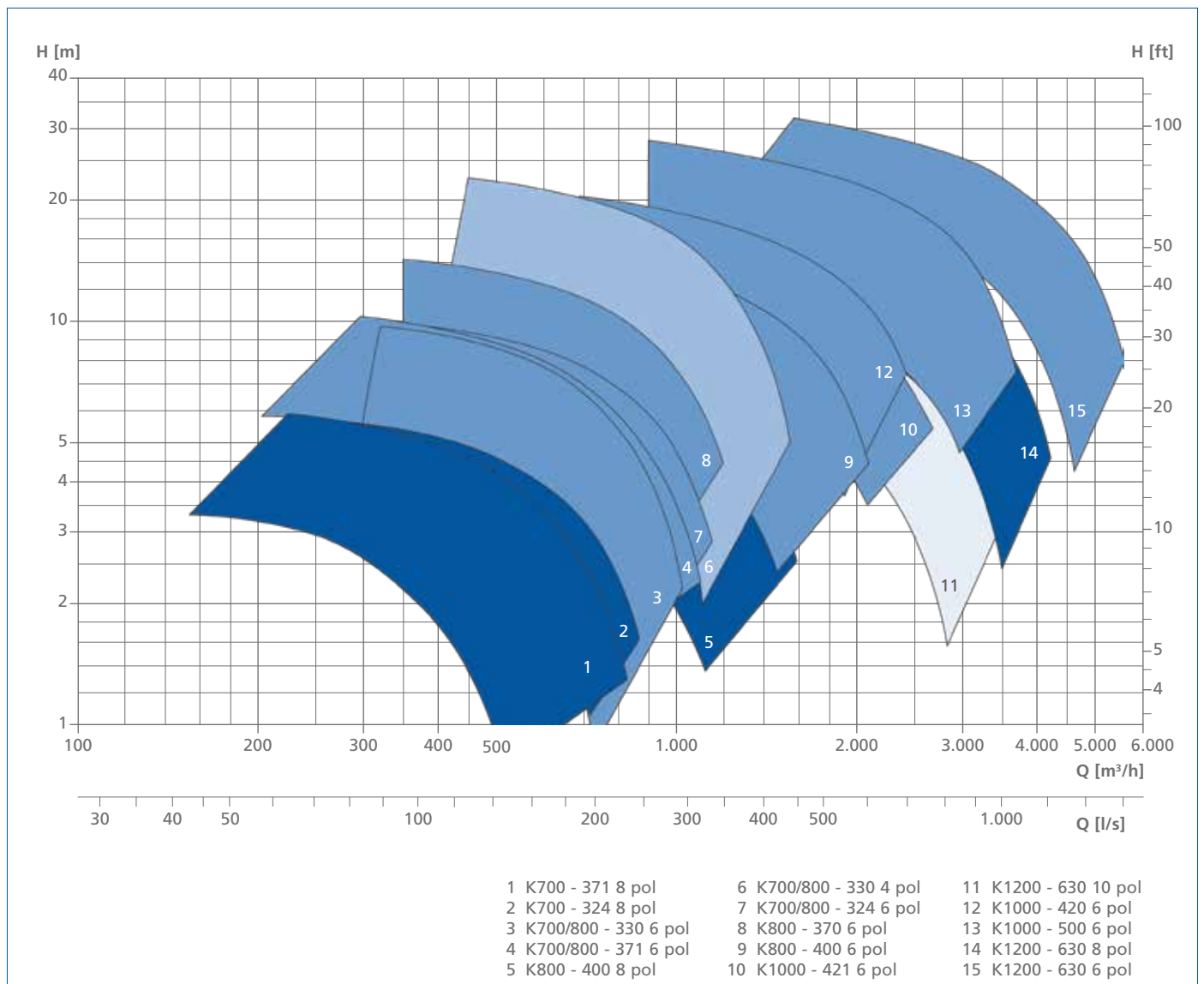


Abb. 5: Auswahlraster Amacan K (50 Hz)



Abb. 6: Amacan S und Schnitt

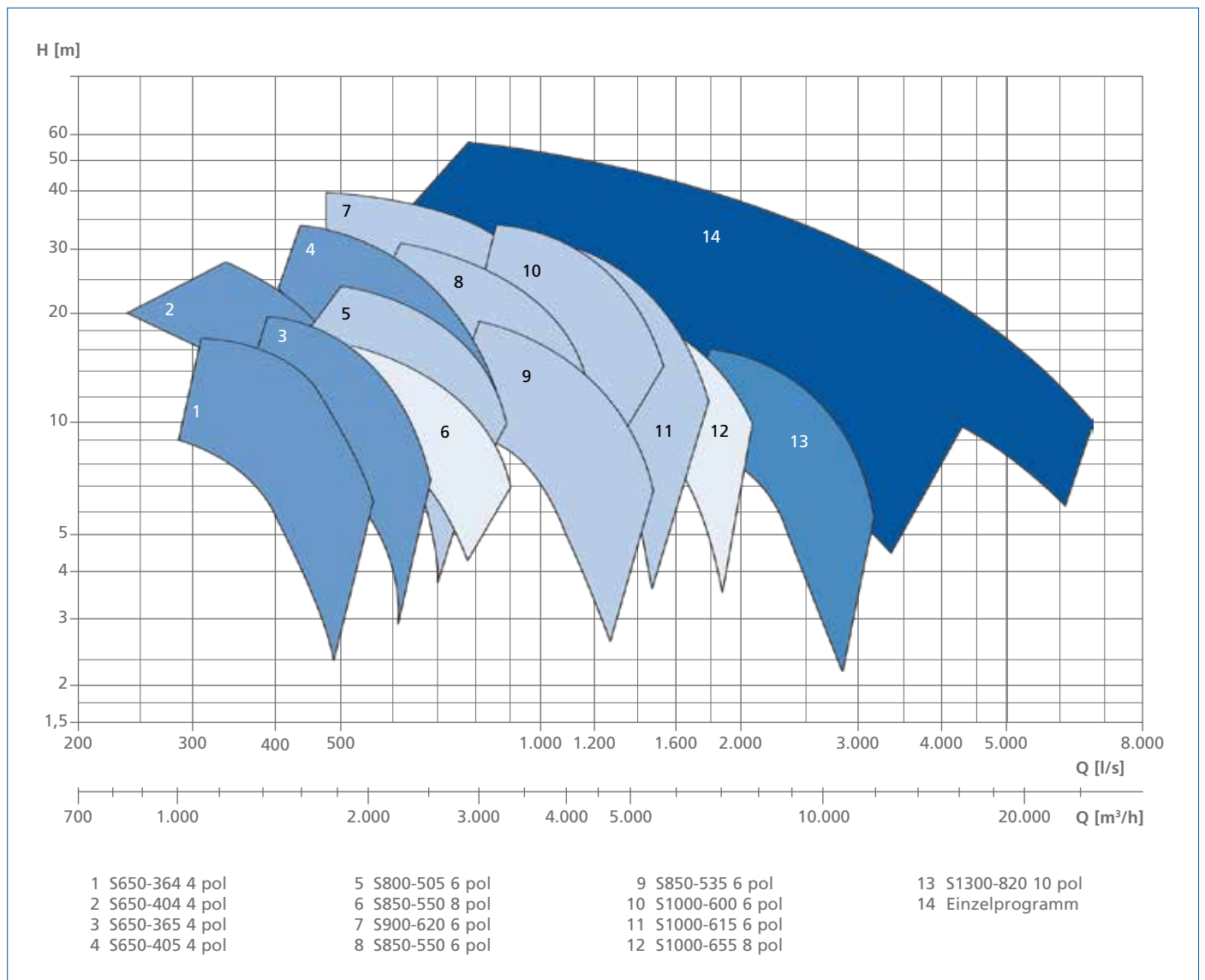


Abb. 7: Auswahlraster Amacan S (50 Hz)



Abb. 8: Amacan P und Schnitt

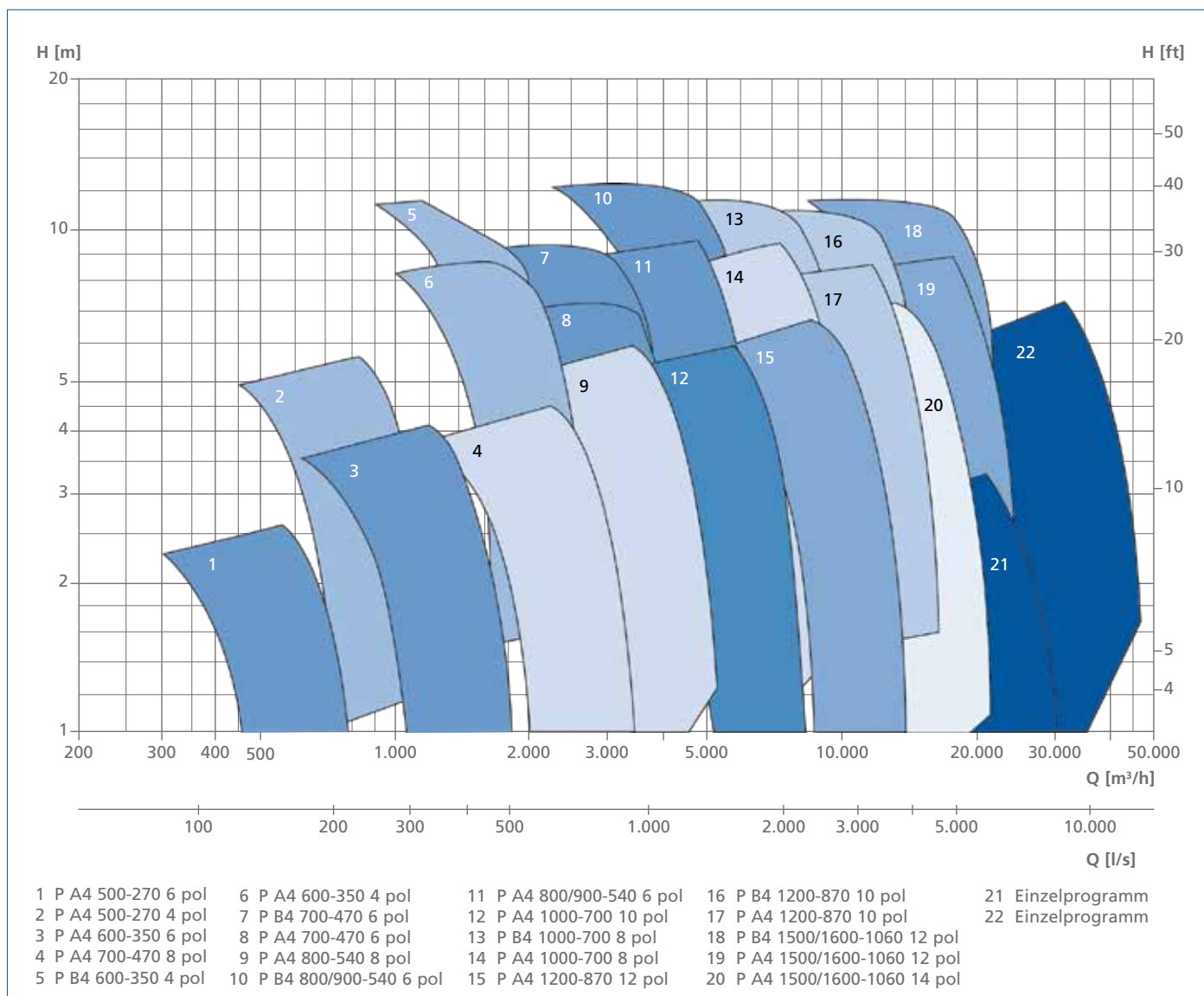
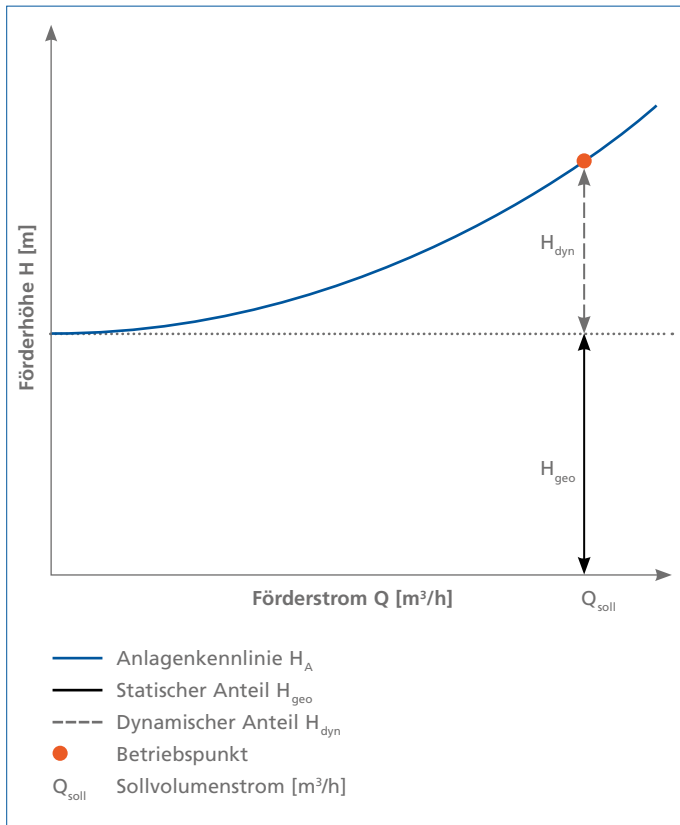


Abb. 9: Auswahlraster Amacan P (50 Hz)

Abb. 10: Beispiel einer Anlagenkennlinie [ $H = f(Q)$ ]

## Ermittlung von Betriebspunkten

Die erforderliche manometrische Förderhöhe für einen bestimmten Volumenstrom wird bei Amacan-Pumpen vom Ansatz her wie bei jeder beliebigen Kreiselpumpe berechnet.

Die dokumentierten Pumpenkennlinien beinhalten bereits die internen Verluste zwischen Laufradeintritt und 0,5 m hinter Motorende. Eintrittsverluste und Druckrohrverluste nach 0,5 m hinter Motorende sowie Umlenkverluste, Einbauten und Austrittsverluste sind als dynamischer Förderhöhenanteil zu berücksichtigen.

Die Anlagenkennlinie setzt sich aus dem geodätischen (Wasserspiegelunterschiede) und dem dynamischen Förderhöhenanteil zusammen (Reibungsverluste in den strömungsführenden Teilen):

$$H_{ges} = H_{geo} + H_{dyn} \quad [m] \quad \text{Formel (1)}$$

### Legende:

$H_{ges}$  = Gesamtförderhöhe [m]

$H_{geo}$  = geodätische Höhe [m]

$H_{dyn}$  = dynamischer Förderhöhenanteil [m]

$$H_{dyn} = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \cdot \frac{L_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \cdot \frac{v_i^2}{2g} \quad [m] \quad \text{Formel (2)}$$

### Legende:

$H_{dyn}$  = dynamischer Förderhöhenanteil [m]

$i$  = Index der betrachteten Komponente ( $i = 1$  bis  $n$ )

$\lambda_i$  = Rohrreibungsbeiwert

$L_i$  = Länge des betrachteten Rohrleitungsabschnittes  $i$  [m]

$d_i$  = Durchmesser des betrachteten Rohrleitungsabschnittes  $i$  [m]

$\xi_i$  = Reibungsverlustbeiwert des betrachteten Rohrleitungsabschnittes  $i$

$v_i$  = im Teilabschnitt  $i$  vorliegende Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

$g$  = Fallbeschleunigung 9,81  $m/s^2$

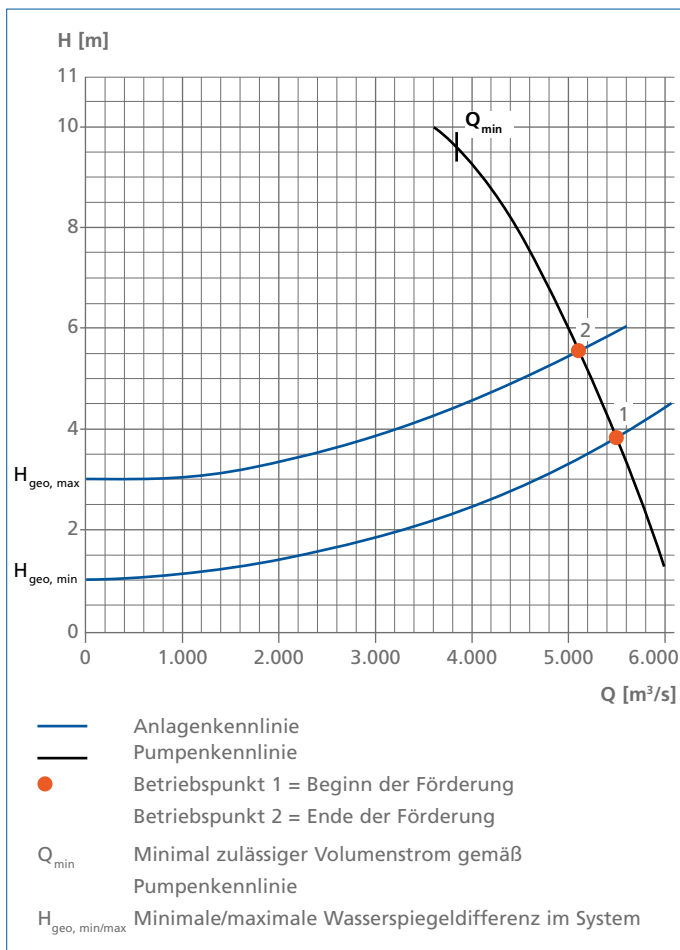


Abb. 11: Darstellung der möglichen Wasserstände

Da besonders Propellerpumpen nur geringe Förderhöhen erreichen, muss bei der Berechnung auch der Austrittsverlust aus der Rohrleitung (oft ist ein Rückflussverhinderer installiert!) berücksichtigt werden. Beim Bestimmen der geodätischen Förderhöhenanteile sind besonders bei Schöpfwerken die maximalen Differenzen zwischen Saug- und Druckseite der Pumpstation von Interesse. Diese Maximalwasserstände dürfen bei der Pumpenauslegung nicht dazu führen, dass die zulässige Förderhöhe der Pumpe über- bzw. unterschritten wird und die Pumpe eventuell in einem Bereich links von  $Q_{min}$  arbeitet.

Sind für die Berechnung der dynamischen Förderhöhenanteile der Anlage nicht alle Verlustbeiwerte  $\xi_i$  bekannt, finden Sie weitere Informationen im Kreiselpumpenlexikon [www.ksb.com/kreiselpumpenlexikon](http://www.ksb.com/kreiselpumpenlexikon) unter dem Suchbegriff "Verlustbeiwerte / Druckhöhenverlust".



Die Wasserstandsunterschiede sind bei der Auslegung von Rohrschachtpumpen von besonderer Bedeutung, darf doch der minimale Wasserstand  $W_{sp, min}$  im Bauwerk nicht unter den für den Volumenstrom der Pumpe erforderlichen Wasserstand  $t_1$  abgesenkt werden – nur so sind Oberflächenwirbel zu vermeiden. Mit diesem Wasserstand kann dann auch die erforderliche Bauwerkstiefe  $t_{BW}$  für die Pumpstation ermittelt werden. Der Mindestwasserstand ist abhängig vom geforderten Volumenstrom der Pumpe [ $t_1 = f(Q)$ ] und auch von der Gestaltung der Einlaufkammer (siehe ab Seite 21).

Außer der Laufradüberdeckung (baugrößenabhängig) und der Grenzlinie gegen luftziehende Wirbel (volumenstromabhängig) – beides in Abb. 12 dargestellt – ist der NPSH-Wert der Pumpe im Betriebspunkt für den erforderlichen Wasserstand  $t_1$  von Bedeutung. Es gilt die Bedingung

$$NPSH_{Anlage} \geq NPSH_{Pumpe} + \text{Sicherheitszuschlag} \quad [m] \quad \text{Formel (3)}$$

Legende:

$NPSH_{Anlage}$  = „Net Positive Suction Head“ der Anlage [m]

$NPSH_{Pumpe}$  = „Net Positive Suction Head“ der Pumpe [m]

Der Sicherheitszuschlag beträgt für Wasser ca. 1,0 m

Der Wert für  $t_1$  ist bei Nichterfüllung entsprechend dem Differenzbetrag zu vergrößern.

$$t_{BW} = W_{sp, min} - t_1 \quad [m] \quad \text{Formel (4)}$$

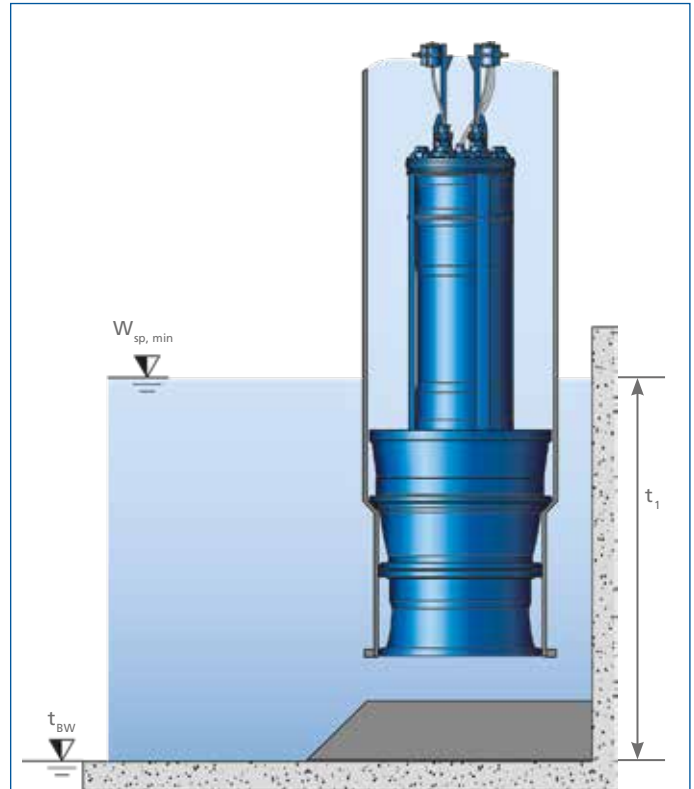
Legende:

$t_{BW}$  = erforderliche Bauwerkstiefe für die Pumpstation [m]

$W_{sp, min}$  = minimaler Wasserstand im Bauwerk [m]

$t_1$  = für den Volumenstrom der Pumpe erforderliche Wasserstand [m]

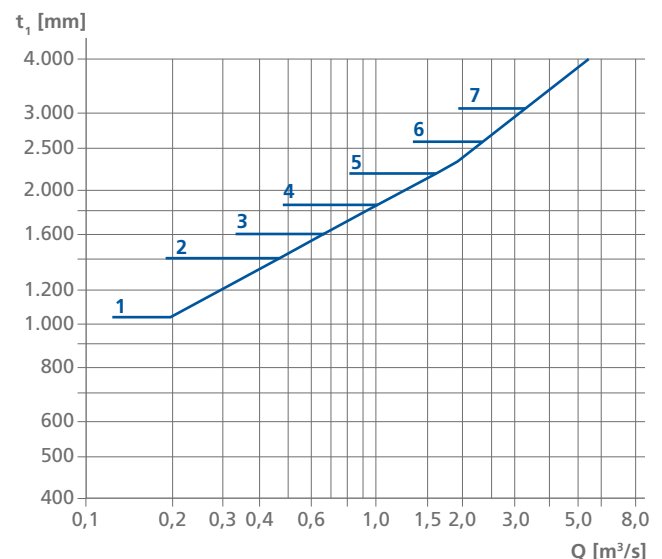
Sollte der Rohrschacht nach oben offen sein (freier Überfall z. B. aus Rohr), muß die Überfallhöhe  $h_{\ddot{u}}$  bei der Ermittlung der Pumpenförderhöhe  $H_{ges}$  berücksichtigt werden. Liegen keine anderen Erkenntnisse vor, kann die Überfallhöhe  $h_{\ddot{u}}$  aus der Abb. 14 entnommen werden.



$W_{sp, min}$  = Minimaler Wasserstand im Bauwerk

$t_1$  = Für den Volumenstrom der Pumpe erforderlicher Mindestwasserstand

$t_{BW}$  = Erforderliche Bauwerkstiefe für die Pumpstation



1 Amacan P ... 500 – 270

2 Amacan P ... 600 – 350

3 Amacan P ... 700 – 470

4 Amacan P ... 800/900 – 540

5 Amacan P ... 1000 – 700

6 Amacan P ... 1200 – 870

7 Amacan P ... 1500/1600 – 1060

Abb. 12: Ermittlung des Mindestwasserstands  $t_1$  für Amacan P (vgl. Amacan K und Amacan S gem. Baureihenheft)

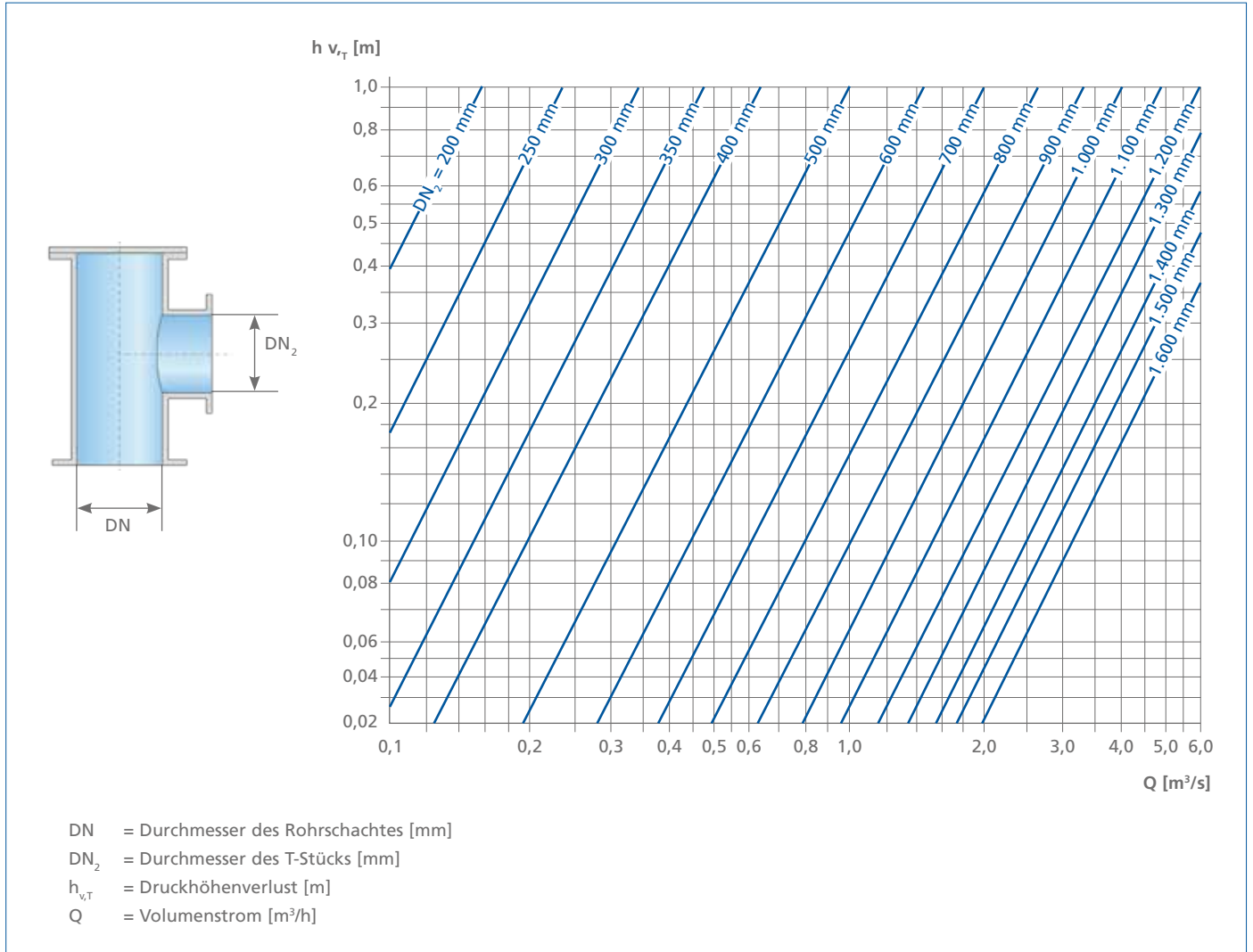
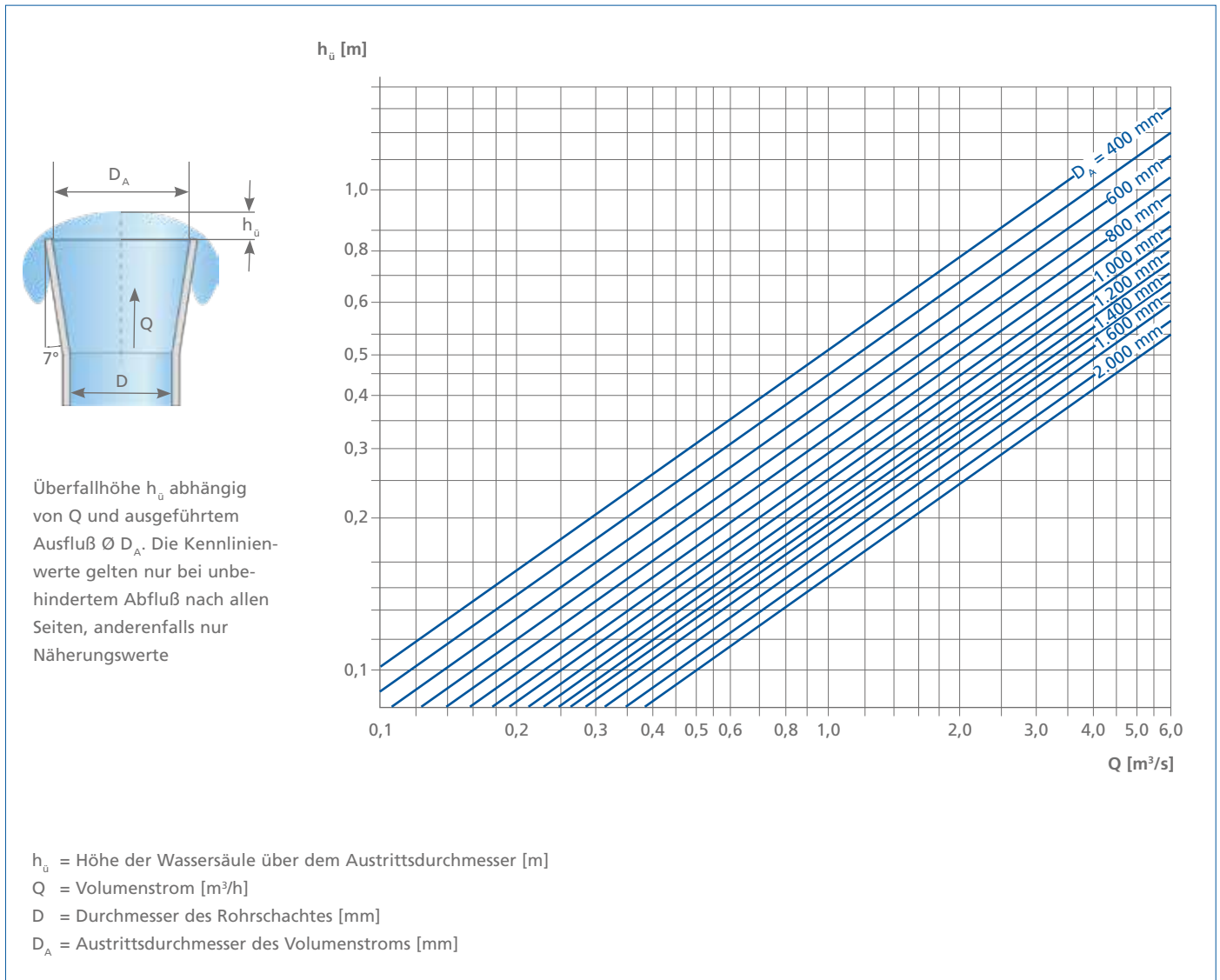


Abb. 13: Ermittlung des Druckhöhenverlusts eines T-Stücks

Abb. 14: Ermittlung der Überfallhöhe  $h_u$

Nach Ermittlung der Anlagenkennlinie sollte diese immer zusammen mit der Pumpenkennlinie dargestellt werden, um die sich einstellenden Betriebspunkte (Schnittpunkte der Kennlinien) zu prüfen. Dadurch kann der Planer sicherstellen, dass sich keine Betriebszustände außerhalb der zulässigen Kennlinienbereiche einstellen (Abb. 15).

