



TECHNISCHES  
HANDBUCH  
FÜR SP-UNTER-  
WASSERPUMPEN

be  
think  
innovate

GRUNDFOS 



---

# TECHNISCHES HANDBUCH FÜR SP-UNTERWASSERPUMPEN

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	
<b>2</b>	<b>WASSERVERSORGUNG</b>	<b>8</b>
2.1	Wasserressourcen .....	9
2.2	Grundwasser .....	9
2.2.1	Grundwasserbrunnen .....	9
2.2.2	Uferfiltration .....	10
2.2.3	Grundwasserbedarf .....	10
2.2.4	Rohwasserbedarf sowie Brunnenleistung und Aufbereitungskapazität .....	11
2.2.5	Brunnenleistung und Wirtschaftlichkeit .....	12
2.3	Oberflächenwasser .....	14
2.3.1	Süßwasserquellen .....	14
2.3.2	Salzwasserquellen .....	15
<b>3</b>	<b>ANWENDUNGEN</b>	<b>16</b>
3.1	Frischwassergewinnung .....	17
3.2	Entwässerung .....	19
3.2.1	Bergbau .....	19
3.3	Horizontale Anwendungen .....	20
3.4	Luft-/Gashaltiges Wasser .....	20
3.5	Kavitation .....	21
3.5.1	Eintauchtiefe .....	22
3.6	Wasserschlag .....	24
3.7	Aggressives Wasser (Seewasser) .....	25
3.8	Warmwasser und geothermisches Wasser .....	26
3.9	Druckmodule .....	27
<b>4</b>	<b>PUMPEN</b>	<b>28</b>
4.1	Bauweise .....	29
4.2	Verschleißteile .....	30
4.3	Auswählen der Pumpe .....	30
4.4	Pumpenkennlinien und Toleranzen .....	31
4.5	Stromverbrauch .....	32
<b>5</b>	<b>MOTOREN &amp; STEUERUNGEN</b>	<b>36</b>
5.1	Allgemeine Beschreibung der Motorbauarten .....	37
5.2	Motorkabel, Unterwasserkabel und Kabelkupplungen .....	40
5.3	Motorschutzgeräte .....	40
5.4	Reduzierung des Anlaufstroms .....	41
5.4.1	Direktanlauf (DOL) .....	42
5.4.2	Stern-Dreieck-Anlauf (SD) .....	42
5.4.3	Anlasstransformator (AT) .....	43
5.4.4	Anlasswiderstand (AW) .....	44
5.4.5	Sanftanlauf (SA) .....	44
5.4.6	Frequenzumrichter (drehzahl geregelter Antrieb) .....	45
5.5	Frequenzumrichterbetrieb .....	46
5.6	CUE-Frequenzumrichter für SP-Pumpen .....	48
<b>6</b>	<b>STROMVERSORGUNG</b>	<b>50</b>
6.1	Stromerzeugung .....	51
6.2	Spannung .....	51
6.2.1	Spannungsasymmetrie .....	51
6.2.2	Über- und Unterspannung .....	51
6.3	Frequenz .....	52
6.4	Frequenzumrichter .....	53
6.5	Netzanschluss .....	54
6.6	Stromasymmetrie .....	54

<b>7</b>	<b>INSTALLATION &amp; BETRIEB</b>	<b>58</b>
7.1	Brunnen und Brunnenanforderungen	59
7.2	Pumpenanordnung	60
7.3	Pumpen- und Motorauswahl	60
7.3.1	Betriebspunkt	61
7.3.2	Brunnendurchmesser	61
7.3.3	Brunnenleistung	61
7.3.4	Pumpenwirkungsgrad	61
7.3.5	Wassertemperatur	64
7.3.6	Leistungsreduzierung bei Unterwassermotoren	65
7.3.7	Schutz vor dem Sieden	65
7.3.8	Kühlmantel	66
7.4	Auswählen der Steigleitung	67
7.5	Kabelauslegung und Kabelauswahl	68
7.6	Installation	69
7.6.1	Zusammenbau von Pumpe und Motor	69
7.6.2	Verbinden des Motor- und Unterwasserkabels	69
7.6.3	Rohranschlüsse für die Steigleitung	70
7.7	Pumpen im Parallelbetrieb	70
7.8	Pumpen in Reihenschaltung	70
7.9	Anzahl der Ein- und Ausschaltungen	71
7.10	Inbetriebnahme der Pumpe	71
7.11	Frequenzumrichterbetrieb	71
7.12	Generatorbetrieb	72
<b>8</b>	<b>KOMMUNIKATION</b>	<b>74</b>
8.1	Ziel der Kommunikation und Vernetzung	75
8.2	SCADA-Systeme	75
8.2.1	Hauptkomponenten eines SCADA-Systems	75
8.2.2	SCADA-Funktionen	76
8.2.3	Webbasierte SCADA-Systeme	76
8.3	Grundlagen der Vernetzung	77
8.3.1	Netzwerktopologie	77
8.3.2	Übertragungsprotokoll	78
8.3.3	Funktionsprofil	78
8.3.4	Feldbus	78
8.4	GENIbus	79
8.4.1	Hintergrundinformationen	79
8.4.2	Verkabelungsrichtlinien	79
8.5	Grundfos GENIbus Produkte für SP-Anwendungen	80
<b>9</b>	<b>FEHLERBEHEBUNG</b>	<b>82</b>
<b>10</b>	<b>ZUBEHÖR</b>	<b>84</b>
10.1	Kühlmäntel	85
10.2	Korrosionsschutz bei Seewasser	85
10.2.1	Kathodischer Korrosionsschutz	85
10.2.2	Galvanischer Korrosionsschutz	86
10.2.3	Elektrischer Korrosionsschutz	86
10.3	Unterwasserkabel	87
10.4	Kabelverbindung	87
10.5	Steigleitungen	88
10.6	Anschlussstücke	88
10.7	Motorschutz	88
10.8	Frequenzumrichter CUE	89
<b>11</b>	<b>ZUSATZINFORMATIONEN</b>	<b>90</b>
	Alphabetisches Verzeichnis	92



EINLEITUNG

GRUNDFOS®

## Unser gemeinsames Anliegen

Das vorliegende Technikhandbuch beschreibt schwerpunktmäßig eine der erfolgreichsten Grundfos Pumpenbaureihe: die SP-Pumpen. Als die Pumpen in den späten 60er-Jahren entwickelt worden, setzte dieses wegweisende, aus dünnen Edelstahlblechen hergestellte Produkt neue Maßstäbe hinsichtlich der Langlebigkeit, Zuverlässigkeit und Effizienz. Die heute in großer Anzahl verfügbaren Pumpentypen, Baugrößen und Konfigurationsmöglichkeiten sind der Beweis, wie innovativ schon die ursprünglichen SP-Pumpen waren.

Der Umgang mit SP-Pumpen im Alltag wirft gelegentlich Fragen auf, die wir in diesem Handbuch gern beantworten möchten. Unser Hauptanliegen ist, allen unseren Kunden die bestmögliche SP-Lösung inklusive der zugehörigen Dienstleistungen anbieten zu können.

Die dritte Ausgabe des SP-Handbuchs enthält eine Vielzahl an Änderungen und Ergänzungen. Dies betrifft z. B. das Kapitel 8 über die Kommunikation sowie unser Motorprogramm.

Bitte beachten Sie, dass das vorliegende Technikhandbuch die vorhandenen Datenhefte und Betriebsanleitungen nicht ersetzt, sondern nur eine Ergänzung darstellt. Die neuesten Ausgaben der Dokumentationsunterlagen enthalten immer die aktuellen Produktinformationen und sind deshalb zu beachten.

Das Technikhandbuch wurde mit größter Sorgfalt erstellt, um die Nutzung so einfach wie möglich zu gestalten. Dennoch ist uns bewusst, dass es immer Verbesserungsmöglichkeiten gibt. Wenn Sie Anregungen haben, sind Sie eingeladen, uns diese mitzuteilen. Bitte wenden Sie sich an Ihren Grundfos Ansprechpartner, wenn Sie Themen vermissen, die in einer zukünftigen Ausgabe nicht fehlen sollten.

Wir hoffen, dass das vorliegende Technikhandbuch Sie bei Ihrem täglichen Umgang mit SP-Pumpen unterstützt und Ihnen als nützliches Nachschlagewerk dient.



Kenth H. Nielsen  
Globales Produktlinien-Management  
Grundfos Holding A/S



WASSERVERSORGUNG



## 2.1 WASSERRESSOURCEN

Die auf der Welt vorhandene Wassermenge ist nahezu gleichbleibend. Es ändert sich jedoch die globale Verteilung, die Qualität und der Aggregatzustand. 97,5 % des gesamten Wasservorkommens besteht aus Salzwasser. Die restlichen 2,5 % entfallen auf Süßwasser. 2/3 des Süßwassers ist in Form von Gletschern, Polareis und Schnee gebunden. Nur weniger als 1% der gesamten Wassermenge ist für den Menschen nutzbar und kann aus unterschiedlichen Quellen gewonnen werden.

Zu den Süßwasserquellen gehören:

- Grundwasserleiter oder unterirdische Wasserläufe
- Oberflächenwasser aus Flüssen oder Seen.

Falls kein Süßwasser verfügbar ist, kann auch entsprechend aufbereitetes Salzwasser oder Schmutzwasser verwendet werden.

## 2.2 GRUNDWASSER

Grundwasser ist in der Regel zwischen 25 und 10.000 Jahre alt. Bevor es in den Grundwasserleiter gelangt wird es auf seinem Weg durch die verschiedenen Erdschichten gefiltert und biologisch aufbereitet. Grundwasser besitzt deshalb eine hohe Qualität und muss vor der Nutzung als Trinkwasser nicht oder nur wenig aufbereitet werden.

### 2.2.1 Grundwasserbrunnen

Bewässerungs- und Wasserversorgungssysteme für bis zu 500.000 angeschlossene Verbraucher und die ansässigen Industriebetriebe nutzen bevorzugt Grundwasser als Rohwasserquelle. In der Regel erstrecken sich die Grundwasserleiter mit ihrem weitestgehend sauberem Wasser auf mehr als 600 km<sup>2</sup>. Sie sind die umweltfreundlichste, sicherste und zuverlässigste Wasserquelle. Zur Wassergewinnung werden im Allgemeinen ca. 75 bis 150 Brunnen gebohrt, die auf mehrere Grundwasserleiter verteilt werden. Versorgt ein Wasserwerk mehr als eine Million Verbraucher, ist es eventuell ratsam, eine weitere Wasserquelle zu nutzen, wie z. B. Uferfiltration, Talsperren oder Meerwasserentsalzung.

Für die Trinkwassergewinnung sollten tiefer gelegene Grundwasserleiter mithilfe der Brunnen erschlossen werden, weil das Grundwasser in größeren Tiefen häufig frei von Verunreinigungen ist. Bei Brunnen, die ausschließlich für die Bewässerung bestimmt sind, kann das benötigte Wasser auch aus höher gelegenen Grundwasserleitern gefördert werden, weil die Ansprüche an die Wasserqualität für diese Anwendung geringer sind.

Der Grundwasserspiegel schwankt über das Jahr. Die maximale Entnahmemenge darf jedoch die jährlich neu hinzukommende Menge nicht übersteigen. Wird der Grundwasserspiegel dauerhaft abgesenkt, steigt der Salzgehalt, sodass eine sichere Wasserversorgung nicht mehr gewährleistet ist. Zudem können dann auch andere unerwünschte Substanzen im Wasser enthalten sein.

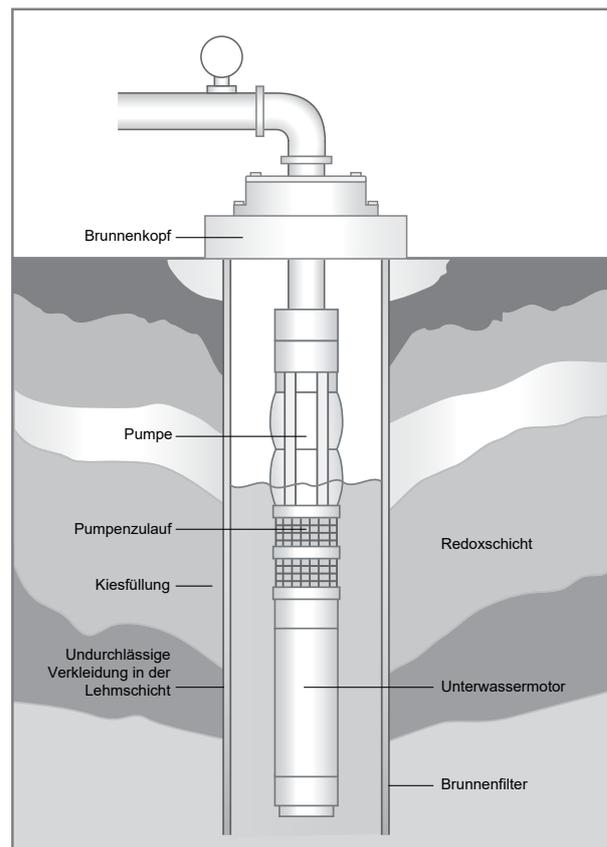


Abb. 1 Grundwasserbrunnen mit Unterwasserpumpe

## 2.2.2 Uferfiltration

Bei der Uferfiltration befindet sich der Brunnen nah an einem Fluss. Bei diesem Verfahren wird das Flusswasser durch den Erdboden auf natürliche Weise gefiltert. Das Verfahren wird häufig als Ergänzung zur direkten Entnahme genutzt, wenn die Kapazität erhöht werden muss. Das nur gering verunreinigte, vorgefilterte Wasser erfordert nur wenig Aufbereitung. Bei niedrigem Flusspegel kann der Brunnen das Wasser auch aus dem Grundwasserleiter ziehen.

Nach jeder Niederschlagsperiode und den damit verbundenen hohen Wasserständen wird der Schlamm und andere Ablagerungen am Ufer flussabwärts mitgeschwemmt und neue Ablagerungen werden angeschwemmt. Durch diesen natürlichen Vorgang werden die vom Menschen dem Wasser zugeführten Enzyme, Viren, Bakterien und Keime um 90 % reduziert. Zudem werden bei hohen Pegelständen die Grundwasserleiter in der Nähe des Flusses gefüllt. In Trockenzeiten, wenn die Pegelstände sinken, kann der Uferfiltratbrunnen dann das Wasser aus dem Grundwasserleiter ziehen. Dadurch wird dem Fluss in Trockenzeiten weniger Wasser entzogen und die Wasserversorgung trotzdem sichergestellt.

Die Uferfiltratbrunnen können wie die Grundwasserbrunnen aufgebaut sein oder aus 7 bis 8 m tiefen, senkrecht verlaufenden Einschaltungen bestehen und sich von dort aus weiter vertikal unter dem Ufer erstrecken. Sie können zudem um 8 bis 12 m langen, horizontal eingebrachten Stahlrechen oder Filtern ergänzt werden, um eine sedimentfreie Wasserentnahme zu ermöglichen.

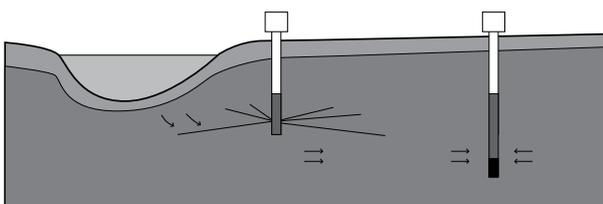


Abb. 2 Brunneninstallationen am Flussufer

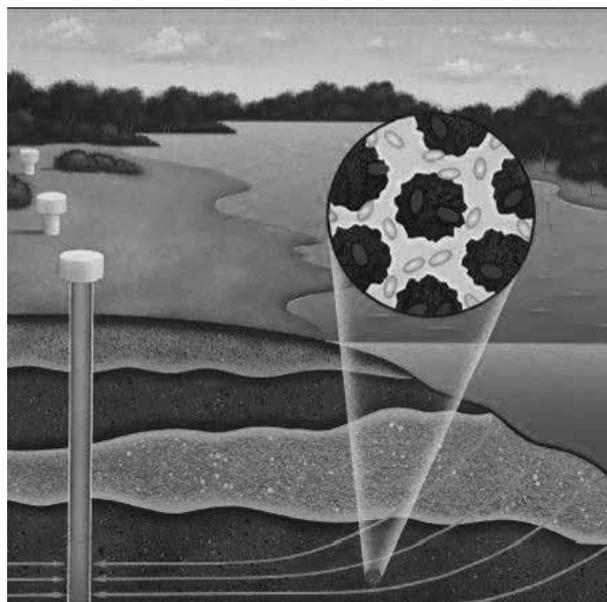


Abb. 3 Zurückhalten von Bakterien, Krankheitserregern, usw. in den Sedimentschichten bei der Uferfiltration

## 2.2.3 Grundwasserbedarf

Bei der Ermittlung des Grundwasserbedarfs, der vom Wassereinzugsgebiet gedeckt werden muss, wird die Größe der Wasserspeicher und die Wasseraufbereitungsleistung dem Spitzenverbrauch und dem Tagesverbrauch gegenübergestellt.

Erste Anhaltswerte für den Spitzenverbrauch pro Stunde können Sie der Abb. 4 und 5 oder dem Datenheft für die Druckerhöhungsanlagen Hydro MPC, das online im Grundfos Product Center hinterlegt ist, entnehmen.

### Förderleistung

Wasser wird von vielen verschiedenen Verbrauchern genutzt, denen allen ein eigenes Verbrauchsverhalten zugeordnet werden kann. Für die Berechnung des maximalen Wasserbedarfs gibt es eine Vielzahl an Verfahren, die entweder von Hand oder computergestützt durchgeführt werden.



Die nachfolgenden Tabellen ermöglichen eine übersichtliche Berechnung des Wasserbedarfs für:

- Bürogebäude
- Wohngebäude (auch mit Eigentumswohnungen)
- Kaufhäuser
- Krankenhäuser
- Hotels.

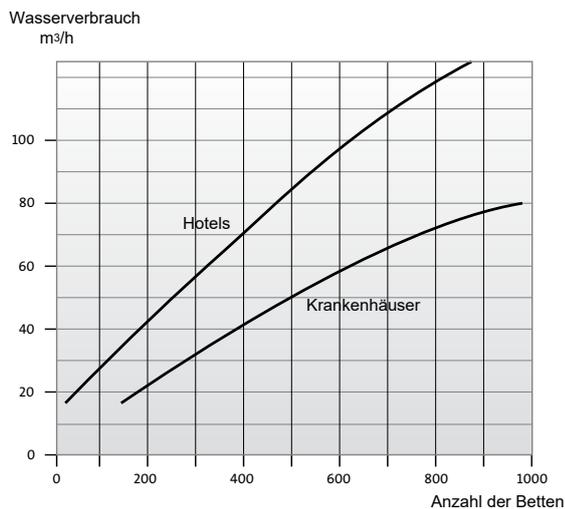


Abb. 4 Spitzenwasserverbrauch

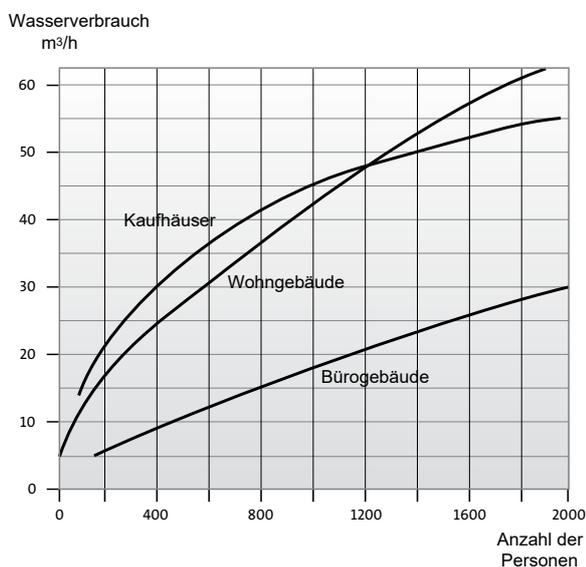


Abb. 5 Spitzenwasserverbrauch

Rechenbeispiel:

Gebäudetyp	Einheit	Verbrauch m³/h
Wohngebäude	2.000 Wohneinheiten	70
Bürogebäude	2.000 Mitarbeiter	30
Kaufhäuser	2.000 Mitarbeiter	55
Hotels	1.000 Betten	110
Krankenhäuser	1.000 Betten	80
Spitzenlast (warme Jahreszeit)		345

Faktoren für die Berechnung des Tagesverbrauchs:

- Mindestens 100 Verbraucher angeschlossen: Faktor 8
- Mindestens 30 Verbraucher angeschlossen: Faktor 4
- Mindestens 10 Verbraucher angeschlossen: Faktor 2,5

Der maximale Tagesverbrauch im obigen Beispiel beträgt somit  $8 \times 345 \text{ m}^3/\text{h} = 2.760 \text{ m}^3/\text{Tag}$ .

Ist der Spitzenwasserverbrauch pro Stunde bekannt, kann mithilfe der Faktoren 8, 4 oder 2,5 der maximale Tagesverbrauch abgeschätzt werden.

## 2.2.4 Rohwasserbedarf sowie Brunnenleistung und Aufbereitungskapazität

Die gespeicherte Wassermenge wird mit dem Tagesverbrauch in Beziehung gesetzt. Dabei wird die Speicherkapazität in Prozent vom Tagesverbrauch ausgedrückt. Mit diesem Prozentwert kann mithilfe der Abb. 6 durch Ziehen einer Horizontalen der Rohwasserbedarf in Prozent ermittelt werden. Der Tagesverbrauch multipliziert mit dem Rohwasserbedarf in Prozent ergibt dann die erforderliche Brunnenleistung des Wassereinzugsgebietes.

Bei Aufbereitungsanlagen ohne Frischwasserspeicher bzw. Wasserturm muss die Rohwasser- und Aufbereitungskapazität dem Stundenspitzenverbrauch entsprechen, d. h. im obigen Beispiel  $Q_{\text{Rohwasser}} = 345 \text{ m}^3/\text{h}$  (Maximale Spitzenlast im Sommer).

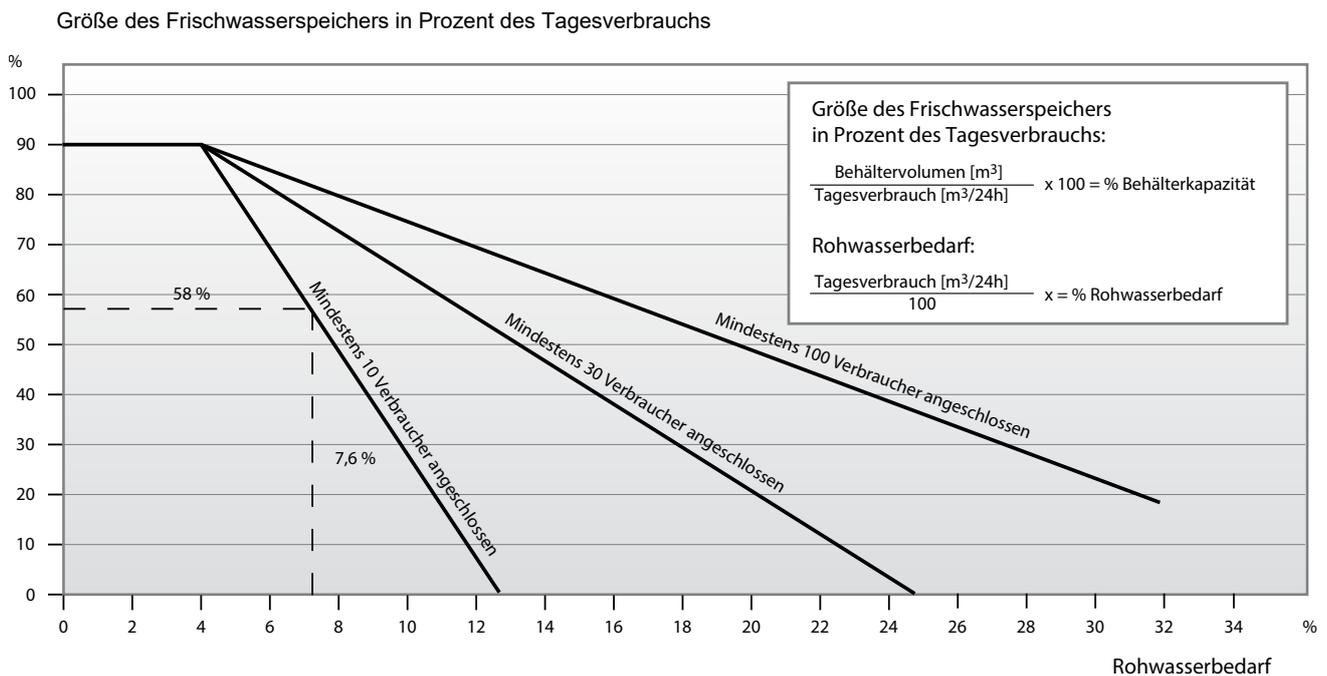


Abb. 6 Rohwasserbedarf und Aufbereitungskapazität [m<sup>3</sup>/h] in Prozent des Tagesverbrauchs [m<sup>3</sup>/Tag]

Verfügt die Aufbereitungsanlage hingegen über einen Frischwasserspeicher oder Wasserturm mit einem Speichervolumen von z. B. 2.760 m<sup>3</sup> können Spitzenbedarfsituationen mithilfe des Speichers abgedeckt werden. Das heißt, die Rohwasserpumpen können kontinuierlich rund um die Uhr mit einer Förderleistung von 2.760/24 m<sup>3</sup>/h = 115 m<sup>3</sup>/h betrieben werden.

Das effektive Nutzvolumen des Frischwasserspeichers und/oder Wasserturms sowie die maximale Kapazität der Aufbereitungsanlage sind mit Blick auf die Investitionskosten für Grundwasserbrunnen von entscheidender Bedeutung.

Der Frischwasserspeicher im Beispiel oben (Abb. 6) fasst 1.600 m<sup>3</sup>. Das bedeutet, dass über den Wasserspeicher 1.600/2.760 x 100 = 58 % des Tagesverbrauchs bereitgestellt wird.

Bei einem maximalen Spitzenverbrauch von 345 m<sup>3</sup>/h, einem maximalen Verbrauch von 2.760 m<sup>3</sup>/Tag sowie einem effektiven Volumen des Frischwasserspeichers von 1.600 m<sup>3</sup> muss die Brunnenleistung mindestens 2.760 x 7,6/100 = 210 m<sup>3</sup>/h betragen. Der Wert 7,6 wurde der

Abb. 6 entnommen. Daraus ergibt sich eine maximale Betriebszeit der Rohwasserpumpen von 2.760/210 = 13 Stunden/Tag.

Die 210 m<sup>3</sup>/h sollten auf mehrere Brunnen verteilt werden. Um die Betriebssicherheit zu gewährleisten, ist die Vorhaltung einer Reservepumpe sinnvoll.

## 2.2.5 Brunnenleistung und Wirtschaftlichkeit

Jeder Brunnen besitzt eine spezifische Brunnenleistung, die in m<sup>3</sup>/h pro abgesenktem Meter Wasserspiegel angegeben wird. Mithilfe des Rohwasserbedarfs kann für jeden Brunnen die optimale Brunnenbelastung ermittelt werden, bei der die mittlere Absenkung des Wasserspiegels ab geringsten ist. Je niedriger die Absenkung ist, desto geringer ist auch die erforderliche Förderhöhe. Und je niedriger der Spannungsabfall in den Versorgungskabeln ist, desto höher ist die Wirtschaftlichkeit.



- Eine zu hohe Brunnenbelastung führt zu einer starken Absenkung des Betriebswasserspiegels. Dadurch kann es zu Oxidationsprozessen kommen, bei denen Ocker gebildet wird, durch den der Brunnenfilter und die Pumpe verstopfen kann. Die Auswirkungen sind erhöhte Wartungskosten für die Wiederherstellung der Förderleistung und möglicherweise eine reduzierte Lebensdauer des Brunnens.
- Eine zu hohe Brunnenbelastung führt zum Absinken des Grundwasserspiegels. Dadurch kann sich die chemische Zusammensetzung des Wassers ändern. Zudem ist ein Einsickern von Nitraten und Pestiziden in das Wasser möglich. Desweiteren können sich Schwermetalle ablagern, so dass die Kosten für die Wasseraufbereitung steigen.

Die häufigste Ursache für eine zu hohe Belastung des Brunnens oder des Grundwasserleiters ist ein erhöhter Wasserverbrauch, der durch eine Erhöhung der Förderleistung oder eine längere Betriebszeit der Grundwasserpumpen ausgeglichen wird, ohne dass das Wassereinzugsgebiet bzw. die Anzahl der Brunnen erweitert wird.

#### Belastung des Grundwasserleiters

Bei mehrstündiger Förderung mit konstanter Leistung sollte der Betriebswasserspiegel im Brunnen nahezu konstant bleiben. Sinkt der Wasserspiegel hingegen stark ab, übersteigt die geförderte Menge den Zufluss aus dem Grundwasserleiter. Sinkt der Grundwasserspiegel von Jahr zu Jahr, sollte die geförderte Wassermenge reduziert und Wasser von anderen Grundwasserleitern entnommen werden.

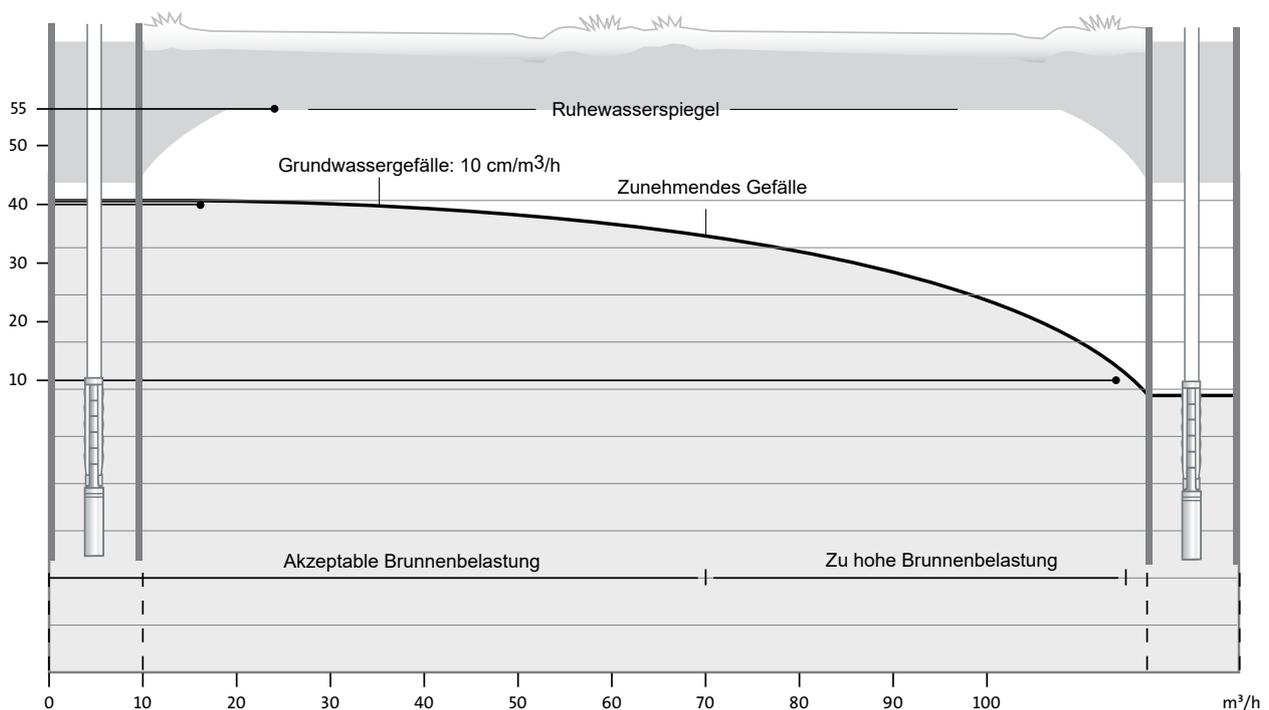


Abb. 7 Schwankungen des Betriebswasserspiegels während der Probeförderung

**Brunnenbelastung**

Während der Probeförderung wird die Menge des geförderten Wassers in festen Zeitabständen erhöht. Dadurch kommt es zu einem Absinken des Betriebswasserspiegels. Wird die Absenkung in Abhängigkeit der zunehmenden Fördermenge als mathematische Funktion graphisch aufgetragen, ist das Ergebnis in etwa eine Parabel zweiten Grades.

**Lineare Absenkung bei moderater Fördermenge**

Bei einer moderaten Förderleistung führt jede Erhöhung der Fördermenge um  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  zu einer nahezu linear zunehmenden Absenkung um  $10 \text{ cm}/\text{m}^3$ .

Bei einer Erhöhung der Fördermenge von 10 auf  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  beträgt die Absenkung des Betriebswasserspiegels somit 1 m und bei einer Erhöhung der Fördermenge von 10 auf  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  wird der Wasserspiegel um 2 m abgesenkt.

Bei einer moderaten Förderleistung verläuft die Absenkung nahezu linear, weil die zunehmende Absenkung auf den Strömungswiderstand im Brunnenfilter zurückzuführen ist.

**Parabelförmige Absenkung bei hoher Förderleistung**

Wird bei einer großen Fördermenge die Förderleistung weiter erhöht, zeigt die Absenkungskurve wegen der zunehmenden Reibungsverluste im Brunnenfilter und Grundwasserleiter einen parabelförmigen Verlauf zweiten Grades. Dadurch sinkt der Betriebswasserspiegel schneller mit zunehmender Fördermenge.

Eine Erhöhung der Förderleistung von 80 auf  $90 \text{ m}^3/\text{h}$  führt zu einer Absenkung um ca. 5 m. Bei einer Erhöhung der Förderleistung von 80 auf  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  beträgt die Absenkung ca. 11 m. Damit nimmt die Absenkung stärker zu als bei moderaten Fördermengen. Die wirtschaftlichste Brunnenbelastung ergibt sich im Übergang vom linearen auf den parabelförmigen Abschnitt der Absenkungskurve.

Reicht die Brunnenleistung auch bei einer Verlängerung der Betriebsdauer nicht zur Deckung des Wasserbedarfs aus, sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- einen Brunnenfachbetrieb zu Rate ziehen.
- einen zusätzlichen Brunnen bohren.

Es ist zu beachten, dass die gesetzlichen Vorschriften von Land zu Land variieren können.