#### Hinweis:

Vergleiche  $t_1$ -Tabellen in den Baureihendokumentationen für die jeweilige Baugröße, Ausstattung und den entsprechenden Volumenstrom.

#### Gegeben:

- 1. Arbeitspunkt:  
Förderstrom  $Q_{\max} = 5.220 \text{ m}^3/\text{h} = 1.450 \text{ l/s}$   
Förderhöhe  $H = 5 \text{ m}$   
geodätische Förderhöhe  $H_{\text{geo, max}} = 2 \text{ m}$
- 2. Arbeitspunkt:  
Förderstrom  $Q_{\min} = 4.932 \text{ m}^3/\text{h} = 1.370 \text{ l/s}$   
Förderhöhe  $H = 6,1 \text{ m}$   
geodätische Förderhöhe  $H_{\text{geo, min}} = 3,5 \text{ m}$
- Fahrbereich der Pumpe:  $Q_{\min}$  bis  $Q_{\max}$
- Förderguttemperatur  $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Werkstoffausführung G1
- FU-Betrieb: nein
- Ex-Schutz: nein

Gegebene Daten zum Auswahlbeispiel Abb. 15

#### Auswahlbeispiel:

#### Folgende Schritte A – D führen zur korrekten Auswahl des Pumpenaggregats

#### A

Eintrag von Q und H der beiden Arbeitspunkte  
(Siehe Gegeben im grauen Kasten)  
Ablesen des Propelleranstellwinkels

#### Ergebnis A:

**Propelleranstellwinkel = 17°**

#### B

Eintrag von Fahrbereich  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$   
Ablesen der maximal erforderliche Motorleistung  $P_{\text{Betr.}}$

#### Ergebnis B:

**Motorleistung  $P_{\text{Betr.}} = 100 \text{ kW}$**

#### C

Aus Tabelle C die entsprechende Leistungsreserve zu Motorleistung  $P_{\text{Betr.}}$  (Netzbetrieb) ablesen und  $P_{2 \text{ Mot erf.}}$  berechnen

#### Ergebnis C:

**$P_{2 \text{ Mot erf.}} = 100 \text{ kW} \times 1,05 = 105 \text{ kW}$**

#### D

Aus  $P_{2 \text{ Mot erf.}}$  kann direkt die Motorgröße gewählt werden, dabei muss  $P_{2 \text{ Mot erf.}} \geq P_{2 \text{ Mot erf.}}$

#### Ergebnis D:

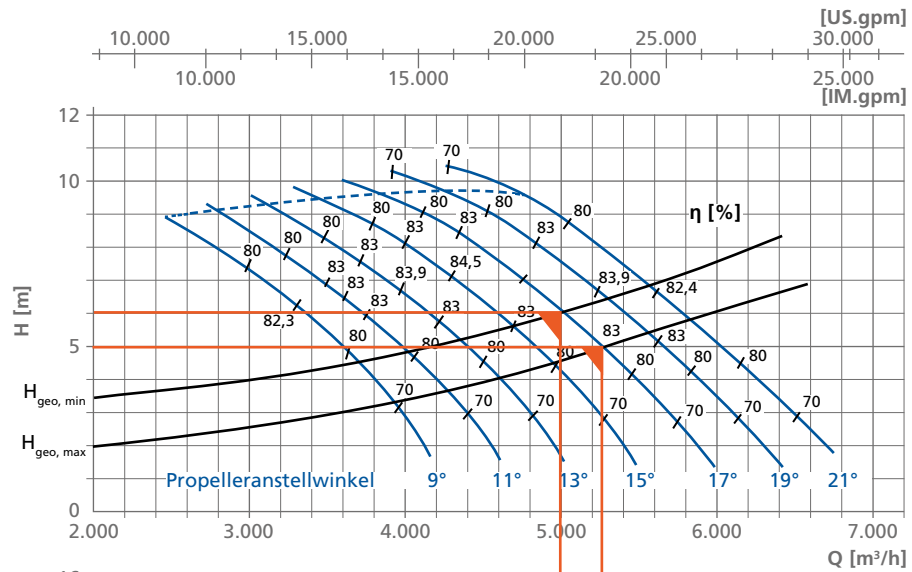
**Ausführung „U“ (ohne Ex-Schutz) – Motor mit 120 kW, 6-polig**

**Amacan PA 4 800-540 / 120 6 UTG1**

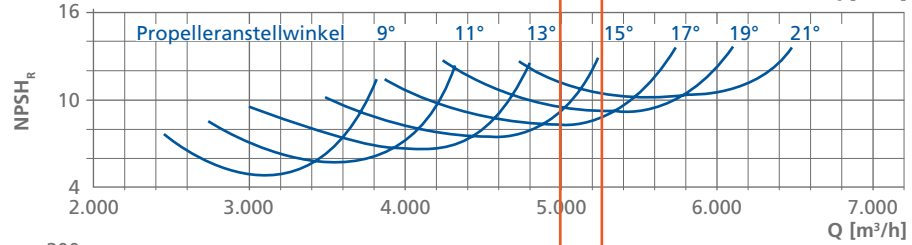
(Motordaten siehe Motorkatalog Rhg.-Nr. 1580.505/...)



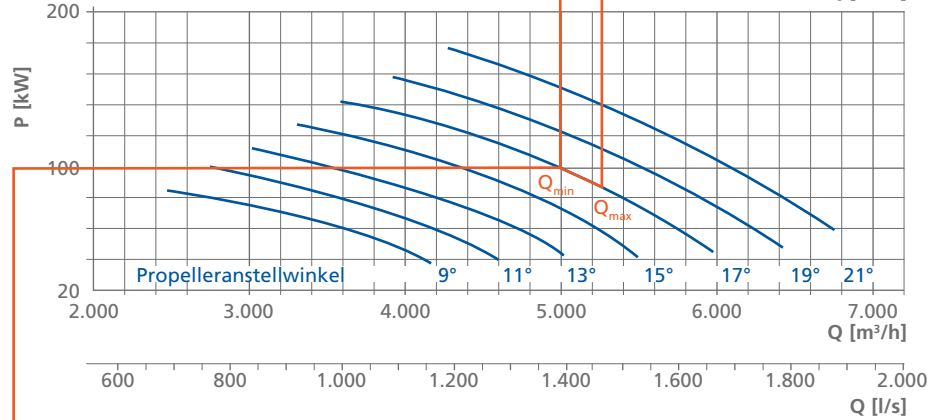
A



B



C



Empfohlene Mindestreserven

Erforderliche Pumpenleistung $P_{Betr.}$	Motorleistungsreserve Netzbetrieb	Motorleistungsreserve mit Frequenzumrichter
< 30 kW	10 %	15 %
> 30 kW	5 %	10 %

5 % von 100 kW entsprechen 105 kW

bei Frequenzumrichtern zusätzliche Leistungsreserve beachten

D

Auswahl Motorgröße

Amacan PA4 ... - 540/...	Nennleistung $P_2$ [kW]		Massenträgheitsmoment $J$ [kgm <sup>2</sup> ]
	UTG	XTG	
800-540 / 80 6	80	80	3,25
800-540 / 100 6	100	100	3,38
800-540 / 120 6	115	115	3,52

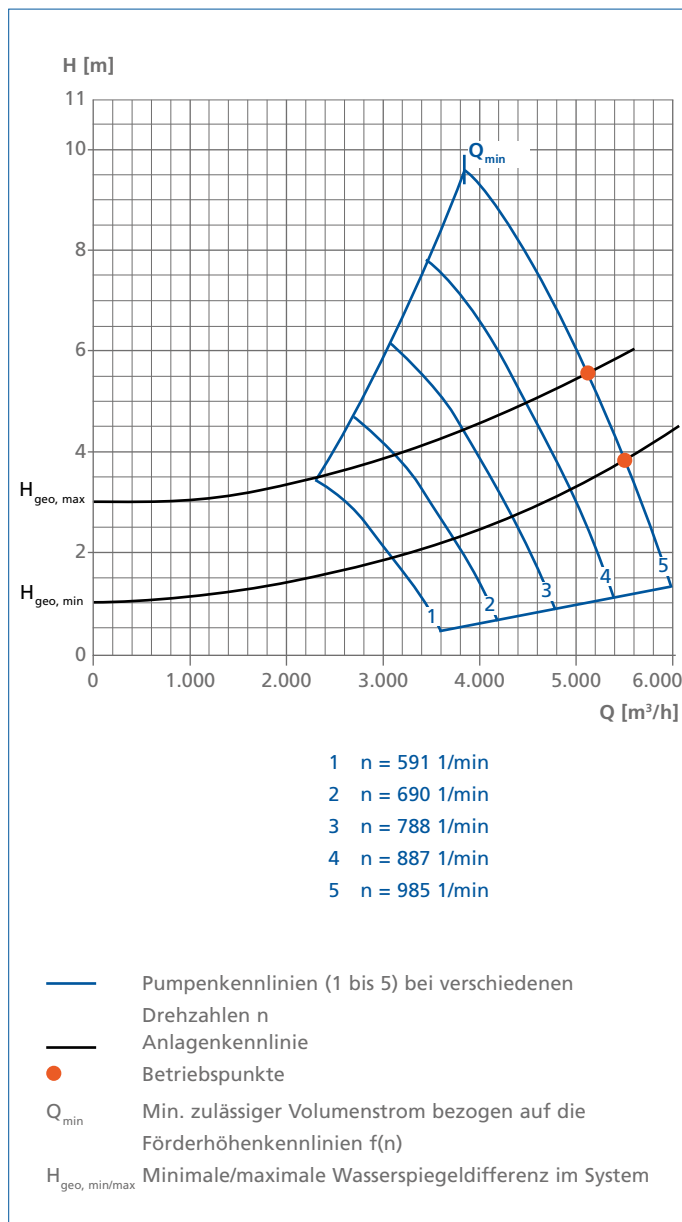


Abb. 16: Amacan P 800-540 A 4 mit Drehzahlkurven

## Pumpenantrieb mit Frequenzumrichter

Grundsätzlich sind alle Pumpenmotoren für den Betrieb mit Frequenzumrichter zugelassen. Die Kennlinien der Rohrschachtpumpen Amacan lassen sich, wie bei Kreiselpumpen üblich, mit Hilfe der **Affinitätsgesetze Formel (5)** umrechnen.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad \text{Formel (5)}$$

### Legende:

- $n_1$  = Ausgangsdrehzahl [1/min]
- $n_2$  = Geänderte Drehzahl [1/min]
- $Q_{1,2}$  = Förderstrom  $Q$  bei  $n_{1,2}$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
- $H_{1,2}$  = Förderhöhe  $H$  bei  $n_{1,2}$  [m]
- $P_{1,2}$  = Leistung  $P$  bei  $n_{1,2}$  [kW]

Die Änderung der Drehzahl erfolgt in der Regel mit dem Ziel, den Arbeitspunkt der Pumpe optimal an bestehende anlagenseitige Erfordernisse anzupassen. Wie bereits beschrieben, stehen für die Rohrschachtpumpen drei Laufradformen mit jeweils unterschiedlicher Kennliniencharakteristik zur Auswahl. Bei jeder dieser drei Laufradformen muss stets der Regelbereich geprüft werden. Dies umfasst die Ermittlung der Rohrleitungskennlinie(n) mit  $H_{\text{geo, min}}$  und  $H_{\text{geo, max}}$ .

Weiterhin sind erforderlich:

- (a) Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeit im Rohrschacht, um das eventuell erforderliche Mitfördern von Fasern und Feststoffen sicherzustellen ( $v_{\text{mittel}} > 2$  m/s), sowie
- (b) die Überprüfung der Umfangsgeschwindigkeit am Laufradaußendurchmesser (nicht unter 15 m/s). Bei Drehzahländerung und unter Beachtung der variablen Wasserstände darf kein Betriebspunkt links von der zulässigen Betriebsgrenze liegen.

Das bedeutet: **Die Grenzdrehzahlen müssen auf die gegebenen Wasserstände abgestimmt sein.**

Werden zwei oder mehr Pumpen mit gemeinsamer Druckleitung an Frequenzumrichtern betrieben, ist es empfehlenswert, alle Pumpen mit der gleichen Drehzahl zu betreiben. Damit vermeidet man, dass sich die Pumpen gegenseitig in die Teillast „drücken“ (mit den bekannten negativen Folgen für Laufrad, Wellenabdichtung und Lager). Die Prüfung des Arbeitspunktes und der sich einstellenden Strömungsgeschwindigkeit erfordert ebenfalls eine Bewertung des Fördermediums hinsichtlich der Schmutz- und Faserbeladung. Werden Empfehlungen des Pumpenherstellers unterschritten und es stellen sich Probleme ein, kann auch ein kurzzeitiges Anheben der Pumpendrehzahl zu Verbesserungen führen. Jede Pumpstation hat ihre spezifischen Randbedingungen und diese sollten alle bei diesen Überlegungen mit berücksichtigt werden. (möglicher Regelbereich, Neigung zu Druckstößen usw.)

# Bauwerksgestaltung

## Allgemeine Vorbemerkungen

Die Bauwerksgestaltung einer Pumpstation wird weitgehend vom Einsatzzweck bestimmt. Neben den rein baulichen und mechanischen Anforderungen sind aber auch hydraulische (strömungstechnische) Aspekte bei der Planung und Bauausführung zu berücksichtigen. Die Konzeption der strömungsführenden Bereiche beginnt mit dem Zulauf zur Pumpstation, führt über die teilweise erforderliche Einlaufkammer-Kontur zu der (den) Pumpe(n) und endet bei der Druckrohrleitung bzw. dem Auslaufsystem.

Die Pumpenhersteller sind bemüht, die für den Einsatz der Kreiselpumpen erforderlichen Sollabmessungen (z. B. zur Bauwerksgeometrie) entsprechend in den Produktunterlagen zu dokumentieren. Diese Angaben bilden für den Planungsprozeß wesentliche Anhaltswerte, um die Hauptabmessungen einer Pumpstation zu ermitteln. Die erfolgreiche Planung einer Pumpstation ist vielschichtig und beinhaltet neben den reinen Vorgaben zu Mindestabständen zwischen den Pumpen oder Sollabmessungen der teilweise erforderlichen Einlaufkammern sowie auch Fragen zur Gestaltung zwischen Zulauf und der (den) Pumpe(n) selbst. Kommt es bei der Planung oder in der Bauphase zu gravierenden Abweichungen bei den Sollabmessungen der Einlaufkammern, den Mindestwasserspiegeln oder der Geometrie der strömungsführenden Teile der Pumpstation, kann die einwandfreie Funktion der gesamten Station in Frage gestellt sein. Es ist dabei unbedeutend, ob es sich um einzelne Abweichungen handelt oder eine ganze Summe von Abweichungen die Probleme erzeugen. Die für den Betrieb der Pumpe erforderlichen Randbedingungen werden durch die Änderungen oder Abweichungen nicht erfüllt und die Kreiselpumpe(n) weisen entweder durch ihr Laufverhalten oder ihre Leistungsabweichungen auf die vorliegenden Probleme hin. Fließen hingegen die Vorgaben des Pumpenherstellers zur hydraulischen und mechanischen Gestaltung der Pumpstation frühzeitig in das Gesamt-Layout mit ein, können Fehlfunktionen – wie Nichterreichen der geforderten Leistungsdaten und Betriebsstörungen – ausgeschlossen werden.

Nach Prosser [6] lassen sich die Kriterien für ein schlechtes Layout einer Pumpstation klar benennen und bewerten. Zunächst seien hier die geometrischen Einflüsse aufgeführt:

1. zu klein ausgelegte Schütze oder Steuerventile
2. abrupte Richtungswechsel der Strömung (z. B. scharfkantige Wände)
3. getauchte Strömungsbereiche mit hohen Geschwindigkeiten (z. B. Diffusoren mit zu großem Öffnungswinkel)
4. Stufen oder Absätze im Bereich des Bodens
5. Wehre, die nicht der Energievernichtung dienen
6. Pfeiler, Säulen und Leitrippen
7. falsche Gestaltung des Baukörpers oder eine Betriebsweise, die zu asymmetrischer Strömungsverteilung im Sumpf führen
8. Zulauf oberhalb des Wasserspiegels im Sumpf.

Die Punkte 1, 2, 3, 6 und 7 können Wirbel am Pumpeneinlauf auslösen. In extremen Fällen werden luftziehende Oberflächenwirbel und getauchte Wirbel gebildet.

Die Punkte 4, 5, und 8 können zum Lufteintrag in das Fördermedium führen, während die Punkte 3, 4 und 5 instationäre Strömungszustände im Sumpf auslösen können.

Aufgabe des Pumpensumpfes ist es, eine Volumenvorlage zu bilden und gute Zuströmbedingungen für die Pumpen zu generieren; dazu sind die nachfolgenden hydraulischen Bedingungen in der Pumpstation zu vermeiden:

- Jets, also Zuflüsse mit hoher Strömungsgeschwindigkeit, die auf stehende oder langsam fließende Fördermedien treffen (da diese beim Auftreffen große instationäre Wirbelgebiete im Nach- bzw. Ablauf bilden)
- Gebiete mit Strömungsablösung
- Strömungen mit hohen Geschwindigkeiten ( $v > 2 \text{ m/s}$ )
- instationäre Strömungen
- große Oberflächenwellen
- frei abstürzende Zuläufe.

Die hier gemachten Aussagen sollten es gestatten, eine Pumpstation zu gestalten, die einen störungsfreien Betrieb der Pumpen sicherstellt. Bei der Arbeit bzgl. Layout bzw. Abmessungen, kann auch auf die Herstellerdokumentation wie Baureihenheft und Softwaretools mit CAD Files zurückgegriffen werden. (Beispiel KSB HELPS)

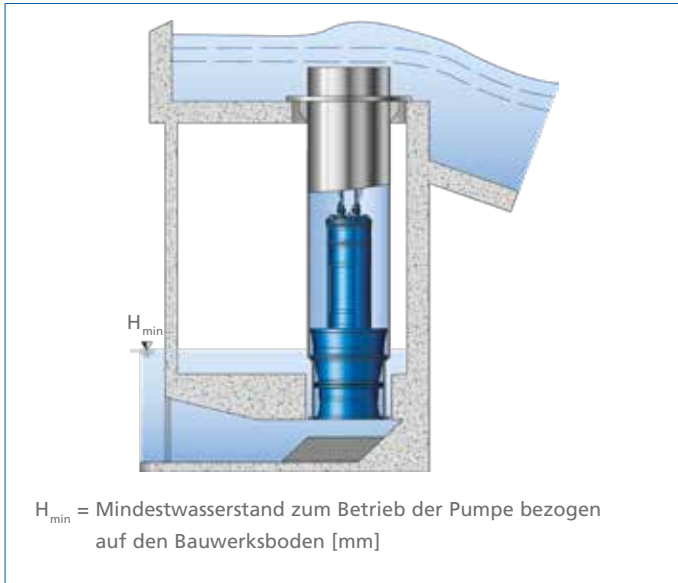


Abb. 17: Variante der Rohrschachtgestaltung mit freiem Auslauf

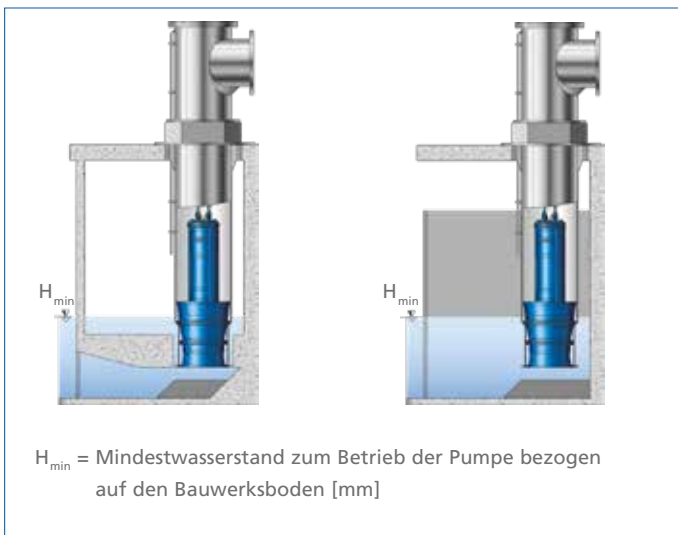


Abb. 18: Varianten der Rohrschachtgestaltung mit Überflurdruckstutzen

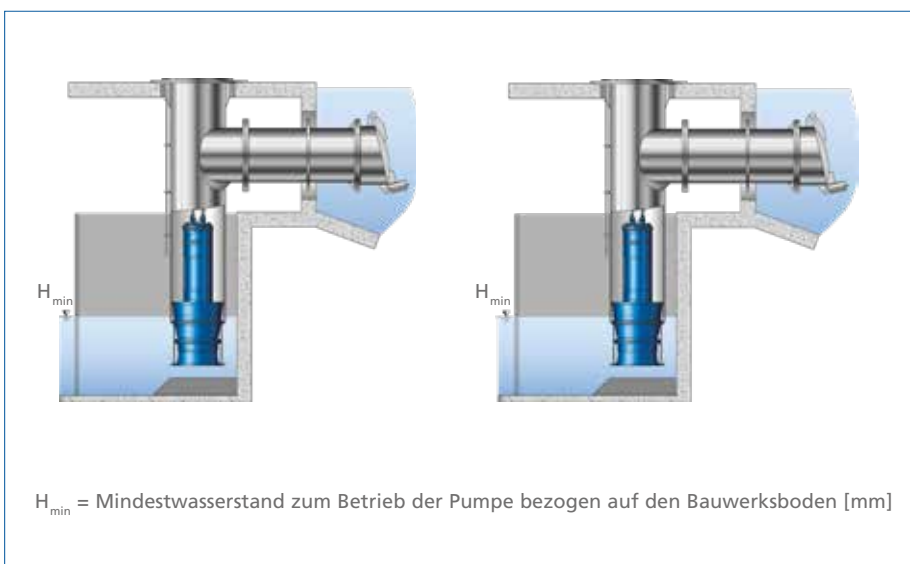


Abb. 19: Varianten der Rohrschachtgestaltung mit Unterflurdruckstutzen

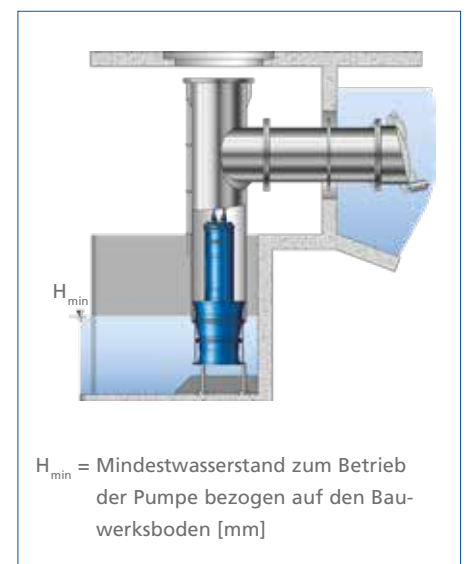


Abb. 20: Variante der Rohrschachtgestaltung mit Unterflurdruckstutzen, überfahrbar

## Planung der Pumpenaufstellung

Sind alle hydraulischen Vorüberlegungen zur Volumenstromaufteilung erfolgt und wurde die entsprechende Baugröße definiert, folgt die Ermittlung der geometrischen Abmessungen für die Einlaufkammer.

Amacan-Pumpen bieten durch die flexible Rohrschachtgestaltung die Möglichkeit, zur optimalen Gestaltung einer Pumpstation unter sehr vielen Ausführungsvarianten zu wählen. Der Planer kann sich so jeglichen Bauwerksgegebenheiten bzw. Anlagenbedingungen flexibel anpassen. Einige Aufstellungsmöglichkeiten werden im folgenden kurz vorgestellt.

Als erstes Hilfsmittel für die Vorplanung bieten sich neben den Herstellerdokumentationen auch international gängige Standards an [5].

Ist die Pumpstation in den Grobabmessungen definiert, sollte die Feinplanung der Pumpenaufstellung auf der Basis von Herstellerdokumentationen (z. B. Baureihenhefte oder Auslegungsoftware) erfolgen. Hier findet man die detaillierten und erforderlichen Bauwerksabmessungen, die der jeweiligen Pumpenbaugröße exakt zugeordnet sind. Diese Maße sind unbedingt einzuhalten, um den störungsfreien Betrieb der Pumpen zu gewährleisten.

Für die jeweilige Kammerausführung gibt es auch Hinweise, welche maximal zulässigen Anströmgeschwindigkeiten und Anströmrichtungen der jeweiligen Kammergeometrie zulässig sind (vergleiche hierzu auch Kapitel „Gestaltung des Pumpensumpfes“ ab Seite 33).



Die wesentliche Abmaße sind zunächst Breite und Länge der Einlaufkammer sowie der hintere Wandabstand und Bodenabstand des Rohrschachtes (siehe Abb. 21). Über den Volumenstrom der Pumpe muss dann noch der erforderliche Mindestwasserstand ermittelt werden, um für die Pumpe in der entsprechenden Einlaufkammer einen ruhigen Betrieb ohne luftziehende Oberflächenwirbel abzusichern.

Bei der Ermittlung der Einlaufkammer-Geometrie sind auch jene Betriebszustände in Betracht zu ziehen, die unter Umständen durch den Betrieb einer Pumpstation mit reduzierter Pumpenanzahl zu wesentlich veränderten Einlaufkammeranströmungen führen können (Anströmgeschwindigkeit, Anströmrichtung); Kapitel „Gestaltung des Pumpensumpfes“ ab Seite 33)

Ob die Pumpstation mit einer oder mehreren Pumpen ausgerüstet werden soll, hat auf die Einlaufkammerabmessungen und den Rohrschacht keinen Einfluss.

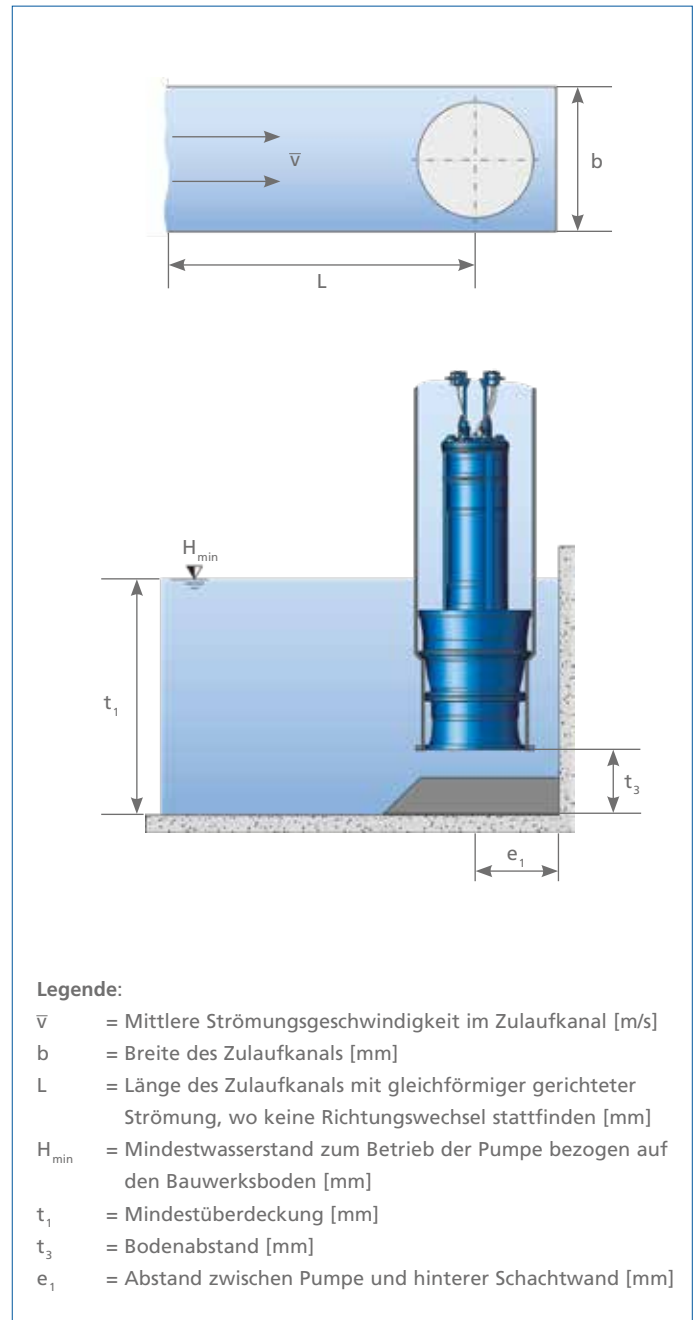


Abb. 21: Wichtige Abmessungen für die Einlaufkammer (Konkrete Maße siehe Baureihenheft oder Auslegungsoftware)

### Die offene Einlaufkammer

Ist der Wasserstand im Pumpensumpf ausreichend hoch und erfolgt die Anströmung der Kammer mit einer geringen Abweichung von max. 10 Grad direkt von vorn, so ist diese Form der Kammergestaltung die kostengünstigste Variante.

Die Anströmgeschwindigkeit darf im Bereich der Einlaufkammer nicht über 1 m/s liegen. Eine Queranströmung von größer  $\pm 10^\circ$  ist auszuschließen, um eine Strömungsablösung und Wirbelbildungen zu vermeiden. Das gilt auch für den Fall veränderter Betriebsbedingungen.

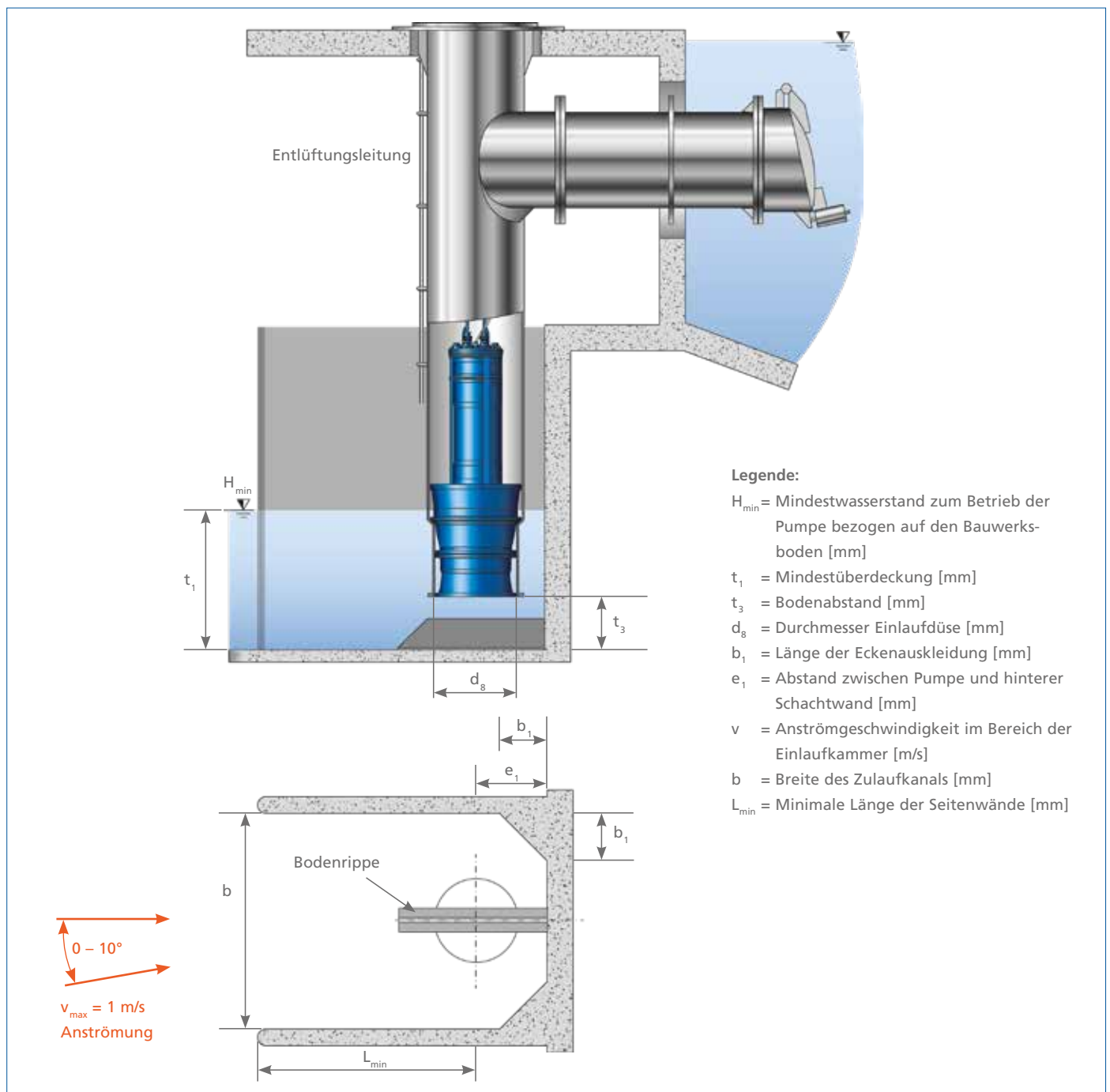


Abb. 22: offene Einlaufkammer (Abmaße siehe Baureihenheft bzw. Auslegesoftware)

### Die offene Einlaufkammer mit Saugschirm

Stellt man bei der Überprüfung des erforderlichen Mindestwasserspiegels im Pumpensumpf fest, dass dieser nicht ausreicht, kann eine Kammerausführung ohne Eckenauskleidung in Verbindung mit einem Saugschirm am Einlaufrohr des Rohrschachtes, ausreichende Überdeckung gegen luftziehende Wirbel gewährleisten. Sie gestattet bei gleicher Pumpenbaugröße und gleichem Betriebspunkt den Betrieb der Pumpe bei geringerem saugseitigen Mindestwasserstand  $t_1$ .

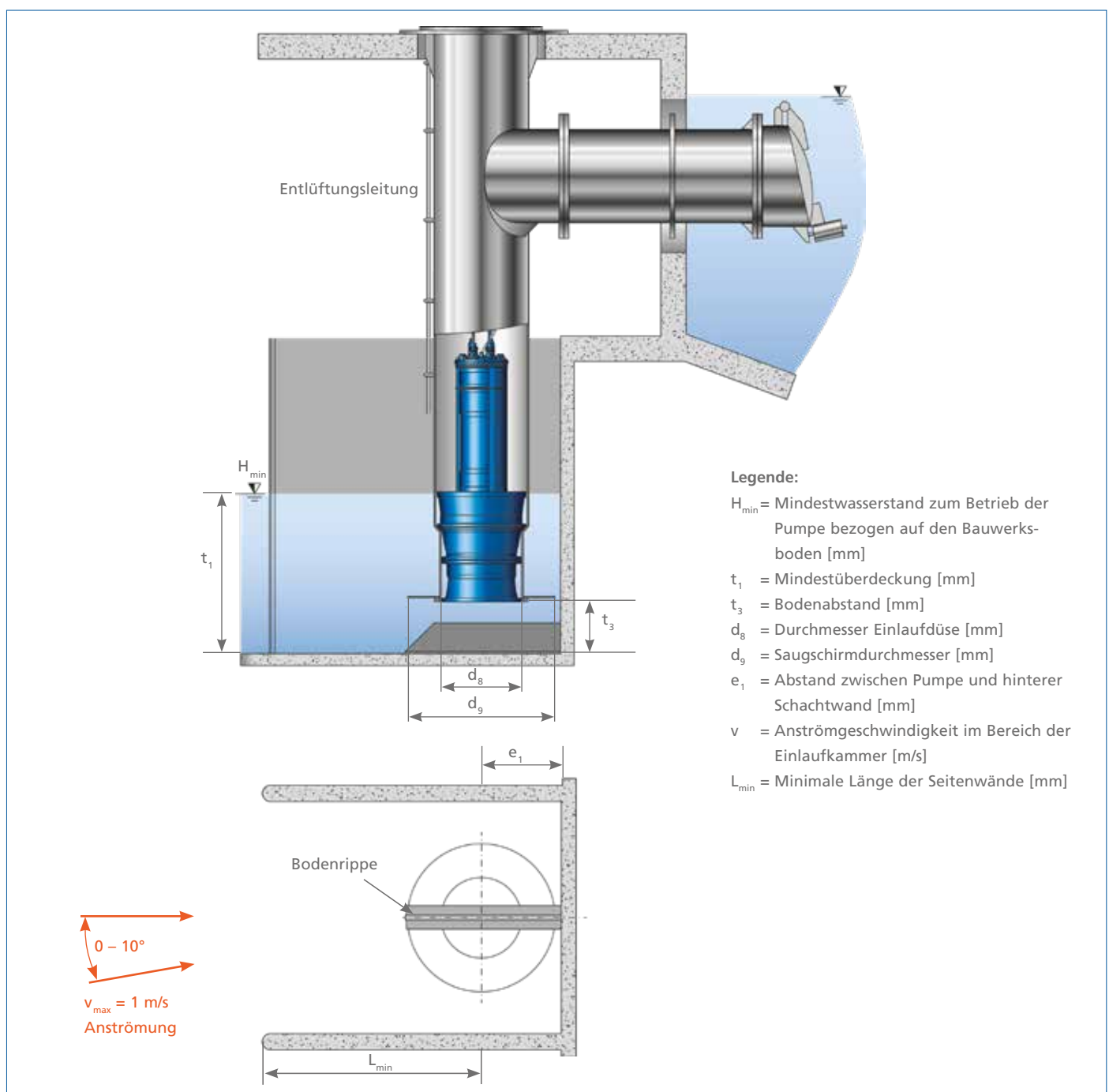


Abb. 23: offene Einlaufkammer mit Saugschirm (Abmaße siehe Baureihenheft bzw. Auslegesoftware)

### Die gedeckte Einlaufkammer

Eine Sonderform der Einlaufkammer ist die gedeckte Kammer. Sie gewährleistet die kleinsten erforderlichen Mindestwasserstände gegen luftziehende Oberflächenwirbel und kann ohne Probleme mit einem Anströmwinkel von 0 bis 90 Grad mit max. 1 m/s angeströmt werden.

Allerdings ist bauseitig der Aufwand etwas höher zu kalkulieren als bei den vorher beschriebenen Einlaufkammer-Typen. Bei ungünstigen Anströmverhältnissen und niedrigen Wasserständen hat sich diese Kammerform schon oft bewährt.

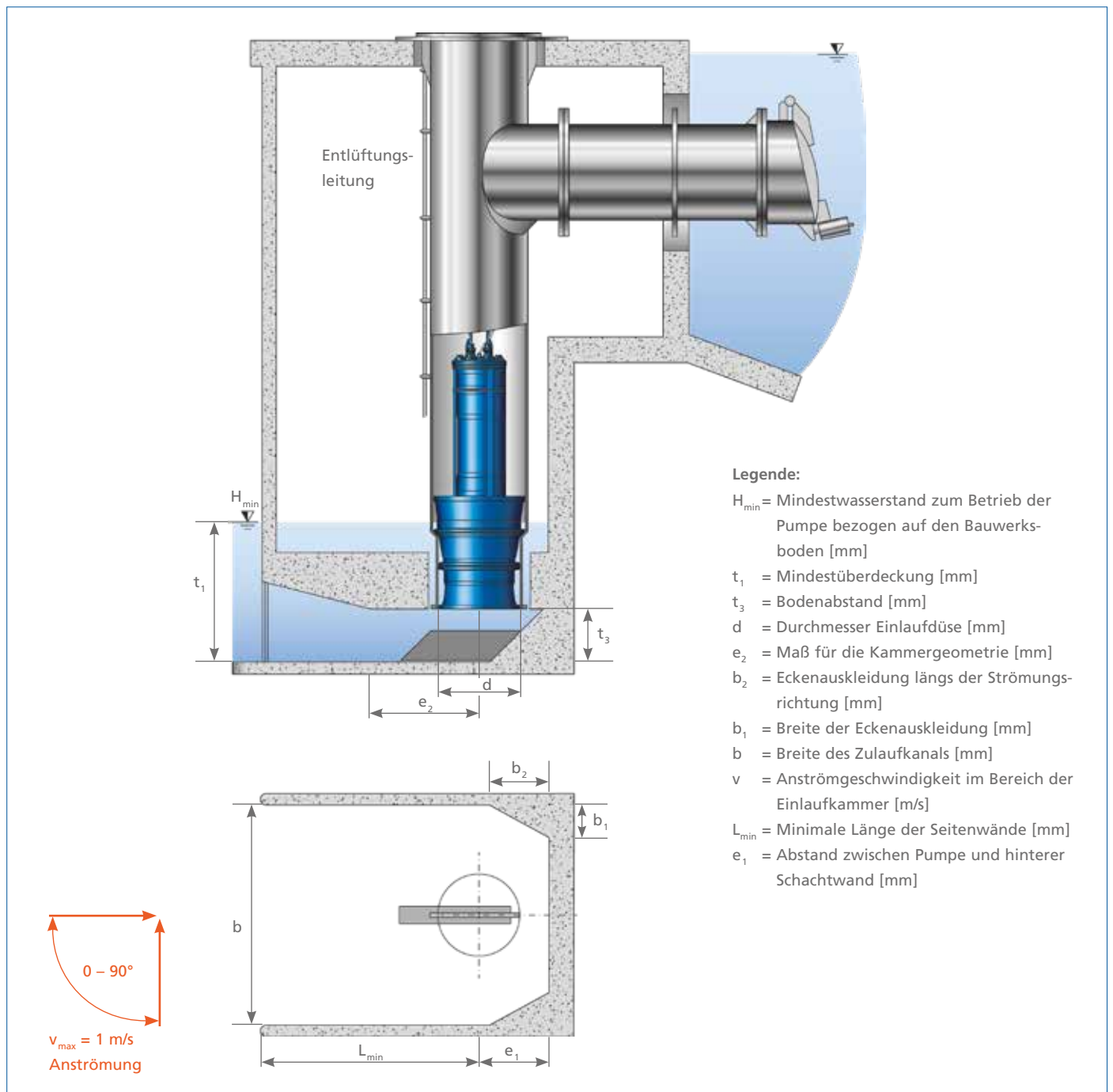


Abb. 24: gedeckte Einlaufkammer (Abmaße siehe Baureihenheft bzw. Auslegesoftware)



### Detailüberlegungen zur Einlaufkammer

Anders als die Pumpen der Baureihe Amacan K, sind Amacan P- und Amacan S-Pumpen mit einzelnen Einlaufkammern auszustatten. Wichtig für die Kammerwände ist, dass die Wandhöhe mindestens 150 mm über dem max. Wasserspiegel im Pumpensumpf liegt (Abb. 25). Damit ist sichergestellt, dass die Kammergeometrie auch beim maximalen Wasserstand eine Wirbelbildung nicht unterstützt.

Der Wandbereich des Einlaufes in die Kammer sollte immer gerundet werden, um zusätzliche Wirbelanregungen bei eventuell schräger Kammeranströmung auszuschließen. Diese Maßnahme gilt sowohl für seitlich angeströmte Einzelkammern als auch für mittig angeströmte Mehrfachkammern (Abb. 26).

Bei allen Kammergestaltungen für die Baureihen Amacan P und Amacan S ist es wichtig, dass unter dem Einlauf der Pumpe eine Anti-Drall-Rippe montiert ist. Diese verhindert das Auftreten eines getauchten Wirbels, der u. a. zu einem Leistungsabfall führen kann. Diese Rippe kann als Beton- oder als Stahlkonstruktion ausgeführt sein. Die exakten Maße der Rippe sind entweder der Auslegungs-Software oder der Baureihendokumentation zu entnehmen.

Der Aufwand der Betonarbeiten zur Auskleidung der Kammern lässt sich reduzieren, in dem man mit geraden Konturen arbeitet. Gleichzeitig bietet sich die Möglichkeit, Zonen mit Totwasser gezielt zu vermeiden, indem man diese Bereiche mit Beton auskleidet (nur gültig bei offener Einlaufkammer ohne Saugschirm). Die Ecken der Einlaufkammer sind dann mindestens 150 mm über das Niveau des maximalen Wasserstandes ausbetoniert. Je nach Konzeption des Pumpwerkes werden durch den Planer Möglichkeiten vorgesehen, einzelne Kammern vom gefüllten Pumpensumpf abzusperren und gegebenenfalls zu entleeren. Hierzu können Aufnahmevorrichtungen von Dammbalken in die Kammerwand integriert werden oder die Kammer wird über entsprechende Absperrschütze versperrt.

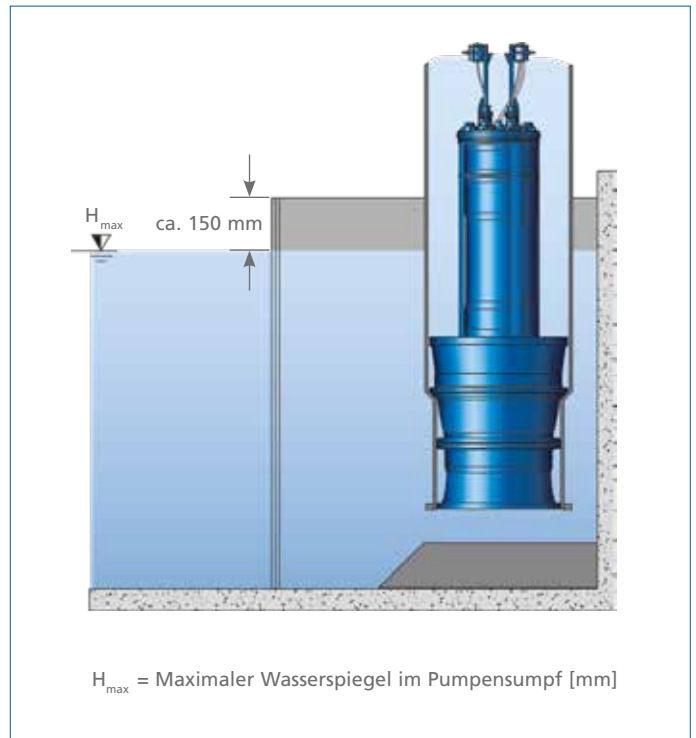


Abb. 25: Höhe der Kammerwand

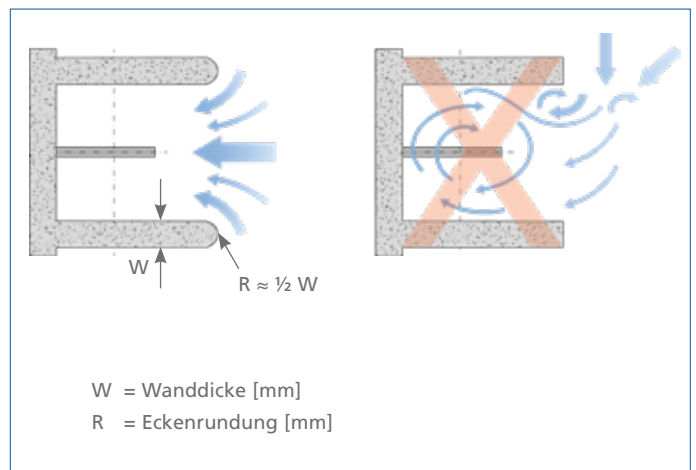


Abb. 26: Gestaltung des Kammereintritts

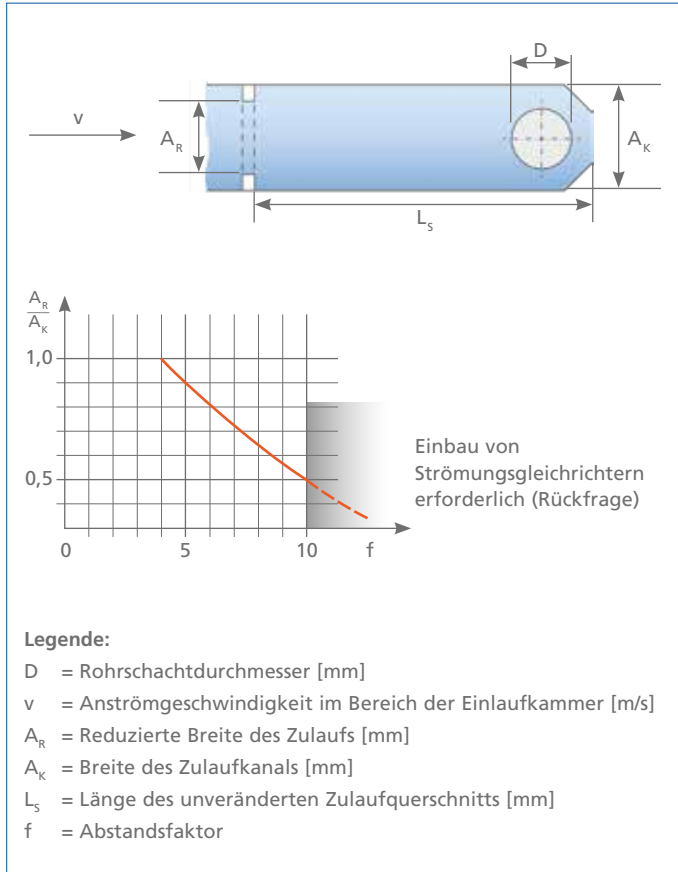


Abb. 27: Einfluss von Querschniteinschnürungen

Kommt es durch diese Einbauten im Bereich der Kammerwände zu Einschnürungen des freien Anströmquerschnitts, ist der Abstand zwischen Pumpe und Strömungsstörstelle zu überprüfen und gegebenenfalls zu vergrößern (Abb. 27).

$$L_s = D \cdot f \quad [\text{mm}]$$

Formel (6)

**Legende:**

- L<sub>s</sub> = Länge des unveränderten Zulaufquerschnitts [mm]
- D = Rohrschachtdurchmesser [mm]
- f = Abstandsfaktor (siehe Abb. 27)

Die Oberflächen der Einlaufkammern wie auch die Wandbereiche im Pumpensumpf sollten als raue Betonoberfläche ausgeführt sein. Werden die vom Fördermedium benetzten Bereiche zu glatt ausgeführt oder sogar mit Anstrichen beschichtet, führt dies zu einer Verringerung der Wandschubspannung – und damit wächst die Gefahr einer Wirbelbildung (getauchte Wirbel, unter Umständen auch Oberflächenwirbel).

Die Rauigkeiten dieser strömungsführenden Oberflächen sollten im Bereich von 1 bis 3 mm liegen.

Unter Umständen ist es erforderlich, den Bereich der Einlaufkammer an die spezifischen Gegebenheiten eines Projektes anzupassen. Denkbar ist beispielsweise der Einsatz eines Einlaufkrümmers an Stelle einer Einlaufkammer (siehe Abb. 28). Diese Krümmer haben dann vergleichbare Eigenschaften wie eine gedeckte Einlaufkammer, d. h. sie richten die Anströmung aus und gewährleisten für das Pumpenlaufrad eine über den Eintrittsquerschnitt ausgeglichene Geschwindigkeitsverteilung. Die detaillierte Dimensionierung dieser Sonderfälle muß exakt den Projektdaten angepasst werden und sollte deshalb nur nach Rücksprache mit den zuständigen Abteilungen bei KSB erfolgen.

Sind für bestimmte Projekte Sonderlösungen unumgänglich, so sind diese durch entsprechende Modelluntersuchungen und/oder CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) abzusichern (siehe Abb. 29). Das bedeutet: Die problemlose Funktion muß unter den projektspezifischen Randbedingungen nachgewiesen werden, da es sich nicht mehr um Standardlösungen handelt (vergleiche die Kapitel „Die Notwendigkeit von Modelltests“ ab Seite 39 und „Die Bedeutung von CFD-Simulationen“ ab Seite 43).