**2.3 OBERFLÄCHENWASSER****2.3.1 Süßwasserquellen**

Oberflächenwasser wird in der Regel aus Seen oder Flüssen entnommen. Anders als bei Grundwasser wird das Oberflächenwasser nicht von der Natur oder durch menschliches Handeln gereinigt. Deshalb ist eine Wasseraufbereitung immer erforderlich. Der Wasserstand und die Wasserqualität schwanken jahreszeitlich bedingt. So werden z. B. nach heftigen Regenfällen oder nach der Schneeschmelze Sand und zahlreiche Feststoffe mitgeschwemmt.

Diese scharfen und abrasiven Bestandteile sowie die biologisch abbaubaren Substanzen müssen vor dem Eintritt in die Pumpe z. B. durch Absetzbehälter oder Brunnenfilter zurückgehalten werden, um negative Auswirkungen auf die abschließende Wasseraufbereitung zu vermeiden. Für diese Art der Anwendung sind wegen der zeitlich nicht vorhersehbaren hohen Wasserstände Unterwasserpumpen am besten geeignet. Dabei müssen die elektrische Ausrüstung und das Versorgungskabel an höher gelegenen Orten installiert werden, um eine Überflutung zu vermeiden.

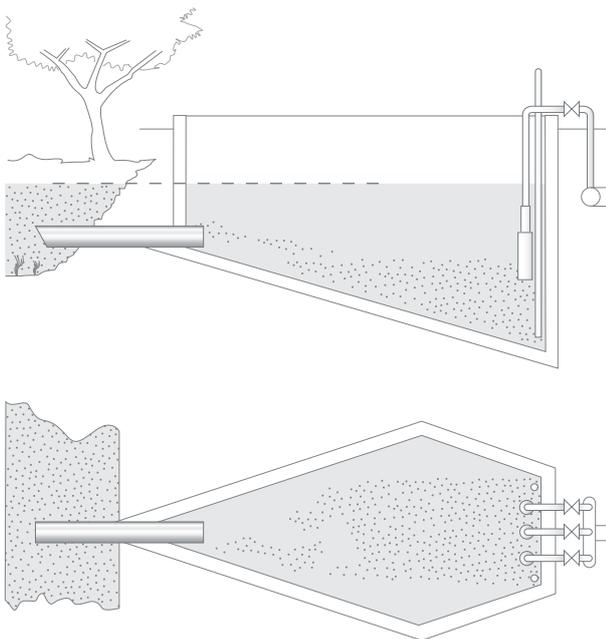


Abb. 8 Funktionsprinzip von Absetzbehältern

Bei Festinstallationen wird die Nutzung der indirekten Uferfiltration durch Sand- oder Kiesschichten empfohlen. Durch die natürliche Filterung wird die Wasserqualität bei Uferfiltratbrunnen erheblich verbessert. Dadurch können bis zu 20 % an Energie, an Chemikalien und an Prüfaufwand bei der anschließenden Wasseraufbereitung eingespart werden.

Bei einer direkten Wassergewinnung und herkömmlichen Wasseraufbereitungsverfahren bleibt eine mikroskopisch kleine, sich biodynamisch im Gleichgewicht befindliche Fauna zurück, die in die Verteilerleitungen und Speicherbehälter gelangt. Dabei kann es sich um einzellige Organismen bis hin zu millimetergroßen Freßorganismen handeln. Um diese Fauna zu bekämpfen, wird dem Wasser Chlor in hohen Dosen zugesetzt. Bei einer direkten Wassergewinnung in gemäßigten Klimazonen ist während der kalten Jahreszeit eine Überdosierung von Chemikalien erforderlich, weil die chemische Reaktion wegen der niedrigen Temperaturen nahezu zum Erliegen kommt.

### 2.3.2 Salzwasserquellen

Bei der küstennahen Meerwassergewinnung sollte das Wasser an einer Stelle entnommen werden, wo der Salzgehalt am geringsten ist. An steinigen Ufern z. B. spritzt das Wasser hoch und verdampft zum Teil, so dass das restliche Wasser einen höheren Salzgehalt aufweist, der bis zu zweimal höher als an anderen Stellen sein kann. Deshalb sollte die Meerwasserentnahme bis zu hundert Meter entfernt von solchen Stellen erfolgen. Diese Art der Wassergewinnung ist erst für Mengen ab 1.000 m<sup>3</sup>/h sinnvoll.

Für Entnahmemengen unter 1.000 m<sup>3</sup>/h wird die Installation von korrosionsschutzten Filtratbrunnen an der Küste empfohlen. Im Vergleich zur direkten Meerwasserentnahme können bei der Meerwasserentsalzung Kosteneinsparungen von bis zu 20 % durch einen geringeren Wartungs- bzw. Reparaturaufwand, Stromverbrauch und Chemikalieneinsatz erzielt werden.

Die an der Küste installierten Filtratbrunnen sind genauso wie die Uferfiltratbrunnen an Flüssen und Seen aufgebaut. Die für die Brunnenkomponenten verwendeten Werkstoffe müssen jedoch wegen des hohen Salzgehalts eine höhere Korrosionsschutzklasse besitzen.



# 3 ANWENDUNGEN



### 3.1 FRISCHWASSERGEWINNUNG

Die Frischwassergewinnung für Trinkwasser, Bewässerung und zahlreiche Industrieanwendungen ist das häufigste Einsatzgebiet für Unterwasserpumpen. Dazu können Pumpen unterschiedlicher Bauform sowie aus verschiedenen Werkstoffen eingesetzt werden.

Grundfos SP-Pumpen aus Edelstahl 1.4301/AISI 304 sind für diese Anwendung die beste Wahl. Ist der Brunnen korrekt ausgeführt und liefert sauberes, sandfreies Wasser ist ein störungsfreier Betrieb der Pumpe über viele Jahre möglich.

Bei einigen Viehtränken- und Bewässerungsanwendungen ist die Wasserqualität jedoch so schlecht, dass die Lebensdauer von Pumpen aus standardmäßigen Edelstahl nicht sehr hoch ist. In diesen Fällen wird der Einsatz von Unterwasserpumpen aus Edelstahl 1.4401 (AISI 316) oder 1.4539 (AISI 904L) empfohlen.

Die nachfolgenden, zusammenhängenden Diagramme zeigen den empfohlenen Zeitrahmen für die Durchführung von Wartungsarbeiten. Dazu gehören:

- die empfohlenen Wartungsfristen für den Austausch von Verschleißteilen
- die zu erwartenden Instandsetzungskosten
- der Wirkungsgradverlust zwischen den Wartungsterminen.

In den Diagrammen wird jedoch nicht der durch Ablagerungen oder Verkalkung hervorgerufene Wirkungsgradverlust berücksichtigt.

#### Wartungsintervalle für Unterwasserpumpen

Wie alle anderen Pumpen unterliegen auch Unterwasserpumpen einem natürlichen Verschleiß. Weil die Pumpen tief unten im Brunnen installiert sind, ist der Verschleiß jedoch nur schwer zu erkennen. Das Diagramm auf der nächste Seite beantwortet deshalb folgende Fragen:

- Wann sollte die Unterwasserpumpe gewartet werden?
- Wie hoch ist der Wirkungsgradverlust seit dem letzten Wartungstermin?
- Wie hoch sind ungefähr die Instandsetzungskosten?

Vorher sind jedoch einige Faktoren zu bestimmen. Dazu gehören:

- die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers entlang der zu überprüfenden Komponenten
- die Bedingungen im Hinblick auf den Pumpenwerkstoff und die unmittelbare Umgebung
- das Vorhandensein von Feststoffen oder aggressivem Kohlendioxid.

Das nachfolgende Diagramm ist ein nützliches Werkzeug zur Feststellung der Wartungsintervalle für Unterwasserpumpen. Dazu sind die nachfolgenden Schritte durchzuführen, wie anhand eines Beispiels gezeigt:

1. Punkt 1 entsprechend des vorhandenen Pumpenwerkstoffs und den Medienbedingungen (siehe Legende unten) auf der Kurve A einzeichnen.
2. Eine parallele Linie nach rechts ziehen. Der Materialverlust für das Laufrad beträgt ca. 0,18 mm pro 1.000 Betriebsstunden (Punkt 2).
3. Der parallelen Linie bis zu der Linie folgen, die den Gehalt von aggressivem CO<sub>2</sub> und den Werkstoff des Bauteils angibt. Die Bedingungen im Beispiel notieren (Punkt 3).

4. Eine Senkrechte direkt nach unten ziehen. Durch den Gehalt an aggressivem CO<sub>2</sub> wurde der Materialverlust um 0,25 mm erhöht. Den Salzgehalt des Wassers notieren (Punkt 4). Eine horizontale Linie durch diesen Punkt ziehen. Der horizontalen Linie nach links folgen und die Ergebnisse gemäß Schritt 5 bis 7 ablesen.
5. Empfohlene Wartungsintervalle für die Pumpe: Alle 6.000 Betriebsstunden (Punkt 5).
6. Wirkungsgradverlust: ca. 18 % (Punkt 6).
7. Geschätzte Kosten für die Instandsetzung der Unterwasserpumpe: 75 % des Neupreises einer Pumpe (Punkt 7).

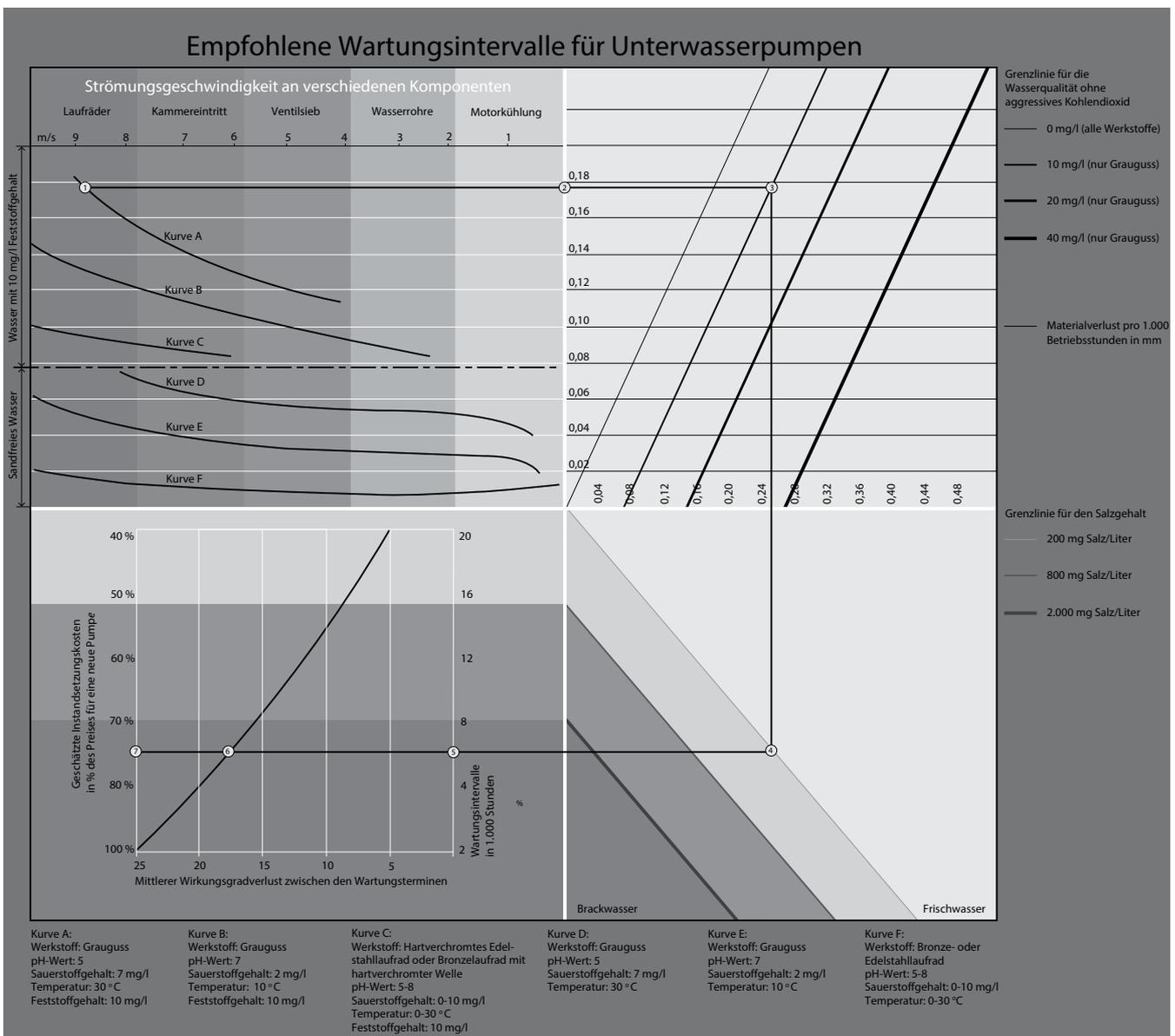


Abb. 9 Empfohlene Wartungsintervalle für Unterwasserpumpen



## 3.2 ENTWÄSSERUNG

Die Entwässerung im Bergbau und auf Baustellen erfolgt häufig mithilfe von Unterwasserpumpen. Die Wasserqualität entscheidet darüber, ob eine aus Edelstahl 1.4301 (AISI 304) gefertigte Standardpumpe verwendet werden kann oder ob eine Unterwasserpumpe verwendet werden sollte, die aus einem höherwertigeren Edelstahl besteht.

Bei der Grundwasserabsenkung wird Sauerstoff in den Grundwasserleiter eingebracht. Dadurch wird die Korrosion und das Anhaften von Feststoffen begünstigt, die ausgewaschen werden und über den Brunnenfilter in den Pumpeneintritt gelangen.

Um die Förderleistung zu erhalten, muss der Betriebspunkt so gewählt werden, dass er rechts vom Wirkungsgradbestpunkt liegt.

Je höher die Strömungsgeschwindigkeit in der Pumpe ist, desto länger können die Wartungsintervalle gewählt werden. Denn eine hohe Strömungsgeschwindigkeit verhindert ein Verstopfen der Pumpe und den Verlust an Förderleistung. Enthält das Wasser viele klebrige Feststoffe kann es sinnvoll sein, das Rückschlagventil aus der Pumpe auszubauen, um ein Rückspülen der Pumpe und der Rohrleitungen nach dem Abschalten der Pumpe zu ermöglichen.

### 3.2.1 Bergbau

Der Bergbau ist eine typische Entwässerungsanwendung, bei der das Wasser jedoch häufig sehr aggressiv ist, sodass die Unterwasserpumpe aus hochwertigem Edelstahl gefertigt sein muss. Eine besondere Anwendung ist das Einbringen von Laugen, um die abzubauenen Mineralien zu lösen. Dabei wird die Lauge zusammen mit den Mineralien nach oben gefördert, wo die Mineralien herausgelöst werden. Die passende Pumpe für diese Anwendung kann wie folgt ausgewählt werden:

1. Das Korrosionspotential des Chlorids ermitteln (Äquivalentkonzentration des Chlorids = Chloridgehalt in ppm – (0,5 x Säuregehalt in ppm)).
2. In Abb. 10 mithilfe der Äquivalentkonzentration den für Edelstahl 1.4539 (AISI 904L) zulässigen pH-Wert ermitteln. Ist das Korrosionsrisiko hoch, ist eine Epoxidbeschichtung des Motors erforderlich.
3. Die meisten Kabelwerkstoffe und Verbindungssätze sind unbeständig gegenüber saurehaltigem Wasser. Deshalb sollte bis zum Anschlusskasten möglichst das blaue Motorkabel Grundfos TML ohne zu stückeln verwendet werden.
4. Die Zentriervorrichtung an der Pumpe oder am Motor montieren, um eine optimale Kühlung der Oberflächen zu gewährleisten.
5. Bei Auftreten von Korrosion einen Ionentauscher installieren, um den Chloridgehalt zu senken, oder Zinkanoden als kathodischen Schutz vorsehen.

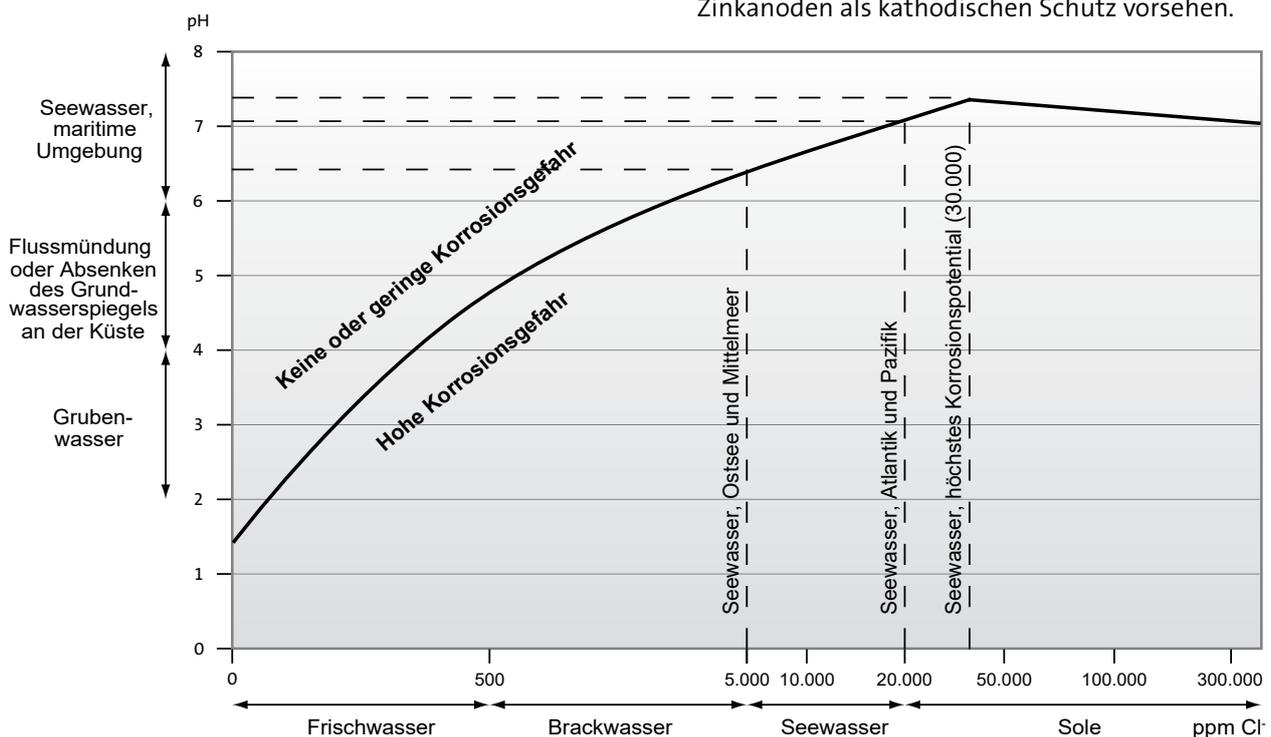


Abb. 10 Korrosion durch Chlorid

### 3.3 HORIZONTALE ANWENDUNGEN

Zur Förderung von Wasser aus einem Behälter wird häufig eine Standard-Unterwasserpumpe verwendet, die im Vergleich zu einer trocken aufgestellten Pumpe zahlreiche Vorteile bietet, wie z. B.:

- **Geräuscharmer Betrieb:** Die Unterwasserpumpe arbeitet geräuscharm, ohne Nachbarn zu stören.
- **Diebstahlsicher:** Die Pumpe ist unten am Boden des Behälters installiert.
- **Keine Gleitringdichtung:** Die Pumpe ist im Behälter installiert, so dass außerhalb des Behälters keine Leckagen auftreten.

Bei einer horizontalen Aufstellung wird empfohlen, einen Kühlmantel und bei niedrigen Füllständen zusätzlich ein Prallblech zu installieren.

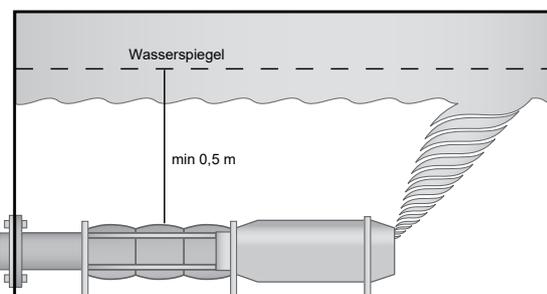


Abb. 11 Horizontal installierte Unterwasserpumpe mit Kühlmantel

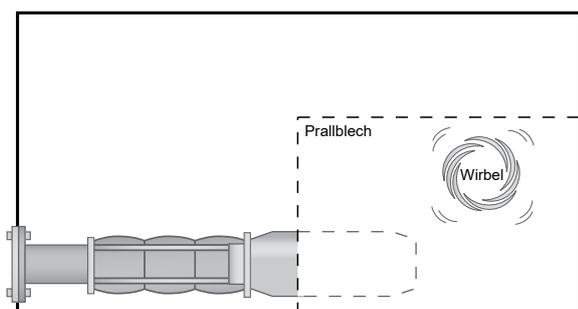


Abb. 12 Horizontal installierte Unterwasserpumpe mit montiertem Prallblech (Draufsicht)

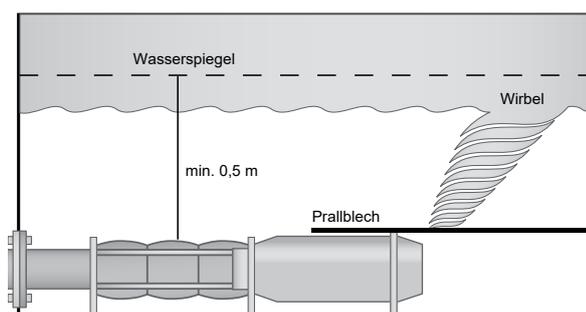


Abb. 13 Horizontal installierte Unterwasserpumpe mit montiertem Prallblech (Querschnitt)

Werden mehrere Unterwasserpumpen in einem Behälter installiert, muss der Abstand zwischen den Pumpen dem Gesamtdurchmesser der Pumpe und des Motors einschließlich Kühlmantel entsprechen.

Auch für Springbrunnenanwendungen werden häufig horizontal installierte Unterwasserpumpen eingesetzt, weil sie ein geringes Trägheitsmoment besitzen und somit schnell ein- und ausgeschaltet werden können. Wegen der Schalthäufigkeit dürfen für diese Anwendung niemals wiederwickelbare Motoren verwendet werden.

Die große Anzahl an Ein- und Ausschaltungen hat auch Auswirkungen auf die Lebensdauer von Kontakten. Um den Motor vor Kontaktfehlern zu schützen, wird empfohlen, ein Phasenfehlerrelais zwischen dem Überlastrelais und dem Motor zu installieren.

Schließlich muss der Behälterstutzen so an die Pumpenbaugröße angepasst werden, dass die Pumpe niemals mit maximalem Förderstrom, aber immer nahe am Wirkungsgradbestpunkt läuft.

### 3.4 LUFT-/GASHALTIGES WASSER

Ist Luft/Gas im Wasser enthalten, liefert die Pumpe nicht die volle Leistung und schaltet manchmal sogar ab. Denn durch Luft/Gas wird die Förderleistung von Kreiselpumpen erheblich reduziert. Um die Förderleistung zu erhöhen, muss die Pumpe tiefer in den Brunnen abgesenkt werden, um den Zulaufdruck zu erhöhen.

Ist eine Erhöhung des Zulaufdrucks nicht möglich, kann das Problem durch ein Leitrohr gelöst werden, das um die Pumpe herum installiert wird. Dabei wird das Leitrohr direkt unterhalb des Pumpeneintritts angebracht. Das Leitrohr sollte soweit wie möglich nach oben reichen, aber niemals bis zum Betriebswasserspiegel.

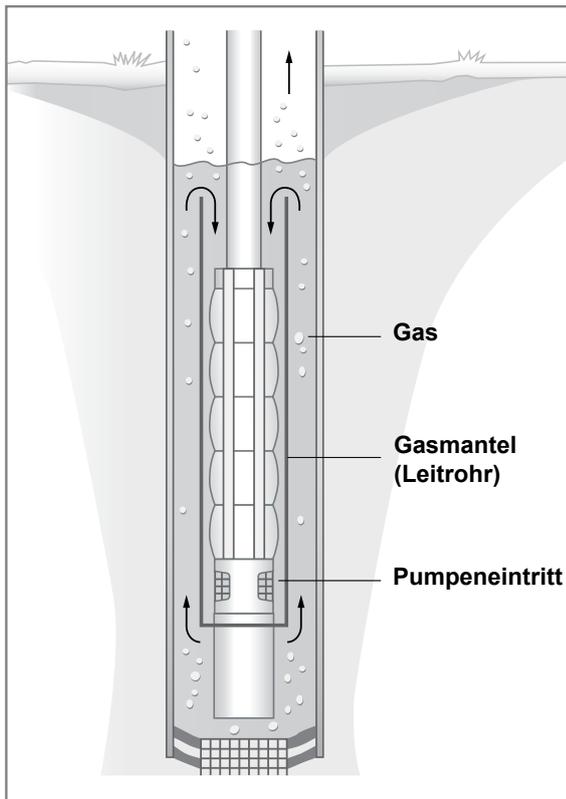


Abb. 14 Gasabführung

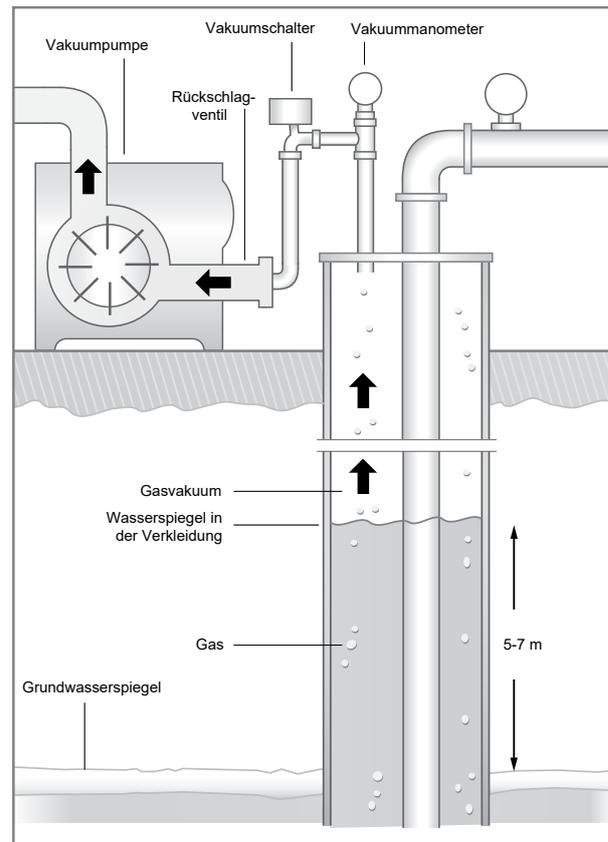


Abb. 15 Vakuumbrunnen

### Vakuumbrunnen

Ist so viel Gas im Wasser gelöst, dass ein Leitrohr nicht ausreicht, um die Anforderungen an die Wasserqualität zu erfüllen, muss ein Vakuum im Brunnen erzeugt werden. Bei einem hermetisch dichten Brunnen kann dazu eine Vakuumpumpe an

das Entlüftungsrohr angeschlossen werden. Dafür müssen die Brunnenwände stark genug ausgeführt sein, damit sie dem Vakuum standhalten und die NPSH-Anforderungen erfüllt werden.

## 3.5 KAVITATION

Bei Unterwasserpumpen ist die Kavitationsgefahr sehr gering. Treten jedoch die beiden folgenden Faktoren gleichzeitig auf, kann es bei geringen Eintauchtiefen trotzdem zu Kavitationsschäden an der Pumpe und dem Motor kommen:

1. Eindringende Luftblasen
2. Verringerung des Gegendrucks, z. B. durch Rohrbruch, starke Korrosion (Lochfraß) der Steigleitung oder extrem hoher Wasserverbrauch.

Zur Berechnung der erforderlichen Eintauchtiefe zur Vermeidung von Kavitation kann folgende Gleichung verwendet werden:

$$H = H_b - \text{NPSH} - H_{\text{Verlust}} - H_v - H_s$$

$H_b$  = Luftdruck

NPSH = NPSH-Wert

$H_{\text{Verlust}}$  = Druckverlust in der Saugleitung

$H_v$  = Dampfdruck

$H_s$  = Sicherheitszuschlag

Ist der berechnete H-Wert positiv, kann die Pumpe bis zu dieser Saughöhe betrieben werden. In diesem Fall gilt für die Mindesteintauchtiefe der standardmäßig angegebene Wert.

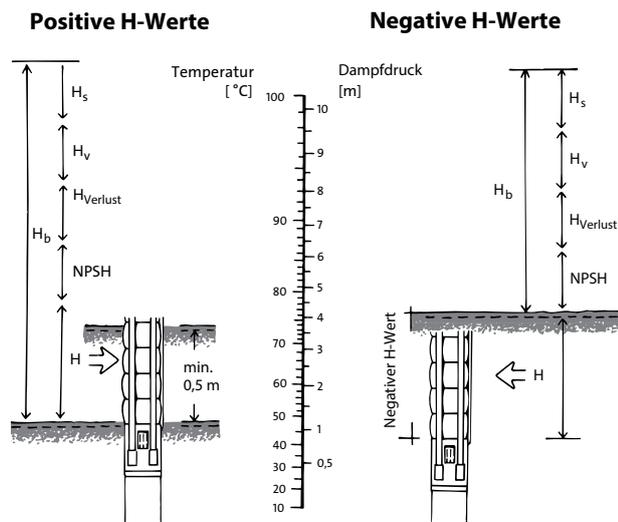


Abb. 16 Eintauchtiefe

**Beispiel:**

Eine SP 60 liefert einen Förderstrom von 78 m<sup>3</sup>/h.

$H_b$	10,0 m
NPSH aus dem Datenheft	4,2 m
$H_{Verlust}$	0,0 m
$H_v$ bei 32 °C	0,5 m
$H_s$	1,0 m
$H = 10 - 4,2 - 0 - 0,5 - 1,0 =$	4,3 m

Da H positiv ist, kann die Pumpe ein Vakuum von 0,43 bar erzeugen, ohne dass Kavitationsschäden auftreten. Deshalb müssen keine speziellen Maßnahmen getroffen werden. Kommt es zu einer Korrosion der Steigleitung und einem daraus resultierenden Loch von 20 mm entsteht kein Gegendruck und die Fördermenge erhöht sich auf mehr als 90 m<sup>3</sup>/h.

$H_b$ bleibt unverändert	10,0 m
NPSH erhöht sich auf	8,0 m
$H_{Verlust}$	0,0 m
$H_v$ erhöht sich durch Umlauf im Brunnen auf	4,6 m
$H_s$ bleibt unverändert	1,0 m

Daraus ergibt sich der H-Wert jetzt zu

$$H = 10 - 8 - 0 - 4,6 - 1,0 = -3,6 \text{ m}$$

Um Kavitation zu vermeiden, muss sich der Pumpeneintritt in diesem Fall mindestens 3,6 m

unter dem Betriebswasserspiegel befinden. Kavitiert eine Pumpe, liefert sie nicht mehr die volle Förderleistung, siehe die nachfolgende Abbildung.

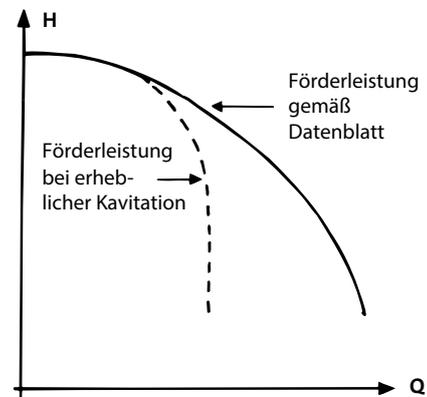


Abb. 17 Leistungsverlust bei Kavitation

### 3.5.1 Eintauchtiefe

**Einfache Bestimmung der korrekten Eintauchtiefe**

Mithilfe der Abb. 10 kann die Mindesteintauchtiefe ermittelt werden.  $H_{Verlust}$  zuzüglich dem Sicherheitszuschlag dienen dabei als Ausgangspunkt auf der diagonal verlaufenden Verlustlinie. Der aktuelle NPSH-Wert kann dem Datenblatt entnommen werden.

**Beispiel**

Sicherheitszuschlag +  $H_{Verlust} = 4,5 \text{ m}$ .

Dieser Wert wird auf der Verlustlinie eingezeichnet. Danach wird eine Linie senkrecht nach oben zur 8 m NPSH-Linie gezeichnet. Von diesem Punkt aus wird eine waagerechte Linie nach rechts zur Wassertemperatur 10 °C gezogen. Danach wird eine Senkrechte auf die X-Linie und abschließend eine Waagerechte nach links gezeichnet. Hier kann dann die erforderliche Eintauchtiefe bezogen auf den Betriebswasserspiegel abgelesen werden. In diesem Fall beträgt die erforderliche Eintauchtiefe 4 m.