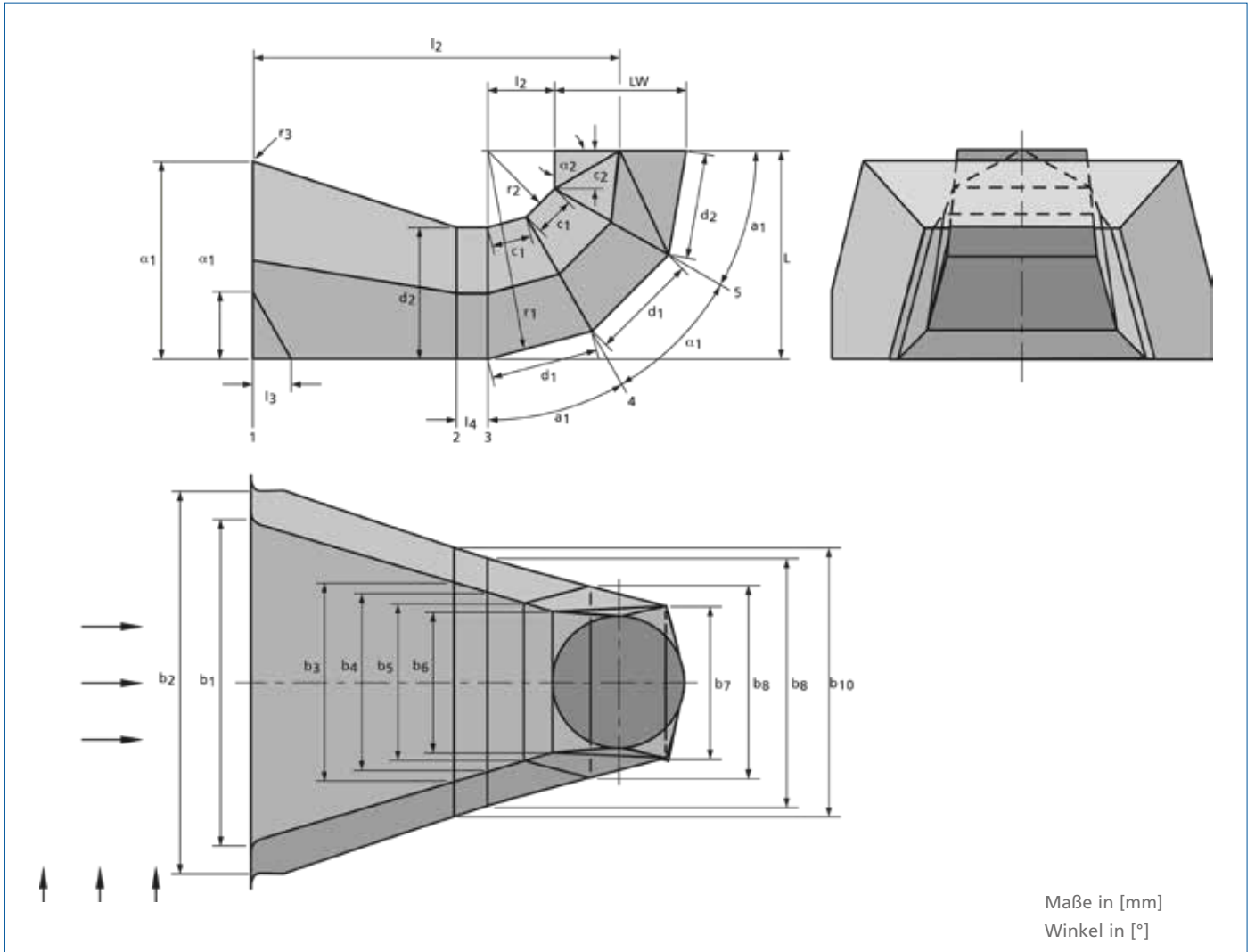


Abb. 28: Variante eines Segmentkrümmers

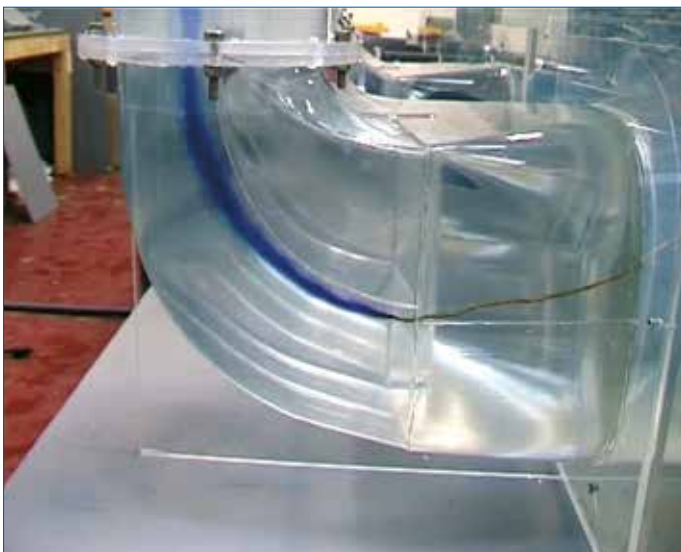


Abb. 29: Variante mit zwei Krümmern beim Modelltest

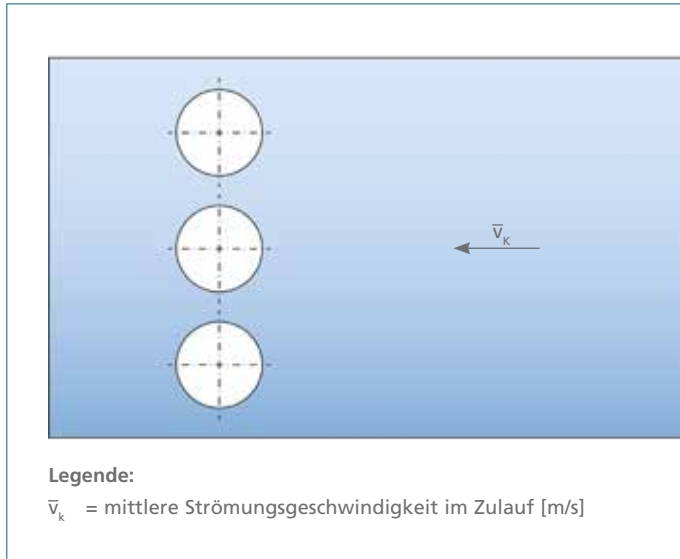


Abb. 30: Ausgangssituation Variante 1

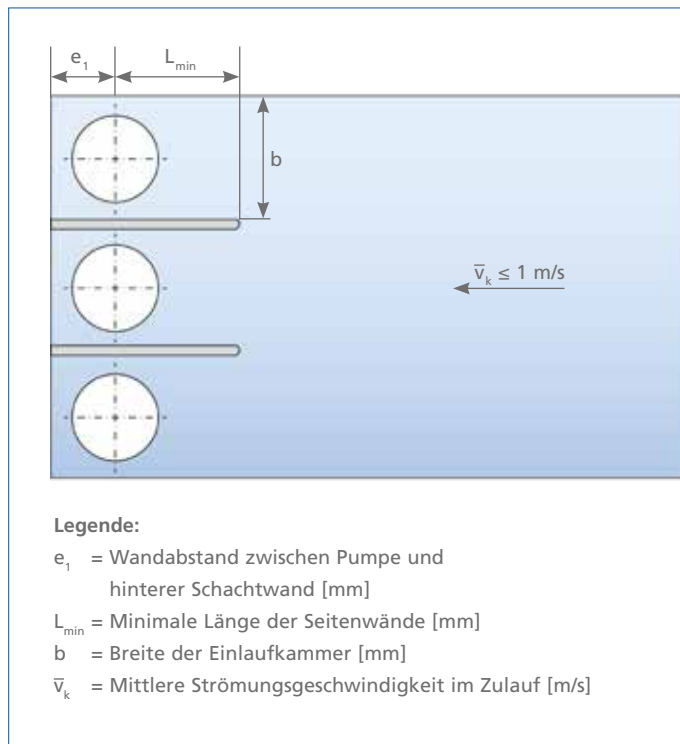


Abb. 31: Lösung Variante 1

## Beispiele für Pumpstationsplanung

### Variante 1

#### Ausgangssituation:

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Kanal fördern. Die Pumpenanströmung wird als über die Kanalbreite gleichmäßig beschrieben.

#### Problem:

Rückwandabstand zu groß, damit sind Ablösewirbel hinter dem Rohrschacht möglich. Keine Einlaufkammern vorhanden, dadurch Gefahr von gegenseitiger Beeinflussung und undefinierte Anströmung bei Einzelbetrieb.

#### Lösung:

Jede Pumpe erhält eine Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungs-Software). Damit sind definierte Anströmbedingungen geschaffen, eine gegenseitige Beeinflussung bei der Förderung ist ausgeschlossen.



## Variante 2

### Ausgangssituation:

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Sumpf fördern, der durch ein außermittiges, frontales Rohr / Kanal gespeist wird. Die Pumpen sind außerdem asymmetrisch zur Position des Zulaufes aufgestellt; es sind keine Einlaufkammern vorgesehen.

### Problem:

Die außermittige Anströmung des Pumpensumpfes führt zu einer Rotation des Mediums im Pumpensumpf entgegen dem Uhrzeigersinn. Die Geschwindigkeit im Zulaufkanal / -rohr entscheidet über die Stärke dieser Rotation und damit über die ungleichförmige Anströmung.

### Lösung:

Jede Pumpe erhält eine vollständige Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungs-Software). Damit ist eine gegenseitige Beeinflussung bei der Förderung ausgeschlossen. Zur Vergleichmäßigung der Anströmung wird eine Prallwand mit Bodenöffnung im Pumpensumpf installiert. Eine Rotation des Fördermediums wird dadurch ausgeschlossen.

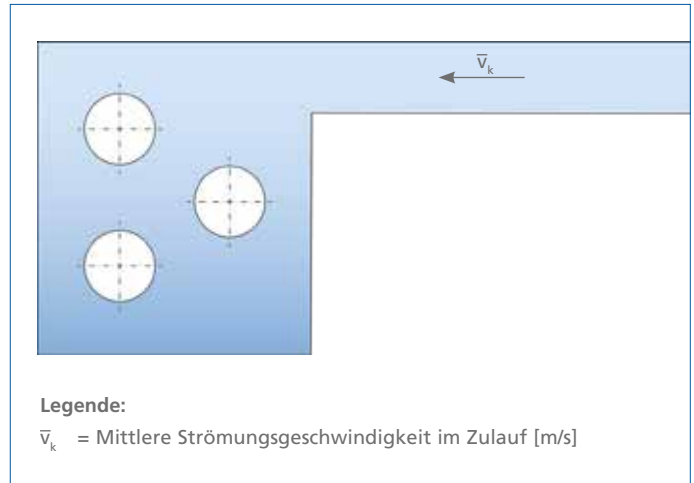


Abb. 32: Ausgangssituation Variante 2

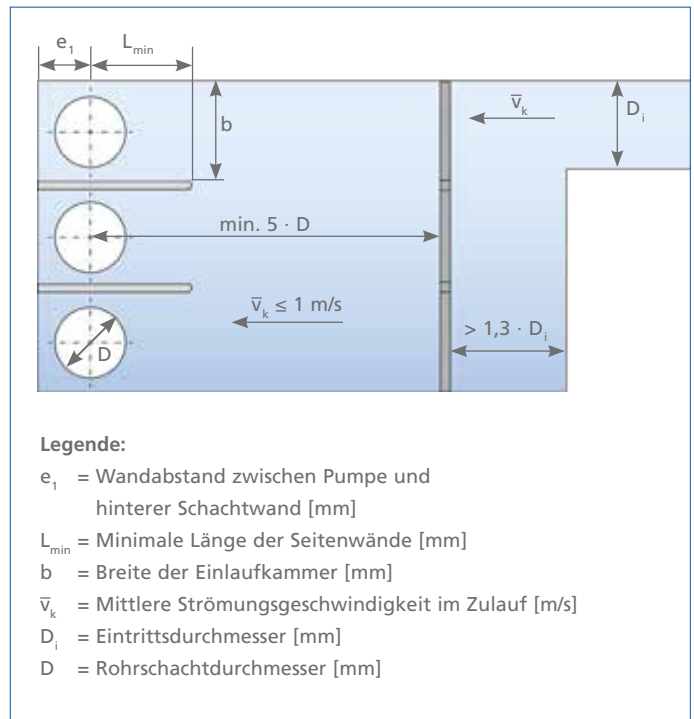


Abb. 33: Lösung Variante 2

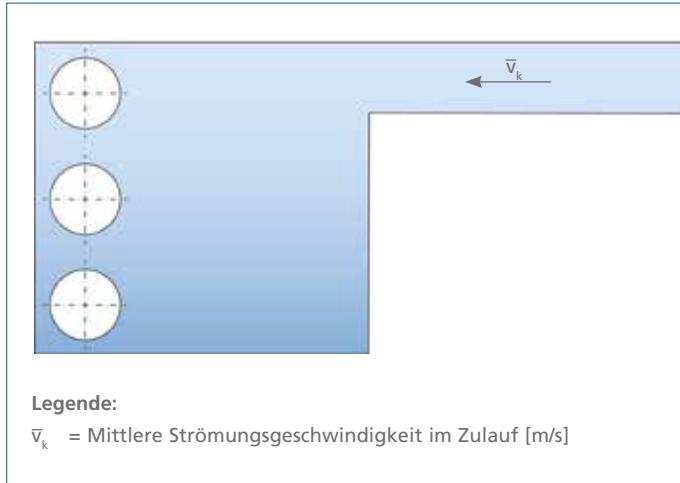


Abb. 34: Ausgangssituation Variante 3

### Variante 3

#### Ausgangssituation:

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Sumpf fördern, der durch ein außermittiges, frontales Rohr/Kanal gespeist wird. Die Pumpen sind außerdem asymmetrisch zur Position des Zulaufes aufgestellt; es sind keine Einlaufkammern vorgesehen.

#### Problem:

Die außermittige Anströmung des Pumpensumpfes führt zu einer Rotation des Mediums im Pumpensumpf entgegen dem Uhrzeigersinn. Die Geschwindigkeit im Zulaufkanal / -rohr entscheidet über die Stärke dieser Rotation und damit über die ungleichförmige Anströmung.

#### Lösung:

Jede Pumpe erhält eine vollständige Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungs-Software). Damit ist eine gegenseitige Beeinflussung bei der Förderung ausgeschlossen. Zur Vergleichmäßigung der Anströmung wird eine Prallwand mit Bodenöffnung im Pumpensumpf installiert. Eine Rotation des Fördermediums wird dadurch ausgeschlossen.

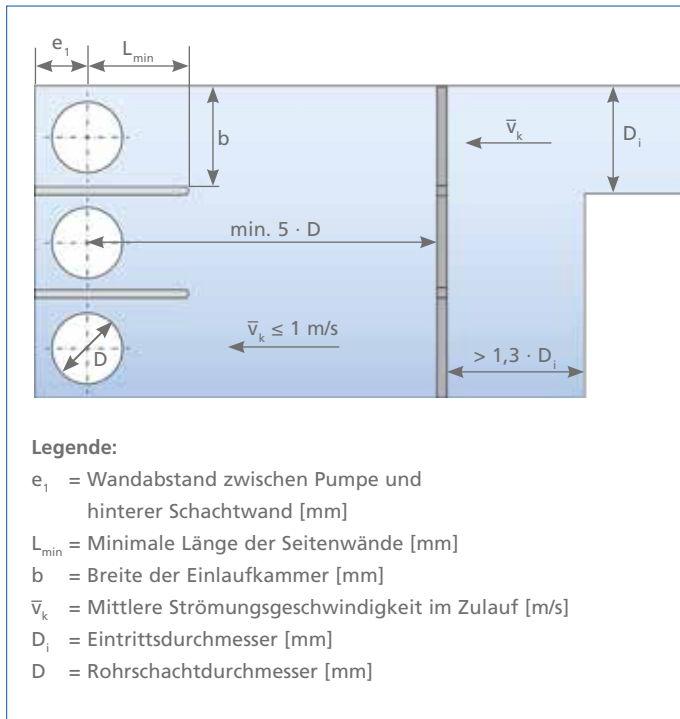


Abb. 35: Lösung Variante 3

### Variante 4.1

#### Ausgangssituation:

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Kanal fördern. Die Pumpenanströmung erfolgt mittig aus dem Kanal.

#### Problem:

Die Anströmung aus dem Kanal in den Sumpf ist bezogen auf die Pumpenaufstellung symmetrisch. Es können sich jedoch Ablösewirbel bilden; es besteht Gefahr einer ungleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung unter den Pumpen.

Es sind keine Einlaufkammern vorhanden, dadurch ist eine undefinierte Anströmung mit der Gefahr einer gegenseitigen Beeinflussung möglich.

#### Lösung:

Jede Pumpe erhält eine vollständige Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungs-Software). Die Aufstellung erfolgt mit Blick auf den Zulauf an der gegenüber liegenden Sumpfwand. Über die gesamte Länge wird eine Prallwand mit Durchlassöffnungen / Bodendurchlass vor die Einlaufkammern installiert. Damit ist eine gegenseitige Beeinflussung bei der Förderung ausgeschlossen, die Anströmung erfolgt gleichmäßig.

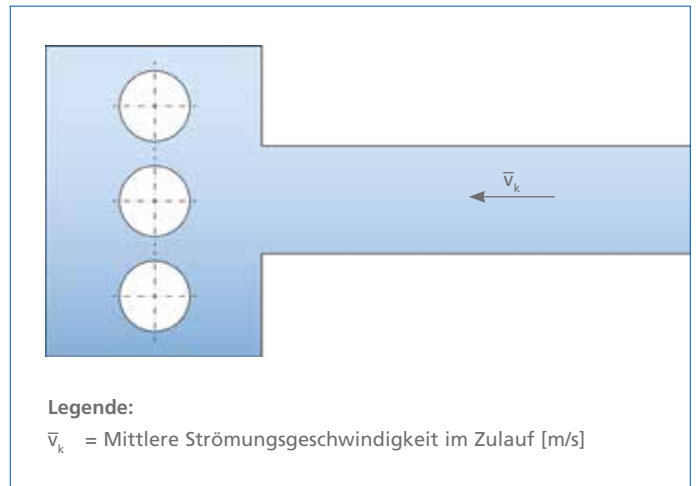


Abb. 36: Ausgangssituation Variante 4.1

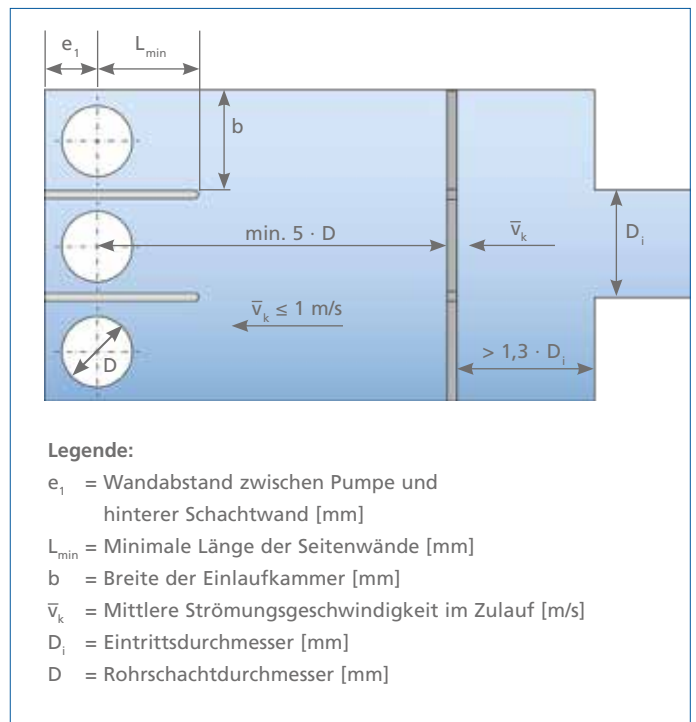


Abb. 37: Lösung Variante 4.1

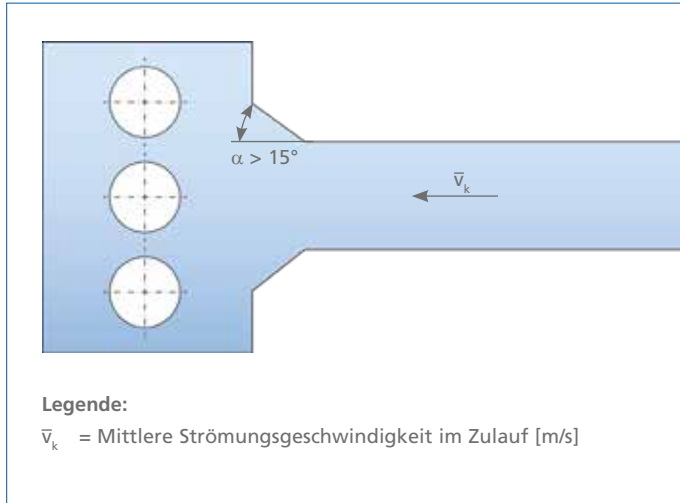


Abb. 38: Ausgangssituation Variante 4.2

**Variante 4.2****Ausgangssituation:**

Die Förderung soll mit drei Pumpen aus einem Sumpf erfolgen. Die Anströmung erfolgt mittig in den Sumpf. Die Pumpen sind ohne Einlaufkammern senkrecht zur Anströmrichtung aufgestellt. Eine Erweiterung des Zulaufkanals soll die Geschwindigkeit im Sumpf reduzieren. Die Pumpen haben einen extrem großen Abstand zur Rückwand.

**Problem:**

Aufgrund der Einströmung aus dem Kanal in den Sumpf können Ablösewirbel entstehen; es besteht die Gefahr einer ungleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung vor den Pumpen. Der Winkel für die Erweiterung ist zu groß und führt zu Wirbelablösungen und zu einer ungleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung. Es sind keine Einlaufkammern vorhanden, dadurch besteht die Gefahr von gegenseitiger Beeinflussung und undefinierter Anströmung.

**Lösung:**

Jede Pumpe erhält eine vollständige Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungssoftware). Die Aufstellung erfolgt mit Blick auf den Zulauf an der gegenüber liegenden Sumpfwand. Über die gesamte Länge wird eine Prallwand mit Bodendurchlassöffnungen vor die Einlaufkammern installiert. Damit ist eine gegenseitige Beeinflussung bei der Förderung ausgeschlossen, die

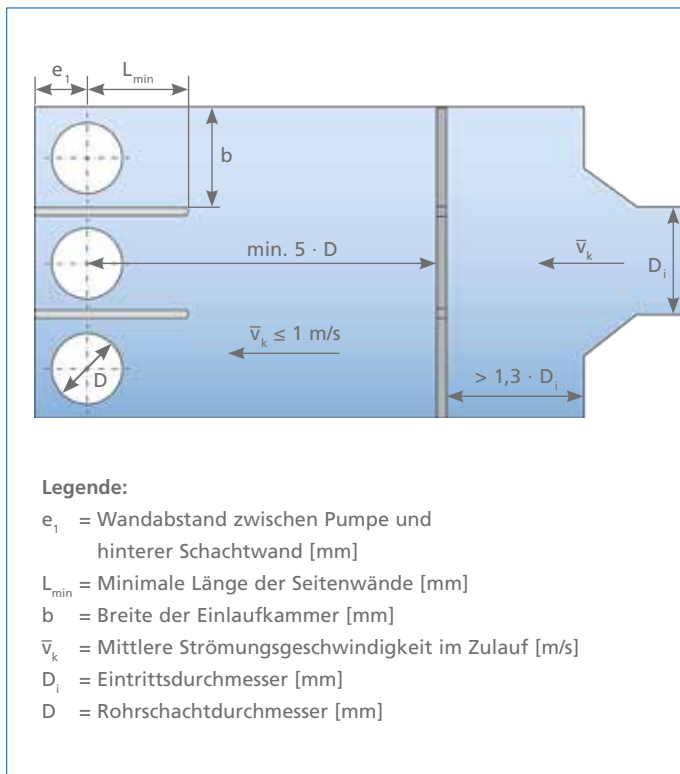


Abb. 39: Lösung Variante 4.2

Anströmung erfolgt gleichmäßig.

### Variante 5

#### Ausgangssituation:

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Kanal fördern. Die Pumpen besitzen keine Einlaufkammern und die Anströmung erfolgt quer zur Pumpenaufstellung.

#### Problem:

Die Pumpen sind vollständig der Kanalströmung längs der Aufstellung ausgesetzt. Hinter den Rohrschächten bilden sich Wirbelschleppen und die Pumpen können sich bei der Förderung gegenseitig beeinflussen.

#### Lösung:

Jede Pumpe erhält eine gedeckte Einlaufkammer. Damit können ohne Probleme Queranströmungen bis max. 1 m/s gefahren werden. Die Abmessungen entsprechen der jeweiligen Baugröße (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungssoftware). Die Vorderkante der Einlaufkammern sollte bündig mit der Kanalwand sein, um zusätzliche Strömungseinschnürungen und starke Differenzen im Geschwindigkeitsprofil des Kanals zu vermeiden.

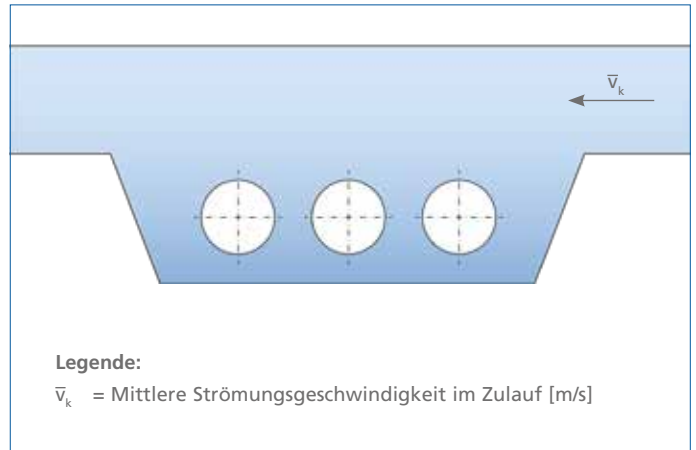


Abb. 40: Ausgangssituation Variante 5

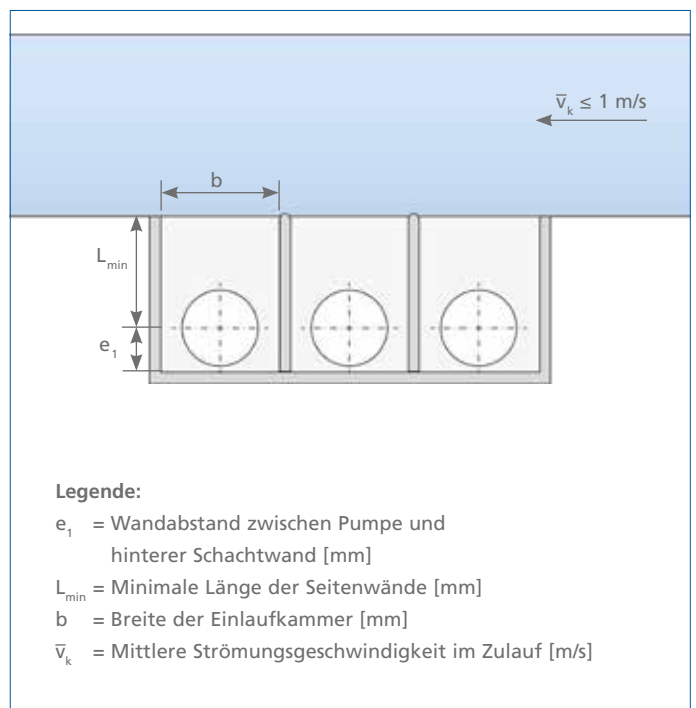


Abb. 41: Lösung Variante 5



Abb. 42: Ausgangssituation Variante 6

**Variante 6****Ausgangssituation:**

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Kanal fördern. Die Pumpenaufstellung erfolgt in Reihe. Die Pumpen sind nicht durch Kammern oder Leitwände voneinander getrennt.

**Problem:**

Die Anströmung aus dem Kanal birgt die Gefahr von Ablösewirbeln und einer ungleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung vor und hinter den Pumpen. Es sind keine Einlaufkammern vorhanden, dadurch sind undefinierte Förderbedingungen mit der Gefahr einer gegenseitigen Beeinflussung möglich.

**Lösung:**

Jede Pumpe erhält eine gedeckte Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungs-Software). Damit ist eine gegenseitige Beeinflussung bei der Förderung ausgeschlossen, und die Anströmbedingungen sind exakt definiert. Die Vorderkante der Einlaufkammern sollte bündig mit der Kanalwand sein, um zusätzliche Strömungseinschnürungen und starke Differenzen im Geschwindigkeitsprofil des Kanals zu vermeiden.