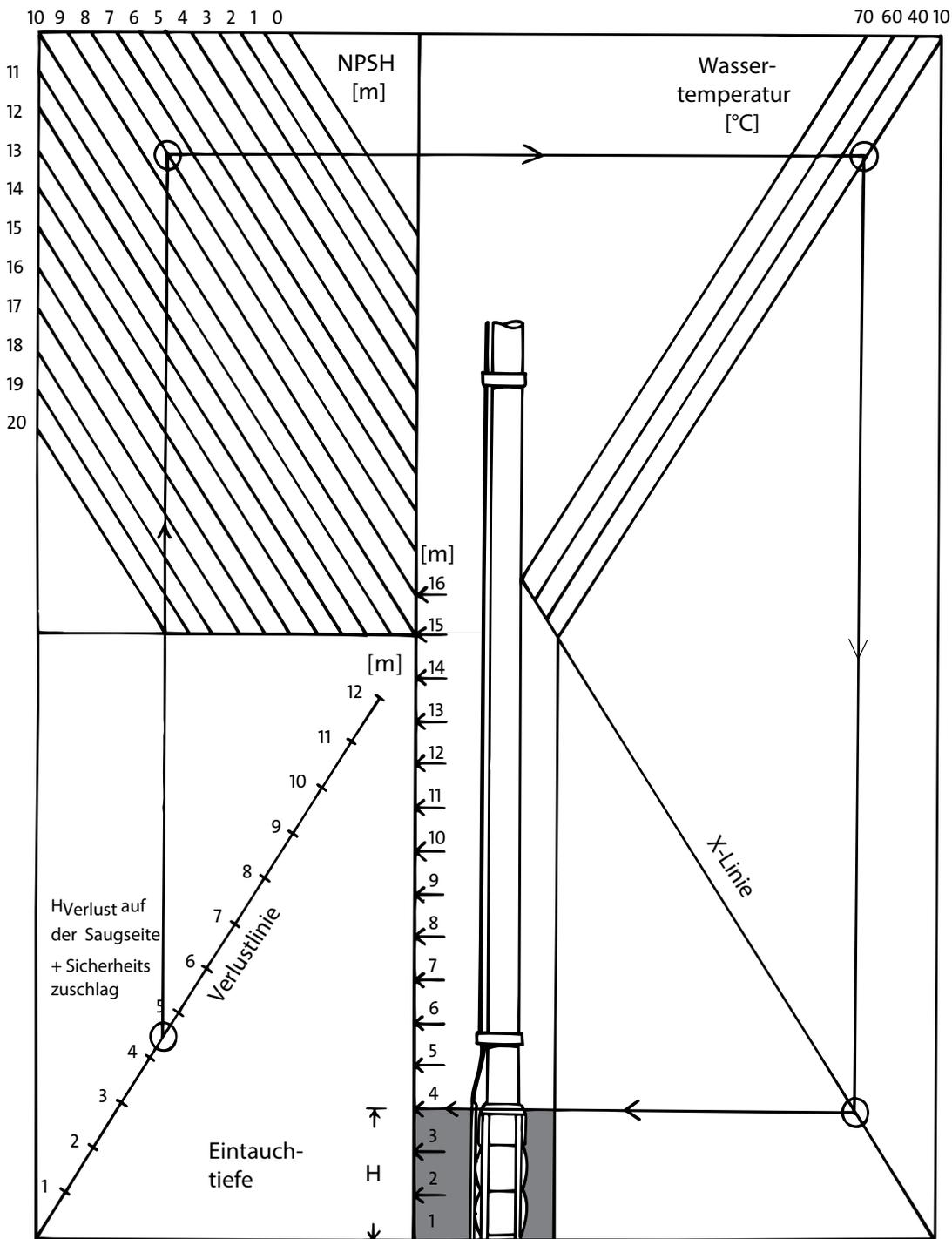


Abb. 18 Diagramm zur schnellen Ermittlung der Mindesteintauchtiefe

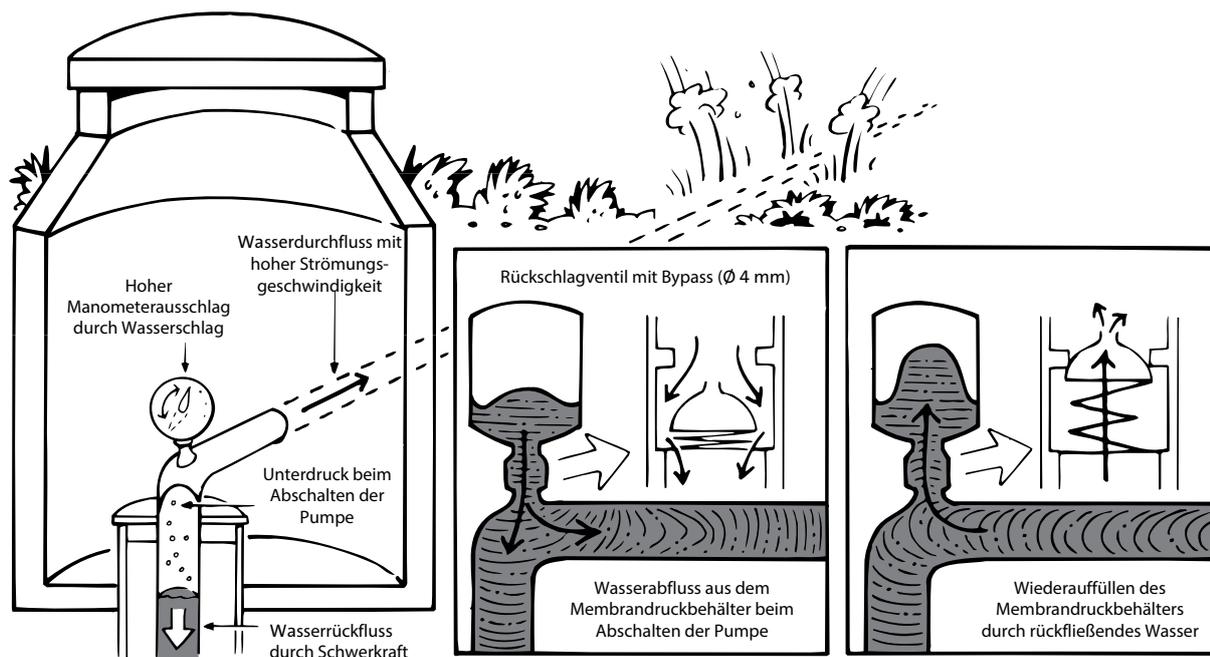


Abb 19 Vermeiden von Wasserschlag

### 3.6 WASSERSCHLAG

Rohwasser- und Verteilerleitungen enthalten oft mehrere Tonnen Wasser, die beim Ein- und Abschalten der Pumpen abrupt in Bewegung gesetzt bzw. abgebremst werden. Die daraus resultierenden Druckschwankungen liegen in der Regel innerhalb des zulässigen Nenndrucks (PN), für die das betreffende Rohrleitungssystem ausgelegt ist.

Bei Anlagen mit langen Rohrleitungen und vertikaler Steigleitung können diese Druckschwankungen im Normalfall in ausreichendem Maße reduziert werden, wenn eine der folgenden Maßnahmen ergriffen wird:

1. Bei Förderströmen bis  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  Einbau eines  $50 \text{ l}$  großen Membrandruckbehälters. Bei darüberliegenden Förderströmen Einbau eines  $100 \text{ l}$  großen Membrandruckbehälters oder von zwei  $50 \text{ l}$  großen Membrandruckbehältern. Der Vorspanndruck im Membrandruckbehälter sollte jeweils dem 0,7-fachen des aktuellen Betriebsdrucks entsprechen.
2. Vorsehen eines frequenzgeregelten Pumpenstarts, bei dem sich die Frequenz innerhalb von 30 Sekunden von 30 Hz auf 50 Hz erhöht.

3. Vorsehen eines Sanftanlaufs mit einer Hochfahrzeit von 3 Sekunden, ergänzt durch einen  $50 \text{ l}$  großen Membrandruckbehälter mit einem Vorspanndruck, der dem 0,7-fachen des aktuellen Betriebsdrucks entspricht. Ein Sanftanlaufgerät allein schützt nicht vor Wasserschlag.

4. Einbau eines zeitgesteuerten, motorangetriebenen Drosselventils mit einer Öffnungszeit von ca. 60 Sekunden. Beim Einschalten der Pumpe beginnt das Drosselventil, sich langsam zu öffnen. 60 Sekunden vor dem Abschalten der Pumpe schließt das Drosselventil wieder. Hinsichtlich des Energieverbrauchs ist diese Lösung jedoch nicht zu empfehlen.

Die genannten Größen für den Membrandruckbehälter dienen lediglich dazu, den Druckstoß abzufangen. Zur Regelung der Pumpen sind sie nicht geeignet. In Brunnen mit einer Wassertiefe von mehr als 8 bis 9 m verursachen Druckschwankungen bei einem Abschalten der Pumpe einen Unterdruck. Durch das entstehende Vakuum können Verunreinigungen aus der umgebenden Erdschicht in den Brunnen hineingesaugt werden. Das Problem wird mithilfe der Membrandruckbehälter behoben.



### Druckstöße durch entstehendes Vakuum

Bei langen, horizontalen Druckleitungen können Druckstöße beim Abschalten der Pumpe entstehen.

Zunächst reißt die Wassersäule in der Steigleitung aufgrund der Schwerkraft schlagartig ab. Das Wasser in der horizontalen Druckleitung hingegen wird durch die Reibungsverluste im Rohr langsamer abgebremst. Dadurch entsteht ein Unterdruck in der Steigleitung und der Dampfdruck wird unterschritten. Wenn das Wasser in der horizontalen Druckleitung zur Ruhe kommt, fließt das Wasser durch den Unterdruck in Richtung Pumpe zurück. Die zurückfließenden Wassermengen treffen schlagartig auf die über dem Rückschlagventil befindliche Wassersäule, sodass ein Druckstoß entsteht, der zu Schäden an der Pumpe und den Rohrleitungen führen kann.

### 3.7 AGGRESSIVES WASSER (SEEWASSER)

Unterwasserpumpen werden in zahlreichen Seewasseranwendungen eingesetzt, wie z. B. Fischzucht, Offshore-Industrieanwendungen oder die Wassergewinnung für Umkehrosmoseanlagen, die der Wasseraufbereitung dienen.

SP-Pumpen sind je nach Anwendung in verschiedenen Werkstoffausführungen und Korrosionsklassen lieferbar. Ein hoher Salzgehalt in Verbindung mit höheren Temperaturen sind auch für Edelstahl eher ungünstig. Dies muss bei der Werkstoffwahl entsprechend berücksichtigt werden.

Ein Maß für die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl ist der PREN-Index (Pitting Resistance Equivalent Number), der die Lochfraßbeständigkeit angibt und mit dessen Hilfe die Korrosionsbeständigkeit der einzelnen Edelstahlgüten miteinander verglichen werden kann. Abb. 20 zeigt die am häufigsten bei Grundfos zum Bau von Pumpen verwendeten Edelstahlsorten.

Der PREN-Index wird wie folgt berechnet:

$$\text{PREN} = (\% \text{Cr}) + (3,3 \times \% \text{Mo})$$

Für den Vergleich von anderen Edelstahlsorten, die Stickstoff enthalten, wird folgende Gleichung verwendet:

$$\text{PREN} = (\% \text{Cr}) + (3,3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$$

### Korrosionsbeständigkeit von Unterwasserpumpen in Seewasser

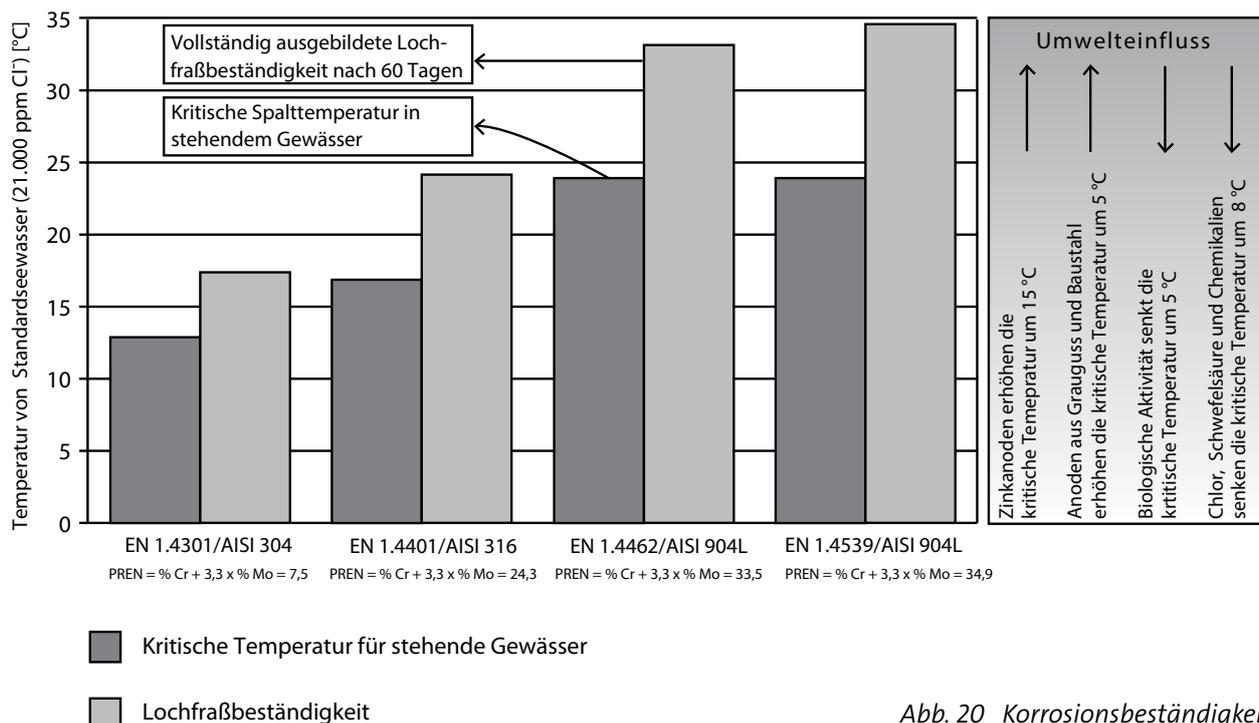


Abb. 20 Korrosionsbeständigkeit

Neben dem Salzgehalt und der Temperatur haben auch die Anwesenheit von anderen Metallen und von Säuren sowie der Bewuchs Einfluss auf die kritische Korrosionstemperatur, wie aus Abb. 20 ersichtlich.

Das Diagramm auf der vorherigen Seite kann zur Auswahl der geeigneten Edelstahlsorte verwendet werden.

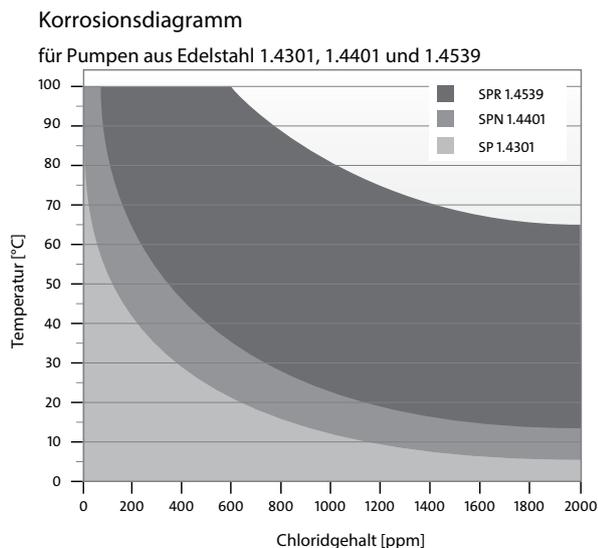


Abb. 21 Korrosionsdiagramm

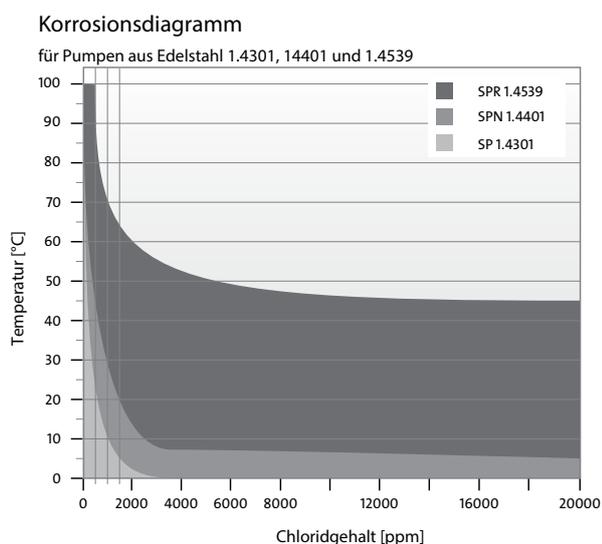


Abb. 22 Korrosionsdiagramm

Auch die Elastomerteile in der Pumpe können durch eine schlechte Wasserqualität beschädigt werden, wenn das Wasser z. B. einen hohen Kohlenwasserstoffgehalt aufweist oder zahlreiche Chemikalien enthält. In diesen Fällen kann der standardmäßig verwendete Elastomerwerkstoff durch FKM-Kautschuk ersetzt werden. Insbesondere die Grundfos SPE-Pumpen sind für derartige Anforderungen ausgelegt. Alle anderen Pumpenmodelle können auf Wunsch entsprechend ausgerüstet werden.

### 3.8 WARMES WASSER UND GEOTHERMISCHES WASSER

Die Temperatur des Grundwassers, das sich nahe der Erdoberfläche befindet, entspricht in etwa der mittleren Jahreslufttemperatur der jeweiligen Region. Sie steigt mit zunehmender Brunntiefe um etwa 2 bis 3 °C je 100 m, wenn keine geothermischen Einflüsse vorhanden sind.

In Geothermalgebieten kann der Anstieg 5 bis 15 °C je 100 m Brunntiefe betragen. Für Tiefbrunnen sind deshalb temperaturbeständige Elastomere, Elektrokabel und Kabelverbindungen sowie Motoren erforderlich.

Warmes Grundwasser insbesondere in Verbindung mit Vulkanaktivitäten wird gern für allgemeine Heizungsanwendungen sowie für zahlreiche Freizeitaktivitäten genutzt.

Die Motorflüssigkeit in einem Unterwassermotor besitzt einen höheren Siedepunkt als das Brunnenwasser. Dadurch wird verhindert, dass die Schmierung der Motorlager infolge der geringeren Viskosität der Motorflüssigkeit herabgesetzt wird. Deshalb muss der Motor tiefer untergetaucht werden, um die Siedetemperatur entsprechend der nachfolgenden Tabelle anzuheben.



Temperatur	Dampfdruck	Kinematische Viskosität
°C	m	mm <sup>2</sup> /s
0	0,00611	1,792
4	0,00813	1,568
10	0,01227	1,307
20	0,02337	1,004
30	0,04241	0,801
40	0,07375	0,658
50	0,12335	0,554
60	0,19920	0,475
70	0,31162	0,413
80	0,47360	0,365
90	0,70109	0,326
100	1,01325	0,294
110	1,43266	0,268
120	1,98543	0,246
130	2,70132	0,228
140	3,61379	0,212
150	4,75997	0,199
160	6,18065	0,188

Bei geothermischer Aktivität ist damit zu rechnen, dass Gas im Wasser enthalten ist. Um eine Reduzierung der Förderleistung bei Erdwärmeeinstellungen durch gashaltiges Wasser zu vermeiden, wird empfohlen, die Pumpe mindestens 50 m unterhalb des Betriebswasserspiegels zu installieren.

### 3.9 DRUCKMODULE

Die Grundfos Druckmodule BM und BME sind in Kühlmantel eingebaute SP-Pumpen. Durch das in Reihe Schalten von Druckmodulen kann ein sehr hoher Druck erreicht werden.

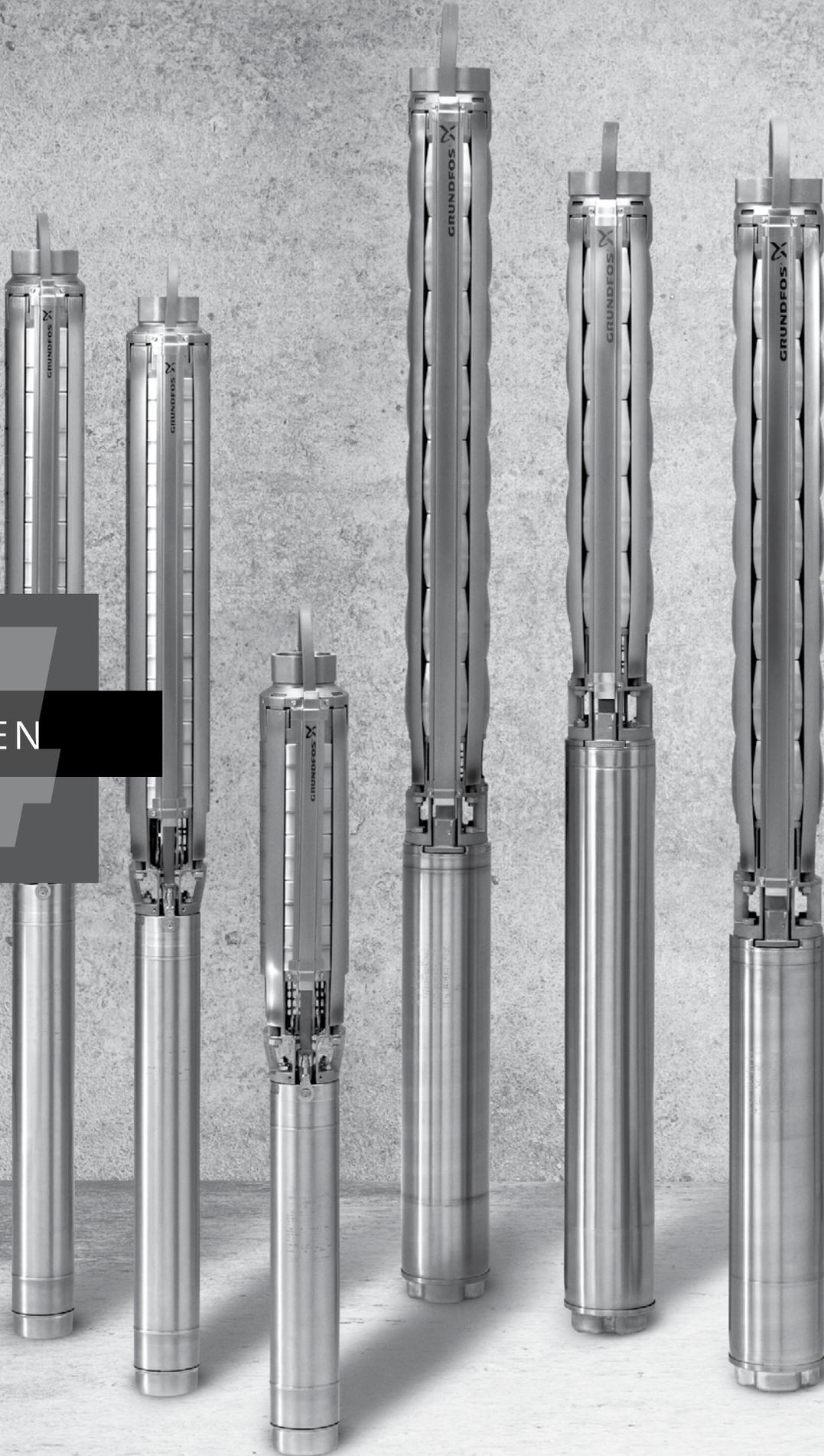
Die Druckmodule werden überwiegend in Umkehrosmoseanwendungen eingesetzt, um sauberes Wasser aus verschmutztem Wasser oder Seewasser zu gewinnen.

Grundfos Druckmodule werden zudem in der Wasserversorgung eingesetzt, um den Wasserdruck in den langen Verteilerleitungen zu erhöhen. Die Hauptvorteile im Vergleich zu herkömmlichen Druckerhöhungspumpen sind der geräuscharme Betrieb und der Wegfall von Wellendichtungen, die undicht werden können.



Abb. 23 Grundfos Druckmodul BM

PUMPEN



## 4.1 BAUWEISE

Die SP-Pumpen sind Kreiselpumpen, bei denen die vom Elektromotor an der Welle bereitgestellte mechanische Energie in kinetische Energie umgewandelt und auf das Fördermedium übertragen wird. Gleichzeitig wird eine Druckdifferenz zwischen dem Saug- und Druckstutzen der Pumpe erzeugt.

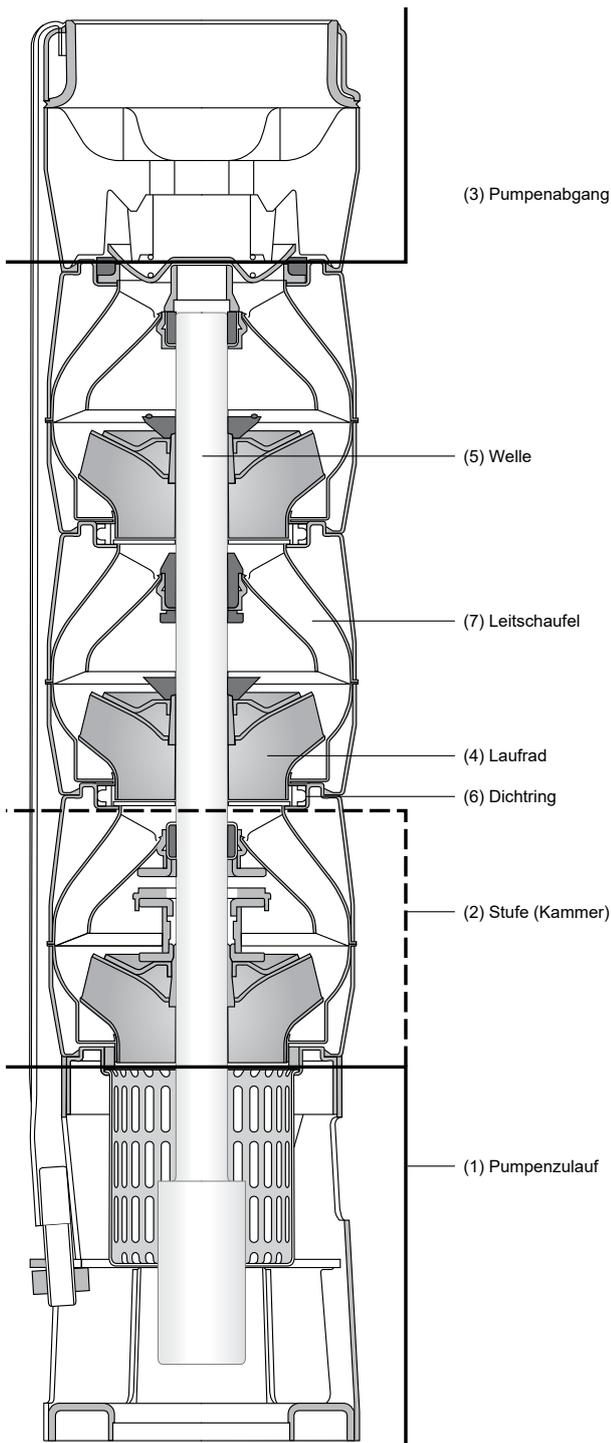


Abb. 24 Aufbau der Unterwasserpumpen

Die Pumpe besteht aus einem Pumpenzulauf (1), einer bestimmten Anzahl an Stufen (2) und einem Pumpenabgang (3). In jeder Stufe wird eine Druckdifferenz erzeugt. Je höher der benötigte Förderdruck ist, desto mehr Stufen sind erforderlich.

Eine Stufe verfügt in der Regel über ein Laufrad (4), dessen Laufradflügel Energie in Form von Bewegungsenergie und einer Druckerhöhung auf das Wasser übertragen. Jedes Laufrad ist auf der Pumpenwelle (5) mithilfe einer Keilverzahnung oder Klemmhülse befestigt.

Unterwasserpumpen sind entweder als Radialpumpen oder als Halbaxialpumpen ausgeführt. Bei Radialpumpen ist der Durchmesser des Laufradeintritts und des Laufradabgangs stark unterschiedlich. Während sich Radialpumpen für Anwendungen mit großen Förderhöhenbedarf eignen, werden Halbaxialpumpen vor allem zur Förderung großer Volumenströme eingesetzt.

Ein zwischen dem Laufradeintritt und der Kammer angeordneter Dichtring (6) sorgt dafür, dass der Rückfluss minimiert wird. Die Kammer verfügt über eine Leitschaufel (7), die das Wasser zur nächsten Stufe führt und den dynamischen Druck in statischen Druck umwandelt.

Der Pumpenzulauf leitet nicht nur das Wasser in die ersten Laufradkammern, sondern dient auch zur Befestigung des Motors. Die Abmessungen der meisten Pumpen entsprechen der NEMA-Norm für 4“-, 6“- und 8“-Pumpen. Größere Pumpen und Motoren sind je nach Hersteller nach unterschiedlichen Normen ausgeführt.

Der Pumpenzulauf muss so ausgeführt sein, dass das Wasser auf die bestmögliche Weise mit minimalen Druckverlusten zum ersten Laufrad geführt wird. Bei einigen Radialpumpen verfügt der Pumpenzulauf über eine Ansaugspirale, die auf der Pumpenwelle befestigt ist, um die Wasserzufuhr sicherzustellen und Trockenlauf zu verhindern.

Im Druckabgang der Pumpe ist in der Regel ein Rückschlagventil installiert, um in der Steigleitung ein Zurückfließen des Wassers zu verhindern, wenn die Pumpe abgeschaltet wird. Dies hat folgende Vorteile:

- Vermeiden von Energieverlusten durch Rückfluss
- Sicherstellen eines ausreichenden Gegendrucks beim Wiederanlaufen der Pumpe, der dafür sorgt, dass die Pumpe nicht in einem unzulässigen Kennlinienbereich läuft
- Vermeiden von Schäden an der Pumpe durch Druckstöße
- Vermeiden von Verunreinigungen des Grundwassers durch Rückfluss.

### 4.2 VERSCHLEISSTEILE

In Abhängigkeit des Fördermediums und der Betriebsdauer wird eine regelmäßige Überholung der Pumpe empfohlen, bei der die folgenden Verschleißteile ausgetauscht werden sollten:

- Radiallager
- Ventilsitz
- Spaltringe
- Dichtring
- Anschlagring.

Bei einem hohen, durch Sand verursachten Verschleiß müssen unter Umständen auch die Pumpenwelle und die Laufräder ausgetauscht werden.

Durch den Austausch der Verschleißteile im Rahmen der Wartung kann der hohe Pumpenwirkungsgrad über die gesamte Lebensdauer erhalten bleiben, um so die Betriebskosten niedrig zu halten.

Weitere Informationen zum Austauschen der Verschleißteile finden Sie in den Grundfos Serviceanleitungen.

### 4.3 AUSWÄHLEN DER PUMPE

Das Auswählen der Pumpe beginnt mit dem Abschätzen des benötigten Förderstroms und der benötigten Förderhöhe. Der Gesamtförderstrom ergibt sich aus der Summe von

- Betriebswasserspiegel (1)
- Saughöhe bis zum Boden (2)
- Druck am Pumpenabgang (3)
- Reibungsverluste in den Rohren, Ventilen und Bögen (4).

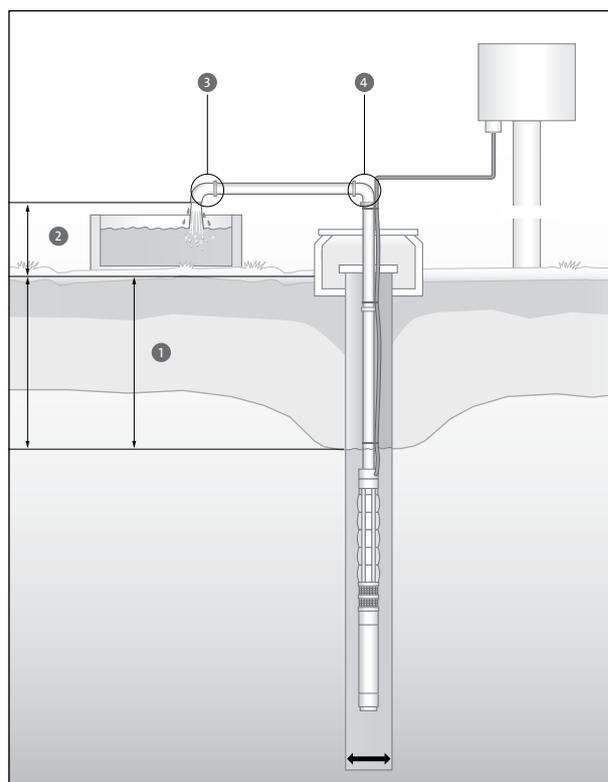


Abb. 25 Berechnung der Gesamtförderhöhe

Beim Abschätzen des Förderstrombedarfs muss auch die Brunnenleistung berücksichtigt werden. Informationen zur Brunnenenergiebigkeit stehen im Brunnenprotokoll, das im Rahmen einer Probebohrung vom Brunnenbauer erstellt wird. Der Förderstrombedarf sollte so niedrig wie möglich sein, um die Absenkung des Grundwasserspiegels und den spezifischen Stromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> zu minimieren.

## 4.4 PUMPENKENNLINIEN UND TOLERANZEN

Nach dem Abschätzen des erforderlichen Förderstroms und der erforderlichen Förderhöhe kann die Pumpe mithilfe des Online-Portals Grundfos Product Center oder des SP-Datenheftes ausgewählt werden.

In den Kennliniendiagrammen ist neben der QH-Kennlinie auch die Leistungskennlinie dargestellt. Hier wird zwischen der Wellenleistung P2, die auch auf dem Typenschild angegeben ist, und der Leistungsaufnahme P1 des Motors, die zur Auslegung der Elektroinstallation benötigt wird, unterschieden. P4 hingegen ist die hydraulische Leistung, die die Pumpe liefert.

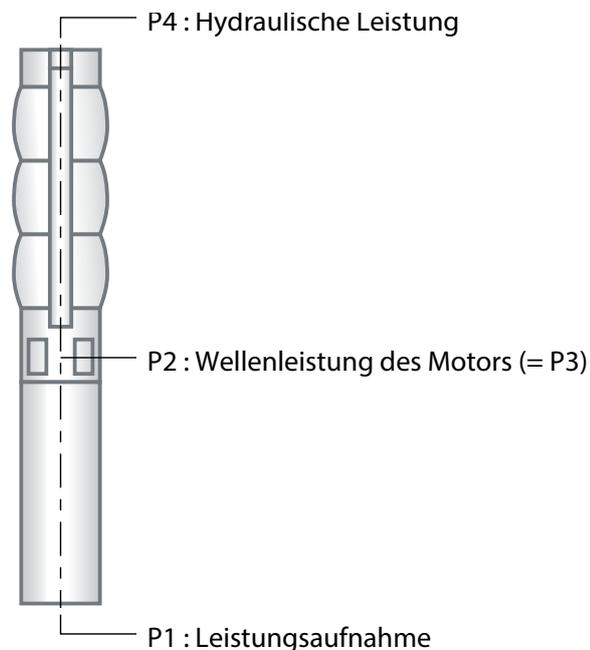


Abb. 26 Leistungsangaben

In der Regel wird auch die Leistungsaufnahme als Funktion des Förderstroms dargestellt.

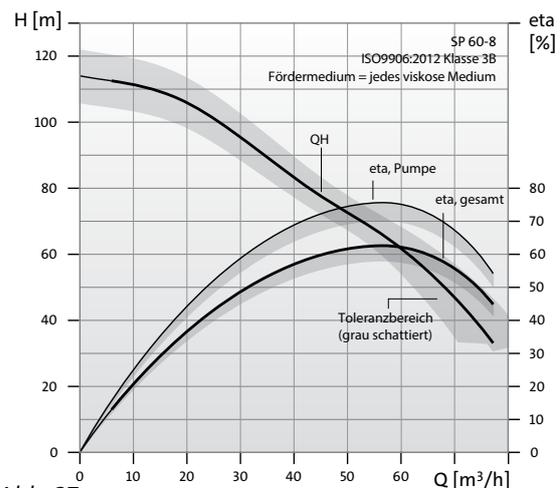


Abb. 27

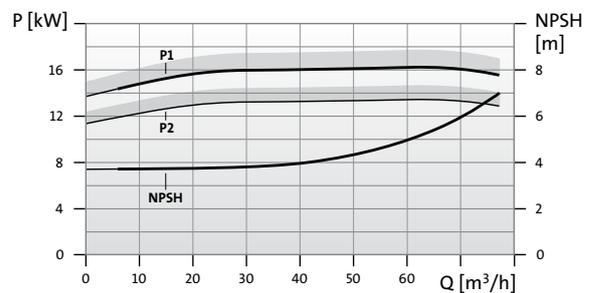


Abb. 28

Die Abb. 27 und 28 zeigen die Leistungsparameter der Pumpe inklusive der Toleranzen.