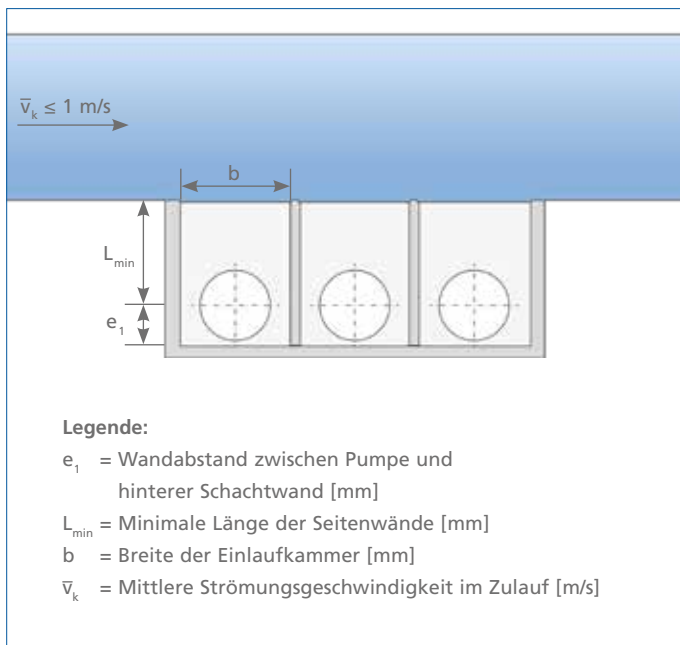


Abb. 43: Lösung Variante 6



## Variante 7

### Ausgangssituation:

Die Pumpstation soll mit drei Pumpen aus einem Kanal fördern. Die Pumpenanströmung wird als gleichmäßig über die Kanalbreite beschrieben. Die Pumpen sind durch offene Wandauskleidungen an der Rückwand des Sumpfes voneinander getrennt.

### Problem:

Es sind keine vollständigen Einlaufkammern vorhanden, dadurch ist eine undefinierte Anströmung mit der Gefahr einer gegenseitigen Beeinflussung möglich. Besonders beim Betrieb mit einer reduzierten Anzahl von Pumpen führt dies zu nicht vorhersehbaren Anströmbedingungen.

### Lösung:

Jede Pumpe erhält eine vollständige Einlaufkammer mit den der Baugröße entsprechenden Abmessungen (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungssoftware). Damit ist eine gegenseitige Beeinflussung der Pumpen ausgeschlossen.



Abb. 44: Ausgangssituation Variante 7

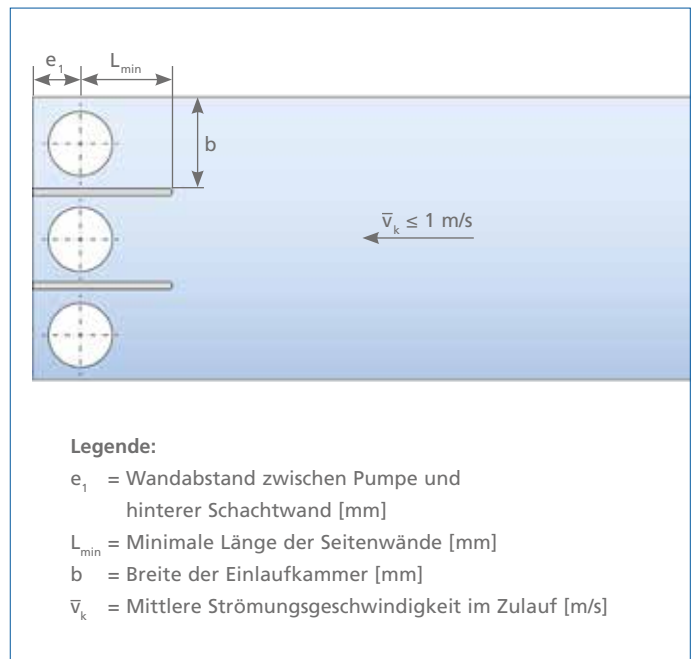


Abb. 45: Lösung Variante 7

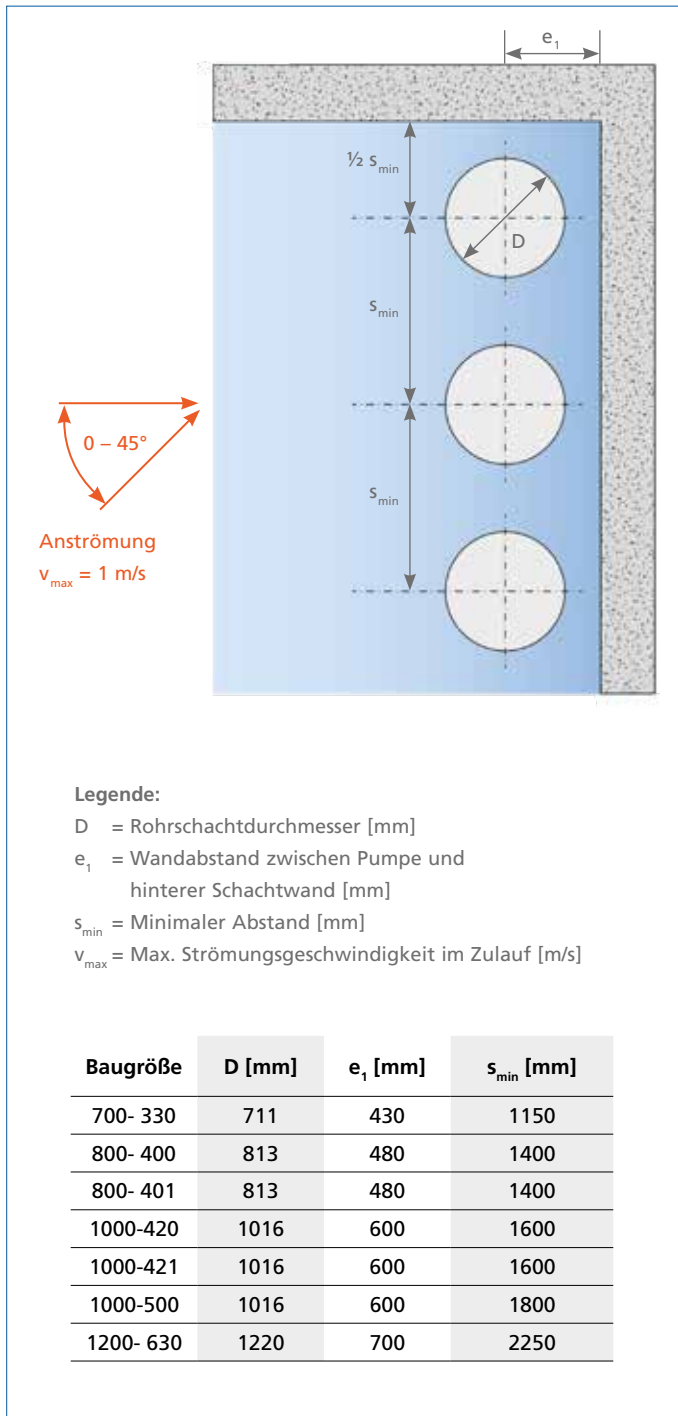


Abb. 46: Mindestabmessungen Amacan K

## Sonderfall Amacan K

Aufgrund des Kanallaufgrades ist dieser Pumpentyp hinsichtlich der Bauwerksgestaltung relativ anspruchslos. So ist ein Einbau der Pumpenroherschächte ohne spezielle Einlaufkammer und Trennwände zwischen den Pumpen möglich. Allerdings sind die seitlichen Abstände (zum Bauwerk bzw. zwischen den Pumpen) und der hintere Wandabstand  $e_1$  einzuhalten, damit die Pumpen sich nicht gegenseitig beeinflussen können. Es kann überschlägig wie in Abb. 46 konzipiert werden.

Als Richtwerte für eine Vorplanung kann von folgenden Abhängigkeiten ausgegangen werden:

- Der hintere Wandabstand  $e_1 \approx 0,6 \cdot D$  ist unbedingt einzuhalten.
- Der erforderliche Mindestwasserstand  $t_1$  ist – wie bei den anderen Rohrschachtpumpen auch – eine Funktion des Volumenstromes  $Q$  und im Baureihenheft entsprechend dokumentiert.
- Der seitliche Mindestabstand  $S_{\min}$  sollte ebenfalls eingehalten werden (siehe Baureihenheft, ein Auszug der Daten ist in Abb. 46 zu sehen).
- Bodenrippen wie bei Amacan P oder Amacan S sind nicht erforderlich.

Treten andere Anströmwinkel oder größere Zuströmgeschwindigkeiten als 1 m/s auf, ist durch geeignete Maßnahmen auf die jeweilige Situation (siehe Kapitel „Gestaltung des Pumpensumpfes“ ab Seite 33) zu reagieren.

## Gestaltung des Pumpensumpfes

Der Bereich des Vorlagevolumens bzw. des Pumpensumpfes verbindet den Zulauf der Pumpstation mit den Rohrschachtpumpen. Ähnlich vielfältig wie die Aufstellungsmöglichkeiten der Pumpen kann auch die Gestaltung dieses Bereiches ausfallen. Die nachfolgenden Ausführungen können nur einzelne Beispiele behandeln; die maßlichen Zuordnungen sind allein auf diese Fälle bezogen. Wenn bei der Planung oder bei einem Umbau andere Gegebenheiten vorliegen, als hier beispielhaft aufgeführt, empfiehlt sich ein Kontakt mit KSB.

Zur optimalen Gestaltung eines Pumpensumpfes gehört, dass in der Bodenfläche keine größeren Absätze oder Stufen bzw. keine Neigungen im Profil mit einem Neigungswinkel größer 8 Grad vorhanden sind. Die letzte Störstelle bzw. Veränderung soll zudem mindestens  $4 D$  bis  $5 D$  von der Pumpenmitte entfernt sein ( $D$  = Rohrschachtdurchmesser).

Größere Absätze ( $> 100$  mm) sind auf jeden Fall zu vermeiden, um getauchte Ablösungsgebiete bzw. Bodenwirbel zu verhindern.

Tritt die Strömung in das Bauwerk ein, ist entweder eine diffusorähnliche Erweiterung des Kanalquerschnittes auf die volle Breite erforderlich (Anzahl  $n$  der Pumpen + Kammerbreite  $\cdot n + (n - 1) \cdot$  Wandstärke) oder man bedient sich einer so genannten Prallwand. Welche dieser Maßnahmen für das Projekt am besten geeignet ist, muss jeweils individuell entschieden werden.

Einzelne Quellen dokumentieren Aufstellungen von Rohrgehäuserpumpen ohne eigene Einlaufkammer; KSB vertritt hier eine andere Philosophie: Jede Pumpe soll über ihre eigene, voll ausgebildete Einlaufkammer verfügen (siehe die Kapitel „Offene Einlaufkammer“ ab Seite 18 bis „Gedckte Einlaufkammer“ ab Seite 20), um eine wechselseitige Beeinflussung der Pumpen auszuschließen. Da sich die tatsächlich ausbildenden Anströmverhältnisse nur schwer vorhersagen lassen, kann es auch bereits bei kleinen Förderströmen der Pumpen durch verschiedenste Einflüsse im Bauwerk oder in der Betriebsweise zu einer Wirbelbildung mit ihren bekannt negativen Folgen für die Pumpen kommen.

KSB lässt für die in den Baureihenheften dokumentierten Einlaufkammer-Geometrien Anströmgeschwindigkeiten bis  $1 \text{ m/s}$  zu. Deshalb müssen (im Hinblick auf die mögliche Reduzierung des Bauwerkskörpers) die Bedingungen um die Pumpe herum optimal ausgebildet sein, um Probleme zu vermeiden.

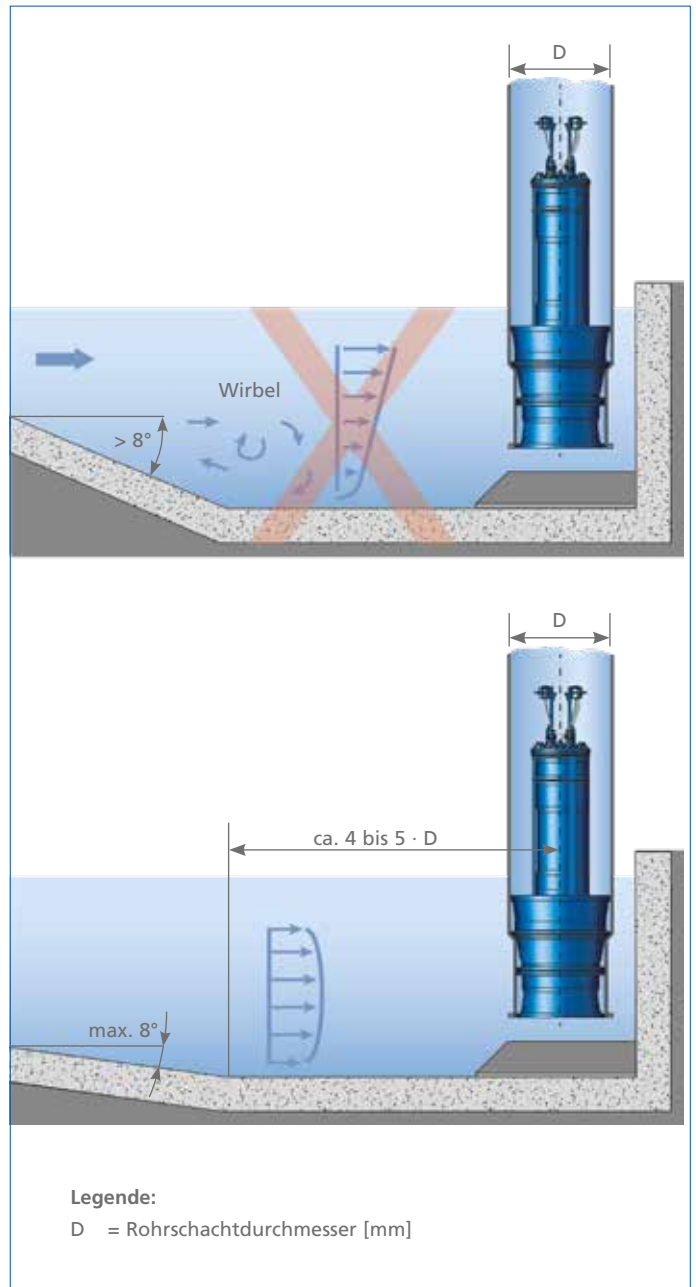


Abb. 47: Gestaltung der Bodenkontur

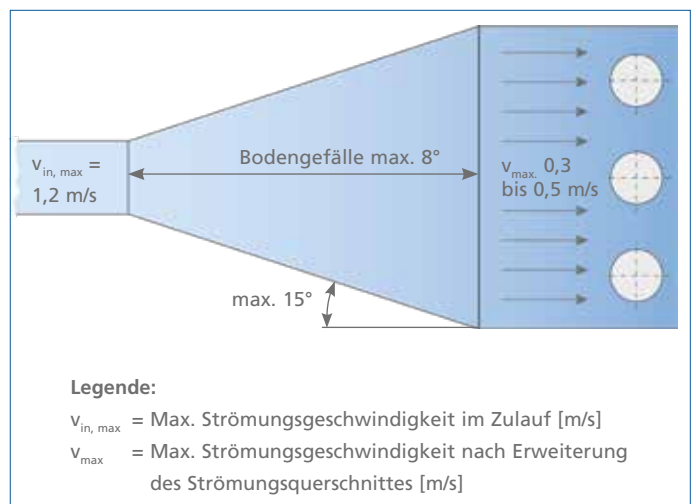


Abb. 48: Maximal zulässige Erweiterung des Strömungsquerschnittes und zulässige Geschwindigkeiten (siehe [5] und [12])

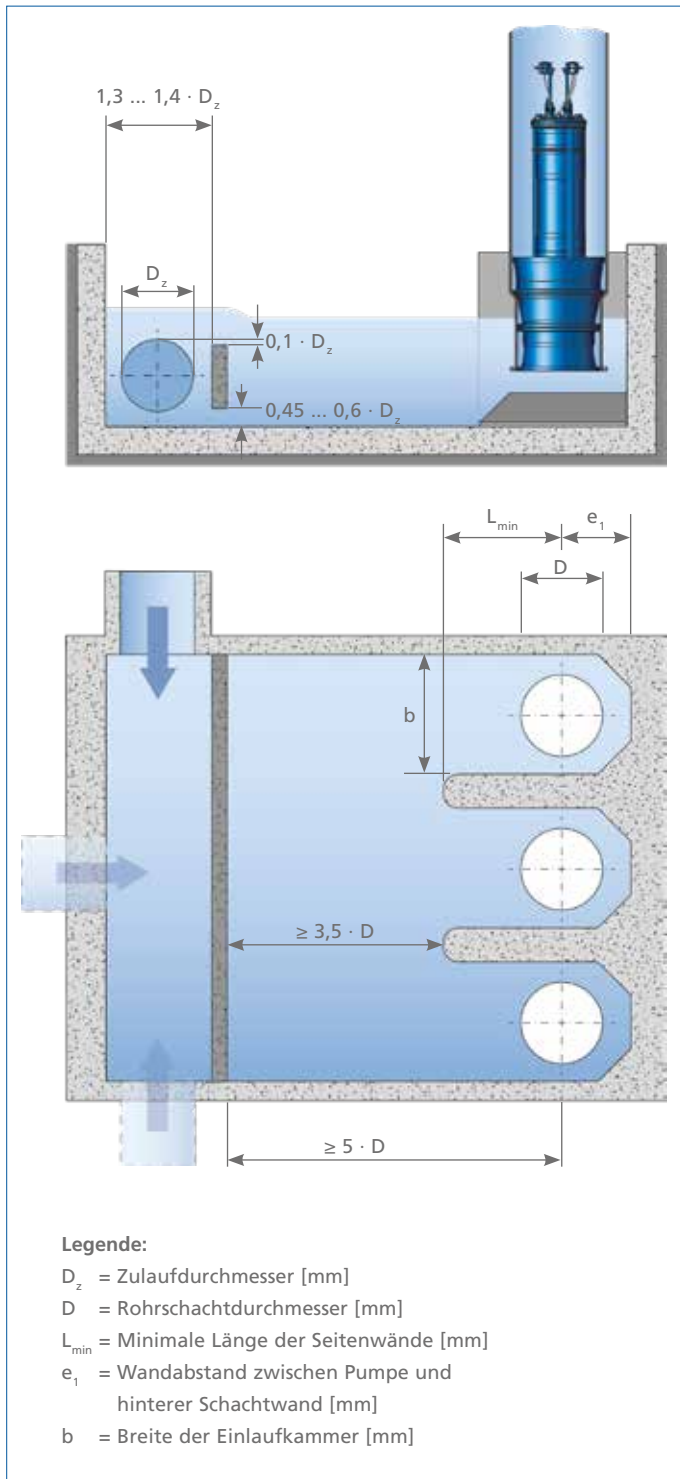


Abb. 49: Beispiel einer Pumpstation mit Queranströmung und Prallwand

Ändert sich (mit Blick auf die Lage der Einlaufkammern der Pumpen) die Richtung der aus dem Zulaufkanal kommenden Strömung, muss dies durch entsprechende Einbauten („Strömungsgleichrichter“) korrigiert werden (Abb. 49). Die Strömungsgleichrichter vernichten die kinetische Energie des in die Pumpstation eintretenden Fluides, während die Bodenöffnung die gezielte Richtungsänderung bewirkt. Das Ergebnis ist eine symmetrische Zuströmung in die Kammern der Pumpen. Wird eine solche Wand nicht eingebaut, kann die Energie des Zulaufes Wirbel auslösen; zudem ist die Kammeranströmung asymmetrisch ausgebildet, was sehr schlecht für den störungsfreien Betrieb der Pumpen ist.

Müssen zwischen dem Zulaufkanal und dem Wasserspiegel im Pumpensumpf größere Höhenunterschiede überwunden werden, sind entsprechende Absturzbauwerke vorzusehen, um den Eintrag von Luft auszuschließen (Abb. 50).

Als Kriterium, wann gezielt auf die Höhenunterschiede zu reagieren ist, gilt bereits eine Größenordnung von mehr als 0,3 m [7]. Auch hier sind die örtlichen Verhältnisse recht unterschiedlich und es bedarf einer entsprechend speziellen Anpassung, die sich z. B. in baulichen Maßnahmen niederschlägt.

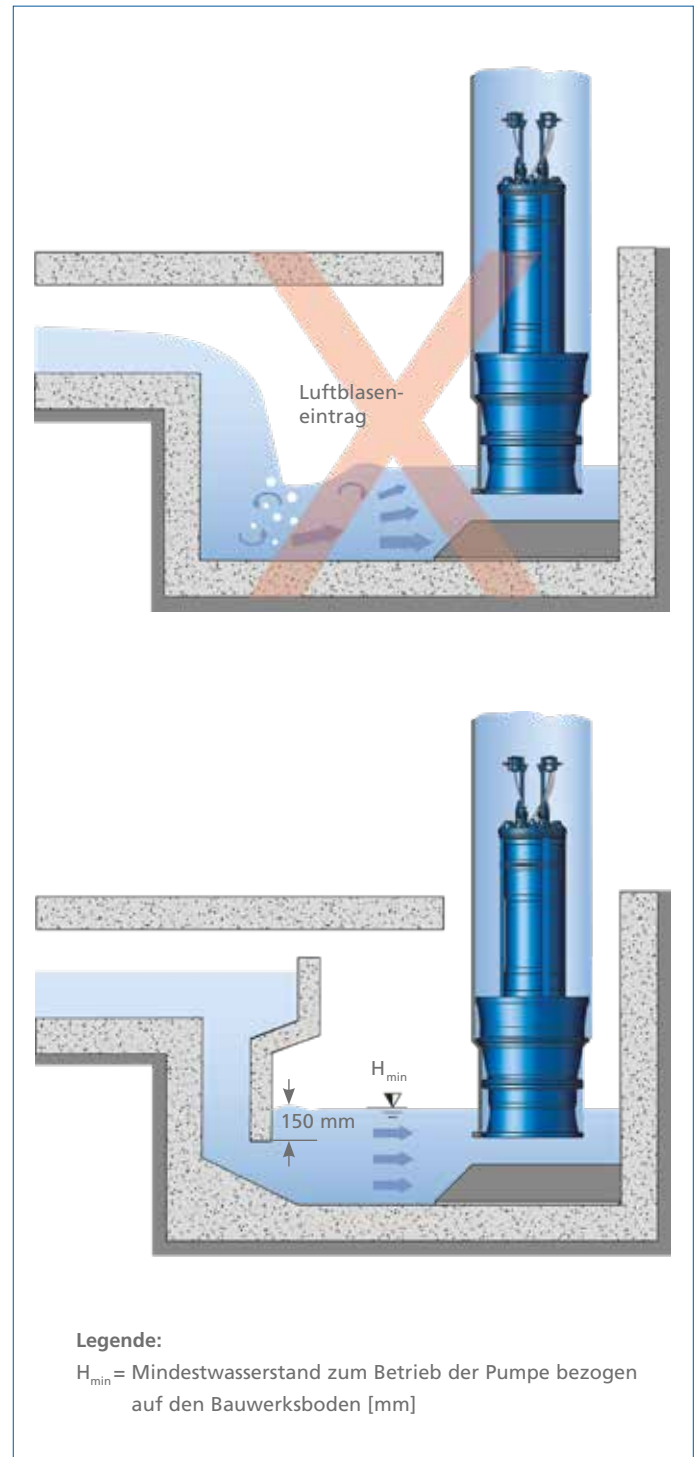


Abb. 50: Pumpstation mit Absturz

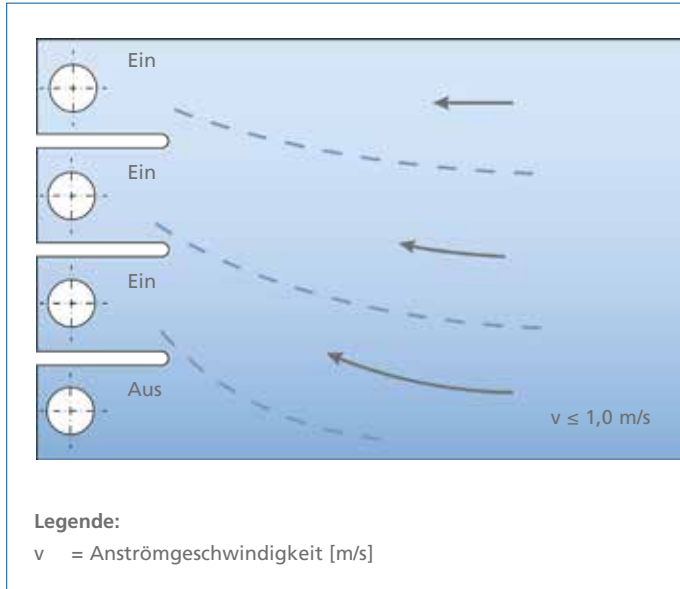


Abb. 51: Strömungsbildung bei variablem Pumpenbetrieb

Richtungsänderungen in der Anströmung sind auch zu erwarten, wenn bei Pumpstationen mit mehreren Pumpen nur einzelne Pumpen laufen (Abb. 51). Ein grobe Abschätzung der Situation hilft hier, um gegebenenfalls statt einer offenen Einlaufkammer eine gedeckte Einlaufkammer zu nutzen.

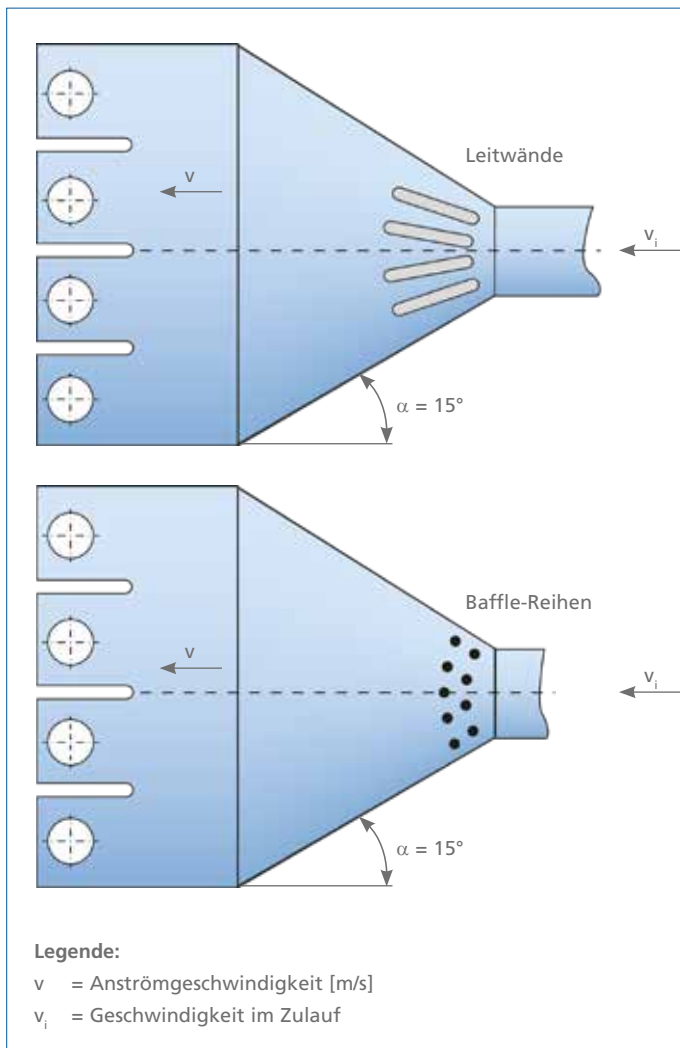


Abb. 52: Strömungsoptimierung

Ist ein Erweiterungswinkel des Bauwerkes zur Reduzierung der Einströmgeschwindigkeit  $v_i$  von mehr als 15 Grad geplant, sind zusätzliche Maßnahmen vorzusehen, um Ablösewirbel zu vermeiden: Entweder Leitwände oder Leitbleche bzw. Baffles (Umlenkbleche) (Abb. 52). Ob diese Maßnahmen auch bauseits ausführbar sind, hängt von der Beschaffenheit des Fördermediums ab.



Die Zulaufsituation aus einem Kanal ist vergleichbar mit der Entnahme von Flusswasser. Je nach Fließgeschwindigkeit des Gewässers ist beim Eintritt der Strömung in den Einlaufkammerbereich mit Ablösegebieten zu rechnen.

Ist die Lösung „Gedechte Einlaufkammer“ nicht möglich, muss die Länge der Kammerwände wesentlich vergrößert werden. Der Planer kann hier als Richtwert von einem Faktor 3 bezogen auf das in den Dokumentationen angegebene Längenmaß  $L_{\min}$  ausgehen.

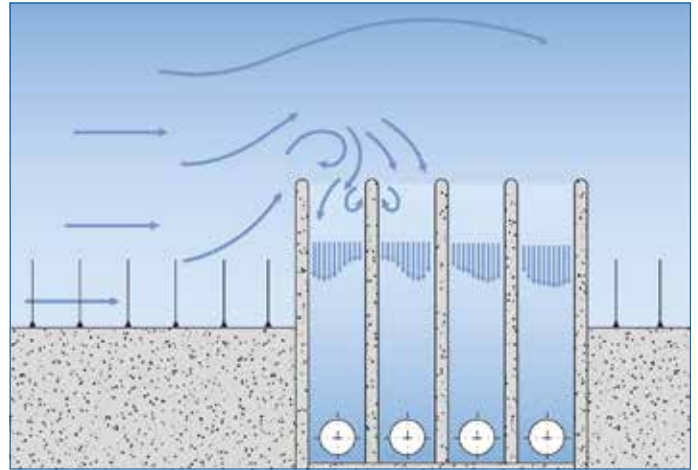


Abb. 53: Pumpstation mit offener Kammer zur Entnahme von Flusswasser

Wird Wasser aus einem stehenden Gewässer entnommen, so entfällt die Komponente „Queranströmung“. Haben die Pumpen für den entsprechenden Volumenstrom eine ausreichende Überdeckung  $t_1$  zwischen kleinstem Wasserstand im Gewässer und Einlaufkammerboden (siehe Baureihendokumentation), kann problemlos mit offenen Einlaufkammern gearbeitet werden.

Je nach Ausführung der Seitenwände der Pumpstation, können diese etwas über die Länge der Einlaufkammer  $L_{\min}$  verlängert werden, um den Einfluß der Strömungsumlenkung für die äußeren Einlaufkammern zu verringern.

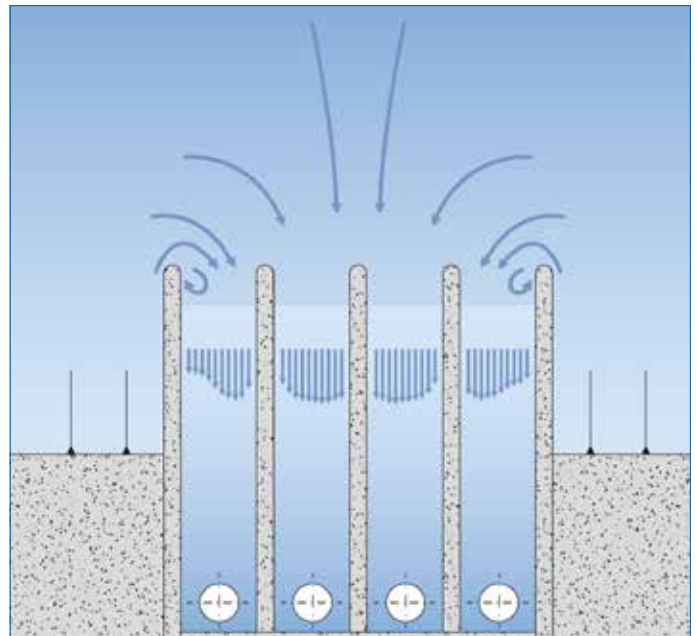


Abb. 54: Pumpstation mit offener Kammer zur Wasserentnahme aus stehendem Gewässer

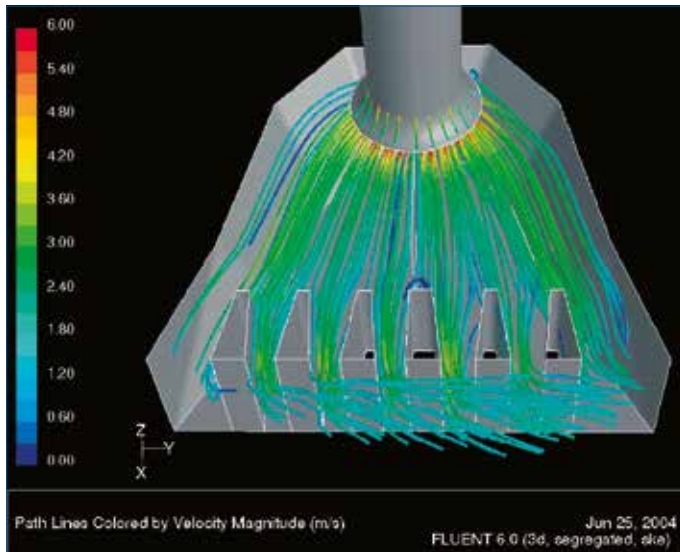


Abb. 55: Speziell dimensionierte Einlaufkammer für Queranströmungen von  $v = 1,8 \text{ m/s}$

## Lösungen für Sonderfälle

Sind Standardbauwerke nicht realisierbar oder weichen die Bedingungen im Pumpwerk von den oben beschriebenen Gegebenheiten ab, sollte zur Gestaltung spezieller Lösungen das Know-how von KSB-Experten genutzt werden. Je früher in einem solchen speziellen Fall der Informationsaustausch startet, desto eher wird es gelingen, eventuell vorhandene Probleme zu identifizieren und durch gezielte Maßnahmen eine praktikable Lösung zu finden.

Um solche Sonderfälle näher zu umreißen, sei hier z. B. auf die maximale Geschwindigkeit im Anströmbereich von  $v > 1 \text{ m/s}$  und eventuell damit verbundene große Queranströmungen hingewiesen. Bei solchen Fällen kann unter Umständen durch eine gezielte Baffle-Dimensionierung und speziell dimensionierte Einlaufkammern die Pumpenanströmung optimiert werden. Da auch hier wieder die Frage nach der Beschaffenheit des Fördermediums steht, wird die Forderung nach der jeweils individuellen Engineering-Lösung unterstrichen. KSB hat auf diesem Gebiet bereits viele Auslegungen erfolgreich durchgeführt. Inwieweit diese Maßnahmen dann im Einzelfall durch Modelltests oder CFD (Computational Fluid Dynamics)-Simulationen abzusichern sind, muß individuell geprüft und entschieden werden.

## Die Notwendigkeit von Modelltests

Aufgabe von Modelltests ist es, die Ausbildung der Strömungen in einer geplanten Pumpstation in einem verkleinerten Modell maßstäblich nachzubilden. Damit erhält man die Möglichkeit, Problemzustände (Wirbelbildung, ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilung usw.) gezielt zu erfassen und bei Bedarf positiv zu beeinflussen. Wegen der guten Transparenz benutzt man in der Regel Acrylglas als Modellwerkstoff (Abb. 56). Um die Strömungsverhältnisse auf das Original übertragen zu können, werden zur Gestaltung des Modells dimensionslose Kennzahlen genutzt. Diese Kennzahlen beschreiben die in der Flüssigkeitsströmung wirkenden Kräfte; sie sollen für Modell und Original möglichst gleich sein. Die relevanten Kräfte sind u. a. die Schwerkraft sowie die Kräfte aus dynamischer Viskosität, Oberflächenspannung und Massenträgheit der strömenden Flüssigkeit. Die dafür geltenden dimensionslosen Kennzahlen lauten:

$$\text{Reynolds-Zahl } Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad \text{Formel (7)}$$

$$\text{Froude-Zahl } Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot l}} \quad \text{Formel (8)}$$

$$\text{Weber-Zahl } We = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot l}{\sigma} \quad \text{Formel (9)}$$

### Legende:

- v = Durchflussgeschwindigkeit [m/s]
- d = Hydraulischer Durchmesser [m]
- $\nu$  = Kinematische Viskosität [m<sup>2</sup>/s]
- g = Fallbeschleunigung 9,81 m/s<sup>2</sup>
- l = Charakteristische Länge (in der Hydraulik) [m]
- $\rho$  = Dichte [kg/m<sup>3</sup>]
- $\sigma$  = Oberflächenspannung [N/mm<sup>2</sup>]

Die Modelluntersuchungen sind dann unbedingt erforderlich, wenn eines oder mehrere der nachstehenden Kriterien für das Einlaufbauwerk bzw. den Pumpensumpf zutreffen:

- Das Bauwerkskonzept weicht von den bewährten Ausführungen hinsichtlich der Kammermaße bzw. Rohrleitungsführung, Wandabstände, starke Richtungsänderungen zwischen Einlauf ins Bauwerk und Zuströmung zur Pumpe usw. ab.
- Der Volumenstrom beträgt pro Pumpe mehr als 2,5 m<sup>3</sup>/s bzw. für die gesamte Pumpstation mehr als 6,3 m<sup>3</sup>/s.
- Die Zuströmung erfolgt asymmetrisch und / oder ungleichförmig.
- Bei wechselndem Betrieb der Pumpen in einer Mehrpumpenstation gibt es jeweils starke Richtungsänderungen.
- Eine existierende Pumpstation bereitet Probleme.

Da diese Kennzahlen zum Teil wiederum voneinander abhängen, können sie bei der maßstäblichen Umsetzung in das Modell nicht alle gleichzeitig eingehalten werden. Es muss daher ein Kompromiss dahingehend gefunden werden, der für den gegebenen Anwendungsfall ein Optimum darstellt.



Abb. 56: Acrylmodell einer Amacan P-Pumpstation

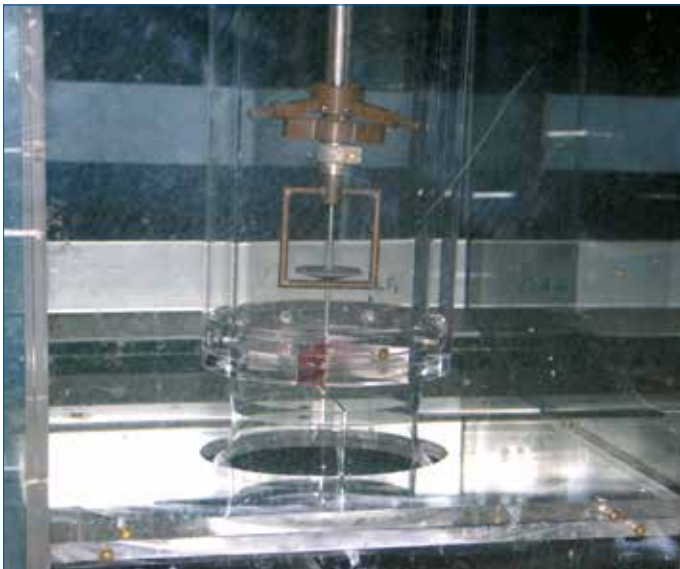


Abb. 57: Rotameter

## Versuchsaufbau

Die Geometrie des Modells muss entsprechend dem gewählten Maßstab und unter Beachtung der beschriebenen Kennzahlen mit dem Original übereinstimmen. Dies betrifft den wasserführenden Teil des Baukörpers und die Pumpen. Neben dem Bauwerksteil werden auch die Pumpen aus transparentem Werkstoff nachgebildet. Auf die Nachbildung des Laufrades kann verzichtet werden, da das Ziel der Untersuchung nur die Laufradanströmung ist.

Anstatt eines Laufrades setzt man ein Rotameter (siehe Abb. 57) ein, dessen Umdrehungszahl einen Rückschluss auf die Wirbelbildung im Zulauf zulässt.

Über den gesamten Ansaugquerschnitt der Modellpumpe werden an Referenzstellen die Strömungsgeschwindigkeiten gemessen. Dies geschieht per Pitot-Rohr oder Laser. Bei der Bewertung von Wirbelausbildungen wird neben der Flüssigkeitsoberfläche auch der darunter liegende Wand- und Bodenbereich beobachtet. Die in einem gedachten Strömungsquerschnitt vorhandene Wirbelintensität wird mittels Farbsonden sichtbar gemacht und in ihrer Größe mit dem Drallwinkel  $\theta$  des Rotameters gemessen. Hierfür gilt:

$$\sigma = \tan^{-1}\left(\frac{\pi \cdot d_m \cdot n}{u}\right)$$

Formel (10)

### Legende:

$\sigma$  = Drallwinkel [°]

$\pi$  = Kreiszahl Pi = 3.14159265359

$d_m$  = Rohrdurchmesser (hier des Pumpensaugrohrs) [m]

$n$  = Umdrehungen des Rotameters [1/s]

$u$  = axiale Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Nach Hecker werden die Oberflächenwirbel in sechs Kategorien (1 = gering, 6 = sehr stark, Abb. 60) und die getauchten Wirbel in drei Kategorien eingeteilt (Abb. 61).

Solange man sich an Grafiken orientiert, sehen diese Wirbelentwicklungen recht harmlos aus. Doch bereits Wirbelausbildungen im Rahmen von Modelluntersuchungen vermitteln einen Eindruck dessen, welche Gegebenheiten sich in der realen Anlage einstellen können. Anders als im Labor hat man es in Pumpstationen selten mit klarem Wasser zu tun und es ist schwierig, auftretende Wirbelformationen als Problemursache zu ermitteln, besonders wenn es sich um getauchte Wirbel handelt.

Die für die Untersuchungsmethode geltenden Kriterien können je nach Pumpenbauart sowie Ausführung und Größe der Anlage geringfügig variieren.

### Bewertung der Ergebnisse

Die Messergebnisse sollten vor Abschluss der Planungen vom Bauwerksplaner, dem Endkunden, dem Pumpenhersteller und der untersuchenden Institution gemeinsam bestätigt werden.

Hauptkriterien sind:

- Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit an den definierten Messpunkten des Ansaugquerschnitts sollten nicht mehr als 10 % vom Mittelwert abweichen.
- Der Drallwinkel sollte nicht mehr als 5 Grad betragen. Ein Drallwinkel von 6 Grad ist dann noch zu tolerieren, wenn dieser in weniger als 10 % des Betrachtungszeitraums auftritt.
- Oberflächenwirbel dürfen nur bis zum Typ 2 und getauchte Wirbel nur bis zum Typ 1 akzeptiert werden. In Ausnahmefällen kann ihr Auftreten in weniger als 10 % des Betrachtungszeitraums toleriert werden.

### Generell gilt:

Im Modell nur schwach ausgeprägte Effekte können im Großmaßstab (Original) wesentlich stärker ausgeprägt sein!

Die Untersuchungen sind mit einem detaillierten Bericht der untersuchten Betriebszustände abzuschließen. Die beobachteten Wirbelformationen und Betriebszustände (entsprechend der getesteten Wasserstände im Bauwerk) sind als Videoaufnahmen zu dokumentieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

KSB unterstützt und koordiniert auf Wunsch die Durchführung von projektbezogenen Modelluntersuchungen.



Abb. 58: Laboraufnahme eines Oberflächenwirbels Typ 6



Abb. 59: Laboraufnahme eines Oberflächenwirbels Typ 3

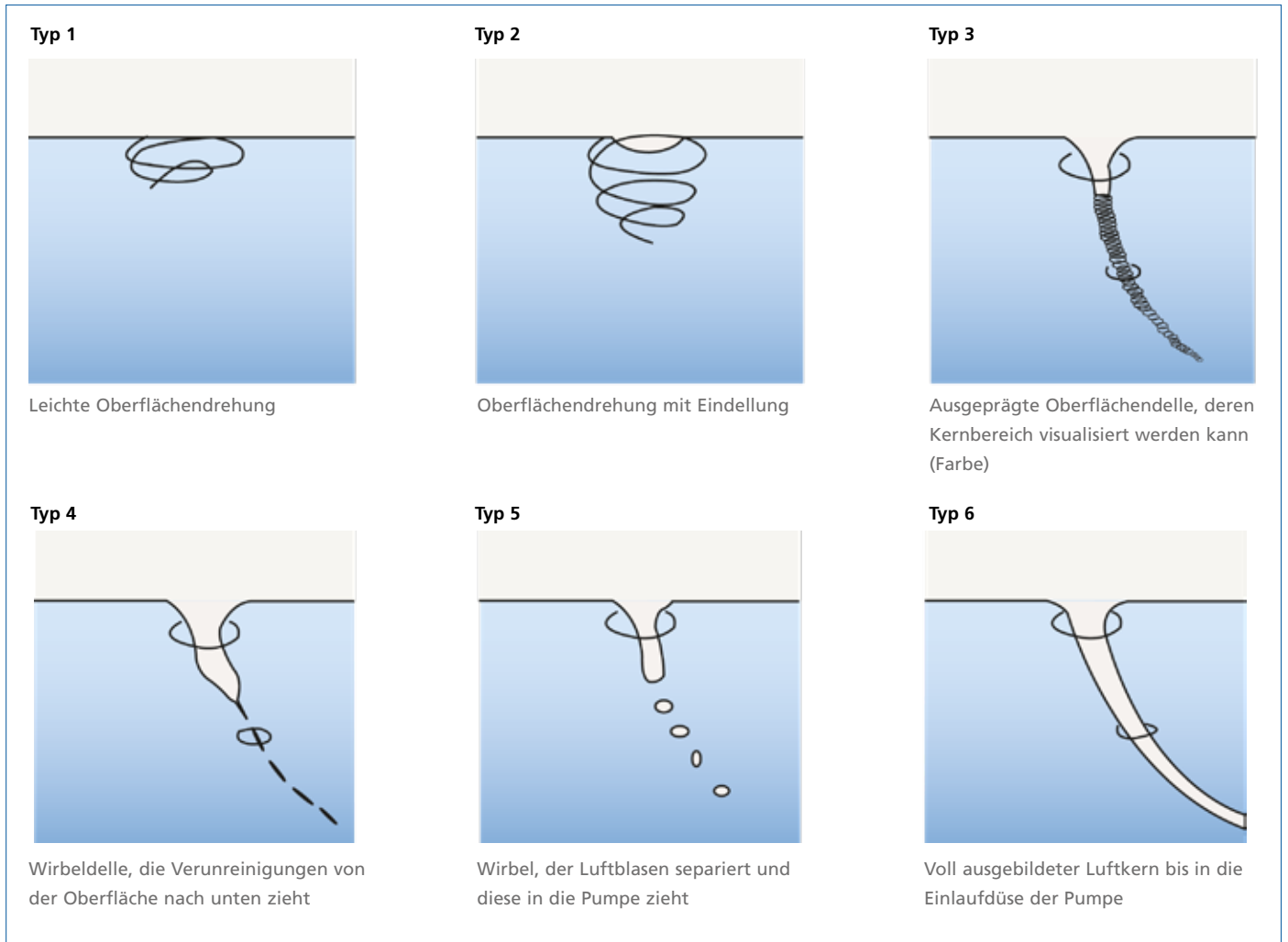


Abb. 60: Klassifizierung von Oberflächenwirbeln nach Hecker (Typen 1 bis 6 )

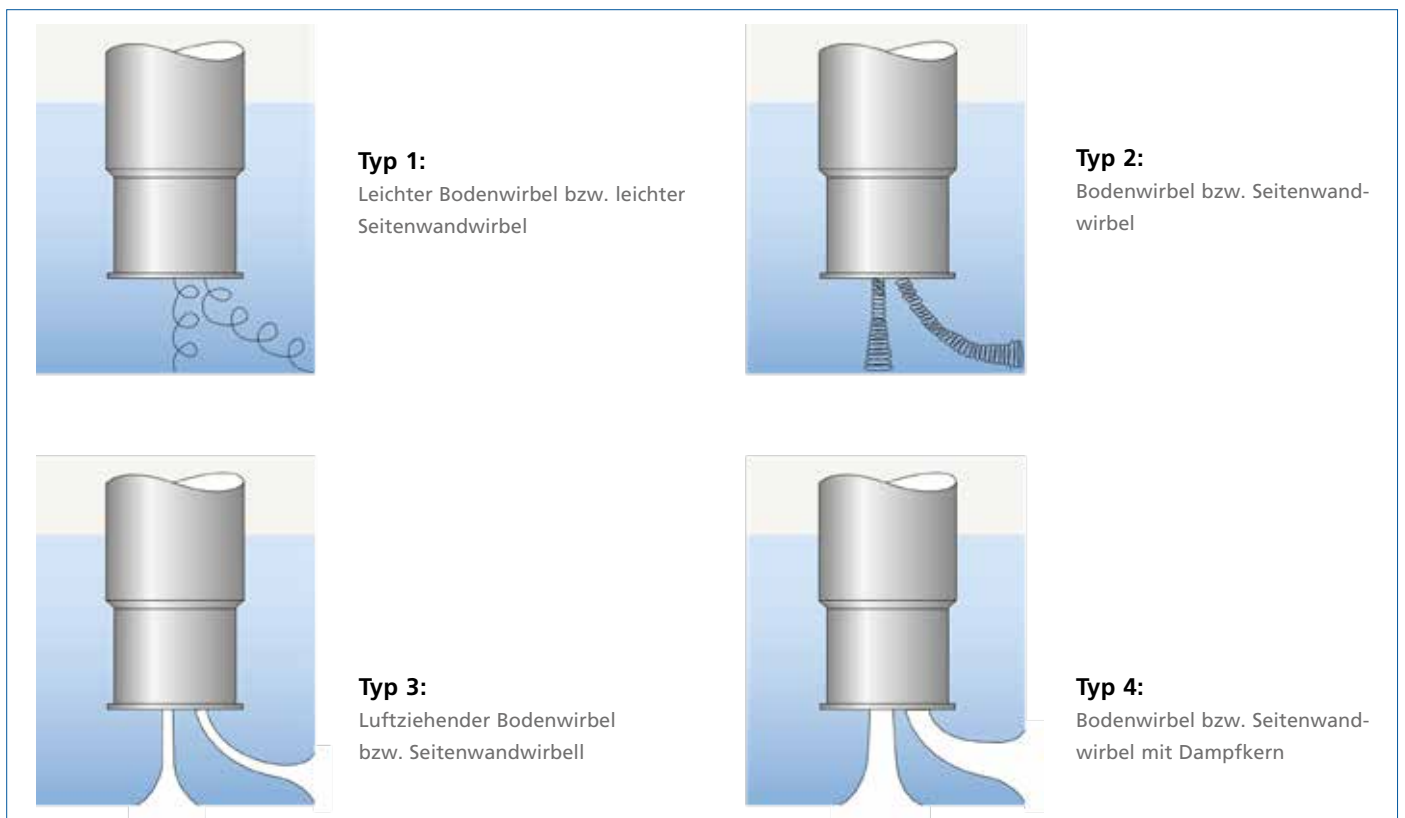


Abb. 61: Klassifizierung von getauchten Wirbeln nach Hecker (Typen 1 bis 4)



## Die Bedeutung von CFD-Simulationen

Die rechnergestützte Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics = CFD) gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Die speziell hierfür entwickelte Software ist ein wirksames Instrument, um Strömungsvorgänge recht präzise vorhersagen zu können. Der Zeit- und Kostenaufwand einer derartigen Simulation hängt ab von der

- Größe des zu modellierenden Strömungsbereiches
- gewünschten geometrischen Auflösung
- Rechnerleistung
- Aufbereitungsform (Report)
- und dem Umfang der Ergebnisse.

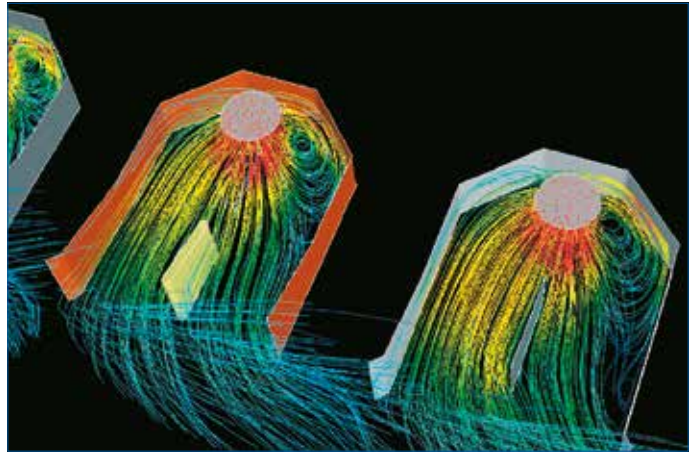


Abb. 62: Strömungsausbildung in Amacan-Einlaufkammern

### Methode

Basis für die mathematische Beschreibung von Fluidströmungen sind die Gleichungen von Navier-Stokes. Diese beschreiben die Vorgänge in jedem Punkt einer Strömung mittels partieller Differentialgleichungen für die Massen-, die Energie und die Impuls- Bilanz.

Die Berechnung jedes einzelnen räumlichen Punktes einer Strömung ist wegen des immensen Aufwandes nicht realisierbar. Daher legt man ein Gitternetz an und berechnet dessen Knotenpunkte. Nach entsprechender Aufbereitung dieses Gittermodells lässt sich eine Aussage für die Druck- und Geschwindigkeitsverteilung machen bzw. diese einer numerischen und/oder grafischen Analyse zuführen. Bei der Modellierung ergeben sich teilweise unterschiedliche Abstände zwischen den einzelnen Knotenpunkten. Sie hängen von den Gradienten der Strömungsgeschwindigkeit ab.

An Wänden und Ecken, die aus strömungstechnischer Sicht als Diskontinuitäten gelten, liegen die berechneten Knotenpunkte enger zusammen. In Bereichen kleiner Geschwindigkeitsgradienten kann man deren Abstände problemlos vergrößern. Außerdem werden an den Knotenpunkten Annahmen zur Turbulenzverteilung getroffen. Aufgabe des CFD-Spezialisten ist es, das „richtige“ Turbulenzmodell auszuwählen. Es ist viel Erfahrung erforderlich, um zum einen die adäquate Modellierung zu nutzen und zum anderen die Ergebnisse daraus auch korrekt zu interpretieren.

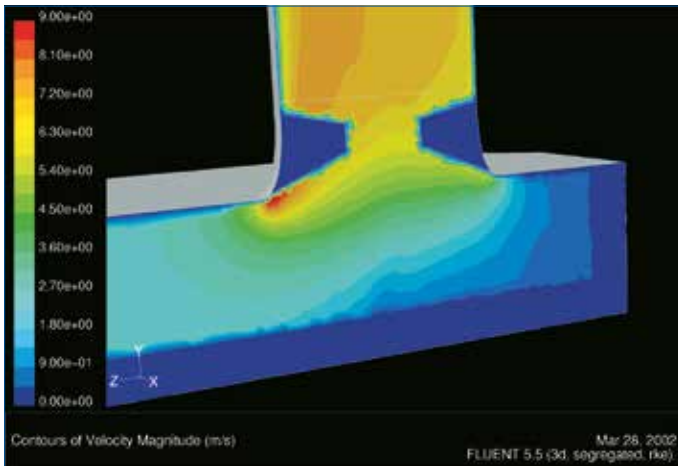


Abb. 63: Simulation einer Rohrschacht-Anströmung

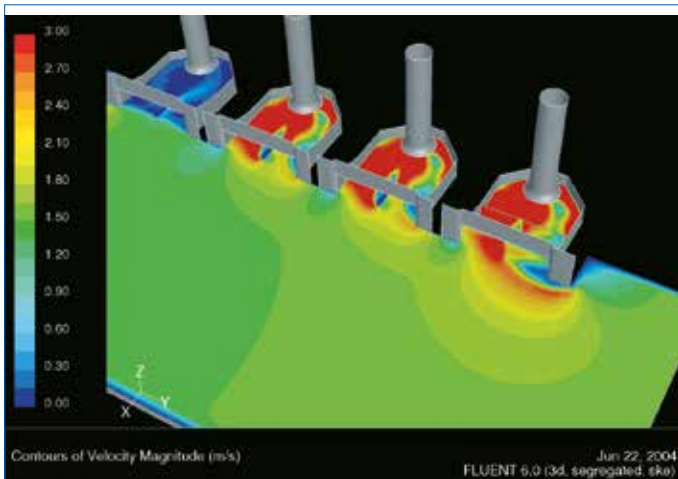


Abb. 64: Simulation einer Pumpstation mit mehreren Pumpen

Für die Bewertung von Strömungen in Einlaufbauwerken und Pumpensäugern ist die CFD-Simulation ein durchaus geeignetes Mittel, zumal sie es auch ermöglicht, bei Mehrpumpenanlagen den Einfluss einzelner Pumpen auf die Strömung sehr genau zu analysieren. Probleme bereitet eher der Umstand, dass Oberflächen- und getauchte Wirbel sowie unsymmetrische Zuströmungen nicht immer ein stationäres Verhalten zeigen und sich damit nicht exakt vorhersagen lassen.

Bei KSB gehört das Instrument der CFD-Simulation seit Jahren zu den Engineering-Standardwerkzeugen. Die gute Übereinstimmung von CFD-Rechnungen und Modelltests bei durchgeführten Untersuchungen gestattet heute eine genauere Vorhersage der sich einstellenden Strömungssituationen und eine gezieltere Optimierung der Pumpstationen. In komplizierten Fällen ist bei der Untersuchung von Bauwerken der physikalische Modelltest der CFD-Rechnung vorzuziehen. Die Anwendung von CFD-Simulationen und Modelltests wird in der Zukunft die Gesamtkosten zur Untersuchung von Pumpstationen wesentlich verringern.