In den Kennliniendiagrammen wird zudem der Pumpenwirkungsgrad auf Basis von P2 oder der Gesamtwirkungsgrad (Pumpe inklusive Motor) auf Basis von P1 angegeben. In einigen Fällen werden jedoch die Verluste im Rückschlagventil nicht berücksichtigt. Auch die Wirkungsgradkurven werden zur Auswahl der Pumpenbaugröße genutzt. Denn bei der Auswahl einer Pumpe ist darauf zu achten, dass der Betriebspunkt mit dem Wirkungsgradbestpunkt zusammenfällt. Wird der Gesamtwirkungsgrad nicht angegeben, kann er mithilfe des Förderstroms (Q), der Förderhöhe (H) und der Leistungsaufnahme (P1) wie folgt berechnet werden:

$$\eta_{\text{gesamt}} = (Q \times H \times 9,81) / (P1 \times 3600)$$

Der ebenfalls im Kennliniendiagramm angegebene NPSH-Wert (Haltedruckhöhe) ist ein Maß für den erforderlichen Zulaufdruck bzw. der erforderlichen Höhe der Wassersäule am Pumpenzulauf.

Der NPSH-Wert nimmt mit höheren Förderströmen zu. Wird der erforderliche Zulaufdruck nicht erreicht, bilden sich Dampfblasen im Wasser, sodass Kavitation entsteht, die zu Schäden in der Pumpe führt.

Es gibt viele nationale Normen, in denen die Toleranzen für die Kennlinien festgelegt werden. Die Kennlinien der SP-Pumpen werden entsprechend der ISO 9906:2012 Klasse 3B dargestellt. Die im Datenheft abgedruckten QH-Kennlinien basieren auf der Bemessungsleistung. Gemäß der ISO 9906, Klasse 3B wird für Leistungskennlinien nur eine obere Toleranz und für Wirkungsgradkurven nur eine untere Toleranz angegeben. Siehe das Beispiel in Abb. 23 und 24. Der Darstellung der Leistungskennlinien liegen folgende Kennlinienbedingungen gemäß der ISO 9906 zu Grunde:

- Die Messungen wurden mit 20 °C warmem, luftfreiem Wasser durchgeführt.
- Die Kennlinien gelten für Medien mit einer Viskosität von 1 mm<sup>2</sup>/s. Wird ein Medium gefördert, das eine höhere Dichte als Wasser besitzt, ist eine höhere Motorleistung erforderlich.

Zusätzlich zu den QH-Kennlinien, Leistungskennlinien und Wirkungsgradkurven werden auf Anfrage auch Axiallastkurven herausgegeben. Der nach unten gerichtete Axialschub wird von der Hydraulik erzeugt und auf das Axiallager des Motors übertragen. Die Gesamtaxiallast ergibt sich durch Multiplizieren der Werte für eine Stufe mit der Stufenanzahl. Sie wird benötigt, um abschätzen zu können, ob die Traglast des Motoraxiallagers ausreicht.

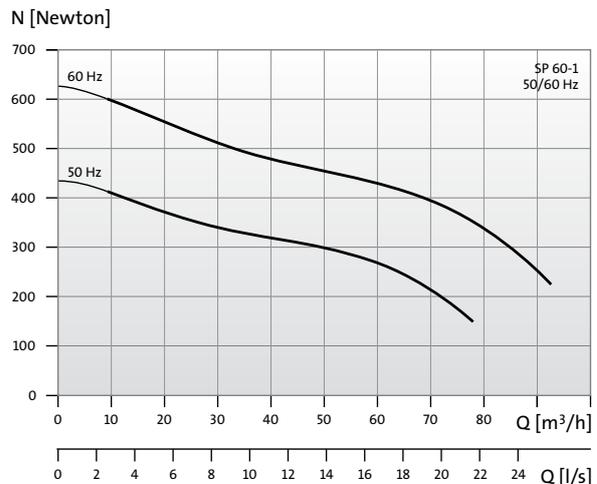


Abb. 25 Axiallastkurve einer Stufe für die SP 60

## 4.5 STROMVERBRAUCH

### Stromverbrauch von Unterwasserpumpen

Bei den Unterwasserpumpen ist die prozentuale Verteilung der Gesamtkosten wie folgt:

- 5 % Beschaffungskosten der Pumpe
- 85 % Betriebskosten / Stromverbrauch
- 10 % Wartungskosten.

Das größte Einsparpotenzial ergibt sich somit durch eine Reduzierung des Stromverbrauchs.

Der jährliche Stromverbrauch E einer Unterwasserpumpe kann wie folgt berechnet werden:

$$E = c \times h \times P1 \text{ [€]}, \text{ wobei}$$

$$c = \text{Strompreis [€/kWh]}$$

$$h = \text{Betriebsstunden/Jahr [h]}$$

$$P1 = \text{Leistungsaufnahme der Pumpe [kW]}.$$

### Beispiel zur Berechnung des Stromverbrauchs

Berechnung des jährlichen Stromverbrauchs der Unterwasserpumpe SP 125-3, die mit dem Unterwassermotor MS 6000 (30 kW, 3 x 400 V, 50 Hz) ausgerüstet ist.



### Betriebspunkt

Förderstrom:  $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$   
 Gesamtförderhöhe:  $H = 63 \text{ m}$   
 Strompreis:  $c = \text{EUR } 0,1/\text{kWh}$   
 (Mittelwert für Tag- und Nachtstrom)  
 Betriebsstunden/Jahr:  $h = 3200$

$$P_1 = \frac{Q \times H \times \rho}{367 \times \eta_{\text{Pumpe}} \times \eta_{\text{Motor}}} \text{ in kW}$$

$Q = \text{m}^3/\text{h}$   
 $H = \text{m}$   
 Dichte  $\rho = \text{kg}/\text{dm}^3$  (zu 1 angenommen)  
 367 = Umrechnungsfaktor  
 $\eta_{\text{Pumpe}}$  = (nicht zu verwechseln mit der Wirkungsgradkurve für eine Stufe)  
 $\eta_{\text{Motor}}$  = (Beispiel 84,5 %, entspricht 0,845 in der Gleichung).

Wird die P2/Q-Kennlinie vom Hersteller angegeben, kann der Stromverbrauch auf einfachere Weise berechnet werden:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{Motor}}}$$

### Berechnung des Motorwirkungsgrads am Betriebspunkt

Standardmäßig ist die SP 125-3 mit einem 30 kW starken Unterwassermotor vom Typ MS 6000 ausgerüstet. Der Leistungsbedarf der Pumpe am Betriebspunkt ( $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$ ) beträgt 26 kW. Damit ist der Motor zu 87 % ( $26 \text{ kW} / 30 \text{ kW}$ ) ausgelastet. Die Leistungsreserve beträgt 13 %.

Aus der Tabelle auf Seite 35 kann der Motorwirkungsgrad wie folgt abgelesen werden:

84 % bei einer Belastung von 75 % ( $\eta_{75\%}$ )  
 83 % bei einer Belastung von 100 % ( $\eta_{100\%}$ )

Der interpolierte Wert in diesem Beispiel beträgt  $\eta_{\text{Motor}} = 84,5\%$  bzw.  $\eta_{\text{Motor}} = 0,845$ .

Daraus ergibt sich mit  $P_2 = 26 \text{ kW}$  (Leistungsbedarf einer SP 125-3 bei  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ , abgelesen aus der P2/Q-Kennlinie auf Seite 34):

$$P_1 = \frac{26}{0,845} = 30,77 \text{ kW}$$

Mit  $E = 0,1 \text{ €/kWh} \times 3200 \text{ h} \times 30,77 \text{ kW}$  belaufen sich die jährlichen Stromkosten auf 9.846 €. Vergleicht man die Stromkosten dieser hocheffizienten Grundfos Unterwasserpumpe mit den Stromkosten einer SP 120-4 von 1995 ( $Q = 110$  bis  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 63$  bis  $58 \text{ m}$ ,  $\eta_{\text{Motor}} = 82\%$ ), fallen bei gleicher Jahresfördermenge von  $384.000 \text{ m}^3$  und gleichem Strompreis von  $0,1 \text{ €/kWh}$  Stromkosten in Höhe von  $12.777 \text{ €}$  an.

### Verschleiß und Ablagerungen in Motor und Pumpe wurden bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Amortisationszeit  $A$  (in Monaten) wird wie folgt berechnet:

$$A = \frac{\text{Anschaffungspreis für die effiziente Pumpe}}{\text{Energieeinsparung/Jahr}} \times 12$$

Der Anschaffungspreis für die energieeffiziente Pumpe beträgt  $4090 \text{ €}$ .

$$A = \frac{4090}{(12.777 \text{ €} - 9.846 \text{ €})} \times 12 = 16,7 \text{ Monate}$$

Die Amortisationszeit liegt somit bei 16,7 Monaten.

**Hinweis:** Das Gesamtsystem sollte auf größtmögliche Energieeffizienz (Kabel/Druckleitung) ausgelegt werden.

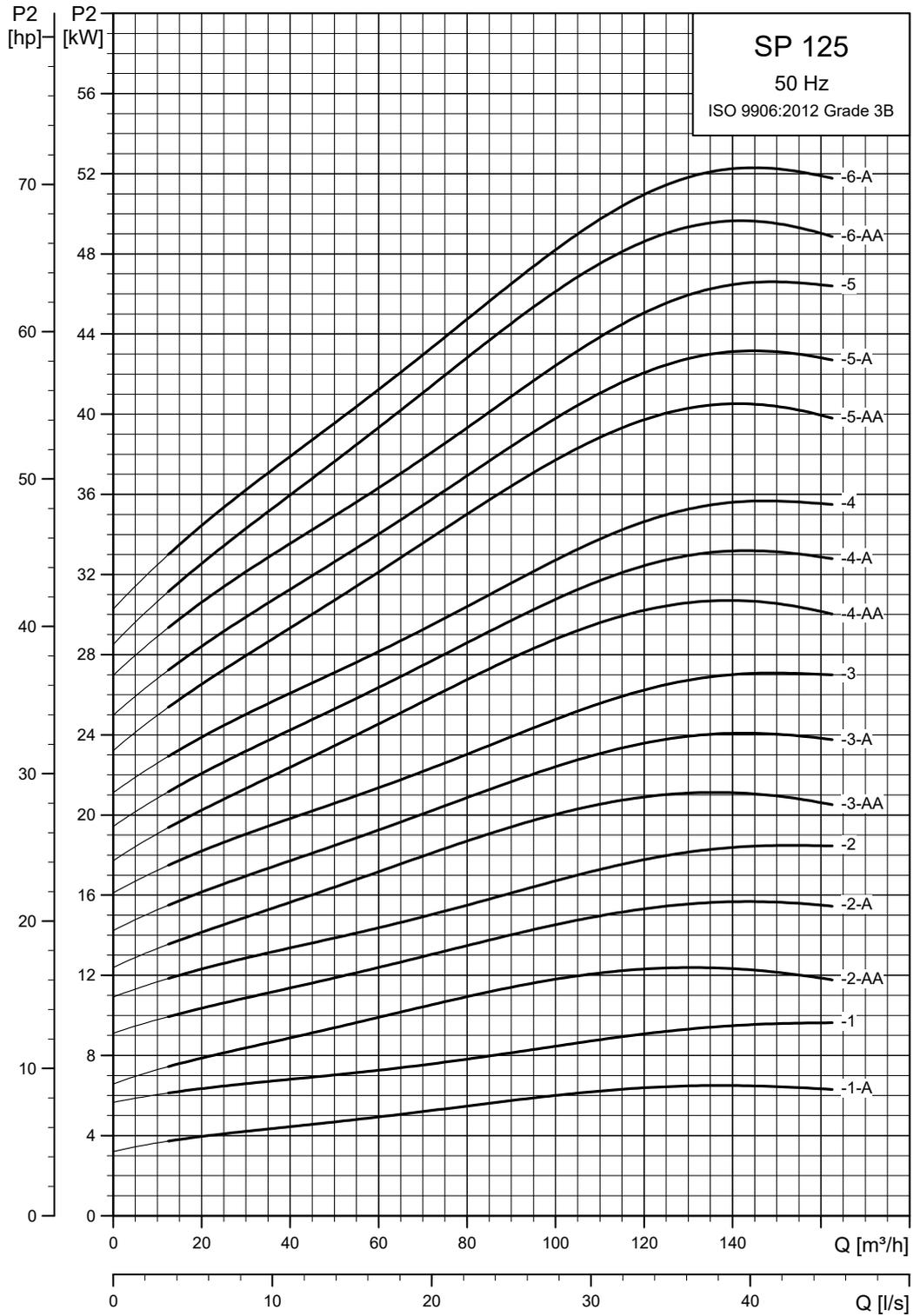
### Kabelausbau

Um einen wirtschaftlichen Betrieb der Pumpe sicherzustellen, sollte der Spannungsabfall gering gehalten werden.

Bei großen Wasserwerken wird heute das Kabel für einen maximalen Spannungsabfall von 1% ausgelegt.

Der Reibungswiderstand in der Druckleitung sollte so gering wie möglich sein.

Leistungskennlinien



## Unterwassermotoren 1 x 230 V

Elektrische Daten											Abmessungen			
Motordaten			Volllaststrom $I_n$ [A]	Motorwirkungsgrad [%]			Leistungsfaktor			$I_{Anlauf}$	Schaltgerät für 3-adrige Motoren	Kondensator für einphasige Motoren	Länge [mm]	Gewicht [kg]
Motortyp	Bau- größe	Leistung [kW]		$\eta_{50}$ %	$\eta_{75}$ %	$\eta_{100}$ %	$\cos \varphi$ 50 %	$\cos \varphi$ 75 %	$\cos \varphi$ 100 %					
MS 402	4"	0,37	3,95	48,0	54,0	57,0	0,58	0,68	0,77	3,4*	SA-SPM 2	16 $\mu$ F, 400 V, 50 Hz	256	6,8
MS 402	4"	0,55	5,80	49,5	56,5	59,5	0,52	0,65	0,74	3,5*	SA-SPM 2	20 $\mu$ F, 400 V, 50 Hz	291	8,2
MS 402	4"	0,75	7,45	52,0	58,0	60,0	0,57	0,69	0,79	3,6*	SA-SPM 2	30 $\mu$ F, 400 V, 50 Hz	306	8,9
MS 402	4"	1,1	7,30	62,0	69,5	72,5	0,99	0,99	0,99	4,3*	SA-SPM 3	40 $\mu$ F, 400 V, 50 Hz	346	10,5
MS 402	4"	1,5	10,2	56,5	66,5	71,0	0,91	0,96	0,98	3,9	SA-SPM 3	-	346	11,0
MS 4000 (R)	4"	2,2	14,0	67,0	73,0	75,0	0,91	0,94	0,96	4,4	SA-SPM 3	-	576	21,0

\* Gilt für 3-adrige Motoren.

2-adrige Motoren vom Typ MS 402 verfügen über einen integrierten Motorschutz und können deshalb direkt an das Stromnetz angeschlossen werden.

## Unterwassermotoren, 3 x 230 V

Elektrische Daten										Abmessungen		
Motordaten			Volllaststrom $I_n$ [A]	Motorwirkungsgrad [%]			Leistungsfaktor			$I_{Anlauf}$	Länge [mm]	Gewicht [kg]
Motortyp	Bau- größe	Leistung [kW]		$\eta_{50}$ %	$\eta_{75}$ %	$\eta_{100}$ %	$\cos \varphi$ 50 %	$\cos \varphi$ 75 %	$\cos \varphi$ 100 %			
MS 402	4"	0,37	2,55	51,0	59,5	64,0	0,44	0,55	0,64	3,7	226	5,5
MS 402	4"	0,55	4,00	48,5	57,0	64,0	0,42	0,52	0,64	3,5	241	6,3
MS 402	4"	0,75	4,20	64,0	69,5	73,0	0,50	0,62	0,72	4,6	276	7,7
MS 4000R	4"	0,75	3,35	66,8	71,1	72,9	0,66	0,76	0,82	5,1	401	13,0
MS 402	4"	1,1	6,20	62,5	69,0	73,0	0,47	0,59	0,72	4,6	306	8,9
MS 4000R	4"	1,1	5,00	69,1	73,2	75,0	0,57	0,70	0,78	5,2	416	14,0
MS 402	4"	1,5	7,65	68,0	73,0	75,0	0,50	0,64	0,75	5,0	346	10,5
MS 4000R	4"	1,5	7,40	66,6	71,4	72,9	0,53	0,66	0,74	4,5	416	14,0
MS 402	4"	2,2	10,0	72,5	75,5	76,0	0,56	0,71	0,82	4,7	346	11,9
MS 4000 (R)	4"	2,2	11,6	64,5	70,8	73,3	0,44	0,58	0,69	4,2	456	16,0
MS 4000 (R)	4"	3,0	14,6	67,5	72,8	74,6	0,48	0,62	0,73	4,4	496	17,0
MS 4000 (R)	4"	4,0	17,6	73,9	77,4	77,9	0,52	0,67	0,77	4,9	576	21,0
MS 4000 (R)	4"	5,5	24,2	76,0	78,8	79,6	0,51	0,66	0,76	4,9	676	26,0
MS 6000 (R)	6"	5,5	24,8	77,0	79,0	80,0	0,51	0,64	0,73	4,5	544	35,5
MS 6000 (R)	6"	7,5	32,0	79,0	82,0	82,0	0,55	0,68	0,77	4,6	574	37,0
MS 6000 (R)	6"	9,2	39,5	77,0	80,0	80,0	0,56	0,70	0,78	4,8	604	42,5
MS 6000 (R)	6"	11	45,0	81,0	82,5	82,5	0,60	0,72	0,79	4,8	634	45,5
MS 6000 (R)	6"	13	54,5	81,0	82,5	82,5	0,58	0,71	0,78	4,8	664	48,5
MS 6000 (R)	6"	15	62,0	82,0	83,5	83,5	0,59	0,71	0,78	5,2	699	52,5
MS 6000 (R)	6"	18,5	76,5	82,5	84,5	84,0	0,56	0,69	0,77	5,3	754	58,0
MS 6000 (R)	6"	22	87,5	84,5	85,0	84,0	0,61	0,74	0,81	5,2	814	64,0
MS 6000 (R)	6"	26	104	83,5	84,0	83,5	0,61	0,73	0,81	5,0	874	69,5
MS 6000 (R)	6"	30	120	83,0	84,0	83,0	0,59	0,72	0,80	5,0	944	77,5

MS 402: Die Daten gelten für die Ausführung 3 x 220 V.



MOTOREN & STEUERUNGEN

GRUNDFOS

GRUNDFOS



## 5.1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER MOTORBAUARTEN

In diesem Kapitel werden ausschließlich die Unterwassermotoren und die Steuerungen für Unterwassermotoren beschrieben. Unterwassermotoren sind speziell für den Betrieb unter Wasser ausgelegt. Ansonsten ist das Funktionsprinzip identisch mit anderen Asynchronmotoren.

Alle Grundfos 4“-, 6“- und 8“-Unterwassermotoren sind nach NEMA-Norm ausgeführt.

Ein MS-Unterwassermotor besteht aus dem Motor und dem Motorkabel. Das Kabel ist über eine Steckverbindung mit dem Motor verbunden und speziell für Unterwasseranwendungen und die engen Platzverhältnisse rund um die Pumpe ausgelegt. Das Motorkabel wird mithilfe eines Kabelkupplungssatzes mit dem Unterwasserkabel oberhalb der Pumpe verbunden.

### Spaltrohrmotor

Bei einem Spaltrohrmotor, wie z. B. den Grundfos MS-Unterwassermotoren wird für die Wicklungen lackisolierter Kupferdraht verwendet. Die Wicklungen sind hermetisch von der Umgebung abgedichtet und mit eingebettetem Isoliermaterial gefüllt, um die Wicklungen zusammenzuhalten und gleichzeitig die Wärmeabfuhr zu verbessern. Die Motoren sind mit Gleitlagern ausgerüstet, die die Radiallast und den Axial Schub in beide Richtungen aufnehmen. Die Axial- und Gleitlager werden hydrodynamisch von der wasserbasierten Motorflüssigkeit geschmiert, in der die Lager laufen.

### Nassgewickelte (wiederwickelbare) Motoren

Für wiederwickelbare Motoren wird ein spezieller wasserbeständiger Draht verwendet. Auch die Verbindung zwischen den Wicklungen und dem Motorkabel sind wasserfest ausgeführt. Die Verbindung befindet sich im Motor, so dass keine Steckverbindung erforderlich ist.

### Ölgefüllte Motoren

Ein ölgefüllter Motor verfügt über imprägnierte Standardmotorwicklungen. Der Motor wird mit Transformatorenöl gefüllt, das zur Schmierung und Kühlung dient. Verwendet wird Mineralöl oder Pflanzenöl mit einem hohen Isolierwiderstand. Die Kabelverbindung befindet sich im Motor, während einige nassgewickelte Motoren auch eine Steckverbindung haben. Ölgefüllte Motoren sind mit Kugellagern ausgerüstet.

### Einphasenmotoren

Es gibt verschiedene Arten von Einphasenmotoren, die alle ihre Vor- und Nachteile haben. Die meisten Modelle benötigen einen Anlaufkondensator und weiteres Zubehör, das im Schaltgerät untergebracht ist. Das Schaltgerät dient zum Einschalten eines Motors, der für eine bestimmte Spannungsversorgung ausgelegt ist.

**Motoren mit Betriebskondensator (PSC-Motoren)**

Die einfach aufgebauten und zuverlässigen PSC-Motoren besitzen einen im Stromkreis integrierten Betriebskondensator. Bei der Größe des Betriebskondensators wird ein Kompromiss zwischen hohem Anlaufmoment und hohem Wirkungsgrad während des Betriebs eingegangen.

- Vorteile:**
- einfacher Aufbau
  - kostengünstig
  - zuverlässig
  - geräuscharm

- Nachteile:**
- geringes Anlaufmoment
  - niedriger Wirkungsgrad

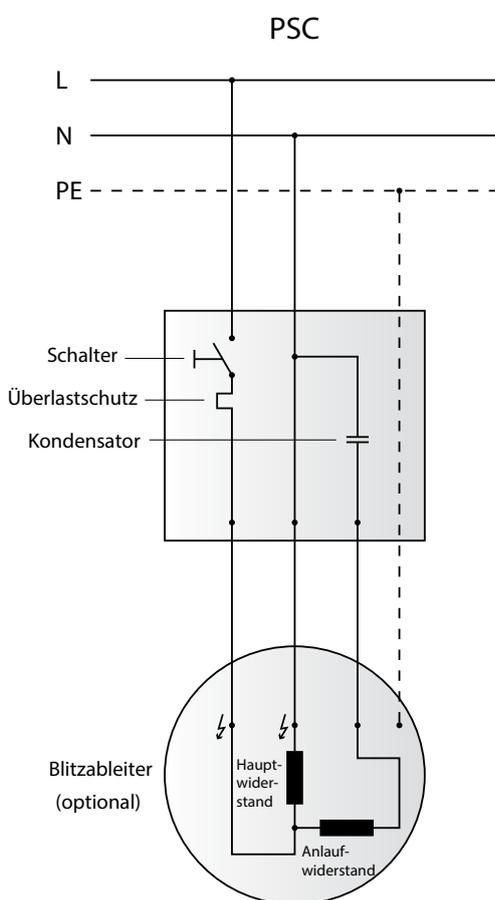


Abb. 26 Schaltbild eines Motors mit Betriebskondensator

**Motoren mit Anlaufkondensator (CSIR-Motoren)**

Der Anlaufkondensator erhöht das Drehmoment während des Anlaufs. Danach wird der Anlaufkondensator mithilfe eines Schalters vom Stromkreis getrennt. Der CSIR-Motor wird in der Regel für Motorleistungen kleiner 1,1 kW verwendet.

- Vorteile:**
- hohes Anlaufmoment.

- Nachteile:**
- hohe Geräuschentwicklung während des Betriebs, Relais zum Trennen des Anlaufkondensators erforderlich.

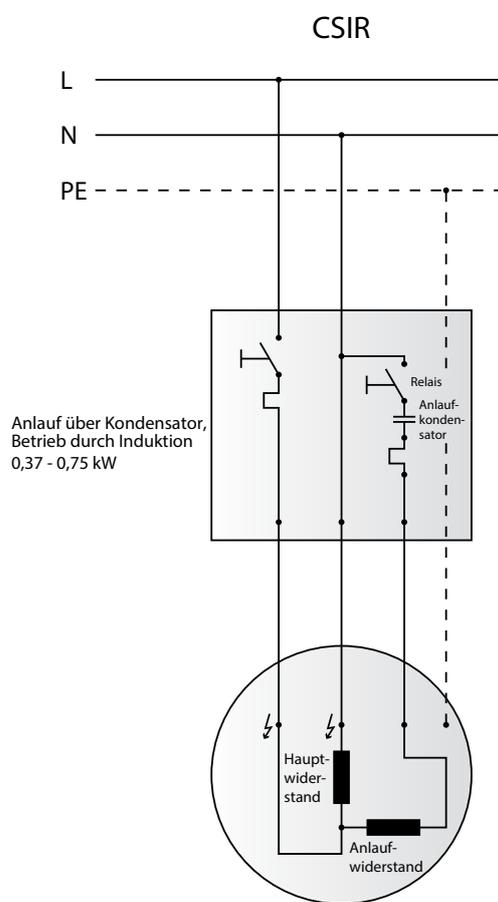


Abb. 27 Schaltbild eines Motors mit Anlaufkondensator



## Motoren mit Anlaufkondensator und Betriebskondensator (CSCR)

Dieser Motor hat sowohl einen Anlaufkondensator, um das Anlaufmoment zu erhöhen, als auch einen Betriebskondensator. Dadurch werden ein sanftes Anlaufen und ein hoher Wirkungsgrad ermöglicht. Der Motor vereint die Vorteile der beiden zuvor beschriebenen Einphasenmotoren.

**Vorteile:**

- hohes Anlaufmoment
- hoher Wirkungsgrad

**Nachteile:** - hoher Preis für den Klemmenkasten

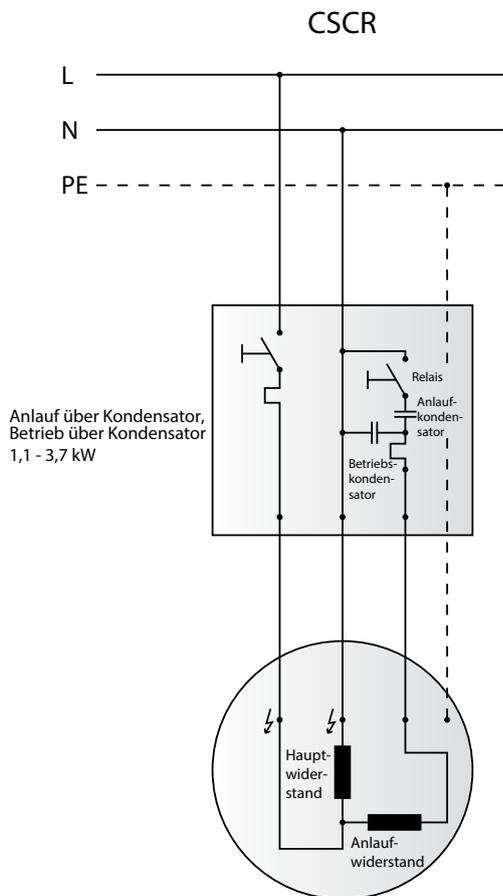


Abb. 28 Schaltbild eines Motors mit Anlaufkondensator und Betriebskondensator

## Motoren mit Widerstandshilfsphase (RSIR)

Bei diesem Motor ist ein Relais direkt in die Wicklungen eingebaut. Das Relais trennt den Anlaufstromkreis, sobald der Motor läuft.

**Vorteile:**

- keine Kondensatoren erforderlich
- einfach zu installieren

**Nachteile:**

- begrenztes Anlaufmoment
- nur für kleine Leistungen bis 1,1 kW

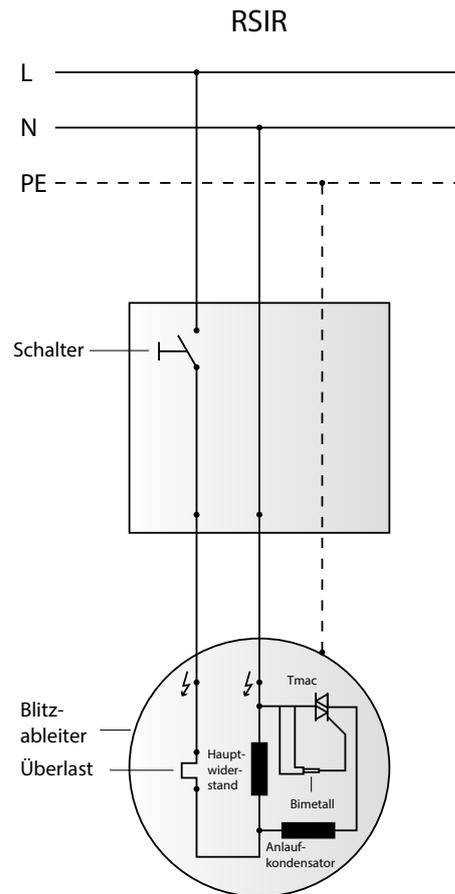


Abb. 29 Schaltbild eines Motors mit Widerstandshilfsphase

## Begriff der 2-adrigen und 3-adrigen Motoren

Der Begriff bezieht sich auf die für die Installation erforderliche Anzahl an Leitern ohne den Schutzleiter. 2-adrige Motoren werden von drei Leitern versorgt: Phase, Neutralleiter und Schutzleiter. Die Versorgung des 3-adrigen Motors erfolgt über vier Leiter: Phase, Neutralleiter, Verbindungspunkt zwischen der Anlauf- und der Betriebswicklung im Motor und Schutzleiter.

**2-adrige Motoren:**

- Motoren mit in die Wicklungen eingebauten Betriebskondensator (PSC)
- Motoren mit Widerstandshilfsphase (RSIR).

**3-adrige Motoren:**

- Motoren mit Betriebskondensator (PSC), wenn am Boden des Schaltkastens ein Kondensator installiert ist
- Motoren mit Anlaufkondensator (CSIR)
- Motoren mit Anlaufkondensator und Betriebskondensator (CSCR).

**Reduzierung der Motorleistung**

Eine Reduzierung der Motorleistung ist notwendig, wenn besondere Anforderungen gestellt werden. Dazu gehören z. B. hohe Wassertemperaturen, Spannungen außerhalb des zulässigen Toleranzbereiches oder Spannungsasymmetrien. Alle diese Faktoren belasten die Motorwicklungen mehr als zulässig.

Die einfachste Lösung, um in diesen Fällen dennoch die erforderliche Förderleistung zu erreichen, ist der Einsatz eines überdimensionierten Motors. In der Regel wird ein um maximal zwei Leistungsstufen größerer Motor bezogen auf die erforderliche Leistung gewählt. Das Ergebnis ist eine höhere Lebensdauer. Jedoch ist der Wirkungsgrad nicht optimal, weil der Motor nie an seinem optimalen Betriebspunkt läuft. Der Leistungsfaktor ist wegen des Teillastbetriebs in der Regel gering.

Eine bessere Lösung ist der Einsatz eines speziell gewickelten Motors mit größerem Lamellenpaket. Dank der größeren Oberfläche besitzt der Motor bessere Kühleigenschaften und elektrische Daten. Die Motoren sind für höhere Temperaturen, einen größeren Spannungsbereich, usw. ausgelegt. Der Wirkungsgrad ist gleich oder höher als der Wirkungsgrad eines Standardmotors.

**5.2 MOTORKABEL, UNTERWASSERKABEL UND KABELKUPPLUNGEN**

Die Unterwasserpumpen, Unterwassermotoren, die Motorkabel und die Kupplungen zwischen Motorkabel und Unterwasserkabel sind speziell für den Einsatz unter Wasser ausgelegt. Ist das Motorkabel aus irgendwelchen Gründen nicht vollständig eingetaucht, muss auf jeden Fall die Strombelastbarkeit geprüft werden. Siehe auch das Kapitel 7.5.

Somit steht bei dem Motorkabel, der Kabelkupplung und dem eingetauchten Teil des Unterwasserkabels eine relativ große Oberfläche in Kontakt mit dem Fördermedium. Deshalb ist es besonders wichtig, die richtige Werkstoffwahl für die jeweilige Installation zu treffen. Außerdem sind die Anforderungen der örtlichen Trinkwasserzulassungen zu beachten.

**5.3 MOTORSCHUTZGERÄTE**

Für Unterwasserpumpen können dieselben Motorschutzgeräte wie für trocken aufgestellte Pumpen verwendet werden. Der Motorschutz dient vor allem dazu, Kurzschlussströme zu begrenzen, die Motoren gegen Kurzschluss abzusichern und vor Phasenfehlern sowie Überlast zu schützen.

Die meisten Einphasenmotoren haben einen eingebauten Temperaturschutz. Ist der Temperaturschutz nicht in den Wicklungen integriert, muss er im Schaltkasten vorgesehen werden. Der Temperaturschutz kann entweder automatisch oder manuell zurückgesetzt werden. Er ist speziell auf die Wicklungseigenschaften des Motors ausgelegt.

Pt100- und Pt1000-Temperaturfühler sind lineare Widerstände. In Verbindung mit einem Standard-Sensorgerät können sie die Temperaturentwicklung über einen bestimmten Zeitraum anzeigen. Bei Motoren mit Spaltrohrtopf ist das Sensorgerät in der Bohrung für die Stehbolzen untergebracht. Bei den nassgewickelten Ausführungen ist das Sensorgerät in der Motorflüssigkeit angeordnet.



PTC- und NTC-Widerstände werden nur selten in Unterwasserinstallationen eingesetzt, weil sie nicht schnell genug reagieren und zu unzuverlässig sind, um den Unterwassermotor zu schützen.