## Rechen-Einrichtungen

Für den störungsfreien Betrieb der Pumpen ist je nach Art und Herkunft des Fördermediums der Einbau von Grobrechen (Stababstand zwischen 5 und 30 cm) (Abb. 65) und/oder Feinrechen (Stababstand zwischen 5 und 20 mm) sowie gegebenenfalls vorgeschalteten Geröllfängen erforderlich (Abb. 67). Deren Reinigung sollte automatisch über eine entsprechende Mechanik bei laufendem Pumpenbetrieb möglich sein (Abb. 66). Insbesondere bei Anwendungen wie der Entnahme von Oberflächenwasser aus Flüssen, Seen und Kanälen, aber auch Regenwasserpumpstationen (storm water) sind diese Reinigungseinrichtungen dringend geboten.

Besonders bei der Entnahme von Flusswasser wird das Problem der Mitförderung von Geröll und Sedimenten häufig verdrängt. Falls man die Pumpstation aber nicht mit den beschriebenen Einrichtungen ausstattet, führt dies bei längerem Betrieb zum Versanden bzw. zu starken Ablagerungen in Totwasserzonen im und am Bauwerk sowie zu einem erhöhten Verschleiß der Kreiselpumpen; mechanische Schäden an den Laufrädern und anderen Pumpenteilen sind nicht auszuschließen (Abb. 72).

Wo der Rechen in die Pumpwerkskonzeption aufgenommen wird, liegt in den Händen des Planers. Entweder wird der Rechen vor dem Pumpwerk bzw. vor dem Sumpf installiert, um das Eindringen von Grobstoffen in das Bauwerk auszuschließen, oder es werden Einzelrechen direkt in die Gestaltung der Einlaufkammer aufgenommen. Hier muß die Kammerlänge unter Umständen vergrößert werden, da sich der freie Strömungsquerschnitt durch den Einbau des Rechens etwas verkleinert. Hinter dem Rechen entsteht eine über dem Strömungsquerschnitt ausgeglichene Geschwindigkeitsverteilung – günstig für den Pumpenbetrieb. Voraussetzung ist aber, daß der Rechen weitgehend frei von Rechengut ist (Abb. 66). Ebenso ist bei der Bewertung des minimal zulässigen Wasserstandes  $t_1$  im Pumpensumpf zu berücksichtigen, dass ein belegter Rechen einen Strömungswiderstand darstellt und sich ein Wasserspiegelunterschied zwischen Vorder- und Hinterseite ausbildet. Hier darf der Wasserstand hinter dem Rechen nicht den minimal zulässigen Wasserstand  $t_1$  für den Betriebspunkt der Pumpe unterschreiten.

Als Richtwert für den maximal zulässigen Stababstand des Rechens sollte der halbe freie Kugeldurchgang des Pumpenlauf-rades gelten. Dieser Wert kann der entsprechenden Pumpenkennlinie entnommen werden (siehe Baureihenheft bzw. Auslegungsoftware).



Abb. 65: Grobrechen vor einer Amacan-Pumpstation (Entnahme von Flusswasser)



Abb. 66: Rechen mit automatischer Reinigung

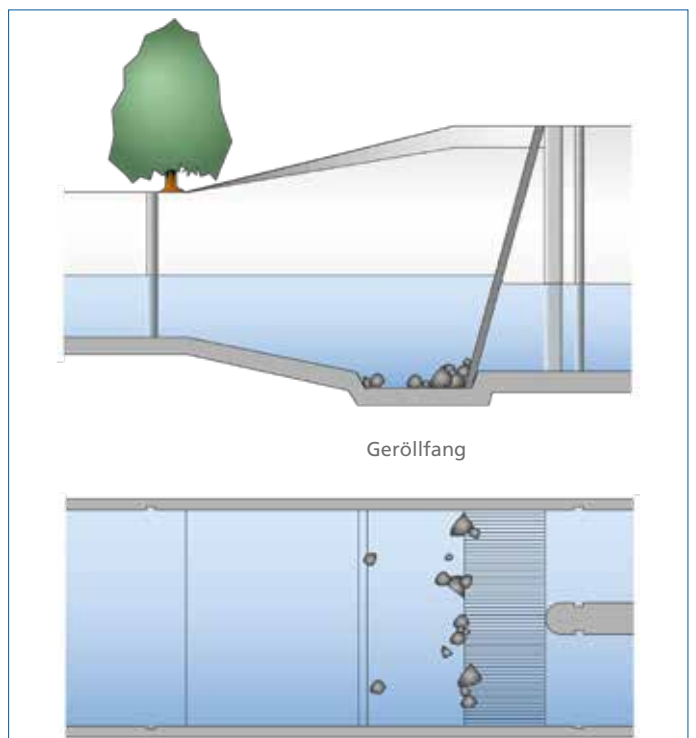


Abb. 67: Geröllfang vor einer Pumpstation

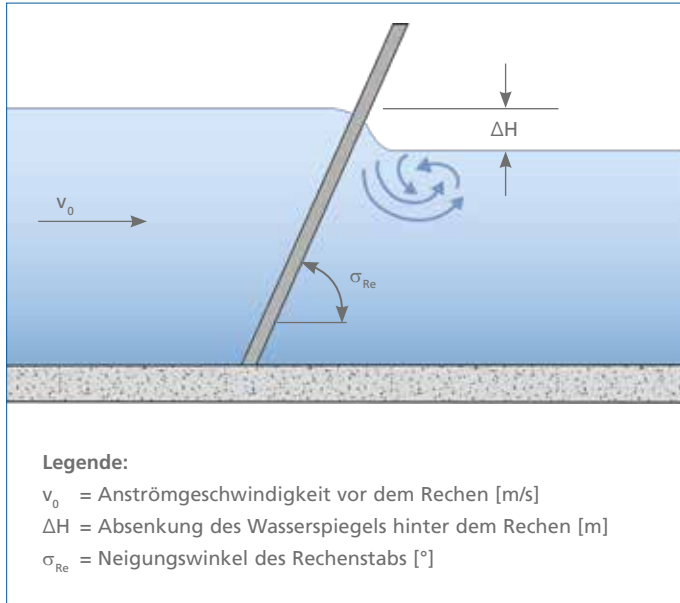


Abb. 68: Rechendurchströmung ohne Bodenabsenkung

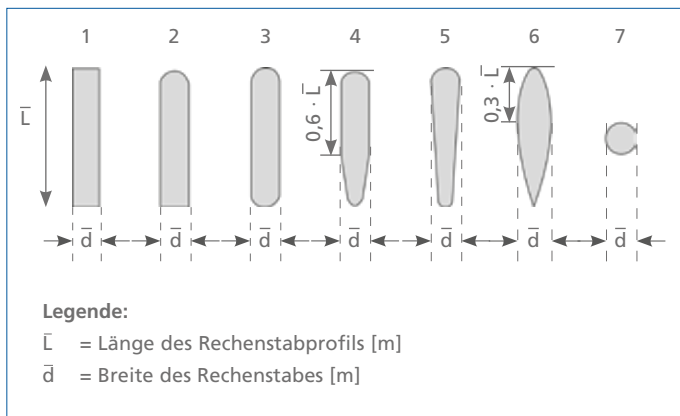


Abb. 69: Form von Rechenstäben

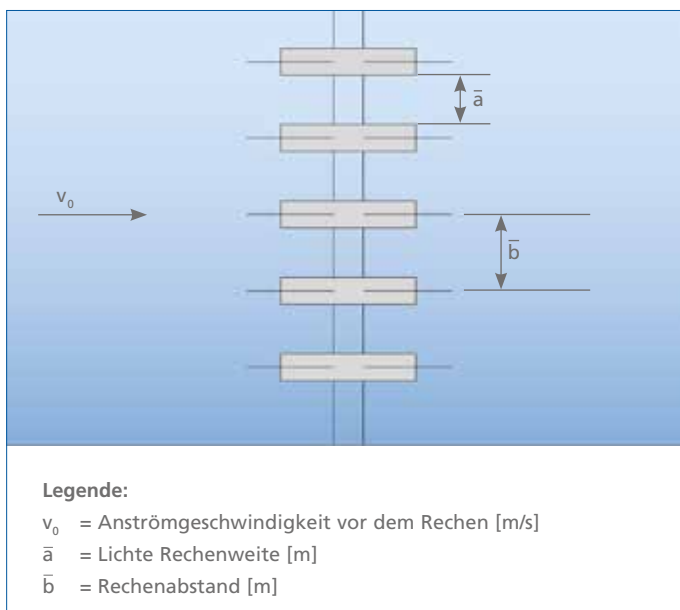


Abb. 70: Grundriss des Rechens

Um den Einfluß des Rechens auf den Wasserstand direkt vor den Pumpen bewerten zu können, sollte man – wenn keine Feinauslegung erfolgt – auf die vereinfachte Berechnung nach Hager [10] zurückgreifen.

Dabei ergibt sich die Wasserspiegelabsenkung hinter dem Rechen  $\Delta H$  zu

$$\Delta H = \xi_{Re} \cdot \frac{v_0^2}{2g} \quad \text{Formel (11)}$$

$$\text{mit } \xi_{Re} = \beta_{Re} \cdot c_{Re} \cdot \sin \sigma_{Re} \cdot \zeta_{Re} \quad \text{Formel (12)}$$

**Legende:**

$\Delta H$  = Wasserspiegelabsenkung hinter dem Rechen [m]

$\xi_{Re}$  = Verlustbeiwert des Rechens

$v_0$  = Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen [m/s]

$\beta_{Re}$  = Verlustbeiwert für die Geometrie der Rechenstäbe

$c_{Re}$  = Korrekturfaktor für die Art der Reinigung bzw. Belegung

$\sigma_{Re}$  = Neigungswinkel der Rechenstäbe [°]

$\zeta_{Re}$  = Beiwert für Rechengeometrie

$g$  = Fallbeschleunigung 9,81 m/s<sup>2</sup>

Für die unterschiedlichen Formen der Rechenstäbe (Abb. 69) können folgende Werte benutzt werden:

Form	1	2	3	4	5	6	7
$\beta_{Re}$	1	0,76	0,76	0,43	0,37	0,3	0,74

Tabelle 2: Verlustbeiwert für die Geometrie der Rechenstäbe

$\bar{L}$  ist die Länge des Rechenstabprofils und  $\bar{d}$  die Breite. Wenn jetzt das Verhältnis  $\bar{L}/\bar{d}$  etwa gleich 5 ist und die Bedingung  $\bar{b}/\bar{a} > 0,5$  erfüllt ist, kann die Formel (12) für  $\zeta_{Re}$  vereinfacht werden zu

$$\xi_{Re} = \frac{7}{3} \cdot \beta_{Re} \cdot c_{Re} \cdot \sin \sigma_{Re} \cdot \left[ \frac{\bar{b}}{\bar{a}} - 1 \right]^{\frac{4}{3}} \quad \text{Formel (13)}$$

**Legende:**

$\xi_{Re}$  = Verlustbeiwert des Rechens

$\beta_{Re}$  = Verlustbeiwert für die Geometrie der Rechenstäbe (Tabelle 2)

$c_{Re}$  = Korrekturfaktor für die Art der Reinigung bzw. Belegung

$\sigma_{Re}$  = Neigungswinkel der Rechenstäbe [°]

Für  $c_{Re}$  gilt:

$c_{Re} = 1,0$  für freigelegte Rechen

$c_{Re} = 1,1 \dots 1,3$  für mechanisch gereinigte Rechen

$c_{Re} = 1,5 \dots 2,0$  für manuell gereinigte Rechen



Um die bei der Durchströmung des Rechens auftretenden Verluste  $\Delta H$  zu kompensieren (Abb. 71), wird im Bereich des Unterwassers häufig der Boden des Bauwerkes bzw. Kanals um diesen Betrag  $\Delta z$  abgesenkt  $\Delta H = \Delta z$

Allgemein übliche Größenordnungen für Verluste durch Rechen liegen bei 5 cm für maschinelle Reinigung und ca. 10 cm bei manueller Reinigung.

Für die Durchführung einer Feinauslegung von Rechen wird die Vorgehensweise nach Idelchik [11, S. 504 ff] empfohlen. Diese Verfahrensweise bietet sich an, wenn auch der Einfluß von schräger Anströmung des Rechens mit berücksichtigt werden muß oder die Form der Rechenstäbe von der Form in Abb. 69 stark abweicht.

Rechen werden häufig direkt in den Bereich der Einlaufkammer integriert. Dadurch erhält jede Pumpe ihren eigenen Rechen. Der Abstand einer Rechenanlage zum Rohrschacht der Pumpe sollte mindestens bei  $4 \cdot D$  liegen ( $D$  = Durchmesser Rohrschacht).

Wird eingeschätzt, dass die Anströmung des Rechens unter Umständen seitlich erfolgen kann und dieser Einfluß auf den Wasserspiegel hinter dem Rechen schlecht vorhersagbar ist, kann die Verlängerung der Einlaufkammerwand und das Zurücksetzen des Rechens in den Bereich der Einlaufkammer zu besser definierten und ausgeglichenen Anströmverhältnissen für die Pumpe und den Rechen führen.

Die Reinigung des Rechens sollte vorzugsweise automatisch erfolgen (Abb. 73). Um den Reinigungsvorgang auszulösen, kann die Differenz der Wasserspiegel vor und hinter dem Rechen genutzt werden. Damit ist sichergestellt, dass entsprechend dem Reinigungsbedarf auch eine Aktion erfolgt. Das manuelle Reinigen ist für Pumpenanlagen im Dauerbetrieb schlecht, muss doch das Betriebspersonal regelmäßig den Wasserspiegel kontrollieren und immer wieder die Reinigung durchführen. Auch die Variante durch eine Zeitsteuerung ist nicht zuverlässig genug.

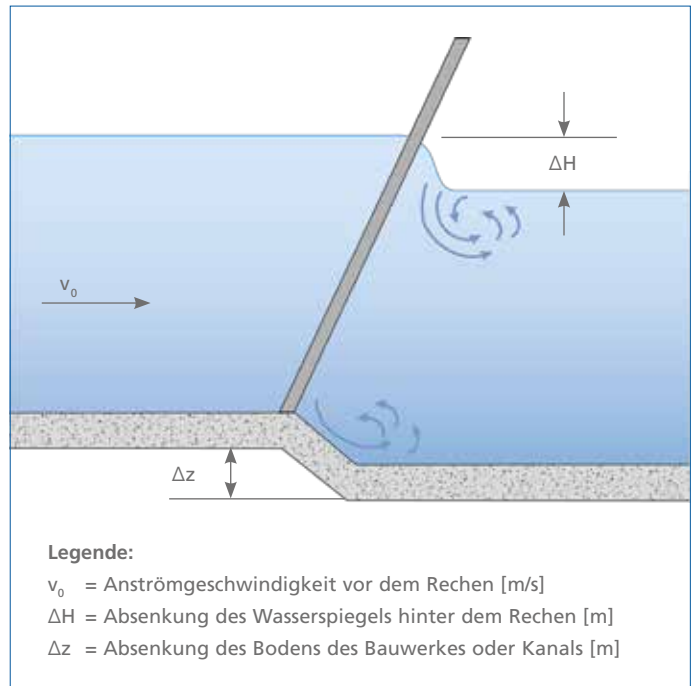


Abb. 71: Rechendurchströmung mit Bodenabsenkung



Abb. 72: Holz im Leitgehäuse einer Amacan-Pumpe



Abb. 73: Pumpwerk mit automatischem Rechen

# Rohrschachtausführungen

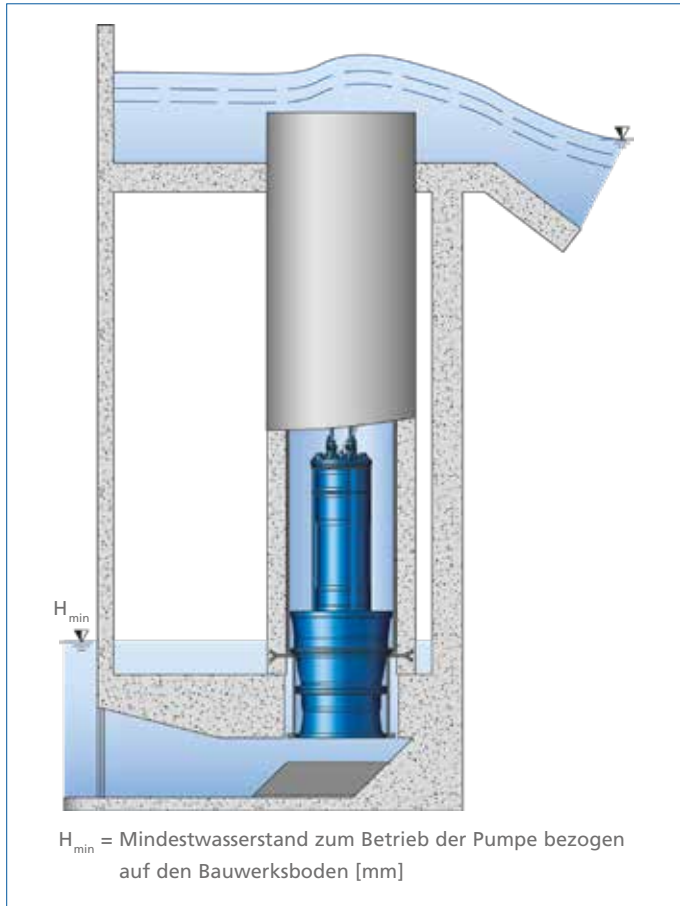


Abb. 74: Aufstellungsvariante A

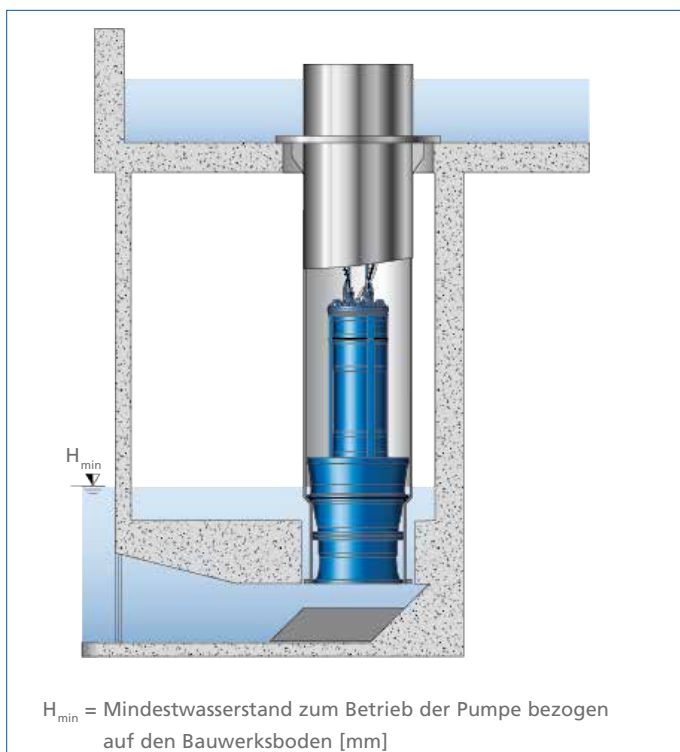


Abb. 75: Aufstellungsvariante BG

Der konstruktive Aufbau der Amacan-Pumpen gestattet eine Vielzahl an Aufstellvarianten. Dabei sind der Kreativität des Planers kaum Grenzen gesetzt. Neben der Rohrschachtausführung in metallischen Werkstoffen und Glasfaserverstärktem Kunststoff (GfK) gibt es auch die Möglichkeit, Betonelemente zu wählen. Wichtig für alle Aufstellungen ist jedoch die exakte Ausführung des Auflagebereiches der Pumpe im Rohrschacht mit der 45-Grad-Schräge.

## Konstruktive Varianten

### Aufstellungsvariante A (Abb. 74)

Im Bereich der Einlaufkammer wird der Auflage-Ring mit im Beton vergossen und anschliessend werden Betonrohrelemente als Rohrschacht verbaut. Eine solche Konzeption bietet sich eventuell für einfache Be- und Entwässerungspumpwerke an.

### Aufstellungsvariante BG (Abb. 75)

Bei dieser Ausführung ist ebenfalls die Aufstellung in einer gedeckten Einlaufkammer dargestellt. Allerdings ist jetzt der Rohrschacht aus Metall gefertigt. Bei dieser Variante muß der Rohrschacht an der Oberkante des Bauwerkes bezüglich der mechanischen Kräfte abgefangen und gegenüber dem Fördermedium abgedichtet werden. Die Oberkante des Rohrschachtes muss also gemäß den Ablaufbedingungen im Bereich des Oberwassers und der maximal auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten im Rohrschacht ausgelegt sein.



### Aufstellungsvariante BU (Abb. 76)

Selbstverständlich lässt sich diese Rohrschachtvariante auch in offenen Einlaufkammern einsetzen. Die endgültige Entscheidung zur Einlaufkammer-Ausführung wird durch den erforderlichen minimalen Wasserstand, bezogen auf den Förderstrom der Pumpe sowie die Anströmrichtung, bestimmt (siehe Diagramm  $t_1 = f(Q)$  im Baureihenheft bzw. in der Auslegungssoftware).

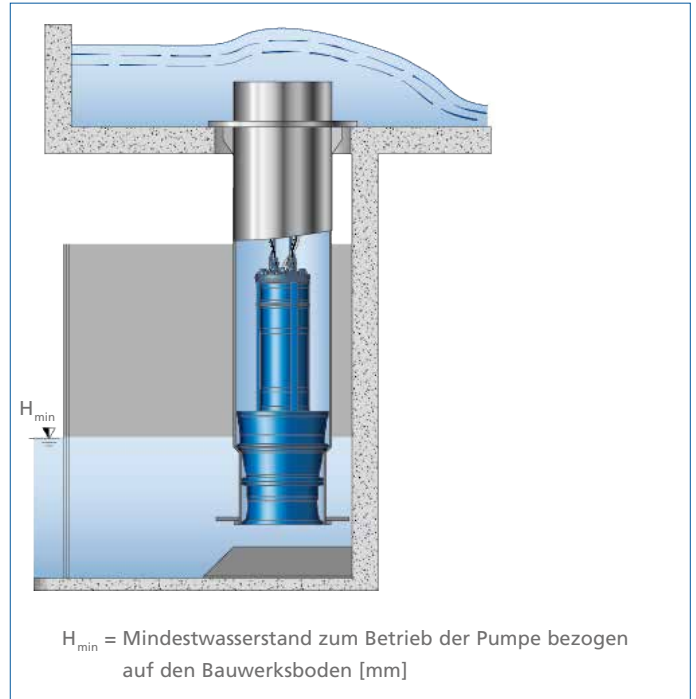


Abb. 76: Aufstellungsvariante BU

### Aufstellungsvariante CG (Abb. 77)

Als nächste Aufstellvariante soll die Unterfluraufstellung vorgestellt werden. Hier erfolgt der seitliche Stutzenabgang unterhalb der Oberkante des Bauwerkes. Ein Hochbauteil, wie man es von konventionellen Pumpstationen her kennt, ist hier nicht erforderlich – ein Kostenvorteil also.

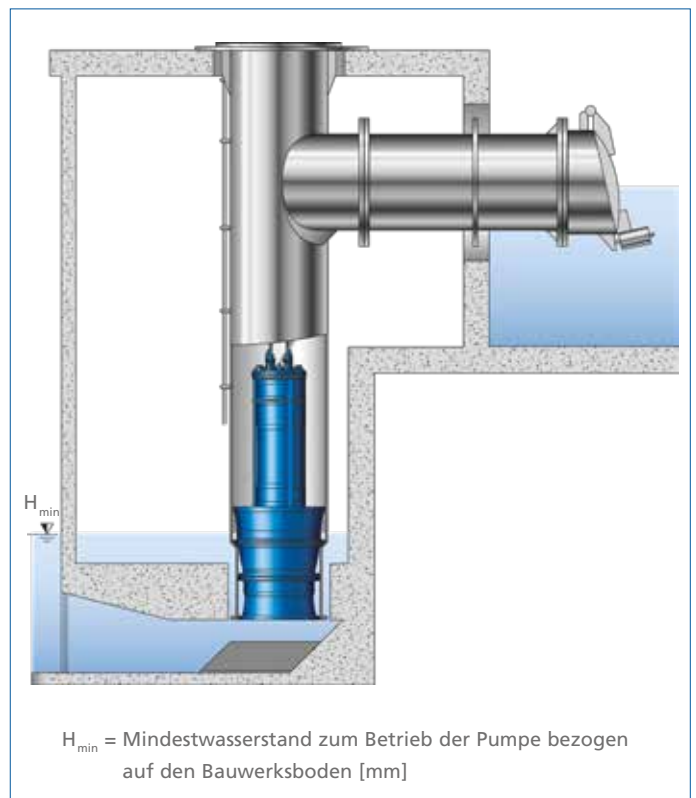


Abb. 77: Aufstellungsvariante CG

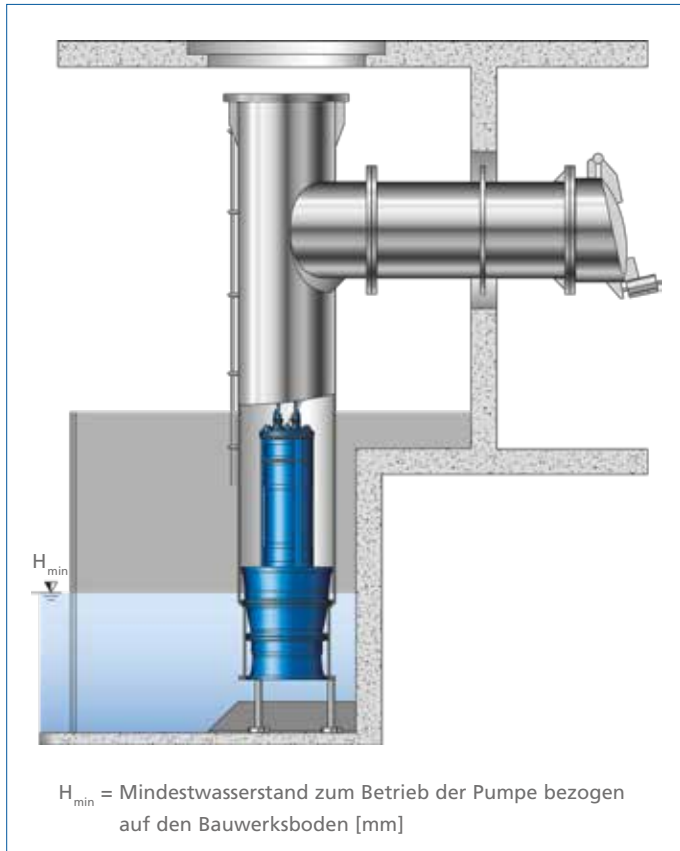


Abb. 78: Aufstellungsvariante CS

**Aufstellungsvariante CS (Abb. 78)**

Muss der Bereich des Pumpwerkes befahrbar sein, kann der Rohrschacht bei Bedarf auch auf dem Boden des Einlaufbereiches mit Füßen abgefangen werden. Nach dem Aufstellen und Montieren des Rohrschachtes wird dieser Bereich durch eine befahrbare Abdeckung verschlossen. Die Anschlußkabel werden dann unterirdisch zur Stromversorgung geführt.

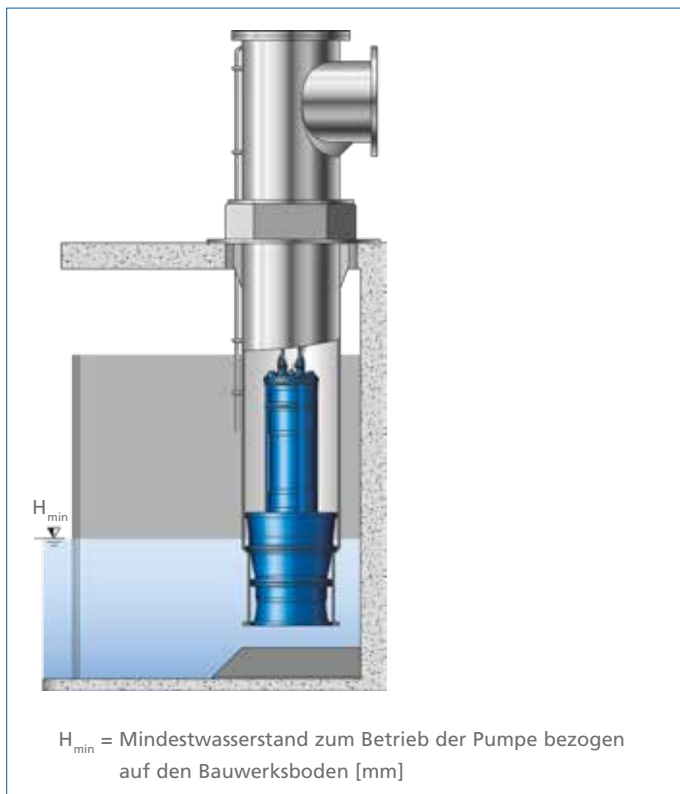


Abb. 79: Aufstellungsvariante DU

**Aufstellungsvariante DU (Abb. 79)**

Ist es aus anlagentechnischen Erfordernissen notwendig, den Anschlußflansch oberirdisch anzuschließen, so bietet sich diese Aufstellung an. Die Kräfte des Rohrschachtes stützen sich über eine Fußplatte am Bauwerk ab. Wichtig für die mechanische Dimensionierung der Abstützung sind die maximal auftretenden Kräfte beim Betrieb der Pumpe (Pumpengewicht, Rohrleitungskräfte, wirkende Momente usw.).

## Details der Rohrschachtausführung

Wesentlich für die Funktion der Pumpe bzw. der Pumpstation ist die technische Ausführung des Rohrschachtes. Da die Fixierung der Pumpe durch eine 45-Grad-Schräge des Rohrschachtes und der Belastung eines Gummiringes am Pumpengehäuse erfolgt (Eigengewicht plus Axialschub der Pumpe beim Fördern), kommt der Fertigung dieses Bereiches besondere Bedeutung zu. (Abb. 80 und 81) Durch schlechte Rundlauf- und Oberflächenqualität kann es zu punktuellen Auflageflächen an der Pumpe kommen; dadurch reicht dann auch die Abdichtung zur Saugseite hin nicht aus und es bildet sich ein Leckvolumenstrom. Die Pumpe erreicht somit nicht den Sollvolumenstrom für das angeschlossene System.

Werden die Rohrschächte als Schweißkonstruktion aus Blechen gefertigt, so sind die Schweißnähte im Bereich der 45-Grad-Auflagefläche zu glätten (Abb. 81). Zudem ist der gesamte Rohrschacht auf Rundheit zu prüfen. Da sich durch den Einfluß der Schweißung dünne Bleche sehr schnell verformen, sind die Wanddicken des Rohrschachtes durch eine statische und dynamische Berechnung zu dimensionieren. So werden Über- und Unterdimensionierung, sowie Eigenfrequenzprobleme vermieden. Darüber hinaus ist es auch möglich, den Auflagebereich als Drehteil herzustellen und dann mit dem Rohrschacht zu verschweißen (Abb. 80). Um den Rohrschacht bezüglich seiner Rundheit zu unterstützen, empfiehlt es sich, lange Rohrschächte in Segmenten mit entsprechenden Flanschverschraubungen herzustellen. Diese sind auf der Baustelle einfach zu montieren und die Flanschbereiche geben mechanische Stabilität in radialer Richtung.

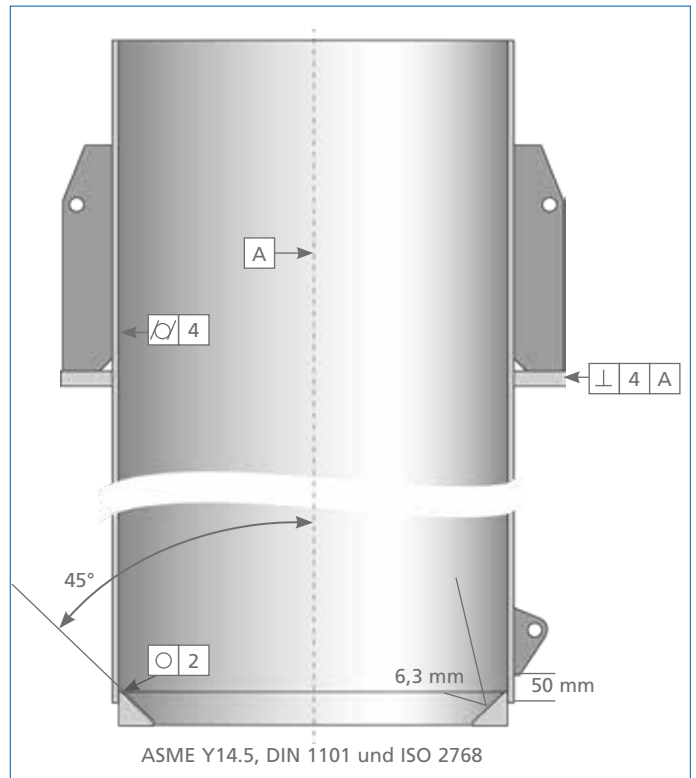


Abb. 80: Auflagebereich der Pumpe im Rohrschacht für Amacan K

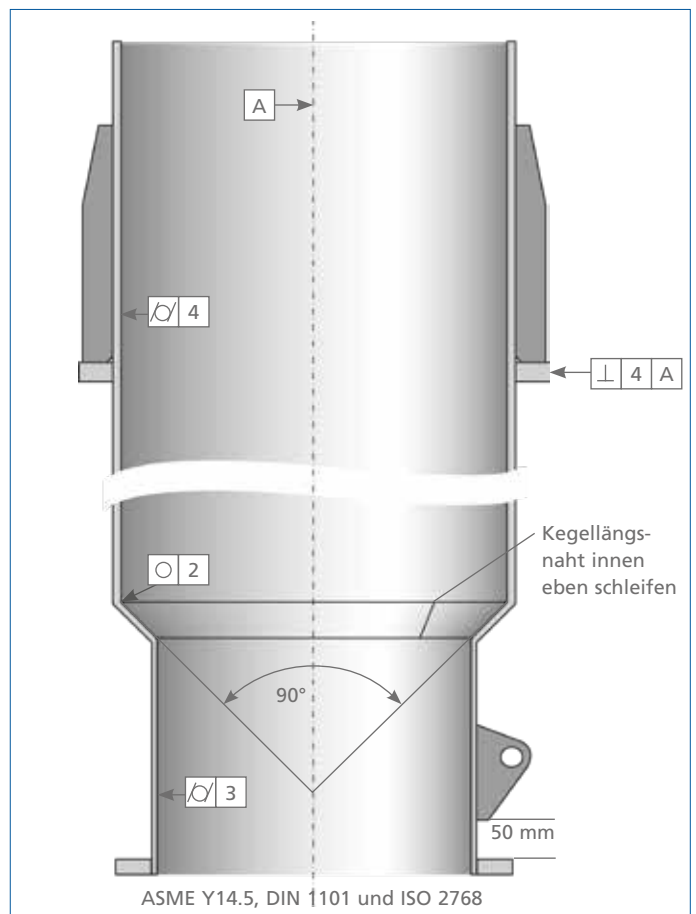


Abb. 81: Rohrschacht in Blechkonstruktion für Amacan P / S

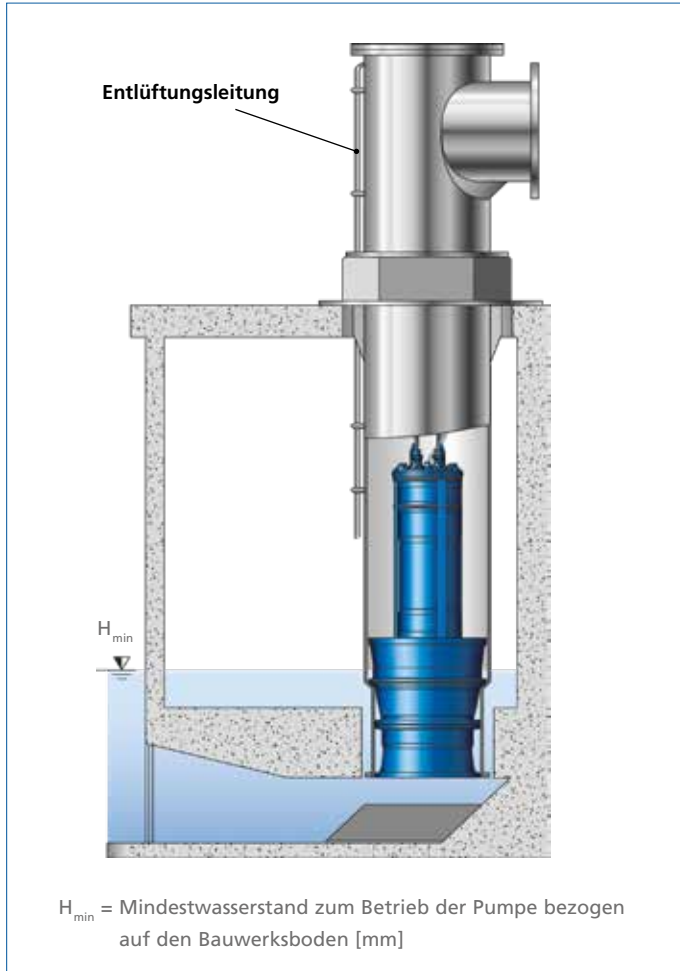


Abb. 82: Entlüftungsleitung am Rohrschacht

Ist der Rohrschacht mit einem Deckel verschlossen, ist eine gezielte Entlüftung wichtig. Ansonsten bildet sich im oberen Rohrschachtbereich ein komprimiertes Luftpolster aus, das dann – vergleichbar mit einer Feder – die Pumpe im stationären Laufverhalten stört. In extremen Fällen können Schwingungen des gesamten Rohrschachtes angeregt werden. Um dem abzuwehren, wird vom oberen Rohrschachtende eine Entlüftungsleitung zurück in den Sumpf gelegt oder der Deckel des Rohrschachtes mit einer Be- und Entlüftung ausgerüstet. Soll eine Entlüftungsleitung installiert werden, ist der zusätzliche Platzbedarf bei der Dimensionierung der erforderlichen Montageöffnungen zu berücksichtigen.

Bei Einbautiefen von mehr als 4 m sind zusätzliche Halterungen bzw. Abspannungen am Rohrschacht vorzusehen. Die Abmessungen solcher Halterungen lassen sich aus den statisch/dynamischen Berechnungen ableiten.

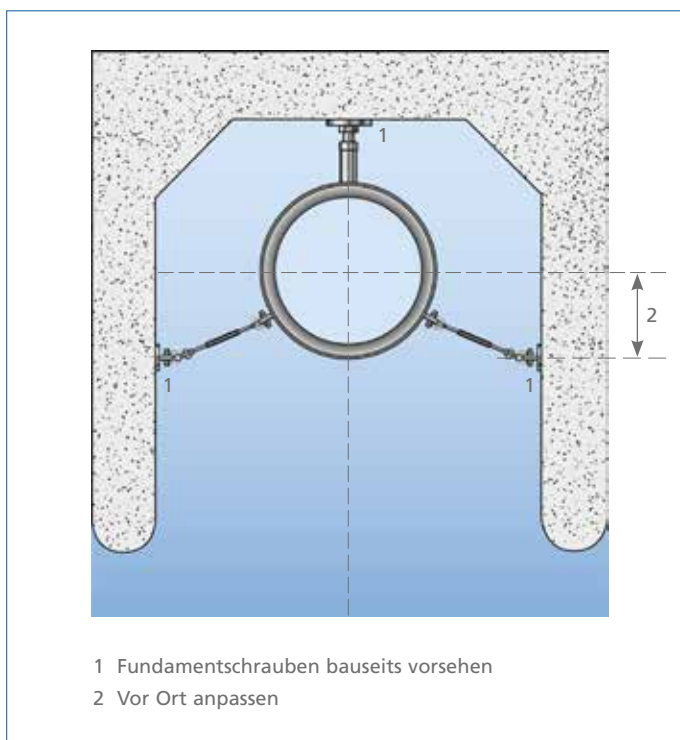


Abb. 83: Rohrschacht-Abspannung mit Spannschlössern

## Kabelanschlüsse

Die Pumpen der Baureihe Amacan sind durchweg mit der längswasserdichten Kabeleinführung ausgestattet. Dieses KSB-Patent schützt die Pumpe gegen das Eindringen von Fördermedium in den Motorraum bzw. Klemmenkasten, falls die Kabelisolation bei der Montage oder dem Betrieb beschädigt worden sein sollte. Die einzelnen Kabeladern werden abisoliert, die Enden dann mit Zinn verlötet. Dieser Bereich wird mit Abstandshaltern in der eigentlichen Kabeleinführung fixiert und mit Kunstharz vergossen. Zusätzlich dichtet eine Gummistopfbuchse gegen die äußere Kabelisolation ab. Dieses Abdichtungsprinzip gilt für die Kraft- sowie auch für die Steuerkabel (Abb. 84).

Wird die Pumpe montiert, müssen die Kabel im Schachtrohr hinsichtlich ihres Eigengewichtes mechanisch entlastet und gleichzeitig vor den Turbulenzen der Strömung geschützt werden. Hierfür hat KSB eine patentierte Kabelhalterung entwickelt (Abb. 87). Die Kabel (Kraft- und Steuerkabel) werden an einem Tragseil mit Gummiprofilen fixiert (Abb. 88). Anschließend wird das Tragseil mit einem Spannschloss und Schäkel am Rohrschachtdeckel befestigt bzw. bei offenen Rohrschächten an einer Traverse fixiert. Diese Lösung garantiert Langlebigkeit der Kabel und die Dichtheit der Kabeleinführung in das Motorgehäuse.

Der Kabeldurchtritt durch den Rohrschachtdeckel wird dann z. B. entweder mit Einschweißhülsen (Abb. 85) oder seitlich mit verschraubten Gummiformteilen realisiert. Die Wahl und Form der Deckelabdichtung ist wesentlich von der Rohrschachtform und dem Systemdruck abhängig. Handelt es sich um einen mit Deckel verschlossenen Rohrschacht, sind die Kabel vor der Deckelabdichtung mittels separater Halterung von den Kräften aus Eigengewicht und Rohrströmung zu entlasten (Abb. 85). Handelt es sich z. B. um oben offene Rohrschächte, so werden die Kabel vertikal aus dem Rohrschacht herausgeführt und dann mit Hilfe einer Traverse abgefangen.

Werden Amacan-Pumpen in größeren Einbautiefen montiert, sollten zusätzliche seitliche Stützkörper für das Kabeltragseil zum Einsatz kommen (Abb. 87). Aufgabe dieser Stützkörper ist es, die Wirkung der turbulenten Strömung auf das Tragseil zu reduzieren. Die Stützkörper stützen sich radial am Schachtrohr ab.

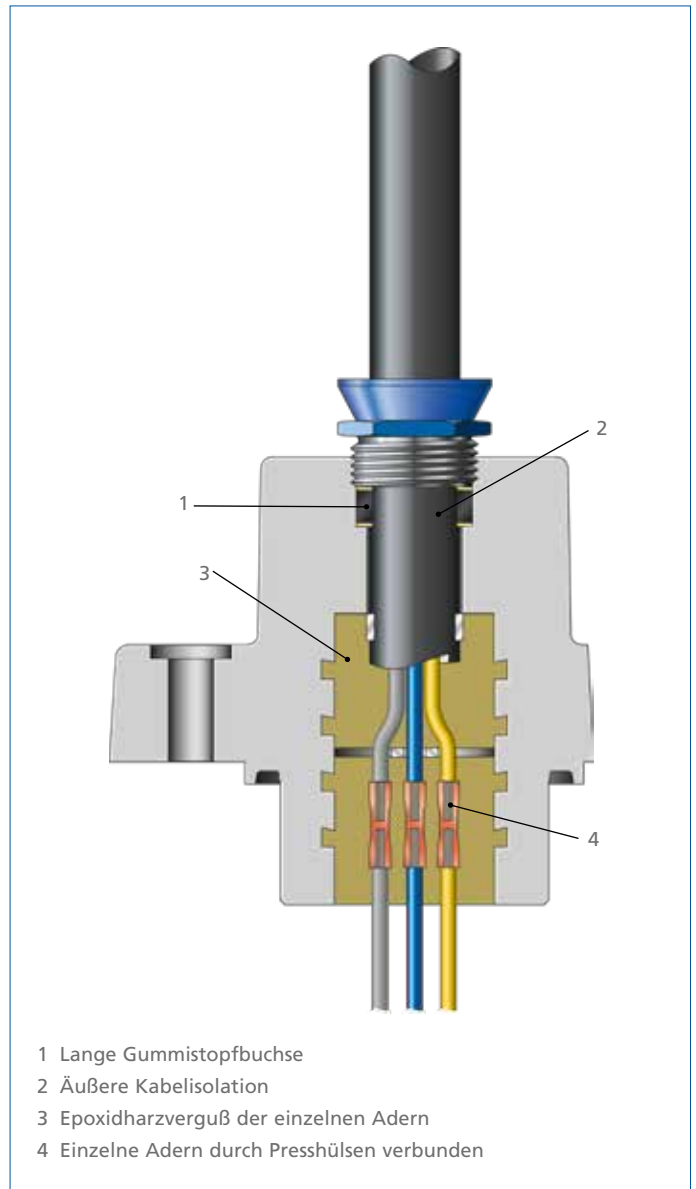


Abb. 84: Schnittbild einer längswasserdichten Kabeleinführung an der Pumpe

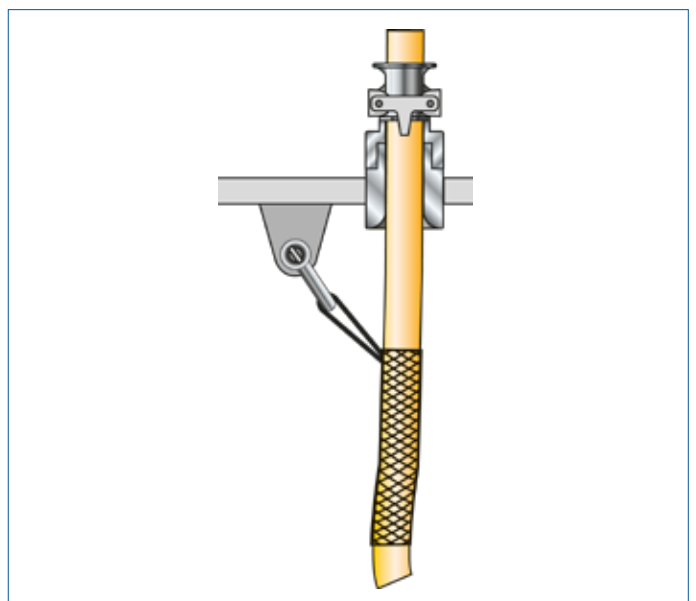


Abb. 85: Kabelaufhängung mittels Kabelstrumpf bzw. Kabeldurchführung im Rohrschacht



Abb. 86: Einlassen einer Amacan in das Schachtrohr

Beim Bestellen der Pumpe ist es erforderlich, die genaue Einbautiefe der Pumpe anzugeben, damit die exakte Länge der Kabel und Tragseile bzw. die erforderliche Anzahl der Stützkörper ermittelt werden kann. Kommt es zu maßlichen Differenzen zwischen Planung und Ausführung, kann dies zu zwei Extremfällen führen:

- Bei einem zu kurzen Tragseil sitzt die Pumpe nicht fest im Rohrschacht auf, und das Reaktionsmoment der Pumpe beschädigt beim Anfahren die Kabel.
- Ist der Kabelstrang zu lang bzw. nicht gespannt, führt die Strömung zum Anschlagen der Tragösen des Kabelstranges am Rohrschacht – Rohrschacht, Tragseil und Kabel werden geschädigt.

Die Hubhöhe des zum Einsatz kommenden Kranes ist ebenfalls wichtig, um die richtige Anzahl von Tragösen zum Anhängen am Kranhaken im Tragseilstrang mit zu berücksichtigen.

Werden die beschriebenen Komponenten nicht mit bestellt/ beauftragt, können anderweitige Lösungen die Funktion der Pumpe gravierend negativ beeinflussen. Beispielsweise werden häufig die Kraft- und Steuerleitungen mit einfachen Spannbändern am Tragseil geklemmt; dies führt dann beim Betrieb der Pumpe zur Zerstörung der Kabelisolation bzw. hat einen Aderbruch im Innern der Kabel zur Folge.

Ab Einbautiefen von 5 m gewinnt die Ausführung der Kabelhalterung und der Tragseile für den störungsfreien Pumpwerksbetrieb an Bedeutung.

### Einzelteilverzeichnis

Teile-Nr.	Benennung	Material
59-8	Spannschloss	Edelstahl
59-17.2	Schäkel	Edelstahl
59-47	Tragöse	Edelstahl
59-24	Seil, drehungsarme Ausführung	Edelstahl
720	Formstück	EPDM
59-17.1	Schäkel	ST TZN (Option Edelstahl)
59-7	Stützkörper	GFK

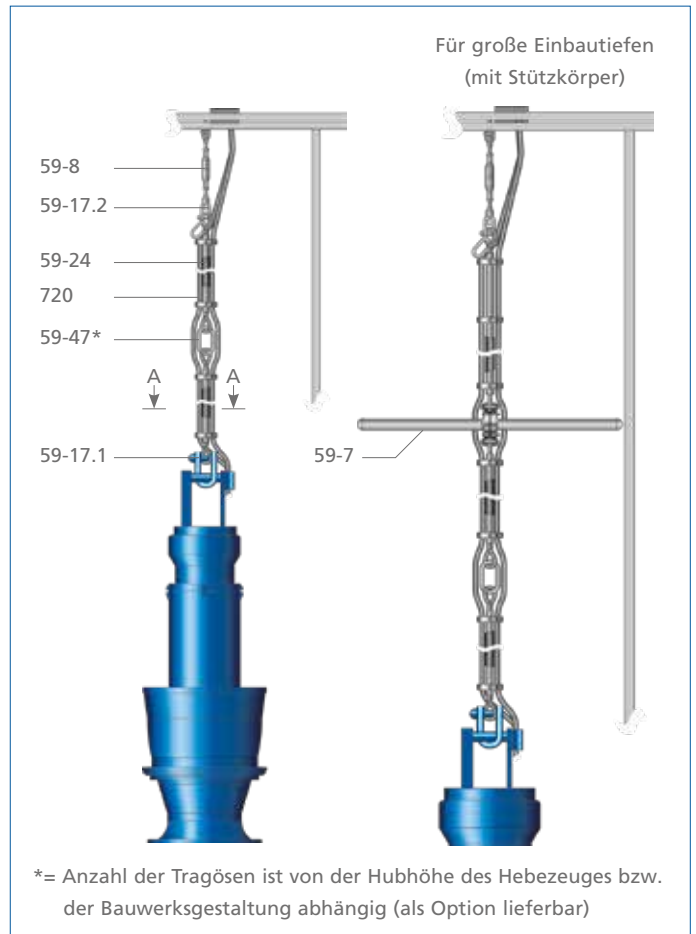


Abb. 87: Tragseil und Spannschloss im Rohrschacht

### Einzelteilverzeichnis

Teile-Nr.	Benennung
1	Schelle
2	Steuerleitung
3	Kraftleitung
4	Tragseil 59-24
5	Formstück
6	Schellenummantelung

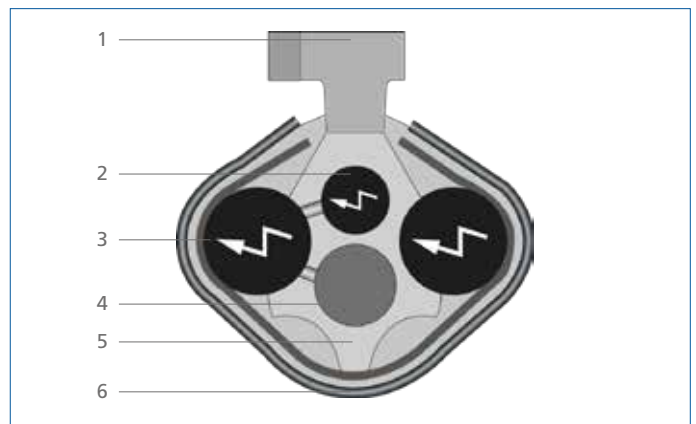


Abb. 88: Leitungsführung im Querschnitt



# Quellennachweis

- [1] Dr.-Ing. K. Holtzenberger, KSB AG, Auslegung von Kreiselpumpen, 4. Auflage 1999, ISBN 3-00-004734-4
- [2] KSB AG, Baureihenheft Amacan P, 1580.5/5
- [3] KSB AG, Baureihenheft Amacan S, 1589.5
- [4] KSB AG, Baureihenheft Amacan K, 1579.5/3
- [5] Hydraulic Institute, American National Standard for Pump Intake Design, ANSI / HI 9.8-1998
- [6] M. J. Prosser, The Hydraulic Design of Pump Sumps and Intakes, BHRA, July 1997
- [7] Henry T. Falvey, Air-Water Flow in Hydraulic Structures, Engineering and Research Center Denver, Colorado 80225, December 1980
- [8] Jost Knauss, Swirling Flow Problems at Intakes, IAHR+AIRH, ISBN 90 6191 643 7, Rotterdam 1987
- [9] Christian Frey, Peer Springer, Dr. Sven Baumgarten, Bernd Kothe, Optimization of Waste Water Pumping Station Architecture Using CFD Analysis, Validated by Model Testing, Pump Users International Forum 2004, Section 5: Pumps for Waste Water, Karlsruhe, Germany
- [10] W.H. Hager, Abwasserhydraulik: Theorie und Praxis, Springer Verlag, ISBN 3-540-55347-9, 1994
- [11] I.E. Idelchik, Handbook of Hydraulic Resistance, 3<sup>rd</sup> Edition, Research Institute for Gas Purification, Moscow 1994, ISBN 0-8493-9908-4
- [12] Schweizer Norm SN CR 13930: Rotodynamic Pumps – Design of Pump Intakes – Recommendations for the Installation of Pumps, VSM 2000
- [13] Charles E. Sweeney, Rex A. Elder, Duncan Hay, Pump Sump Design Experience: Summary, March 1982
- [14] US Army Corps of Engineers, Pumping Station Inflow – Discharge Hydraulics, Generalized Pump Sump Research Study, Technical Report HL-88-2
- [15] Robert Sanks, Pumping Station Design, 2<sup>nd</sup> Edition, Butterworth Heinemann, Boston · Oxford · Johannesburg · Melbourne · New Delhi · Singapore
- [16] P. Tillack, D.-H. Hellmann, A. RÜth, Description of surface vortices with regard to common design criteria of intake chambers, 2<sup>nd</sup> International Conference on Pumps and Fans, Beijing, China 1995

## Bildnachweis

S. 23 Abb. 29: Hydrotec Consultants Ltd., Leeds, UK

S. 41 Abb. 58 und Abb. 59: Technische Universität

Kaiserslautern, Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

## Autor

Dipl.-Ing. Bernd Kothe, geb. 1955, Studium an der TU „Otto von Guericke“ Magdeburg, danach Entwicklungs-Ingenieur für Kraftwerkspumpen in den Pumpenwerken Halle (Saale). Von 1993 bis 1998 im Engineering-Bereich der KSB AG zuständig für Druckstoßberechnungen und komplexe Berechnungen für den Abwasserbereich. Seit 2002 im Bereich der Vertriebsunterstützung in Halle (Saale) tätig.





## Technik, die Zeichen setzt

### Hotline

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

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

KSB-24-h-Service-Hotline

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

### Vertriebshaus Berlin

vertrieb-berlin@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Vertriebshaus Hannover

vertrieb-hannover@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Vertriebshaus Nürnberg

vertrieb-nuernberg@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Österreich

**KSB Österreich GmbH**

info@ksb.at

### Ersatzteile

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

### Service-Center Ost, Wien

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

### Service-Center West, Salzburg

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

### Vertriebshaus Halle

vertrieb-halle@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Vertriebshaus Mainz

vertrieb-mainz@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Vertriebshaus Region West

vertrieb-west@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Schweiz

**KSB (Schweiz) AG**

sales-ch@ksb.com

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

**KSB (Suisse) SA**

romandie-ch@ksb.com

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

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



### Vertriebshaus Hamburg

vertrieb-hamburg@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Vertriebshaus München

vertrieb-muenchen@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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

### Vertriebshaus Stuttgart

vertrieb-stuttgart@ksb.com

Industrie-, Energie-,  
Wasser-/Abwassertechnik

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

Technische  
Gebäudeausrüstung

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



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

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