Grundfos bietet einen speziellen Temperaturfühler mit der Bezeichnung Tempcon an. Es handelt sich um einen NTC-Widerstand, der in der Nähe der Wicklungen installiert ist und die Temperatur misst. Die Temperatur wird in ein Hochfrequenzsignal umgewandelt und die Daten werden dann über das Stromnetz übertragen. Im Bedienfeld des MP 204 kann das Signal mithilfe eines Signalwandlers verarbeitet und als Temperatur angezeigt werden. Das MP 204 ist ein modernes Motorschutzgerät, das den Unterwassermotor vor Netzstörungen schützt.

## 5.4 REDUZIERUNG DES ANLAUFSTROMS

Der Grund für das Reduzieren des Anlaufstroms ist der Schutz anderer Geräte vor Leistungsspitzen in Verbindung mit hohen Stromlasten. Dadurch werden gleichzeitig die Rohrleitungen vor Druckstößen geschützt. Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Auswirkungen eines hohen Anlaufstroms auf das Netz zu begrenzen, die jedoch nicht alle auf Pumpen anwendbar sind. Nachfolgend werden verschiedene Verfahren zur Reduzierung des Anlaufstroms sowie der Frequenzumrichterbetrieb von Unterwasserpumpen vorgestellt.

Die folgenden Informationen gelten für Radialrad- und Halbradialradpumpen einschließlich der Grundfos SP-Pumpen. Axialradpumpen werden hier jedoch nicht berücksichtigt.

Da der Anlaufstrom eines Pumpenmotors häufig 4 bis 7 mal höher als der Vollaststrom ist, sind das Versorgungsnetz und der Motor kurzzeitig einer hohen Belastung ausgesetzt. Zum Schutz des Versorgungsnetzes existieren in vielen Ländern Vorschriften zur Reduzierung des Anlaufstroms. In der Regel wird eine maximale Last in kW oder in Ampere vorgegeben, bis zu der ein Direktanlauf zulässig ist. Die maximal zulässige Last variiert von Land zu Land, sodass auf die örtlichen Vorschriften geachtet werden muss. In einigen Fällen sind nur spezielle Verfahren zur Reduzierung des Anlaufstroms erlaubt.

Nachfolgend werden diese Verfahren beschrieben:

- DOL - Direktanlauf
- SD - Stern-Dreieck-Anlauf
- AT - Anlasstransformator
- AW - Anlasswiderstand
- SA - Sanftanlauf
- FU - Frequenzumrichter.

Vor der Auswahl des passenden Verfahrens sind die Anwendung, die Anforderungen und die örtlichen Vorschriften zu berücksichtigen.

Einschaltart	Reduzierter Anlaufstrom	Preis	Preis-Leistungs-Verhältnis	Platzbedarf	benutzerfreundlich	zuverlässig	Reduzierung von Druckstößen		Strom-einsparung im Betrieb
							mechanisch	hydraulisch	
DOL	nein	niedrig	OK	gering	ja	ja	nein	nein	nein
SD unter 45 kW über 45 kW	nein ja	niedrig niedrig	schlecht OK	gering gering	ja ja	ja ja	nein	nein nein	nein nein
AT	ja	mittel	OK	mittel	ja/nein	ja	ja/nein	nein	nein
AW									
SA	ja	mittel	OK	mittel	ja/nein	ja/nein	ja	nein	ja/nein
FU	ja	hoch	OK	mittel/hoch	ja/nein	ja/nein	ja	ja/nein	ja/nein

### 5.4.1 Direktanlauf (DOL)

Beim Direktanlauf ist der Motor über einen Schaltschütz oder ähnlichem direkt mit dem Versorgungsnetz verbunden. Bei gleichen Voraussetzungen ist der Direktanlauf die Einschaltart mit der geringsten Wärmeentwicklung im Motor und somit für Motorleistungen bis 45 kW das beste Verfahren im Hinblick auf die Lebensdauer. Bei Motoren mit höherer Leistung sind die mechanischen Belastungen jedoch so groß, dass eine Reduzierung des Anlaufstroms empfohlen wird. Auch wenn beim Direktanlauf der Anlaufstrom am höchsten ist, sind die Auswirkungen auf das Netz gering.

Häufig werden die Unterwasserpumpen mit langen Kabeln an das Versorgungsnetz angeschlossen, sodass aufgrund der Kabelkapazität der Anlaufstrom bereits automatisch reduziert wird. Dies gilt beispielsweise für lange Kabel, die für einen Spannungsabfall von 5 % der Volllast ausgelegt sind. Das nachfolgende Diagramm verdeutlicht den Sachverhalt.

**Beispiel:**

x Betriebsstrom

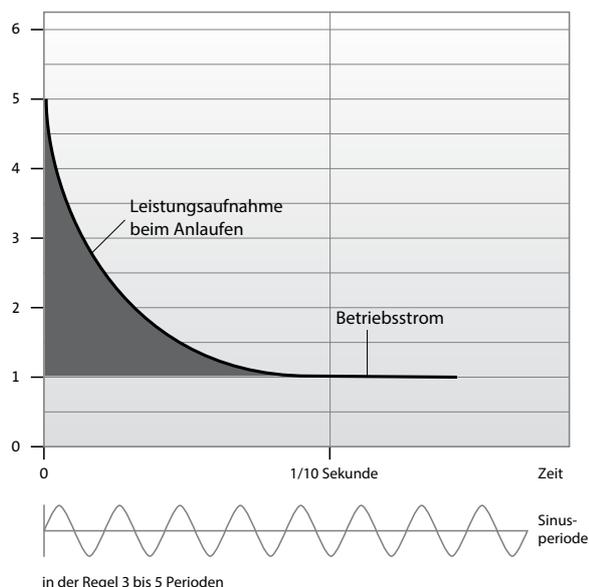


Abb. 30 Stromfluss beim Direktanlauf

### 5.4.2 Stern-Dreieck-Anlauf (SD)

Die gebräuchlichste Methode zur Reduzierung des Anlaufstroms ist der Stern/Dreieck-Anlauf. Während der Anlaufphase läuft der Motor mit der Sternschaltung. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit erfolgt die Umschaltung auf die Dreieckschaltung. Beim Hochfahren in Sternschaltung wird die Spannung an den Motorklemmen auf 58 % der Anlaufnennspannung reduziert. Diese Einschaltart ist relativ kostengünstig, einfach zu realisieren und zuverlässig - und wird deshalb häufig angewendet.

x Betriebsstrom

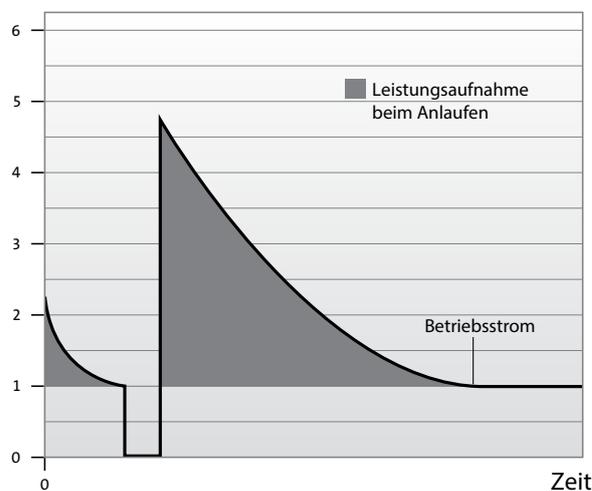


Abb. 31 Stromfluss beim Stern-Dreieck-Anlauf

Für Unterwasserpumpen sowie allgemein für alle Pumpen mit einem geringen Trägheitsmoment ist der Stern-Dreieck-Anlauf nicht zu empfehlen, weil die Drehzahl beim Umschalten von der Sternschaltung auf die Dreieckschaltung sehr stark absinkt. Eine Unterwasserpumpe benötigt für das Hochfahren von 0 auf 2.900 U/min nur drei Zyklen (0,06 s). Das bedeutet jedoch auch, dass die Pumpe sofort stehen bleibt, wenn der Stromfluss beim Umschalten unterbrochen wird.

Ein Blick auf die Diagramme zeigt bei der Stern-Dreieck-Schaltung anfänglich eine deutliche Reduzierung des Anlaufstroms im Vergleich zum Direktanlauf. Beim Umschalten von Sternschaltung auf Dreieckschaltung wird die Drehzahl jedoch fast bis zum Stillstand heruntergefahren. Anschließend ist ein Hochfahren bei Direktschaltung erforderlich, sodass im gesamten Geschehen keine nennenswerte Reduktion des Anlaufstroms zu verzeichnen ist.



Anders verhält es sich bei Kreiselpumpen mit größerem Laufraddurchmesser und größerer Masse, weil sie ein höheres Trägheitsmoment besitzen. Zu beachten ist jedoch, dass ein zu langer Betrieb mit Sternschaltung zu einer hohen Motorerwärmung führt, sodass die Lebensdauer herabgesetzt wird.

Unterwasserinstallationen mit Stern-Dreieck-Anlauf sind häufig teurer als vergleichbare Installationen, weil für die Stromversorgung des Motors zwei Kabel (6 Leiter) anstelle von normalerweise einem Kabel (3 Leiter) erforderlich sind. Der Motor muss zudem zwei Anschlussbuchsen besitzen, sodass diese Lösung ca. 5 % teurer als herkömmliche Motoren mit einer Anschlussbuchse ist.

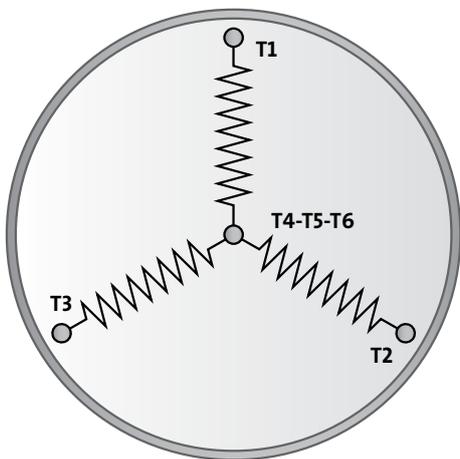


Abb. 32 Sternschaltung beim Anlaufen

Wie in Abb. 33 gezeigt, schaltet der Starter nach einer vorgegebenen Zeit die Wicklungen auf Dreieckbetrieb um.

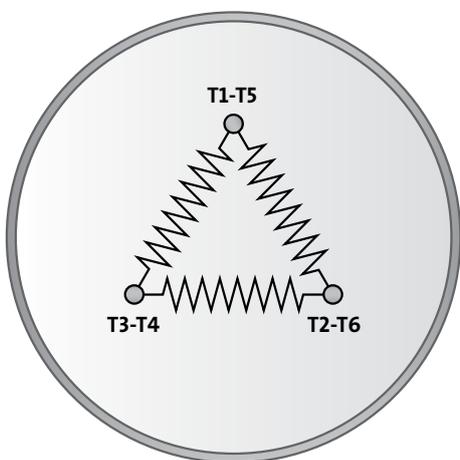


Abb. 33 Dreieckschaltung des Motors

### 5.4.3 Anlasstransformator (AT)

Bei dieser Einschaltart wird die Spannung durch Anlasstransformatoren reduziert. Das Verfahren wird auch als Korndorf-Methode bezeichnet.

x Betriebsstrom

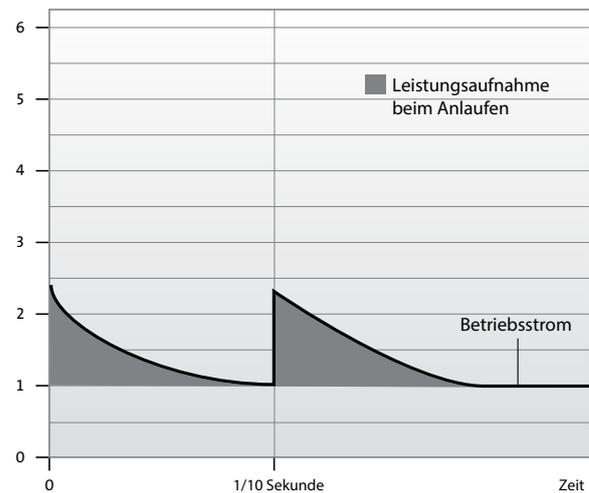


Abb. 34 Stromfluss beim Anlaufen mit Anlasstransformator

Während der Anlaufphase wird der Motor zunächst mit einer reduzierten und dann mit der vollen Spannung versorgt. Beim Umschalten sind Teile des Anlasstransformators als Drosselspule geschaltet. Das bedeutet, dass der Motor die ganze Zeit mit dem Netz verbunden ist und die Motordrehzahl nicht reduziert wird. Die Stromaufnahme während des Anlaufens zeigt Abb. 34.

Anlasstransformatoren sind relativ teuer, aber auch sehr zuverlässig. Der Anlaufstrom hängt von der Motor- und Pumpencharakteristik ab und kann von Typ zu Typ erheblich variieren.

Der Anlasstransformator darf nicht länger als 3 Sekunden zugeschaltet sein.

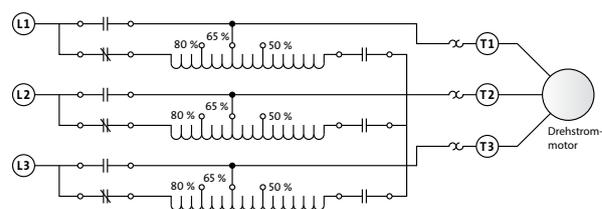


Abb. 35 Typischer Schaltplan eines Anlasstransformators

### 5.4.4 Anlasswiderstand (AW)

Bei dieser Einschaltart wird die Spannung mithilfe von Widerständen reduziert, die jeweils in Reihe mit jeder Motorphase geschaltet sind. Dadurch wird der Widerstand während des Anlaufens erhöht und somit der Anlaufstrom begrenzt. Ein korrekt dimensionierter Anlasswiderstand reduziert die Anlaufspannung an den Motorklemmen auf ca. 70 % der Netzspannung.

Der Anlasswiderstand wird über ein Zeitglied abgeschaltet, das einen entsprechenden Kontakt aktiviert. Auf diese Weise liegt die reduzierte Spannung nur eine bestimmte Zeit an und der Motor wird die gesamte Zeit mit Spannung beaufschlagt.

Die Widerstände dürfen niemals länger als 3 Sekunden zugeschaltet sein, weil dadurch das Anlaufmoment reduziert und somit die Wicklungstemperatur erhöht wird.

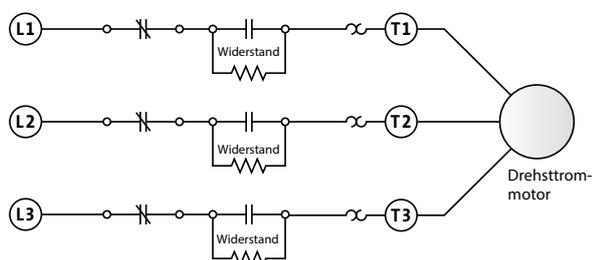


Abb. 36 Typischer Schaltplan eines Anlaufwiderstands

### 5.4.5 Sanftanlauf (SA)

Ein Sanftanlasser ist ein elektronisches Gerät, das die Spannung und damit den Anlaufstrom mithilfe der Phasenanschnittsteuerung reduziert. Die Elektronikeinheit besteht aus einem Reglerteil, in dem die verschiedenen Betriebs- und Schutzparameter eingestellt werden, und einem Leistungsteil mit Triacs.

Der Anlaufstrom wird in der Regel auf das 2- bis 3-fache des Betriebsstroms begrenzt.

Drehmoment

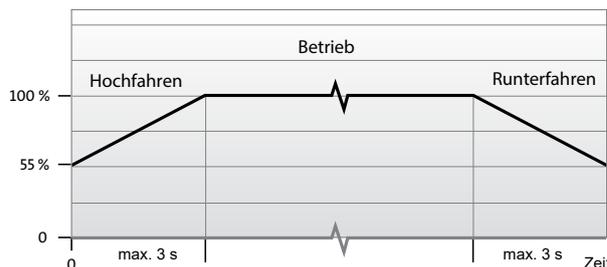


Abb. 37 Empfohlene Hoch- und Runterfahrzeit, max. 3 s

x Betriebsstrom

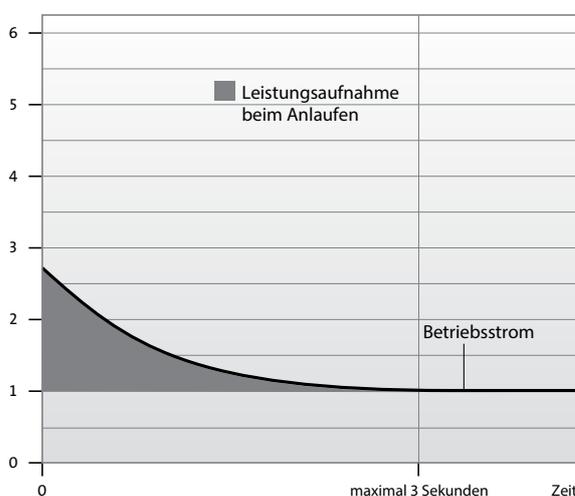


Abb. 38 Stromfluss beim Sanftanlauf

Bei ansonsten gleichbleibenden Parametern ergibt sich auch bei diesem Verfahren ein reduziertes Anlaufmoment. Durch den verzögerten Anlauf kann es zu einer erhöhten Wärmeentwicklung im Motor kommen, die zu einer Herabsetzung der Lebensdauer führen kann. Bei den kurzen Beschleunigungs-/Verzögerungszeiten von z. B. 3 Sekunden ist dies jedoch in der Praxis nicht von Bedeutung. Dasselbe gilt für den Stern-Dreieck-Anlauf und den Anlasstransformator. Deshalb wird empfohlen, für den Sanftanlauf die im Diagramm aufgeführten Beschleunigungs-/Verzögerungszeiten einzuhalten. In der Regel ist es für die Grundfos Pumpen nicht erforderlich, die Anlaufspannung über 55 % anzuheben. Wird jedoch ein besonders hohes Anlaufmoment benötigt, muss die Anlaufspannung eventuell entsprechend erhöht werden.

Ein Sanftanlasser liefert einen nicht sinusförmigen Strom und erzeugt ein bestimmtes Maß an



Oberwellen. In Verbindung mit sehr kurzen Beschleunigungs-/Verzögerungszeiten ist dies in der Praxis (und für die Vorschriften hinsichtlich der Oberwellen) jedoch nicht relevant, weil die in den Vorschriften vorgegebenen Grenzwerte nicht überschritten werden. Die neue Generation der Sanftanlasser ist mit einer programmierbaren Startrampenfunktion ausgerüstet, mit deren Hilfe der Anlaufstrom weiter reduziert oder hohe Trägheitslasten über eine Rampe langsam beschleunigt werden können. Bei Verwendung derartiger Sanftanlasser sollten Rampenzeiten von maximal 3 Sekunden eingestellt werden. Werden andere Rampenzeiten benötigt, wird der Einsatz eines Frequenzumrichters empfohlen.

Generell wird empfohlen, den Sanftanlasser zusammen mit einem Bypass-Schütz zu installieren, sodass der Motor während des Betriebs in der Direktschaltung läuft. Auf diese Weise werden die Abnutzung und der Leistungsverlust im Sanftanlasser während des Betriebs minimiert. Bei Grundfos Motoren mit Temperaturfühlern kann die Temperatur ausgelesen werden, wenn der Sanftanlasser über ein Bypass-Schütz verfügt.

Sanftanlasser dürfen nur in Verbindung mit dreiphasigen Unterwassermotoren verwendet werden.

Die Anlaufzeit mit reduzierter Spannung sollte auf maximal 3 Sekunden begrenzt werden.

### 5.4.6 Frequenzumrichter (drehzahl geregelter Antrieb)

Frequenzumrichter sind die optimale Lösung, um die Förderleistung durch Regeln der Motordrehzahl an den erforderlichen Betriebspunkt anzupassen und damit die Effizienz der Pumpe zu erhöhen und Strom einzusparen. Gleichzeitig ist die Verwendung eines Frequenzumrichters die beste Möglichkeit, um den Anlaufstrom und Druckstöße zu reduzieren.

**Hinweis:** Eine niedrige Frequenz sorgt für ein langsames Drehen des Laufrades und somit für eine Reduzierung der Förderleistung.

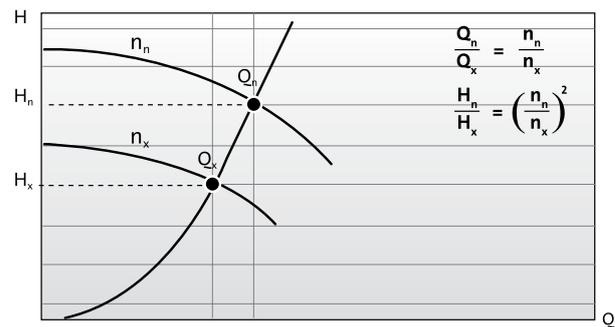


Abb. 39 Förderleistung bei unterschiedlichen Frequenzen

x Betriebsstrom

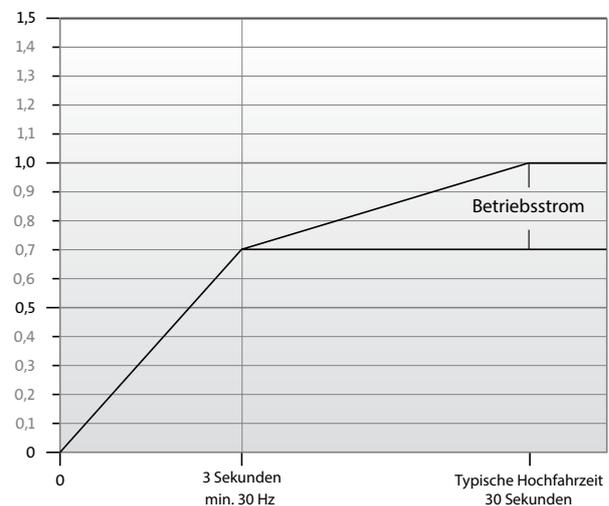


Abb. 40 Stromfluss beim Anlaufen mit Frequenzumrichter

Die Verwendung eines Frequenzumrichters ist das teuerste der oben beschriebenen Anlaufverfahren. Frequenzumrichter werden deshalb nur eingesetzt, wenn eine variable Förderleistung erforderlich ist.

Es gibt mehrere Arten von Frequenzumrichtern mit unterschiedlichen Eigenschaften, die auf dem Markt angeboten werden. Nachfolgend finden Sie eine kurze Übersicht:

- Der einfachste Frequenzumrichter basiert auf einer Spannung-Frequenz-Kurve. Er wird deshalb auch als U/F- oder V/F-Umrichter bezeichnet. Dieser Frequenzumrichter berechnet die aktuelle Ausgangsspannung aus der Frequenz, ohne die aktuelle Belastung zu berücksichtigen. Zur Anpassung an die Anwendung können

verschiedene U/F- oder V/F-Kurven ausgewählt werden. Die Pumpen nutzen in der Regel eine variable Drehmomentkurve. Diese Art der Frequenzumrichter sind die kostengünstigsten und werden häufig eingesetzt.

- Die nächste Variante ist der vektorgesteuerte Frequenzumrichter, der ein Modell des Motors verwendet, um die Ausgangsspannung auf Basis verschiedener Parameter einschließlich der aktuellen Belastung zu berechnen. Dadurch lässt sich die Wellenleistung z. B. im Hinblick auf die Drehzahl- und Drehmomentgenauigkeit besser regeln. Diese Frequenzumrichterart ist teurer als die U/F-basierten Frequenzumrichter und werden in der Regel in Industrieanwendungen, aber auch in Anlagen mit häufig auftretenden Unsicherheiten in der Spannungsversorgung eingesetzt. Durch die präzise Art der Wellenansteuerung werden die Probleme, die durch einen instabilen Pumpenbetrieb entstehen, in der Regel beseitigt. Die vektorgesteuerten Frequenzumrichter besitzen gewöhnlich einen höheren Wirkungsgrad oder verfügen über eine automatische Funktion zur Stromverbrauchsoptimierung.

Der Ausgang eines Frequenzumrichters kann auf zwei verschiedene Arten realisiert werden: entweder mit 6 oder 12 Transistoren. Die Bezeichnung lautet dann 6-Puls- oder 12-Puls-Umrichter. Am häufigsten werden sechs Transistoren verwendet, weil dies der einfachste und kostengünstigste Weg ist, eine Ausgangsstufe zu erzeugen. Um die Belastung der Motorisolation zu reduzieren und das Regelverhalten zu verbessern, wurde zusätzlich die Ausgangsstufe mit 12 Transistoren entwickelt. Der Betrieb mit 12 Transistoren wird in der Regel mit modernen Steuerungen kombiniert, die auf Axialfluxmotoren basieren. Zu den Vorteilen der 12-Transistor-Lösung gehören in der Regel das bessere Regelverhalten bei niedrigen Drehzahlen und eine geringere Belastung des Motors. Ein 12-Puls-Frequenzumrichter ist aber mit die teuerste Variante.

Das wichtigste Kriterium bei der Auswahl eines Frequenzumrichters für eine Pumpe ist der Volllaststrom einschließlich Überlastfaktor. Dabei sollte der ausgewählte Frequenzumrichter jederzeit den erforderlichen Strom liefern können. Benötigt der Motor z. B. 9,7 A ist ein Frequenzumrichter mit einem Ausgangsstrom von 9,7 A oder höher zu wählen.

## 5.5 FREQUENZUMRICHTERBETRIEB

Beim Betrieb eines Unterwassermotors über einen Frequenzumrichter sind einige Punkte zu beachten, von denen mehrere nachfolgend aufgeführt sind.

- 1a. Der Frequenzumrichter muss irgendeine Art von Ausgangsfilter haben, um die Spitzenspannung ( $U_{max}$ ) zu begrenzen und den  $dU/dt$ -Wert (oder  $dV/dt$ -Wert) zu reduzieren, der die Isolierung des Unterwassermotors belastet. Die maximale Spannung ( $U_{max}$ ) sollte auf weniger als 850V (außer MS 402) und der  $dU/dt$ -Wert entsprechend der nachfolgenden Tabelle begrenzt werden.

Maximale Spitzenspannung und maximaler dU/dt-Wert von Grundfos Unterwassermotoren		
Motorbaureihe	Spitzenspannung $U_{max}$	Max. dU/dt
MS402	650 V zwischen Phase - Phase	2000 V/ $\mu$ s
MS4000	850 V zwischen Phase - Phase	2000 V/ $\mu$ s
MS6/MS6000	850 V zwischen Phase - Phase	2000 V/ $\mu$ s
MMS6/MMS6000	850 V zwischen Phase - Erde	500 V/ $\mu$ s
MMS8000	850 V zwischen Phase - Erde	500 V/ $\mu$ s
MMS10000	850 V zwischen Phase - Erde	500 V/ $\mu$ s
MMS12000	850 V zwischen Phase - Erde	500 V/ $\mu$ s

In der Regel werden für Frequenzumrichter LC-Filter (auch als Sinusfilter bezeichnet) oder RC-Filter verwendet. Die Angaben zu  $U_{max}$  und  $dU/dt$  erhalten Sie vom Hersteller des Frequenzumrichters, siehe Kapitel 5.6. Auch bei der Verwendung von langen Kabeln in Verbindung mit Frequenzumrichtern sind in der Regel Ausgangsfilter erforderlich. Die Werte für  $U_{max}$  und  $dU/dt$  sind an den Motorklemmen zu messen. Die zulässigen Werte für  $dU/dt$  sind in der vorherigen Tabelle aufgeführt.

- 1b. Frequenzumrichter sind in der Regel für Industrieumgebungen ausgelegt. Wird ein Frequenzumrichter in Wohnbereichen eingesetzt, muss eventuell ein Eingangsfilter installiert werden, um zu verhindern, dass vom Frequenzumrichter ausgehende elektrische Störungen andere Geräte in ihrer Funktion beeinträchtigen. In der Regel stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl:

- Kein Filter  
(nur für Industrieanwendungen, bei denen die Störaussendung anderweitig gefiltert wird)
- Filter für Industrieanwendungen
- Filter für Wohnbereiche.

Die Anforderungen für Wohnbereiche können entweder durch einen Zusatzfilter für Industrieanwendungen oder durch einen eigenständigen Filter erfüllt werden.

Damit das CE-Kennzeichen seine Gültigkeit behält, müssen die in der Betriebsanleitung des Frequenzumrichters aufgeführten Vorgaben eingehalten werden. Ansonsten verliert das CE-Zeichen seine Gültigkeit.

2. Die Strömungsgeschwindigkeit entlang des Motors muss mindestens 0,15 m/s betragen. Ist die durch die Förderung erzeugte Strömung zu gering, muss der Motor in einem Kühlmantel installiert werden.
3. Bei der Regelung von Unterwasserpumpen, die in offenen Systemen mit hoher statischer Förderhöhe eingesetzt werden, ändert sich die Stromaufnahme nur geringfügig. Das bedeutet, dass eine Reduzierung der Förderleistung zu einer höheren Wärmeentwicklung im Motor führt, sodass eine Herabsetzung der Motorlebensdauer zu erwarten ist. Deshalb wird empfohlen für den Frequenzumrichterbetrieb einen Motor zu verwenden, der eine gewisse Leistungsreserve besitzt, wie z. B. einen Industriemotor T60 oder einen Standardmotor mit einer höheren Leistung.
4. Zulässige Motorfrequenz:
  - mindestens: 30 Hz
  - maximal: 60 Hz.
5. Durch die Verwendung eines Frequenzumrichters wird das Grundfos Tempcon-System im MS-Motor deaktiviert, weil die Elektronik durch das Auslösen einer Sicherung vom Netz getrennt wird. Dieser Vorgang kann nicht rückgängig gemacht werden. Zudem ist es nicht möglich, ein MP 204 in Verbindung mit Frequenzumrichtern einzusetzen. Die Temperatur kann jedoch mithilfe von Pt100- oder Pt1000-Fühlern überwacht werden, die an



Abb. 41  
CUE-Familie

den Unterwassermotor angeschlossen werden. Bei den Motoren MS, MMS6 und MMS8000 sind die Fühler in einem Stehbolzen, der direkt ins Fördermedium eintaucht, und bei den Motoren MMS10000 und MMS12000 in einem Eintauchrohr angeordnet. Das Signal kann mithilfe von Standard-Messrelais oder direkt im Frequenzumrichter verarbeitet werden. Dazu sind zusätzliche Kabel erforderlich.

Werden die oben aufgeführten Punkte berücksichtigt, erreicht der Motor eine entsprechend hohe Lebensdauer.

Da ein Betrieb über externe Frequenzumrichter zu Leistungsverlusten führt und Störimpulse zum Motor weitergeleitet werden, wird

- im Motor mehr Wärme im Vergleich zum direkten Anschluss an das Versorgungsnetz erzeugt.
- der Motorwirkungsgrad reduziert.
- die Leistungsaufnahme des Motors erhöht.

Deshalb sollten grundsätzlich Industriemotoren T60 eingesetzt werden, weil bei diesen Motoren die genannten Nachteile ausgeglichen werden.

Im Hinblick auf einen wirtschaftlichen Betrieb ist Folgendes zu beachten:

- Eine Frequenzregelung von in Tiefbrunnen installierten Unterwasserpumpen führt in der Regel nicht zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.
- Bei einer Frequenzregelung kann jedoch eventuell auf große Behälter verzichtet und der dafür erforderliche Platz eingespart werden.
- Durch die Frequenzregelung von Rohwasserpumpen werden die Druckstöße in den Rohrleitungen und die Schwankungen des Wasserspiegels im Brunnen beim Ein- und Ausschalten reduziert.

Ist jedoch eine Regelung erforderlich, um z. B. den Druck oder den Wasserspiegel im Brunnen konstant zu halten, können Verbesserungen durch den Einsatz eines Frequenzumrichters erreicht werden. Denn Frequenzumrichter besitzen einige logische Ein- und Ausgänge und sind in der Regel mit einem PID-Regler ausgerüstet, um eine Regelung zu ermöglichen. In vielen Fällen kann auf zusätzliche Ausrüstung verzichtet werden, wenn Frequenzumrichter für das sanfte Anlaufen und als Teil der Steuerung verwendet werden. Zudem wird die Wirtschaftlichkeit insgesamt verbessert.

Häufig geben die Hersteller von Frequenzumrichtern nützliche Tipps, wie die Regelung optimiert werden kann. Ein falsch programmierter Regler kann jedoch zu einem instabilen Betrieb und einem zu hohen Anlagendruck führen. Dabei ist zu beachten, dass das Hochfahren auf die Mindestfrequenz von 30 Hz nicht länger als 3 Sekunden dauern darf.

## 5.6 CUE-FREQUENZUMRICHTER FÜR SP-PUMPEN

Der CUE ist ein Grundfos Frequenzumrichter mit einer logischen Schnittstelle, um das Einrichten und den Betrieb zu erleichtern. Mithilfe eines CUE-Frequenzumrichters kann die Förderleistung durch Ändern der Frequenz geregelt werden. Bei entsprechender Programmierung ist zudem ein sanftes Anlaufen und Abschalten der Pumpe möglich, um so Schäden an der Druckleitung und am gesamten Rohrnetz zu vermeiden. Gleichzeitig wird die Belastung durch Wasserschlag reduziert. Auch

werden die Kosten für die Installation von Ventilen und Regeleinrichtungen minimiert.

Ein Betrieb unter 30 Hz ist maximal für 3 Sekunden zulässig. Über 30 Hz gibt es keine zeitliche Beschränkung für den Betrieb. Dies ist auch beim Hoch- und Runterfahren zu beachten. Die maximale Frequenz beträgt 60 Hz. Da sich Unterwassermotoren häufig von Normmotoren unterscheiden, werden zum Einrichten des CUE immer Stromdaten und keine Leistungsdaten verwendet.

### Funktionen

Der CUE-Frequenzumrichter ermöglicht die Regelung folgender Parameter:

- Konstantdruck
- Konstantes Niveau
- Konstanter Volumenstrom
- Konstante Temperatur
- Konstante Kennlinie.

### Stromkabel

Stromkabel für Unterwasserpumpen sind nicht in abgeschirmter Ausführung lieferbar, weil aufgrund der Verlegung unter Wasser in der Regel keine EMV-Probleme auftreten.

### Netzkabel

Auch das Netzkabel zur Versorgung des CUE-Frequenzumrichters ist nicht abgeschirmt. Das Kabel zwischen dem CUE und dem Ausgangsfilter hingegen ist abgeschirmt. Für die Verbindung zwischen Ausgangsfilter und Pumpenmotor werden in der Regel wieder nicht abgeschirmte Kabel verwendet. Abb. 42 und 43 zeigen mögliche Anschlussbeispiele. Wird das Kabel außerhalb des Brunnens in einer trockenen Umgebung verlegt, sollte ein abgeschirmtes Kabel verwendet werden, das am Brunnenkopf über eine Kupplung mit dem Unterwasserkabel verbunden wird. Abb. 42 zeigt, welche Kabel bei Verwendung eines CUE-Frequenzumrichters und eines Ausgangsfilters eingesetzt werden können. Im zweiten Beispiel erfolgt der Anschluss über einen Anschlusskasten am Brunnenkopf.

Weitere Informationen finden Sie im Grundfos Product Center unter [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com).

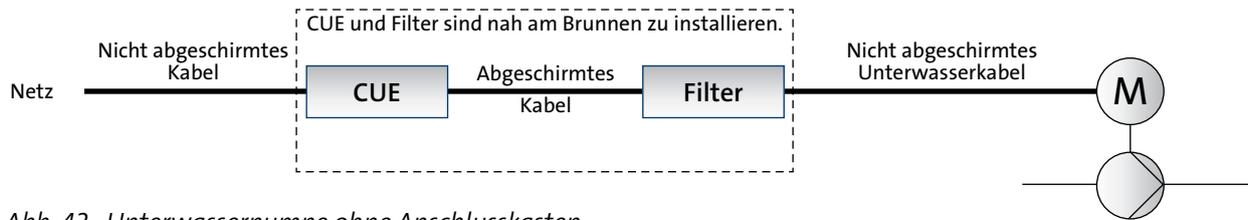


Abb. 42 Unterwasserpumpe ohne Anschlusskasten

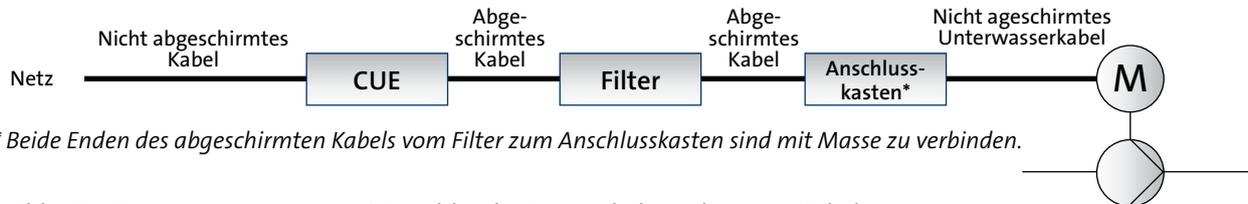


Abb. 43 Unterwasserpumpe mit Anschlusskasten und abgeschirmten Kabeln

### Auswählen des Ausgangsfilters

Die nachfolgende Abb. 44 zeigt, wie der passende Ausgangsfilter für die Installation ausgewählt wird.

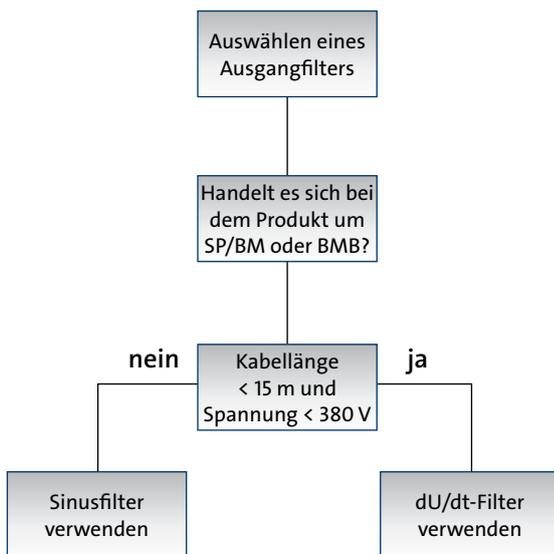


Abb. 44 Auswahlrichtlinien

dU/dt-Filter und Sinusfilter bestehen aus Spulen und Kondensatoren. Der Hauptunterschied liegt darin, dass die Spulen und Kondensatoren beim dU/dt-Filter kleiner als beim Sinusfilter ausgeführt sind.

Grundfos bietet eine komplette Baureihe an Ausgangsfiltern an, die in Verbindung mit CUE-Frequenzumrichtern eingesetzt werden können.

### Hinweise und Empfehlungen

- Hoch- und Runterfahren: maximal 3 Sekunden. So wird eine ausreichende Schmierung der Gleitlager sichergestellt, der Verschleiß begrenzt und das Durchbrennen der Wicklungen verhindert.
- Temperaturüberwachung mit Pt100 vorsehen (eventuell abgeschirmte Kabel erforderlich).
- Wärme zerstört den Motor  
=> niedriger Isolationswiderstand  
=> empfindlich gegenüber Spannungsspitzen.
- Empfehlungen zum Motor:
  - MS: Motoren mit einer Leistungsreserve von 10 % bezogen auf den Auslegungsbetriebspunkt verwenden.
  - MMS: immer PE2 – PA gewickelte Motoren verwenden.
- Ausgangsfilter installieren.
- Spannungsspitzen auf max. 800 V reduzieren.
- Grundfos empfiehlt den Einsatz von Danfoss Frequenzumrichtern in Verbindung mit einem Ausgangsfilter (Sinusfilter).
- Kabel wirken als Verstärker  
=> Spitzen am Motor messen oder berechnen.
- Auslegung nach dem Strom und nicht nach der Ausgangsleistung.
- Für die Kühlung des Statorrohres ist die Mindestströmungsgeschwindigkeit entlang des Statorgehäuses entscheidend. Die Betrachtung erfolgt am Betriebspunkt mit dem geringstem Förderstrom.
- Die Pumpe darf nur im vorgesehenen Kennlinienbereich betrieben werden.
- Weil Schwingungen den Motor zerstören, ist auf den Druck am Druckstutzen und einen ausreichenden NPSH-Wert zu achten.

# 6 STROMVERSORGUNG





## 6.1 STROMERZEUGUNG

Im Folgenden wird nur der Wechselstrom (AC) betrachtet, weil dies die bevorzugte Energieversorgung für Asynchronmotoren ist.

### Verteilung

Um den erzeugten Strom nutzen zu können, muss er vom Kraftwerk zum Verbraucher transportiert werden. Die Herausforderung besteht darin, dafür zu sorgen, dass immer ausreichend Strom an dem Ort und zu der Zeit zur Verfügung steht, wo und wann Arbeit zu verrichten ist.

Der effizienteste Weg zum Weiterleiten des Stroms vom Kraftwerk zum Verbraucher ist, die Spannung zu erhöhen und gleichzeitig den Strom zu reduzieren. Diese Transformation ist erforderlich, um die Energieverluste während des Transports zu minimieren. Die Verlustleistung ergibt sich aus dem Produkt  $I^2 \times R$ , wobei  $R$  der Widerstand in den Stromleitungen ist. In der Nähe des Verbrauchers muss dann die Spannung wieder auf den benötigten Wert heruntertransformiert werden. Bei jeder Transformation geht Nutzenergie verloren, auch wenn die Transformatoren effizient arbeiten.

## 6.2 SPANNUNG

### 6.2.1 Spannungsasymmetrie

Unterwassermotoren sind für den Betrieb mit einer bestimmten Spannung und Frequenz ausgelegt, die über das Stromnetz bereit gestellt werden.

Eine Spannungsasymmetrie kann über die Steuerplatine des Transformators und/oder des Generators ausgeregelt werden. Sie sollte so gering wie möglich gehalten werden, weil die Spannungsasymmetrie die Hauptursache für Stromasymmetrie ist, die zu einer weiteren Erwärmung des Motors führt.

Eine mögliche Ursache für Spannungsasymmetrie ist eine ungleichmäßige Verteilung der einphasigen Lasten. Die Belastung schwankt über die Zeit. Da im Netz ein hoher Prozentsatz an einphasigen Verbrauchern angeschlossen ist, sind Spannungsasymmetrien nur schwer zu vermeiden.

Für die dreiphasige Stromversorgung wird die Verwendung von zwei einphasigen Transformatoren in einer sogenannten offenen Dreieckschaltung nicht empfohlen.

### 6.2.2 Über- und Unterspannung

Versorgungsnetze liefern normalerweise eine genau festgelegte Spannung. In der Nähe von Niederspannungs-Transformatoren können jedoch oft Überspannungen von 3 bis 5 % auftreten. Werden hingegen die Versorgungsleitungen in Spitzenzeiten voll ausgelastet, erfolgt ein durch den ohmschen Widerstand bedingter Spannungsabfall.

Die meisten Versorgungsnetze sind so ausgelegt, dass Unterspannungen von über 10 % höchstens einmal pro Jahr an der ungünstigsten Stelle auftreten. Dennoch haben viele Verbraucher immer wieder erhebliche Probleme mit Spannungseinbrüchen.

Jeder Motor leidet, wenn er nicht mit der Spannung versorgt wird, die auf dem Typenschild angegeben ist. Bei Spannungseinbrüchen sinken das Drehmoment und die Drehzahl des Antriebmotors spürbar. Dadurch nehmen der Wirkungsgrad und der induktive Widerstand ab. Die Folge: Die Leistungsaufnahme steigt, sodass mehr Wärme im Motor erzeugt wird.

Wird ein durch eine Kreiselpumpe voll belasteter Motor mit einer Unterspannung von 10 % betrieben, erhöht sich seine Stromaufnahme um ca. 5 % und die Motortemperatur steigt um etwa 20 %. Falls durch diese Temperaturerhöhung die für das Isolationsmaterial der Wicklungen maximale zulässige Temperatur überschritten wird, kann es zu einem Kurzschluss und zur Zerstörung des Stators kommen.

Bei Unterwassermotoren ist die Temperatur der Motorflüssigkeit für die Schmierung der Gleitlager von großer Bedeutung.

Die Belastbarkeit der Lager in Abhängigkeit der Temperatur kann aus dem nachfolgenden Diagramm abgelesen werden.

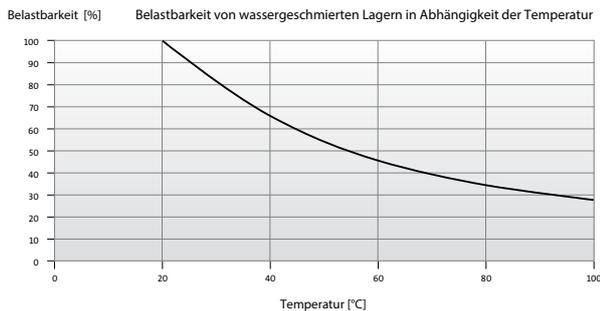


Abb. 45 Belastbarkeit der Gleitlager in Abhängigkeit der Temperatur der Motorflüssigkeit

Die Abnahme der Belastbarkeit ist besonders bei Motoren kritisch, die bei hohen Umgebungstemperaturen betrieben und nur schlecht gekühlt werden oder wenn Spannungsasymmetrie, Stromasymmetrie und Spannungsschwankungen gleichzeitig auftreten.

Eine durch Unterspannung verursachte dauerhaft erhöhte Wicklungstemperatur führt zur schnelleren Alterung der Motorisolierung und damit zu einer kürzeren Lebensdauer des Motors.

Auch bei einer Überspannung im Netz steigt die Leistungsaufnahme und die Wärmeentwicklung in den Motorwicklungen.

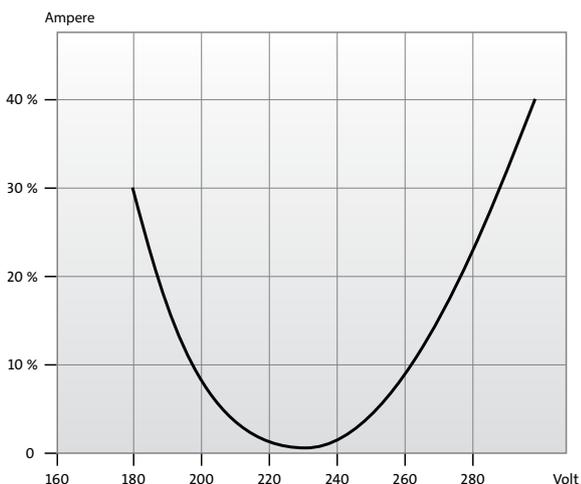


Abb. 46 Stromschwankungen bei Über- und Unterspannung bei einem 230-V-Motor

**Schlussfolgerung**

1. Schwankt die an den Motorklemmen gemessene Spannung um nicht mehr als +6/-10 % bezogen auf die Bemessungsspannung, kann von einer normalen Lebensdauer ausgegangen werden, wenn die Stromaufnahme gleich oder geringer als der auf dem Typenschild angegebene Bemessungsstrom ist, die Motorkühlung ausreichend ist und keine Spannungssprünge oder -asymmetrien auftreten.
2. Bei kurzen oder periodisch auftretenden Spannungsschwankungen von mehr als +6/-10 % bezogen auf die Bemessungsspannung ist keine erhebliche Reduzierung der Lebensdauer zu erwarten - es sei denn, die Unterspannung/Überspannung ist so hoch, dass es zum Kurzschluss in den Statorwicklungen kommt.
3. Bei permanent oder lang anhaltenden Spannungsschwankungen von mehr als +6/-10 %, sollte die Motorbelastung reduziert oder ein größerer Grundfos Motor gewählt werden, um eine akzeptable Lebensdauer und einen akzeptablen Wirkungsgrad zu erreichen. Es wird empfohlen, die Motortemperatur mithilfe des Grundfos Motorschutzgerätes MP 204 zu überwachen.

Üblicherweise wird ein Standardmotor nicht mit voller Leistung betrieben, wenn Überspannungen oder Unterspannungen von mehr als +6/-10 % am Eintrittspunkt des Motorkabels zu erwarten sind. Bei Einphasenmotoren ist häufig eine Anpassung des Kondensators erforderlich, wenn die Spannung niedriger ist.

**6.3 FREQUENZ**

Die Frequenz sollte immer dem auf dem Typenschild angegebenen Wert entsprechen. Bei einer höheren Frequenz kann der Motor überlastet werden und bei einer niedrigeren Frequenz sinkt die Förderleistung.



## 6.4 FREQUENZUMRICHTER

Um eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten, haben sich die Energieversorgungsunternehmen darauf geeinigt, dieselbe Frequenz zu nutzen. Auf diese Weise können verschiedene Netze direkt miteinander verbunden werden. Die heute weltweit am häufigsten verwendeten Frequenzen sind 60 Hz und 50 Hz.

Die Drehzahl eines Asynchronmotors wird durch die Frequenz bestimmt. Es ist jedoch sehr schwierig, die genaue Drehzahl eines Asynchronmotors zu berechnen. Sie ergibt sich aus der Drehzahl eines Synchronmotors vermindert um den Schlupf.

Der Schlupf ist der Drehzahlunterschied zwischen dem Läufer und dem Ständerdrehfeld. Der Schlupf eines Asynchronmotors ist lastabhängig. Je höher die Last und damit das Drehmoment ist, desto größer ist der Schlupf.

Die Synchrondrehzahl kann mithilfe der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

$n_s$  = Drehzahl des rotierenden Magnetfelds.

120 = Konstante.

$f$  = Frequenz.

$p$  = Polzahl.

Frequenzumrichter werden eingesetzt, um ein "neues" lokales Netz mit einer vom Energieversorgungsunternehmen abweichenden Frequenz zu erzeugen. Auf diese Weise kann die Frequenz und damit die Motor- bzw. Pumpendrehzahl geregelt werden.

Moderne Frequenzumrichter können die Frequenz im Bereich von 0 bis 400 Hz (oder sogar mehr) regeln. Dabei ist zu beachten, dass mit der Drehzahl auch die Last steigt, sodass der Motor eventuell überlastet wird, wenn der Motor falsch ausgelegt ist.

Weiterhin ist zu beachten, dass ein Frequenzumrichter nicht die Spannung erhöhen kann. Bei einer Spannungsregelung muss das Frequenz-/Spannungs-Verhältnis konstant bleiben.

### Praxisbeispiel:

Versorgungsnetz = 400 V, 50 Hz.

Um den Regelbereich zu erweitern, soll ein Pumpensystem gewählt werden, das einen Betrieb mit 60 Hz ermöglicht. Daraus ergibt sich ein empfohlener Regelbereich von 30 bis 60 Hz. Damit nicht die Spannung erhöht werden muss, wird ein Motor gewählt, der für den Betrieb mit 400 V, 60 Hz geeignet ist.

### Ausgangsfiler:

Frequenzumrichter basieren auf einer Technologie, die die Spannung periodisch ein- und ausschaltet (abschneidet). Deshalb ist die resultierende Ausgangsspannung nur zum Teil sinusförmig. Dadurch entstehen Geräusche auf der Primär- und Sekundärseite des Frequenzumrichters. Für die Primärseite sind die Behörden und/oder das Versorgungsunternehmen verantwortlich. Hier ist der Einsatz eines Funkentstörfilters erforderlich. Auf der Ausgangsseite sind die Auswirkungen von der Kabellänge, vom Kabelquerschnitt und vom Kabeltyp sowie von der Anordnung der Kabel in der Installation abhängig. Bei langen Kabeln steigt die Gefahr, dass große Spannungsspitzen entstehen, die zu einer Abnutzung der Motorisolierung führen.

Grundfos empfiehlt bei allen Frequenzumrichtern die Verwendung eines Ausgangsfilters auf der Sekundärseite. Sichert der Frequenzumrichterhersteller zu, dass die Spitzenspannung an den Motorklemmen eines bestimmten Motors den zulässigen Wert bei einer vorgegebenen Kabelkonfiguration nicht überschreitet, kann jedoch auf einen Ausgangsfiler verzichtet werden. Siehe die Tabelle auf Seite 46.

### Strom:

Es ist zu beachten, dass der Frequenzumrichter auf Basis des Stromes ausgelegt wird und dass Unterwassermotoren höhere Stromwerte als vergleichbare trocken aufgestellte Motoren besitzen.

## 6.5 NETZANSCHLUSS

Vor dem Anschließen der Pumpe an die Netzversorgung müssen die Eigenschaften des Versorgungsnetzes bekannt sein:

- Wie ist die Netzqualität?
- Welche Art der Schutzterde wird verwendet?
- Wie gut ist der Schutz vor Überspannung und Blitzschlag?
- Wie hoch ist die Spannung und wie hoch sind die Toleranzen?
- Wie hoch ist die Netzfrequenz und wie hoch sind die Toleranzen?
- Welche Leistung ist verfügbar?
- Wie häufig können Netzstörungen auftreten?
- Ist ein eigener Transformator vorgesehen oder wird der Transformator gemeinsam genutzt? Bei gemeinsamer Nutzung muss erfragt werden, ob eine gleichmäßige Netzbelastung gewährleistet ist. (Gilt nur für Drehstrommotoren).

Die Spannungsversorgung des Motors erfolgt in der Regel über das öffentliche Stromnetz. Dabei wird die Spannung über eine Stromleitung für den Betrieb der Maschinen bereitgestellt. Die Netze werden je nach Qualität in stabile und instabile Netze unterteilt.

Eine vorhandene Netzspannung wird mithilfe eines Transformators in eine für den Betrieb der Maschinen geeignete Netzspannung umgewandelt. Die kostengünstigste Möglichkeit ist die Verwendung eines Anlasstransformators. Dies ist jedoch nicht in allen Ländern erlaubt.

Um den Unterwassermotor zu schützen, ist ein Gerät erforderlich, das den Motor bei Problemen vom Netz/von der Spannungsversorgung trennen kann. Grundfos empfiehlt die Verwendung des elektronischen Motorschutzgerätes MP 204.

## 6.6 STROMASYMMETRIE

Der höchste Motorwirkungsgrad und die längste Lebensdauer wird erreicht, wenn die Stromasymmetrie gering ist. Deshalb sollten alle Phasen möglichst gleichmäßig belastet werden. Vor der Durchführung von Messungen ist die Drehrichtung zu prüfen. Bei korrekter Drehrichtung ist die Förderleistung am höchsten. Die Drehrichtung kann durch Tauschen von zwei Phasen geändert werden. Die Stromasymmetrie sollte nicht mehr als 5 % betragen. Bei Anschluss an ein MP 204 ist auch eine Stromasymmetrie von 10 % zulässig. Die Stromasymmetrie wird mithilfe der folgenden zwei Gleichungen berechnet:

$$I (\%) = \left( \frac{I_{\text{Phase max.}} - I_{\text{Mittelwert}}}{I_{\text{Mittelwert}}} \right) \times 100 [\%]$$

$$I (\%) = \left( \frac{I_{\text{Phase}} - I_{\text{Mittelwert min.}}}{I_{\text{Mittelwert}}} \right) \times 100 [\%]$$

Der Maximalwert dient als Maß für die Stromasymmetrie. Der Strom muss an allen drei Phasen gemessen werden, siehe die nachfolgende Abbildung. Zu bevorzugen ist die Anschlussvariante, bei der die geringste Stromasymmetrie auftritt. Um nicht die Drehrichtung bei einem Wechsel der Anschlussvariante zu verändern, müssen die Phasen immer wie nachfolgend dargestellt vertauscht werden. Das MP 204 dient nicht nur zum Schutz vor einer zu hohen Stromasymmetrie, sondern ermöglicht auch das Auslesen von aktuellen Betriebsdaten mithilfe der Fernbedienung R100 oder Grundfos GO (siehe Seite 81). Dadurch wird das Herausfinden der bestmöglichen Anschlussvariante erleichtert.

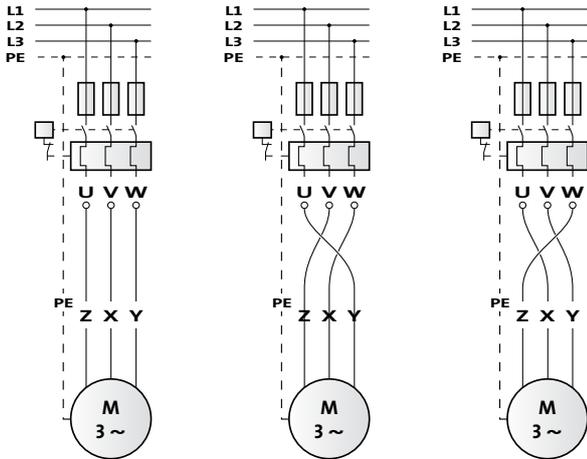


Abb. 47 Optimaler Anschluss

**Beispiel**

Siehe die Abb. 47 und die nachfolgende Tabelle.

Schritt 1	Anschluss 1 UZ 31 A VX 26 A WY 28 A insgesamt 85 A	Anschluss 2 Z 30 A X 26 A Y 29 A insgesamt 85 A	Anschluss 3 Z 29 A X 27 A Y 29 A insgesamt 85 A
Schritt 2	Strommittelwert: $\frac{\text{Gesamtstrom}}{3 \times 3} = \frac{85 + 85 + 85}{3 \times 3} = 28,3 \text{ A}$		
Schritt 3	Maximale Abweichung vom Strommittelwert: Anschluss 1 = 31 - 28,3 = 2,7 A Anschluss 2 = 28,3 - 26 = 2,3 A Anschluss 3 = 28,3 - 27 = 1,3 A		
Schritt 4	Stromasymmetrie in %: Anschluss 1 = 9,5% - nicht akzeptabel Anschluss 2 = 8,1% - nicht akzeptabel Anschluss 3 = 4,6% - ok		
Schritt 5	Beträgt die Stromasymmetrie mehr als 5%, sollte das Versorgungsunternehmen kontaktiert werden. Alternativ kann ein nicht voll belasteter Motor oder ein Industriemotor verwendet werden, der über ein MP 204 geschützt wird. Die aktuelle Stromasymmetrie kann mithilfe der Fernbedienung ausgelesen werden. Eine Stromasymmetrie von 5% entspricht einer Spannungsasymmetrie von 1 bis 2%.		

Selbst kleine Spannungsasymmetrien verursachen große Stromasymmetrien. Eine große Stromasymmetrie führt wiederum zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung in den Statorwicklungen und damit zu Heißpunkten und einer punktuellen Überhitzung. Dieser Zusammenhang ist nachfolgend graphisch dargestellt.

**Stromasymmetrie**

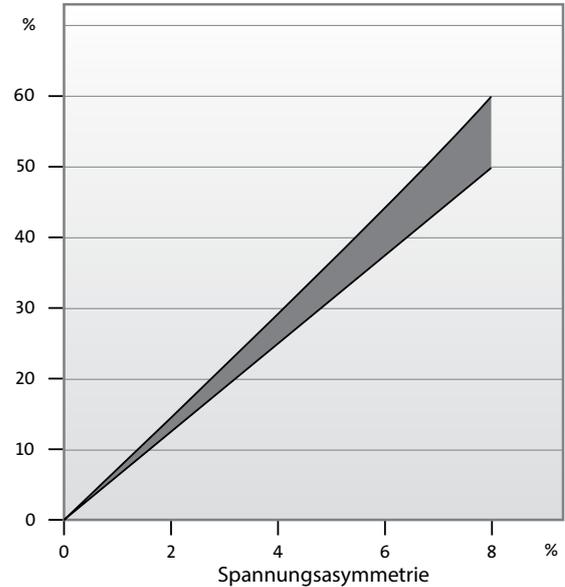


Abb. 48 Zusammenhang zwischen der Spannungs- und Stromasymmetrie

**Erhöhung der Wicklungstemperatur in der am höchsten thermisch belasteten Phase**

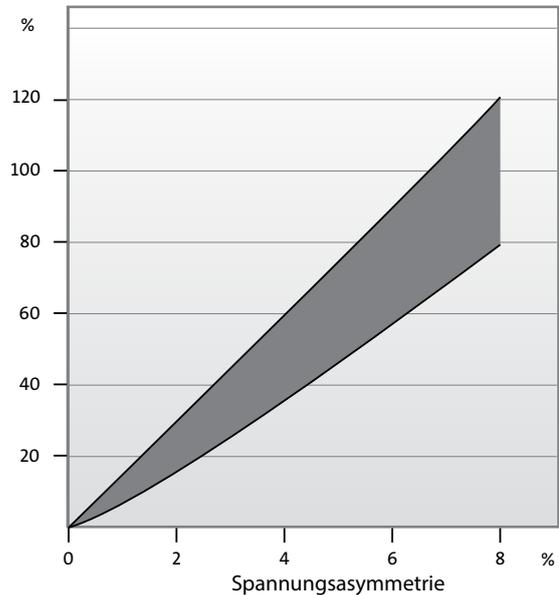


Abb. 49 Zusammenhang zwischen der Spannungsasymmetrie und Temperatur

Stromasymmetrie kann auch durch die Anordnung der Unterwasserkabel verursacht werden. Werden abgeschirmte Kabel verwendet, sind keine Probleme zu erwarten. Werden einzelne Leiter verwendet, wird empfohlen, die dreiphasigen Leiter auf der einen Seite der Steigleitung und den Schutzleiter diagonal auf der anderen Seite der Steigleitung anzuordnen.

### Spannungsoberwellen / Blitzschlag

Starkstromleitungen liefern im Normalfall sinusförmige Wellen auf allen drei Phasen. Zu den im Kraftwerk erzeugten sinusförmigen Wellen addieren sich die Spannungsoberwellen im Versorgungsnetz.

Quellen von Spannungsoberwellen:

1. Frequenzumrichter ohne Filter
2. Sanftanlaufgeräte
3. Schaltschütze für große Maschinen
4. Kondensatoren für Produktionsanlagen
5. Blitzschlag.

#### 1. Frequenzumrichter ohne Filter

Moderne Frequenzumrichter mit einem LC- oder RC-Filter lassen sich so weit absichern, dass sie keine Spannungsspitzen über 850 V erzeugen, wenn die Kabellänge zwischen dem Frequenzumrichter und dem Motor weniger als 100 m beträgt. Unter diesen Bedingungen hat jeder ausreichend dimensionierte Grundfos Motor bei ordnungsgemäßer Kühlung eine entsprechend hohe Lebensdauer. Frequenzumrichter mit Pulsweitenmodulation ohne LC- oder RC-Filter liefern eine Ausgangsspannung, die erheblich von der idealen Sinuskurve abweicht. Die Spannungsspitzen erreichen je nach Fabrikat 600 V in einem 400-V-Versorgungsnetz und die  $dU/dt$ -Werte betragen 2000 bis 2400 V/us (gemessen bei einer Kabellänge von 1 m). Die Spannungsspitzen nehmen mit der Länge des Kabels zu, das den Frequenzumrichter mit dem Motor verbindet. Bei einer Kabellänge von z. B. 200 m verdoppeln sich die am Stecker des Motorkabels gemessenen Spannungsspitzen  $U_{\text{Spitze}}$  auf 1200 V. Der  $dU/dt$ -Wert beträgt dann 1200 V/us bei einem 400-V-Versorgungsnetz. Dadurch wird die Lebensdauer des Motors herabgesetzt. Deshalb müssen Frequenzumrichter mindestens mit einem RC-Filter ausgerüstet sein, um eine optimale Lebensdauer des Motors zu gewährleisten.

2. Ist der Unterwassermotor an ein **Sanftanlaufgerät** angeschlossen, absorbiert das Sanftanlaufgerät einen nicht sinusförmigen Strom und erzeugt dabei ein bestimmtes Maß an Netzgeräuschen. Bei sehr kleinen Hochfahr- und Runterfahrzeiten spielt dies jedoch keine Rolle, weil die Vorschriften im Hinblick auf die Netzgeräusche trotzdem eingehalten werden. Dauert das Hochfahren jedoch länger als drei Sekunden, werden die Motorwicklungen durch die nicht sinusförmigen Oberwellen überhitzt, sodass die Lebensdauer des Motors sinkt.

3. **Große Maschinen** können in Verbindung mit der Direktschaltung oder der Stern-Dreieck-Schaltung beim Anlaufen Funken erzeugen und beachtliche Oberwellen zurück in das Netz transferieren, wenn die Kontakte öffnen. Diese Spannungsspitzen können zu Schäden am Unterwassermotor führen.

4. Zur Sicherstellung des Phasengleichgewichts werden komplexe Regeleinrichtungen mit zahlreichen großen **Kondensatoren** eingesetzt, die Spannungsspitzen zurück in das Versorgungsnetz leiten. Diese Spannungsspitzen können zu Schäden am Unterwassermotor führen.

5. Ein **Blitz**, der direkt in die Brunneninstallation, den Motorstarter oder die Spannungsversorgung einschlägt, zerstört die gesamte Elektroinstallation und alle lebenden Organismen. Bei einem Blitzschlag werden Spannungsspitzen von mindestens 20 bis 100 kV erzeugt. Die entstehende Wärme reicht aus, um die Isolierung zum Schmelzen zu bringen. Schlägt der Blitz in das Versorgungsnetz ein, werden die entstehenden Spannungsspitzen zum Teil durch die an der Transformatorstation montierten Blitzableiter absorbiert. Der Blitzableiter hat die Aufgabe, die Überspannung über die Erde abzuleiten. Schlägt der Blitz direkt in ein Niederspannungsnetz ein, können Spannungsspitzen von mehr als 10 bis 20 kV am Motorstarter der Unterwasserpumpe auftreten. Sind der Motorstarter und der Motor nicht über einen Blitzableiter und eine ordnungsgemäße Erdung entsprechend geschützt, kann die gesamte Installation beschädigt werden,

weil die Unterwasserpumpe in elektrisch leitfähigem Grundwasser installiert ist. Denn Grundwasser bietet die bestmögliche Art der Erdung.

Schäden am Unterwassermotor, die durch einen Blitzschlag in die Stromversorgung hervorgerufen werden, können sowohl bei Überlandleitungen als auch bei unterirdisch verlegten Leitungen auftreten. In Gebieten mit hoher Blitzaktivität besteht der beste Schutz von Motorstartern und Unterwassermotoren darin, einen Blitzableiter direkt hinter dem Hauptschalter zu installieren und diesen mit dem Erdungsstab oder mit der Steigleitung des Brunnens zu verbinden, wenn die Steigleitung aus Stahl besteht. Am Brunnen sollte der Blitzableiter hinter dem Trennschalter installiert werden und über die Steigleitung sowie die Brunnenverkleidung geerdet werden, wenn diese aus Stahl sind.

Bei Tiefbrunnen kann der Blitzableiter auch im Motorkabel angeordnet werden, weil in einem 200 m langem Unterwasserkabel Überspannungen auftreten können, die doppelt so hoch wie die Nennspannung sind. Generell sollten die Blitzableiter jedoch gut zugänglich sein, um ihre Funktion durch regelmäßige Messungen überprüfen zu können. Denn Blitzableiter können verschleifen, wenn sie häufigen Blitzeinschlägen ausgesetzt sind.

Ist die Elektroinstallation häufiger hohen Spannungsspitzen durch Blitzeinschläge ausgesetzt, sollte das Energieversorgungsunternehmen verständigt werden. Die Ursache könnten nicht voll funktionsfähige Blitzableiter an der Transformatorstation sein.

Ist der Blitz in eine Installation eingeschlagen, sollten alle Bauteile im Schaltschrank sorgfältig überprüft werden. So kann z. B. ein Kontakt an einem Schaltschütz durchgebrannt sein und dadurch die Spannungs- und Stromasymmetrie an den Motorklemmen zunehmen. Durch mehrere durchgebrannte Kontakte am Schaltschütz oder am Thermorelais kann es zu Unterspannung

oder weiteren Asymmetrien kommen. Ein durchgebranntes Thermorelais kann nicht auslösen und so die Motorwicklungen schützen.

Nur wenige Motoren werden direkt durch den Blitzeinschlag beschädigt. Sehr viel häufiger kommt es zu Folgeschäden. Grundfos Unterwassermotoren vom Typ MS 402 besitzen jedoch einen Isolationsschutz bis 15 kV.





## INSTALLATION & BETRIEB



## 7.1 BRUNNEN UND BRUNNENANFORDERUNGEN

Ein Brunnen ist ein Bohrloch, das von der Erdoberfläche bis zum Grundwasserleiter reicht. Die Brunnenlänge kann dabei wenige Meter bis mehrere hundert Meter betragen.

Brunnen werden in der Regel mithilfe von speziellen Werkzeugen gebohrt, die in der Lage sind, die unterschiedlichen Erdschichten, wie z. B. Sand, Lehm, Gestein, usw. zu durchdringen. In das Bohrloch wird dann eine Brunnenverkleidung (Rohr) getrieben, um zu verhindern, dass der Brunnen im Bereich der Pumpe einstürzt.

Unterhalb der Brunnenverkleidung befindet sich auf Höhe des Grundwasserleiters eine weitere Verkleidung mit kleinen Schlitzen, die als Brunnenfilter bezeichnet wird. Die Schlitze sorgen dafür, dass das Grundwasser in den Brunnen gelangt, ohne dass Sand und größere Partikel eindringen können. Siehe Abb. 50.

Um die Filterwirkung zu verbessern, ist das Bohrloch in der Regel 2" bis 3" größer als die Brunnenverkleidung. Wie in Abb. 50 gezeigt befindet sich zwischen der Brunnenverkleidung und dem Grundwasserleiter eine feinkörnige Kiesfüllung. Bei korrekter Ausführung dieses Filterverfahrens wird verhindert, dass Sand und Split in den Brunnen gelangt. Einige vorgefertigte Brunnenverkleidungen besitzen bereits ab Werk eine Kiesfüllung.

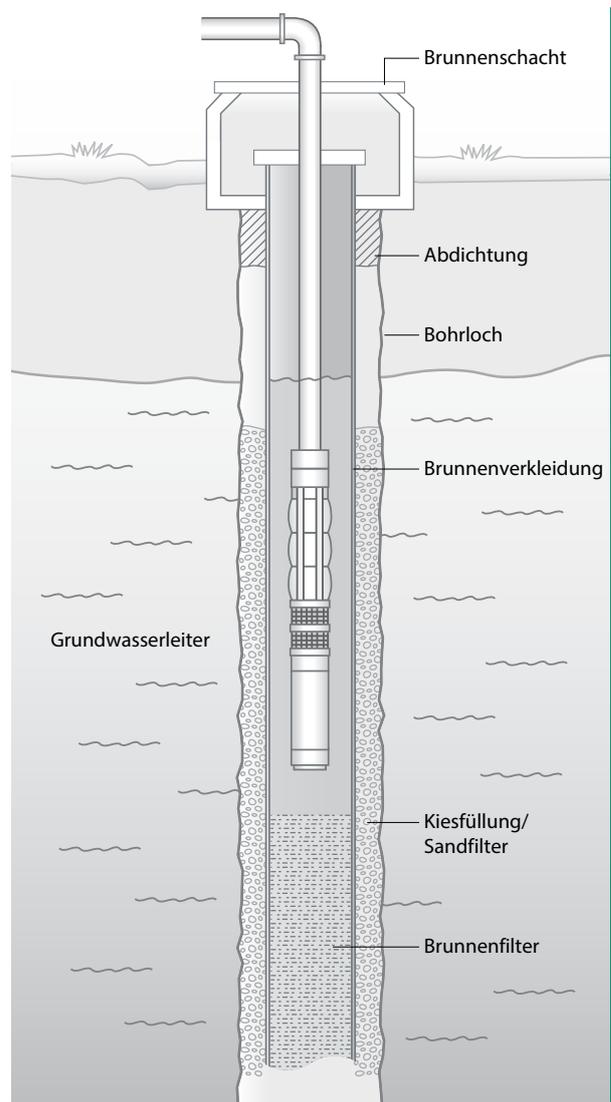


Abb. 50 Typische Komponenten eines Grundwasserbrunnens

Empfehlungen für den maximalen Sandgehalt variieren von Land zu Land. Der nationale Grundwasserverband der USA (NGWA) empfiehlt z. B. die folgenden Grenzwerte für den maximalen Sandgehalt im Brunnenwasser:

1. 10 mg/l im für in der Nahrungsmittel- und Getränkeverarbeitung verwendetes Wasser
2. 50 mg/l im für in Privathaushalten und Industriebetrieben verwendetes Wasser
3. 10 mg/l im für in der Beregnung, der industriellen Verdunstungskühlung und in anderen Anwendungen verwendetes Wasser, bei denen ein geringer Sandgehalt keine schädlichen Auswirkungen hat
4. 15 mg/l im für in der Flutbewässerung verwendetes Wasser.

Ist der Sandgehalt größer 15 mg/l, wird soviel Material aus dem Brunnen abgetragen, dass der Grundwasserleiter und die darüberliegenden Schichten einbrechen können (Kavernenbildung). In diesem Fall wird die Lebensdauer des Brunnens herabgesetzt.

Die Grundfos Unterwasserpumpen sind je nach Pumpentyp für einen Sandgehalt von 50 mg/l bis 150 mg/l ausgelegt. Ein Sandgehalt von 50 mg/l hat noch keine gravierenden Auswirkungen auf den Pumpenwirkungsgrad und die Lebensdauer. Die Lebensdauer beträgt dann ca. 25.000 bis 35.000 Betriebsstunden. Dies entspricht ca. 4 Jahre bei einer Laufzeit von 8 Stunden pro Tag.

Für Sandkonzentrationen über 50 mg/l sind spezielle Unterwasserpumpen und Unterwassermotoren lieferbar.

Bevor der Brunnen in Betrieb genommen werden kann, muss die Förderfähigkeit hergestellt werden. Ein neuer Brunnen fördert immer zuerst eine größere Menge an Sand und Schlamm. Bei der sogenannten Brunnenentwicklung wird der neue Brunnen von Sand und Schlamm freigespült, indem die Pumpe mit einem sehr hohen Förderstrom betrieben wird. Dadurch werden die feinen Partikel im Grundwasserleiter in den Brunnenfilter gesogen, sodass der Filter mit der Zeit an Wirksamkeit zunimmt. Nach ca. einem Tag ist der Brunnen in der Regel freigepumpt und betriebsbereit.

Die für die Brunnenentwicklung verwendete Pumpe verschleißt wegen des hohen Sandgehalts relativ schnell. Sie sollte deshalb immer durch eine neue Pumpe ersetzt werden, sobald kein Sand mehr mitgefördert wird.

Die Pumpe ist immer oberhalb des Filterbereichs der Brunnenverkleidung zu installieren. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass das Wasser den Motor passieren muss, um eine ausreichende Motorkühlung zu gewährleisten. Kann die Pumpe nicht oberhalb des Brunnenfilters angeordnet werden, wird der Einsatz eines Kühlmantels empfohlen, um die zur Kühlung erforderliche Strömung entlang des Motors zu erzeugen. Siehe Kapitel 10.

## 7.2 PUMPENANORDNUNG

Durch die Anordnung der Pumpe wird festgelegt, wie tief die Pumpe unterhalb der Erdoberfläche installiert wird. Die Pumpe muss in der Lage sein, das Wasser vom Grundwasserleiter bis zur Oberfläche zu fördern und zusätzlich einen bestimmten Druck zu liefern.

Bei der Installation einer Pumpe, muss die Absenkung und der Betriebswasserspiegel bekannt sein. Während des Betriebs darf der Wasserspiegel niemals unter den Pumpenzulauf absinken. Bei Unterwasserpumpen ist die Kavitationsgefahr zwar sehr gering, dennoch sollte der NPSH-Wert der Pumpe am Betriebspunkt immer geprüft werden.

Mindesteintauchtiefe des Pumpenzulaufs:  
 $NPSH [m] - 10 [m]$ .

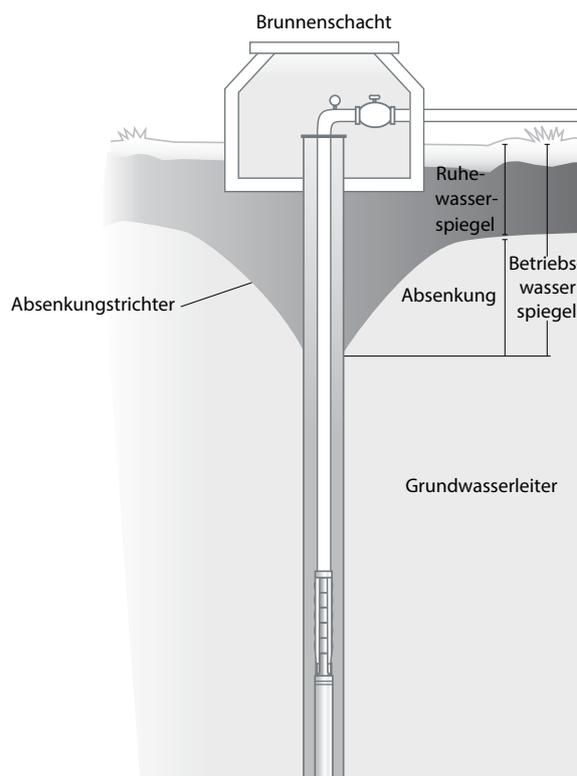


Abb. 51 Ruhe- und Betriebswasserspiegel

## 7.3 PUMPEN- UND MOTORAUSWAHL

Die Auslegung und Auswahl von Unterwasserpumpen wird im Abschnitt 4 beschrieben.



### 7.3.1 Betriebspunkt

Als Betriebspunkt wird der von der Pumpe gelieferte Förderstrom bezeichnet. Die Pumpe sollte so ausgewählt werden, dass der Betriebspunkt möglichst nah am Wirkungsgradbestpunkt oder leicht rechts vom Wirkungsgradbestpunkt liegt.

### 7.3.2 Brunnendurchmesser

In der Regel ist der Wirkungsgrad umso höher, je größer der Durchmesser ist. Die Pumpe muss jedoch so in den Brunnen passen, dass immer ein Mindestabstand zwischen dem Außendurchmesser des Motors und dem Innendurchmesser des Brunnens verbleibt.

In einem ordnungsgemäß ausgeführten Brunnen, bei dem sich der Brunnenfilter unterhalb der Pumpe und des Motors befindet, muss das Wasser den Spalt zwischen der Brunnenverkleidung und dem Motor passieren. Dadurch entstehen Reibungsverluste.

Ist der Motor außermittig im Brunnen angeordnet, sodass eine Seite an der Verkleidung anliegt, entstehen zudem Verwirbelungen durch den einseitigen Wassereintritt in die Pumpe, die die Förderleistung der Pumpe zusätzlich beeinträchtigen.

Abb. 52 zeigt die Reibungsverluste bei Spaltbreiten von 4 bis 16 mm für einen 6"-Brunnen und Abb. 53 für einen 8"-Brunnen.

Die Verwirbelungen und Reibungsverluste führen zu einer Reduzierung der Förderleistung, die in einigen Fällen beträchtlich sein kann.

In Brunnen, bei denen sich der Brunnenfilterbereich oberhalb der Pumpe befindet, muss das Wasser den Spalt zwischen der Brunnenverkleidung und der Pumpe passieren. Auch hier entstehen Reibungsverluste.

Ist die Pumpe zudem außermittig im Brunnen angeordnet, sodass eine Seite an der Verkleidung anliegt, wird der Zufluss auf der halben Seite des Einlaufteils eingengt. Durch diese einseitige Strömungsumkehr im Einlaufteil entstehen Verwirbelungen, die die Funktion der Pumpe beeinträchtigen.

Abb. 54 zeigt die Verwirbelungen/Reibungsverluste bei 6"-Pumpen in 6"-Brunnen für unterschiedliche Brunneninnendurchmesser im ungünstigsten Fall. Abb. 55 zeigt dasselbe für 8"-Pumpen in 8"-Brunnen. Die Verwirbelungen und Reibungsverluste machen sich durch eine Reduzierung der Förderleistung bemerkbar.

### 7.3.3 Brunnenleistung

Viele Pumpen sind für die vorhandene Brunnenleistung zu groß ausgelegt, sodass die Pumpe nach kurzer Zeit trocken läuft. Deshalb muss bei der Auswahl der Pumpe die Brunnenleistung berücksichtigt werden, um eine Überlastung des Brunnens zu vermeiden. Aus diesem Grund wird eine Überwachung des Grundwasserspiegels empfohlen.

Bei einer Überlastung des Brunnens können mehrere Probleme auftreten:

- Trockenlauf und Beschädigung der Pumpe
- Einsickern von Nichttrinkwasser, z. B. Seewasser
- Chemische Reaktionen im Brunnen, wenn Sauerstoff auf den ausgetrockneten Grundwasserleiter trifft.

Eine übermäßige Grundwasserabsenkung führt zudem zu einer höheren Leistungsaufnahme, weil eine größere Förderhöhe überwunden werden muss.

### 7.3.4 Pumpenwirkungsgrad

Bei nahezu allen Pumpen wird der höchste Wirkungsgrad nur in einem engen Förderstrombereich erreicht. Die Pumpe wird in der Regel für diesen Förderstrombereich ausgewählt. Eine Grundfos SP 46 besitzt ihren höchsten Wirkungsgrad bei ca. 46 m<sup>3</sup>/h, eine SP 60 bei ca. 60 m<sup>3</sup>/h, usw. Liegt der Förderstrombedarf (z. B. 66 m<sup>3</sup>/h) zwischen zwei Pumpentypen (SP 60 und SP 77) können im Hinblick auf die Effizienz beide Pumpen verwendet werden. Deshalb erfolgt die Auswahl der Pumpe anhand weiterer Kriterien:

- Brunnendurchmesser (siehe Abschnitt 7.3.2)
- Brunnenleistung (siehe Abschnitt 7.3.3)
- Leistungsreserve.

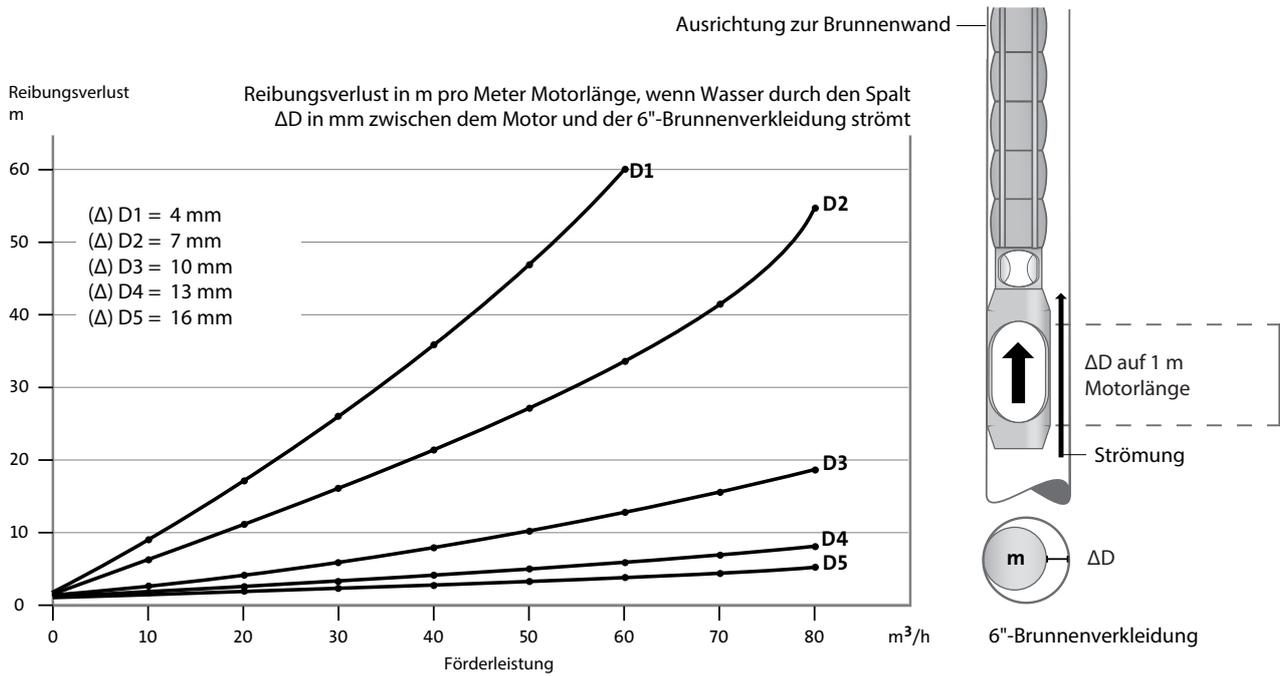


Abb. 52 Reibungsverluste bei 6"-Brunnen

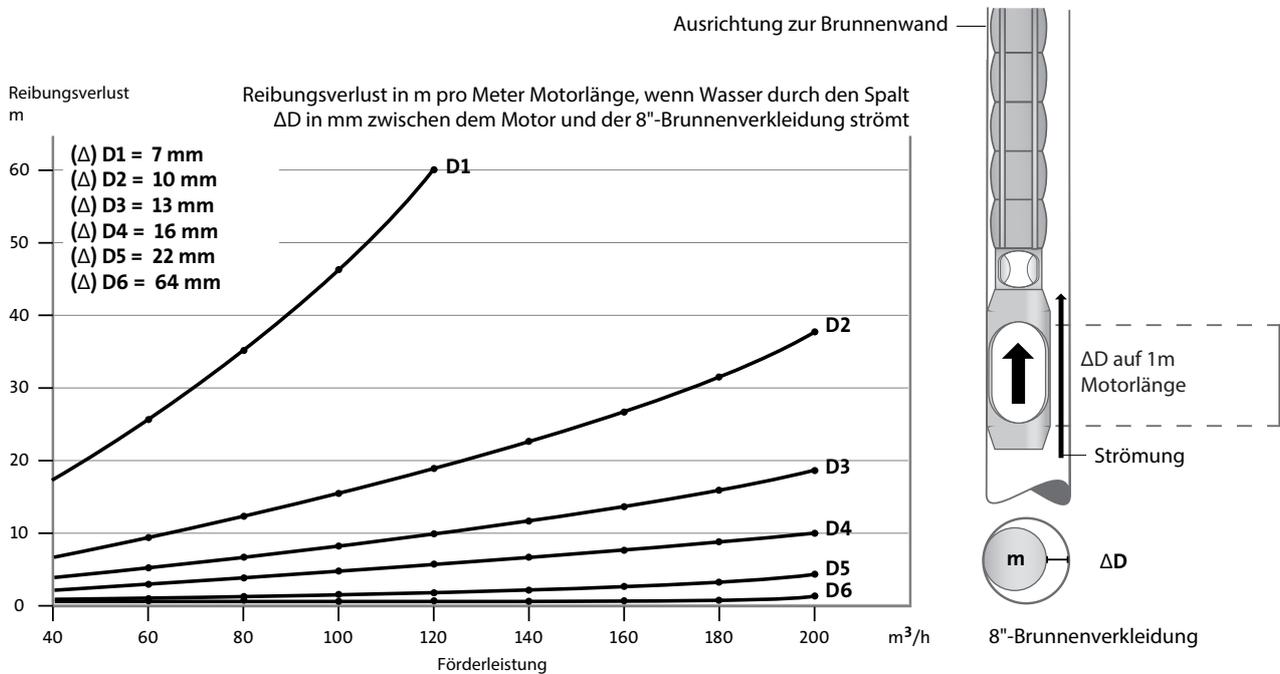


Abb. 53 Reibungsverluste bei 8"-Brunnen

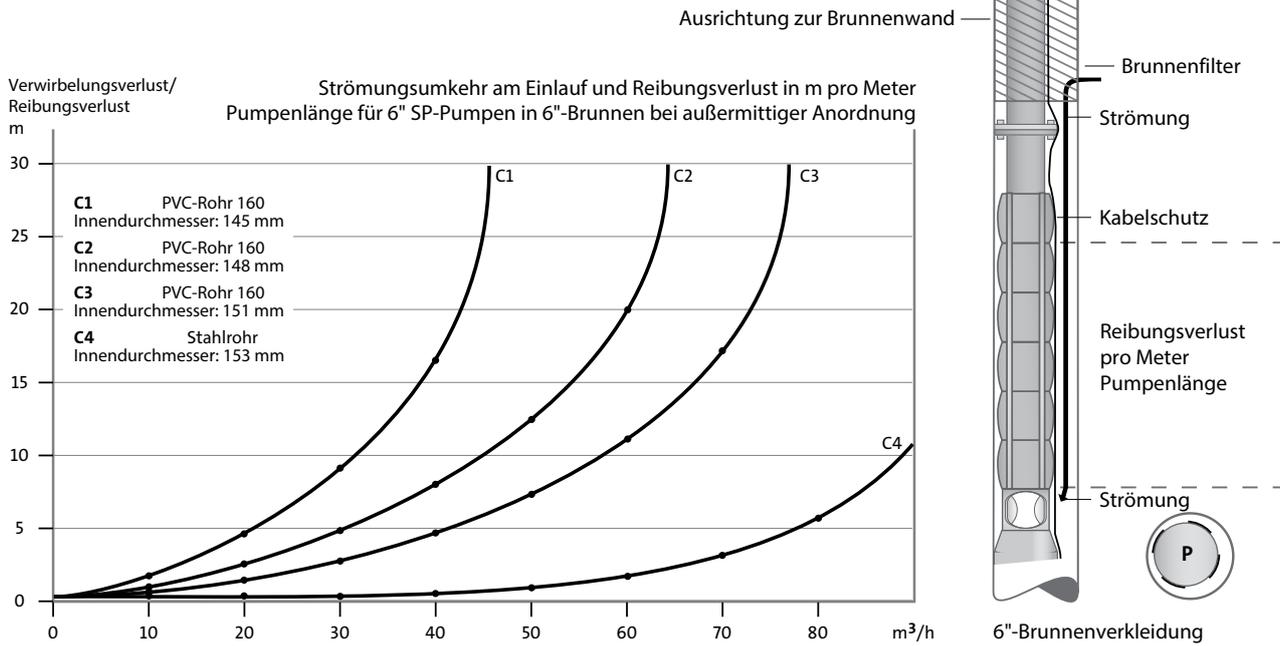


Abb. 54 Strömungsumkehr bei 6"-Brunnen

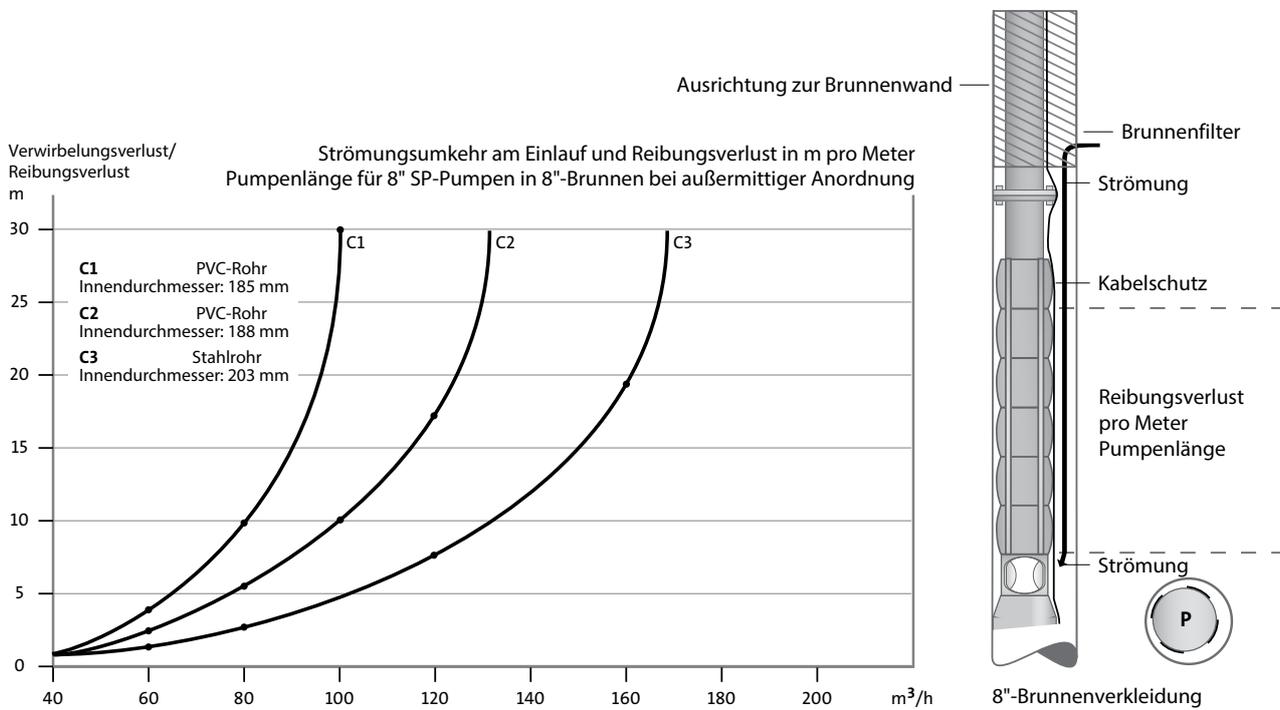


Abb. 55 Strömungsumkehr bei 8"-Brunnen

**Maximale Temperatur des Kühlwassers bei Volllast**

Brunnendurchmesser

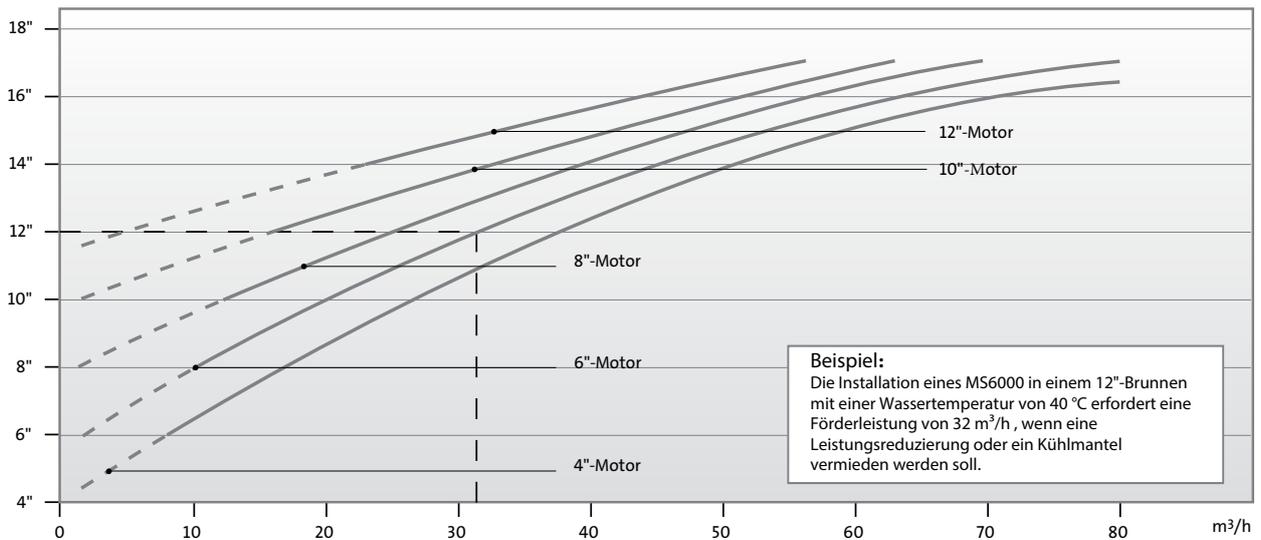


Abb. 56 Maximale Kühlwassertemperatur bei Volllast

**7.3.5 Wassertemperatur**

Wie hoch die Wassertemperatur maximal sein darf, hängt vom Unterwassermotor ab und der Kühlung des Motors. Dabei ist eine ausreichende Kühlung der Schlüssel für eine lange Motorlebensdauer.

Bei Unterwassermotoren, die Medien nahe der maximal zulässigen Medientemperatur fördern, muss die Strömungsgeschwindigkeit für eine ausreichende Kühlung mindestens 0,15 m/s betragen. Bei diesem Wert liegt eine turbulente Strömung vor. Zum Erreichen der geforderten Strömungsgeschwindigkeit darf der Förderstrom einen bestimmten Wert nicht unterschreiten. Siehe Abb. 56.

In Brunnen oder Behältern mit großem Durchmesser kann es erforderlich sein, einen Kühlmantel zu verwenden, um die Strömungsgeschwindigkeit entlang des Motors auf mindestens 0,15 m/s zu erhöhen. Siehe auch das Kapitel 10.

Im oberen Diagramm wird vorausgesetzt, dass der Motor oberhalb des Brunnenfilters angeordnet ist.

**Maximale Wassertemperatur:**

Grundfos Motor	Strömungsgeschwindigkeit entlang des Motors [m/s]	Maximale Medientemperatur [°C]
MS 4" T40	0,15	40
MS 4" T60	0,15	60
MS 6000 T40	0,15	40
MS 6000 T60	1,00	60
MMS 6" mit PVC-Wicklungen	0,15	25
	0,50	30
MMS 6" mit PE/PA-Wicklungen	0,15	45
	0,50	50
MMS 8", 10", 12" mit wiederwickelbaren PVC-Wicklungen	0,15	25
	0,50	30
MMS 8", 10", 12" mit wiederwickelbaren PE/PA-Wicklungen	0,15	40
	0,50	45

**Hinweis:** Bei den MMS 6"-Motoren bis 37 kW, MMS 8"-Motoren bis 110 kW und MMS 10"-Motoren bis 170 kW ist die maximal zulässige Medientemperatur 5 °C niedriger als in der Tabelle angegeben. Bei den MMS 10"-Motoren mit 190 kW ist sie 10 °C niedriger.

Die Grundfos Unterwassermotoren MS402 dürfen nicht bei Medientemperaturen über 30°C betrieben werden. Der Betrieb der Unterwassermotoren MS4000 und MS6000 hingegen ist auch bei einer Medientemperatur oberhalb der in der Tabelle angegebenen Temperaturgrenze von 40°C möglich, wenn die Motorleistung entsprechend abgesenkt wird. Siehe die Abb. 57 im Kapitel 7.3.6.



Im allgemeinen verkürzt ein Betrieb bei zu hohen Wassertemperaturen die Lebensdauer der Installation. Genauere Zeitangaben sind jedoch nicht möglich, weil hierfür eine Reihe anderer Parameter, wie z. B. die Spannungsversorgung, die Aggressivität und der Sandgehalt des Wassers, die Bedingungen zur Motorkühlung usw. eine Rolle spielen. Deshalb wird empfohlen, dass die Pumpe regelmäßig gewartet wird und alle Elastomerteile alle drei Jahre ausgetauscht werden, um die hohe Effizienz über die gesamte Lebensdauer zu erhalten. Werden die in diesem Handbuch aufgeführten Empfehlungen befolgt, lässt sich trotzdem eine akzeptable Lebensdauer erreichen. Bei einem Betrieb oberhalb der Temperaturgrenze müssen die Gewährleistungsbedingungen neu vereinbart werden. Ohne ein Absenken der Motorleistung und dem Einsatz des Motorschutzgeräts MP 204 kann keine Gewährleistung übernommen werden.

### 7.3.6 Leistungsreduzierung bei Unterwassermotoren

Wird die Motorleistung  $P_2$  mit dem Abschwächungsfaktor multipliziert, ergibt sich die gedrosselte Motorleistung  $P_2$ . Dies ist die maximale Last, mit der der Motor beaufschlagt werden darf, wenn die Wassertemperatur über der Bemessungstemperatur liegt. In vielen Fällen ist dann ein Motor mit einer höheren Leistung als ursprünglich berechnet zu montieren.

Abschwächungsfaktoren

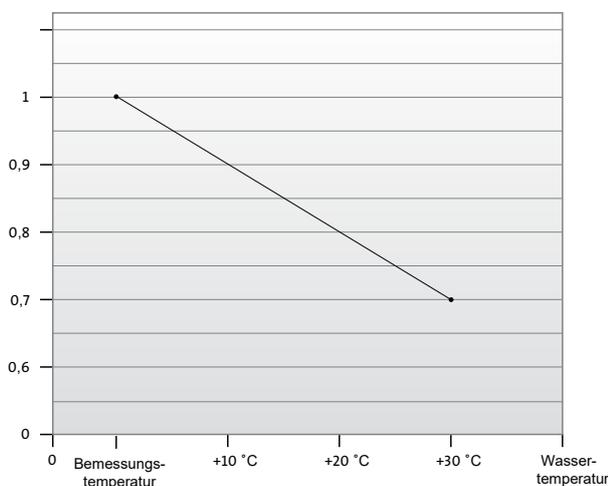


Abb. 57 Leistungsreduzierung bei Unterwassermotoren

### Beispiel:

Ein MS6000-Motor mit einer Nennleistung von  $P_2 = 30 \text{ kW}$  kann bei einer Wassertemperatur von  $50 \text{ °C}$  und einer zur Kühlung genutzten Strömungsgeschwindigkeit von  $0,15 \text{ m/s}$  eine Leistung von  $30 \times 0,9 = 27 \text{ kW}$  liefern. Der Unterwassermotor sollte mit der empfohlenen Eintauchtiefe installiert werden.

Eintauchtiefe

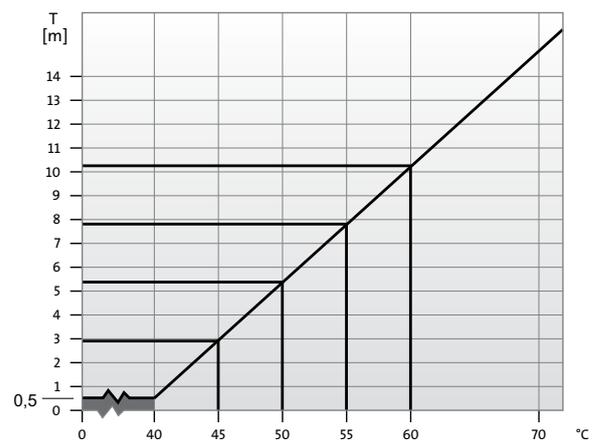


Abb. 58 Empfohlene Eintauchtiefe für die Unterwassermotoren MS 4000 und MS 6000 in Abhängigkeit der Wassertemperatur

Eine Reduzierung der Motorleistung wird bei den Unterwassermotoren MS4000 T60 und MS6000 T60 nicht empfohlen.

### 7.3.7 Schutz vor dem Sieden

Um ein Sieden des Wassers bei Abschalten der Pumpe und der daraus resultierenden geringeren Kühlung zu vermeiden, sollte der Motor 5 m unterhalb des Betriebswasserspiegels installiert werden. Dadurch steigt der Siedepunkt. Auf diese Weise wird verhindert, dass der Motor beschädigt wird.

Der beste und einfachste Schutz vor Überlastung und Übertemperatur besteht bei den Unterwassermotoren MS4000 und MS6000 darin, die Motortemperatur mithilfe eines MP 204 zu messen. Bei den anderen Unterwassermotoren kann zur Überwachung der Temperatur ein Pt100/Pt1000-Fühler verwendet werden.

### 7.3.8 Kühlmantel

Die Strömungsgeschwindigkeit entlang des Motors muss mindestens 0,15 m/s betragen, um eine ausreichende Kühlung des Motors zu gewährleisten.

Kann der zur Kühlung erforderliche Mindestvolumenstrom entlang des Motors nicht auf natürliche Weise erreicht werden, bietet Grundfos passende, einfach zu handhabende Kühlmäntel an. Kühlmäntel werden in der Regel verwendet, wenn die Pumpe in einem Becken, Behälter oder Brunnen installiert wird, wo das Wasser von oben zur Pumpe gelangt, sodass der Motor nicht gekühlt wird. Um den Druckverlust zu begrenzen, muss zwischen der Brunnenverkleidung und dem Außendurchmesser des Kühlmantels ein ausreichender Abstand vorhanden sein.

Der empfohlene Mindestabstand zwischen der Brunnenverkleidung und dem Kühlmantel kann mithilfe der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$v = \frac{Q \times 354}{(D^2 - d^2)}$$

v = m/s. Sollte zur Begrenzung der Druckverluste maximal 3 m/s betragen.

Q = m<sup>3</sup>/h

D = Innendurchmesser der Verkleidung in mm

d = Außendurchmesser des Kühlmantels in mm

Es gibt drei gute Gründe einen Kühlmantel zu installieren:

1. Wenn das Brunnenwasser viel Eisen (und viele Eisenbakterien), Mangan und Kalk enthält, oxidieren diese Substanzen und lagern sich auf der Motoroberfläche ab, weil die Oberflächentemperatur ca. 5 bis 15 °C wärmer als das zufließende Wasser ist. Bei einer zu langsamen Wasserströmung entlang des Motors kann sich eine wärmeisolierende Schicht aus oxidierten Mineralien und Metallen auf der Motoroberfläche bilden, die zu Hotspots in der Motorisolierung führen. Der Temperaturanstieg kann so hoch sein, dass die Motorisolierung Schaden nimmt und die Lebensdauer des Motors herabgesetzt wird. Ein Kühlmantel sorgt für eine turbulente Strömung entlang des Motors, die eine optimale Kühlung unabhängig von den Ablagerungen ermöglicht.

2. Ist das Grundwasser aggressiv oder chloridhaltig, verdoppelt sich die Korrosionsrate bei jedem Anstieg der Wassertemperatur um 15 °C. Durch einen Kühlmantel wird somit die Gefahr der Korrosion am Motor reduziert.

3. Im oberen Bereich des Brunnens sammelt sich oxidiertes Wasser. Bei jedem Anlaufen der Pumpe wird der Wasserspiegel im Brunnen abgesenkt, sodass frischer Sauerstoff in den Brunnen eintritt. Diese Oxidation der oberen Meter der Wasserschicht ist harmlos, es sei denn der Sauerstoff erreicht den Brunnenfilter. Wenn sich das durch den Brunnenfilter zufließende sauerstoffarme Rohwasser mit sauerstoffreichem Wasser vermischt, oxidieren Eisen, Mangan und Kalk und lagern sich in den Schlitzen des Brunnenfilters ab. Dadurch sinkt die Effizienz und somit die Brunnenleistung. Ein warmer Unterwassermotor ohne Kühlmantel erwärmt nach dem Abschalten das umgebende Wasser. Durch die Wärmewirkung steigt das erwärmte Wasser nach oben. Gleichzeitig bewegt sich das oxidierte Wasser Richtung Brunnenfilter. Bei Verwendung eines Kühlmantels erwärmt sich der Motor nicht so stark. Zugleich absorbiert der Kühlmantel beim Abschalten die Restwärme. Dadurch wird verhindert, dass das Wasser durch die Wärmewirkung aufsteigt und das oxidierte Wasser nach unten sinkt. Auf diese Weise verlängern sich die Intervalle zur Entfernung der Brunnenverkrustungen.

Bei derartigen Anwendungen muss zudem die Gefahr von lokalen Erwärmungen bedacht werden. Dies gilt insbesondere in Verbindung mit horizontal installierten Pumpen und für Installationen mit mehreren nebeneinander angeordneten Pumpen. In diesen Fällen sollten immer Kühlmäntel eingesetzt werden.



## 7.4 AUSWÄHLEN DER STEIGLEITUNG

Die Auswahl der Steigleitung hängt von mehreren Faktoren ab:

- Förderdruck und Installationstiefe
- Aggressivität des Grundwassers
- Reibungsverluste/Betriebskosten
- Verfügbarkeit und Anschaffungspreis von Alternativen
- Anschaffungskosten im Verhältnis zu den späteren Wartungs- und Reparaturkosten.

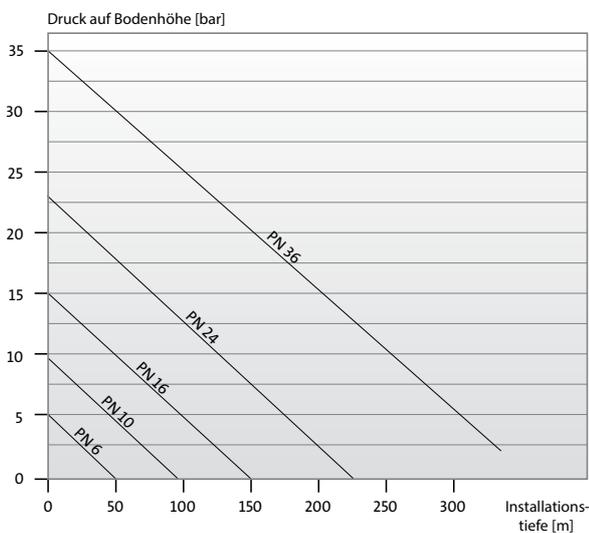


Abb. 59 Erforderliche Nenndruckstufe bei verschiedenen Installationstiefen und Drücken auf Bodenhöhe

Die Aggressivität des Grundwassers ist in den meisten Fällen so gering, dass beschichtete oder verzinkte Rohre ausreichen. In häuslichen Anwendungen werden vor allem Steigleitungen aus PEL oder PEM verwendet. Ist das Wasser jedoch so aggressiv, dass es die hochwertigsten Edelstahlgüten angreift, sollten austauschbare Zinkanoden montiert werden, um die Pumpe und den Motor zu schützen. In derartigen Installationen ist es zu kostspielig, auch die Steigleitungen aus Edelstahl vor Korrosion zu schützen. In diesem Fall wird die Verwendung des Wellmaster-Schlauches empfohlen, Siehe Kapitel 10.

### Reibungsverluste in der Steigleitung

Die Reibungsverluste in den Rohrleitungen oder Schläuchen haben einen großen Einfluss auf die Leistungsaufnahme einer Unterwasserpumpe. Die Verwendung eines Stahlrohrs mit kleinem Durchmesser kann im Hinblick auf die Anschaffungskosten durchaus interessant sein. Die innere Reibung ist jedoch sehr hoch und steigt mit der Zeit weiter an. Daraus resultiert eine hohe Leistungsaufnahme, die zu hohen Betriebskosten führt.

Ein Edelstahlrohr mit größerem Durchmesser ist zwar in der Anschaffung teurer, aber wegen der geringeren Reibungsverluste ist der für die Förderung benötigte Stromverbrauch niedriger. Die Oberfläche der Rohrinne bleibt zudem länger glatt, sodass der Wartungsaufwand für das Reinigen sinkt.

#### Beispiel:

Der Förderstrom beträgt 54 m<sup>3</sup>/h oder 15 l/s.

Der Reibungsverlust eines 100 m langen Rohres mit einem Durchmesser von 3" und 4" wird einer Tabelle wie folgt entnommen:

3"-Rohr: 14 m

4"-Rohr: 3,8 m.

Durch den Einsatz eines 4"-Rohrs anstelle eines 3"-Rohrs können mehr als 10 m Förderhöhe pro 100 m eingespart werden. Die Stromeinsparungen werden wie folgt berechnet:

$$\text{kWh} = \frac{Q \times H}{367 \times \eta} = \frac{54 \times 10,2}{367 \times 0,6} = 2,45 \text{ kWh}$$

Eine gute Alternative für Edelstahlrohre ist die Verwendung von flexiblen Druckschläuchen als Steigleitung für Unterwasserpumpen, wie z. B. der Wellmaster, wobei einige Schlauchtypen sogar eine Trinkwasserzulassung besitzen. Werden Schläuche mit Druck beaufschlagt, schwillt der Durchmesser etwas an, sodass die Reibungsverluste abnehmen. Gleichzeitig wird durch die Durchmesseränderung verhindert, dass sich Ablagerungen dauerhaft an der Schlauchinnenseite bilden, weil die vorhandenen Ablagerungen durch die Durchmesseränderung regelmäßig abplatzen.

Bei Verwendung von Schläuchen geht zudem das Ziehen der Pumpe im Vergleich zu herkömmlichen Rohrleitungen schneller vonstatten. Deshalb sollten Schläuche immer dann eingesetzt werden, wenn die Pumpe häufig zu Wartungszwecken aus dem Brunnen gezogen werden muss.

Grundsätzlich dürfen keine Feuerwehrschräume, Nylonschräume usw. verwendet werden, weil sie nicht die erforderliche Nenndruckstufe besitzen und zudem schnell altern. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Pumpe und der Motor in den Brunnen fallen, sodass gegebenenfalls ein neuer Brunnen gebohrt werden muss. Die Pumpe sollte deshalb in jedem Fall mit einem Niroseil vor dem Hinunterfallen gesichert werden.

Der Nachteil von flexiblen Schläuchen besteht darin, dass es bei der Installation nur schwer zu vermeiden ist, dass der Schlauch den Erdboden berührt, wenn keine teure Spezialausrüstung verwendet wird. Dadurch können Bakterien und Keime in den Schaluch gelangen.

Werden die Steigleitungen und Rohwasserleitungen mithilfe von Diagrammen oder Softwareprogrammen ausgelegt, ist eine Oberflächenrauigkeit von 1 mm anzunehmen.

## 7.5 KABELAUSLEGUNG UND KABELAUSWAHL

Das Unterwasserkabel verläuft vom Brunnenkopf bis zum Motorkabel, das am Unterwassermotor angebracht ist. In der Regel besitzt das Unterwasserkabel vier Leiter, wovon einer der Schutzleiter (PE) ist. In einigen Ländern ist ein Schutzleiter nicht erforderlich. Vor dem Auswählen des Kabeltyps sind deshalb die örtlichen Vorschriften zu beachten.

Weitere Kriterien für die Auswahl des Unterwasserkabels sind:

1. Strombelastbarkeit
2. Spannungsabfall
3. Wasserqualität und Wassertemperatur
4. Trinkwasserzulassung, falls erforderlich
5. Vorschriften.

### Strombelastbarkeit

Das Unterwasserkabel wird niemals auf den Anlaufstrom ausgelegt, weil der Motor in weniger als 1/10 Sekunde anläuft. Deshalb ist für die Auslegung immer der auf dem Typenschild angegebene Nennstrom zu verwenden. Das Unterwasserkabel ist nicht auf seiner ganzen Länge im Wasser eingetaucht. Trotzdem kann eine zusätzliche Kühlung durch das Wasser angenommen werden.

### Spannungsabfall

Das Kabel muss so dimensioniert sein, dass der Spannungsabfall weniger als 3 % beträgt. Die Spannung an den Motorklemmen darf niemals mehr als 10 % unter die Nennspannung absinken.

Die maximal zulässige Kabellänge kann mithilfe der nachfolgenden Gleichungen berechnet werden.

Maximal zulässige Kabellänge bei einer einphasigen Unterwasserpumpe:

$$L = \frac{U \times \Delta U}{I \times 2 \times 100 \times (\cos\varphi \times \frac{\rho}{q} + \sin\varphi \times Xl)} \text{ [m]}$$

Maximal zulässige Kabellänge bei einer dreiphasigen Unterwasserpumpe:

$$L = \frac{U \times \Delta U}{I \times 1,73 \times 100 \times (\cos\varphi \times \frac{\rho}{q} + \sin\varphi \times Xl)} \text{ [m]}$$

U = Nennspannung [V]

U = Spannungsabfall [%]

I = Nennstrom des Motors [A]

ρ = Spezifischer Widerstand: 0,02 [mm<sup>2</sup>/m]

q = Querschnitt des Unterwasserkabels [mm<sup>2</sup>]

Xl = Induktiver Widerstand: 0,078 x 10<sup>-3</sup> [Ω/m]

### Wasserqualität und Wassertemperatur

Der beste Kabelwerkstoff für sauberes Wasser ist ein Ethlen-Propylen-Kautschuk (EPM oder EPDM). Dieser Werkstoff hat gute elektrische Eigenschaften in Verbindung mit einer hohen Beständigkeit gegenüber Wasser. Diese Kabelart wird immer dann empfohlen, wenn das zu fördernde Wasser nicht mit Kohlenwasserstoffen verunreinigt ist. Denn Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPR) bietet nur eine eingeschränkte Beständigkeit gegenüber Kohlenwasserstoffen.



In Lösungen mit geringem Kohlenwasserstoffgehalt kann ein Kabel aus Chloropren verwendet werden. Ist der Kohlenwasserstoffgehalt höher, wird eventuell ein PTFE-ummanteltes (Teflon) Kabel benötigt. Eine kostengünstigere Lösung ist jedoch das standardmäßig verwendete Kabel aus Chloropren. Die technischen Daten können von Grundfos angefordert werden. Die SPE-Ausführungen der SP-Pumpen sind standardmäßig mit einem PTFE-Motorkabel ausgestattet. Sie sind somit für die Förderung von Wasser mit hohem Kohlenwasserstoffgehalt geeignet.

Die Strombelastbarkeit der Kabel ist temperaturabhängig. Die Angaben beziehen sich in der Regel auf eine Wassertemperatur von 30 °C. Bei höheren Temperaturen ist ein Korrekturfaktor entsprechend der nachfolgenden Tabelle anzuwenden.

Kabeltyp	TML-A-B	H07RN
Isolierung	EPR	NR/SR
Umgebungstemp. °C	Korrekturfaktor	Korrekturfaktor
10	1,18	1,29
15	1,14	1,22
20	1,10	1,15
25	1,05	1,05
30	1,00	1,00
35	0,95	0,91
40	0,89	0,82
45	0,84	0,71
50	0,77	0,58
55	0,71	0,41
60	0,63	-
65	0,55	-
70	0,45	-

### Trinkwasserzulassung

Alle Grundfos Motoren, die nicht für den nordamerikanischen und japanischen Markt bestimmt sind, werden ab Werk mit einem für Trinkwasser zugelassenen Motorkabel geliefert. Wird die Pumpe zur Förderung von Trinkwasser eingesetzt, wird empfohlen, auch ein Unterwasserkabel mit Trinkwasserzulassung zu verwenden.

### Vorschriften

Die örtlichen Vorschriften sind zu beachten.

## 7.6 INSTALLATION

### 7.6.1 Zusammenbau von Pumpe und Motor

Die Grundfos Unterwasserpumpen und -motoren sind in Übereinstimmung mit den NEMA-Normen ausgeführt. Sie sind mit allen Pumpen und Motoren kompatibel, die ebenfalls diesen Normen entsprechen. Dennoch wird empfohlen, eine Grundfos Pumpe immer nur mit einem Grundfos Motor zu kombinieren. Ausführliche Informationen zum Zusammenbau finden Sie in der entsprechenden Betriebsanleitung der jeweilige SP-Pumpe.

### 7.6.2 Verbinden des Motor- und Unterwasserkabels

Ein häufiger Grund für durchgebrannte Motoren sind defekte oder nicht vorschriftsmäßige Kabelverbindungen. Daher sollten nur von Grundfos empfohlene Produkte (bzw. gleichwertige Produkte) gewählt und die Herstellerrichtlinien befolgt werden. Jede Kabelverbindung muss wasserdicht sein und einen Isolationswiderstand von mindestens 10 MΩ besitzen (gemessen im eingetauchten Zustand nach 24 Stunden). Um dies zu erreichen, müssen alle Kabelteile absolut sauber sein. Zudem müssen alle in den Serviceanleitungen und Servicevideos genannten Bedingungen eingehalten werden.

Es gibt die folgenden drei Möglichkeiten, um die Kabel miteinander zu verbinden:

#### 1. Warmschrumpfschlauch

Bei diesem Verfahren wird ein Kunststoffrohr verwendet, das auf der Innenseite mit einem Klebstoff bedeckt ist. Bei Aufbringen von Wärme schrumpft das Kunststoffrohr und der Klebstoff beginnt zu schmelzen. Auf diese Weise entsteht eine wasserdichte und sichere Kabelverbindung. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Verbindung einfach herzustellen ist, keine Zeit zum Trocknen braucht und sofort einsatzbereit ist. Deshalb wird diese Art der Kabelverbindung von Grundfos empfohlen. Die Grundfos Schrumpfschlauchserie "KM" deckt alle Arten der Schrumpfkabelverbindungen ab.

## 2. Vergießen

Das Ausgießen mit Harz ist die älteste und bekannteste Verbindungsart. Sie ist jedoch schwierig für Warmwasseranwendungen und für Medien mit hoher Leitfähigkeit herzustellen. Grundfos empfiehlt deshalb das Schrumpfschlauchverfahren.

## 3. Steckverbindung

Kabelverbindingssätze und Isolierband dürfen nicht älter als drei Jahre sein. Bei Temperaturen über 15°C verringert sich die maximal zulässige Lagerdauer auf ein Jahr. Die Kabelverbindungen sind bei jeder Wartung zu prüfen.

### Motorkabelstecker

Bei der Montage des Motorkabelsteckers sind die in den Dokumentationsunterlagen angegebenen Anzugsmomente zu beachten. Wird zur Erleichterung der Montage ein Schmiermittel auf den Kabelstecker aufgebracht, ist ein nicht leitendes Schmiermittel, wie z. B. Silikonpaste, zu verwenden. Motorkabelstecker, die älter als drei Jahre alt sind, dürfen nicht wiederverwendet werden, weil sie keine sichere und wasserdichte Kabelverbindung mehr ermöglichen.

## 7.6.3 Rohranschlüsse für die Steigleitung

Die Grundfos Unterwasserpumpen sind mit Rp-Gewinde und NPT-Gewinde sowie mit Flanschen, die nach unterschiedlichen Normen ausgeführt sind, lieferbar.

Prinzipiell empfiehlt Grundfos, zuerst ein 50 cm langes Rohr an der Pumpe anzubringen. Dadurch lässt sich die Pumpe bei der Installation besser handhaben, weil das Pumpenaggregat so noch nicht zu lang wird. Andererseits bleibt ausreichend Platz für die Vorrichtung zum Halten der Pumpe, bis das nächste Rohr befestigt ist.

Als Alternative zu den Gewindeanschlüssen sind die Unterwasserpumpen auch mit folgenden Flanscharten lieferbar: Grundfos Flansche, JIS-Flansche und DIN-Flansche.

## Rohranschluss und Installation

Die standardmäßigen Grundfos Flansche sind speziell für die Brunneninstallation bestimmt und für die Förderdrücke der Grundfos Pumpen ausgelegt. Sie entsprechen deshalb keiner nationalen oder internationalen Norm. Die Verwendung von Grundfos Flanschen anstelle von anderen Flanschen bietet jedoch zahlreiche Vorteile. Sie sind nicht nur günstiger, sondern passen aufgrund ihrer Abmessungen auch besser in den Brunnen. Außerdem liefert Grundfos für seine Flansche zugehörige Gegenflansche, die an das erste Rohr geschweißt werden.

## 7.7 PUMPEN IM PARALLELBETRIEB

Eine Parallelschaltung von Pumpen wird häufig bei schwankendem Verbrauchsverhalten erwogen. Wird in diesem Fall nur eine Pumpe installiert, muss diese zur Abdeckung der Spitzenlast eine hohe Förderleistung besitzen, die jedoch nur sehr selten benötigt wird. Die Anschaffungskosten wären sehr hoch und die Effizienz wäre äußerst gering. In Spitzenzeiten erfolgt zudem eine zusätzliche Absenkung des Betriebswasserspiegels, sodass Probleme mit der Wasserqualität und der Brunnenleistung auftreten können. Diese Probleme können in der Regel durch folgende Maßnahmen vermieden werden:

1. Einsatz von mehreren kleineren Pumpen, die im Kaskadenbetrieb bedarfsabhängig ein- und ausgeschaltet werden
2. Drehzahlregelung der Pumpe über einen Druckaufnehmer
3. Kombination aus beiden Maßnahmen.

Für die Auswahl der richtigen Pumpe muss die Brunnencharakteristik bekannt sein. Sie kann dem Brunnenprotokoll entnommen oder mithilfe eines Testlaufs der Pumpe ermittelt werden.

## 7.8 PUMPEN IN REIHENSCHALTUNG

Muss die Pumpe so tief installiert werden, dass die maximale Förderhöhe einer standardmäßigen SP-Pumpe nicht ausreicht, kann die SP-Pumpe in Reihe mit einem Druckmodul BM (SP-Pumpe in einem Druckmantel) geschaltet werden. Siehe Abb. 60.

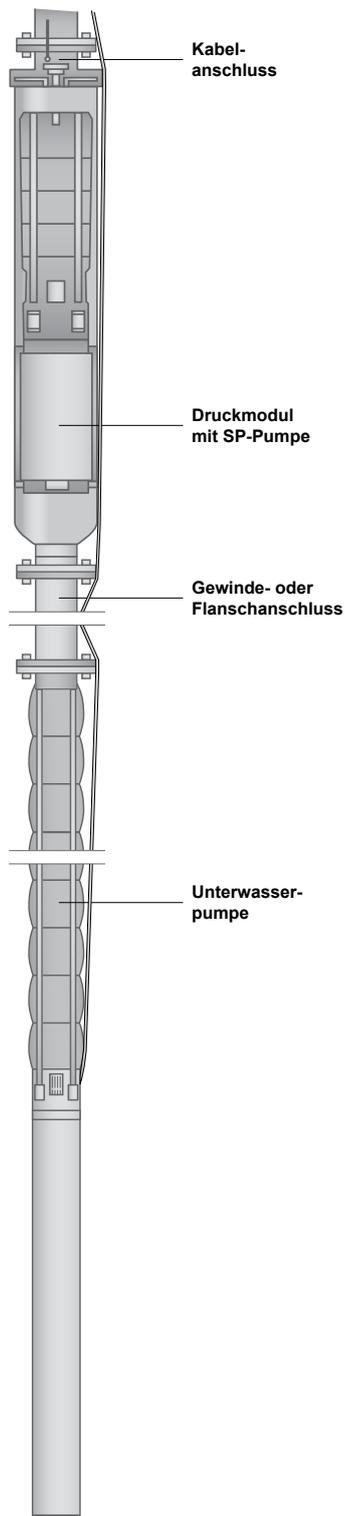


Abb. 60 Reihenschaltung von Unterwasserpumpe und Druckmodul

## 7.9 ANZAHL DER EIN-/AUSSCHALTUNGEN

Um die Lebensdauer der Unterwasserpumpe zu verlängern, muss die Anzahl der Einschaltungen zum Schutz des Motors begrenzt werden. Der Motor muss jedoch mindestens einmal im Jahr anlaufen, um ein Festgehen zu vermeiden.

In der nachfolgenden Tabelle ist die empfohlene maximale Anzahl der Einschaltungen für die verschiedenen Motortypen aufgeführt:

Einschließlich N-, R- und RE-Ausführungen	Min. Einschaltungen pro Jahr	Max. Einschaltungen pro Stunde	Max. Einschaltungen pro Tag
MS 402	1	100	300
MS 4000	1	100	300
MS6/MS 6000	1	30	300
MMS 6000	1	15	360
MMS 8000	1	10	240
MMS 10000	1	8	190
MMS 12000	1	5	120

## 7.10 INBETRIEBNAHME DER PUMPE

Ausführliche Informationen zu den Verfahren zur Reduzierung des Anlaufstroms finden Sie im Kapitel 5.

Die Inbetriebnahme der Pumpe ist gemäß der jeweiligen Betriebsanleitung durchzuführen.

In Reihe geschaltete Pumpen sind in der richtigen Reihenfolge einzuschalten. Die Pumpe mit dem niedrigsten Umgebungsdruck muss zuerst anlaufen.

Bei Pumpen im Parallelbetrieb muss in der Anlage eine Entlüftungseinrichtung vorgesehen werden, damit Lufteinschlüsse vermieden werden.

## 7.11 FREQUENZUMRICHTERBETRIEB

Siehe Kapitel 5.

## 7.12 GENERATORBETRIEB

Für die über einen Verbrennungsmotor angetriebenen Generatoren, die für die Spannungsversorgung von Unterwassermotoren angeboten werden, gelten in der Regel folgende Standardbedingungen:

- Maximale Aufstellungshöhe über NN: 150 m
- Maximale Lufteintrittstemperatur: 30 °C
- Maximale Luftfeuchtigkeit: 60 %.

Werden die angegebenen Grenzwerte überschritten, muss die Leistung des Dieselmotors und eventuell auch des Generators reduziert werden, um eine ausreichende Spannungsversorgung des Unterwassermotors sicherzustellen. Bei der Bestellung eines Stromerzeugers müssen die Aufstellungshöhe, die Lufteintrittstemperatur und die maximale Luftfeuchtigkeit angegeben werden, damit der Generatorhersteller die Leistung entsprechend abstuft. Generatoren für dreiphasige Unterwassermotoren müssen einen Spannungsabfall von 35 % während der Anlaufphase tolerieren können.

Die folgende Tabelle gibt Hilfestellung für die Auswahl intern geregelter Generatoren im Hinblick auf die Dauer-Kurzschlussleistung für Einphasen- und Dreiphasenmotoren mit Direktanlauf.

Beispiele für Abschwächungsfaktoren bei Standard-Dieselmotoren	Beispiele für Abschwächungsfaktoren bei Standard-Generatoren
<b>Aufstellungshöhe:</b> 3,5 % für jede 300 m über 150 m über NN (2,5 % bei Dieselmotoren mit Turbolader).	<b>Aufstellungshöhe:</b> 2,5 % für jede 300 m über 1000 m über NN.
<b>Lufteintrittstemperatur:</b> 2 % für jede 5,5 °C über 30 °C (3 % bei Dieselmotoren mit Turbolader).	<b>Lufteintrittstemperatur:</b> 5 % für jede 5 °C über 40 °C.
<b>Luftfeuchtigkeit:</b> 6 % bei 100 % Luftfeuchtigkeit.	

**Hinweis:** Besonders bei geringer Last und im Hinblick auf die Auslegung der Lichtmaschine ist eine Absprache mit dem Generatorhersteller erforderlich.

Wird die Leistung des Generators und des Dieselmotors entsprechend der Tabelle reduziert, wird Folgendes erreicht:

1. Während des Anlaufens ist der Spannungsabfall am Generator nicht größer als 10 %. Somit kann auch ein Unterspannungsschutz mit sehr kurzer Auslösezeit im Schaltgerät für den Pumpenmotor installiert werden.
2. Der Generator und Dieselmotor haben eine normale Lebensdauer, weil ein neuer, vollständig eingefahrener Motor bei Dauervolllaststrom, den der Pumpenmotor zieht, nur zu ca. 70 % belastet wird. Ein Dieselmotor besitzt den höchsten Wirkungsgrad (geringsten Kraftstoffverbrauch pro kW Ausgangsleistung) in der Regel bei 70 bis 80 % der Maximallast.
3. Bei Anlauf über einen Autotransformer oder der Installation eines Grundfos MP 204 als Unterspannungsschutz, kann sowohl der Generator als auch der Dieselmotor um 20 % kleiner als in der Tabelle angegeben ausgewählt werden. Dann müssen jedoch der Luftfilter und die Einspritzdüsen häufiger gewartet, der Kühler häufiger gereinigt und das Öl häufiger gewechselt werden. Außerdem beträgt der Spannungsabfall während des Anlaufens bis zu 20 %. Werden die Verluste im Unterwasser- und Motorkabel von bis zu 15 % hinzugerechnet, summiert sich der Gesamtspannungsverlust am Motor auf über 35 %. Für Drehstrommotoren stellt dies kein Problem dar, eventuell aber für Einphasenmotoren, die bei geringen Anlaufspannungen häufig einen größeren Anlaufkondensator benötigen.

Es gibt zwei Arten von Generatoren: die intern und die extern geregelten Generatoren.

Intern geregelte Generatoren haben eine zusätzliche Wicklung im Stator und werden auch als "selbsterregt" bezeichnet. Die zusätzliche Wicklung erkennt den Ausgangsstrom und erhöht automatisch die Ausgangsspannung. Die intern geregelten Generatoren besitzen in der Regel den höchsten Wirkungsgrad.



Extern geregelte Generatoren nutzen einen extern montierten Spannungsregler, der die Ausgangsspannung erfasst. Wenn die Spannung während des Anlaufens absinkt, erhöht der Regler die Ausgangsspannung des Generators.

Bemessungsdaten der einphasigen und dreiphasigen Unterwasserpumpen [kW]	Bemessungsdaten des Generators		Aufstellungshöhe max. 150 m und 100 % Luftfeuchtigkeit		Aufstellungshöhe max. 750 m und 100 % Luftfeuchtigkeit	
			Bemessungsdaten des Dieselmotors bei einer Umgebungstemperatur von			
	[kVA]	[kW]	30 °C [kW]	40 °C [kW]	30 °C [kW]	40 °C [kW]
0,25	1,5	1,0	1,25	1,3	1,4	1,43
0,37	2,0	1,5	2,0	2,1	2,3	2,3
0,55	2,5	2,0	2,5	3,1	2,8	2,86
0,75	3,0	2,5	3,0	3,1	3,4	3,44
1,1	4,0	3,0	4,0	4,2	4,5	4,58
1,5	5,0	4,0	5,0	5,2	5,6	5,73
2,2	7,0	6,0	7,0	7,3	7,8	8,0
3,7	11,0	9,0	10,0	10,4	11,1	11,5
5,5	16,0	12,5	14,0	14,6	15,6	16,0
7,5	19,0	15,0	17,0	17,7	19,0	20,0
11,0	28,0	22,0	25,0	26,0	28,0	29,0
15,0	38,0	30,0	35,0	36,0	39,0	40,0
18,5	50,0	40,0	45,0	47,0	50,0	52,0
22,0	55,0	45,0	50,0	52,0	56,0	57,0
30,0	75,0	60,0	65,0	68,0	72,0	75,0
37,0	95,0	75,0	83,0	86,0	92,0	95,0
45,0	110,0	90,0	100,0	104,0	111,0	115,0
55,0	135,0	110,0	120,0	125,0	133,0	137,0
75,0	185,0	150,0	165,0	172,0	183,0	189,0
90,0	220,0	175,0	192,5	200,0	215,0	220,0
110,0	250,0	200,0	220,0	230,0	244,0	250,0
132,0	313,0	250,0	275,0	290,0	305,0	315,0
150,0	344,0	275,0	305,0	315,0	335,0	345,0
185,0	396,0	330,0	365,0	405,0	405,0	415,0

Ein extern geregelter Generator muss über eine ca. 50 % höhere kW/kVA-Leistung verfügen, um das gleiche Anlaufmoment wie ein intern geregelter Generator zu liefern.

Auch die Generatorfrequenz ist von großer Bedeutung, weil sich die Motordrehzahl mit der Frequenz [Hz] ändert. Aufgrund der für Pumpen geltenden Affinitätsgesetze erreicht die Pumpe nicht ihre vorgesehene Kennlinie, wenn die Pumpe nur 1 bis 2 Hz unter der auf dem Typenschild angegebenen Nennfrequenz läuft. Wird die Pumpe hingegen mit einer um 1 oder 2 Hz höheren Frequenz betrieben, kann das Überlastrelais ansprechen.

#### Informationen zum Generatorbetrieb

Der Generator muss immer vor der Pumpe eingeschaltet und nach der Pumpe abgeschaltet werden. Das Drucklager des Motors kann beschädigt werden, wenn der Generator beim Herunterfahren noch mit dem Motor verbunden ist. Dasselbe Problem tritt auf, wenn dem Generator der Kraftstoff ausgeht.



# 8 KOMMUNIKATION





## 8.1 ZIEL DER KOMMUNIKATION UND VERNETZUNG

Die Hauptaufgabe der Datenübertragung und der Vernetzung von Ausrüstung und Maschinen in nahezu allen Industrieanlagen, wie z. B. der Wasserversorgung, besteht darin, die Überwachung und Regelung zu zentralisieren.

Belegt ist, dass die meisten Automationssysteme von der Zentralisierung der Überwachung und Regelung profitieren. Die häufigsten Vorteile sind:

- Optimierte Leistung (z. B. Einsparen von Energie und Material)
- Optimierte Prozessqualität (Abhilfemaßnahmen)
- Bessere Wartung (bedarfsabhängige Reparatur)
- Geringere Betriebskosten (z. B. Einsparen von Mitarbeitern)
- Organisierte/schnelle Reaktion auf Störungen (Minimierung der Ausfallzeiten)
- Einfacher Zugriff auf aktuelle Daten und Möglichkeit Daten in einer Datenbank zu speichern (Berichterstellung).

Systeme für die zentrale Verwaltung werden als *SCADA-Systeme* (Supervisory Control and Data Acquisition) bezeichnet.

## 8.2 SCADA-SYSTEME

### 8.2.1 Hauptkomponenten eines SCADA-Systems

Ein typisches SCADA-System besteht in der Regel aus den folgenden drei Komponenten:

#### 1. Leitrechner

Der Computer (z. B. ein PC mit dem Betriebssystem Windows oder Unix) besitzt eine Bedienoberfläche (Human Machine Interface) und eine Datenbank. Von zahlreichen Drittanbietern sind spezielle HMI/SCADA-Softwarepakete auf dem Markt, wie z. B. iFix von GE Fanuc, CitectSCADA von Citect, SIMATIC von Siemens und Wonderware von Invensys.

#### 2. Mehrere Außenstationen

Eine Außenstation ist häufig ein *eigenständiges* Untersystem. Eigenständig bedeutet, dass das

Untersystem den Betrieb allein aufrecht erhalten und seine Aufgabe (z. B. Befüllen eines Behälters) weiterhin erfüllen kann, auch wenn die Verbindung zum SCADA-System unterbrochen ist. Das Gesamtsystem (Wahl der Technologie und Ausrüstung) sollte so gestaltet sein, dass das Untersystem – wann immer möglich – eigenständig agiert. Zudem muss sichergestellt sein, dass das Untersystem ausfallsicher ist und bei einer Unterbrechung der Verbindung zum SCADA-System in einen sicheren, vorhersehbaren und klar definierten Zustand zurückkehrt. Die Außenstation ist in der Regel:

- eine SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung)
- ein Digital-Digital-Wandler
- ein Gateway zu einem anderen (untergeordnetem) Netzwerk.

#### 3. Kommunikationsinfrastruktur

Die Kommunikationsinfrastruktur ist das Bindeglied für das Gesamtsystem. Häufig wird eine Kombination aus mehreren Technologien verwendet, weil in komplexeren Anwendungen eine einzige Technologie (Netzwerk oder Protokoll) nicht alle Anforderungen erfüllt.

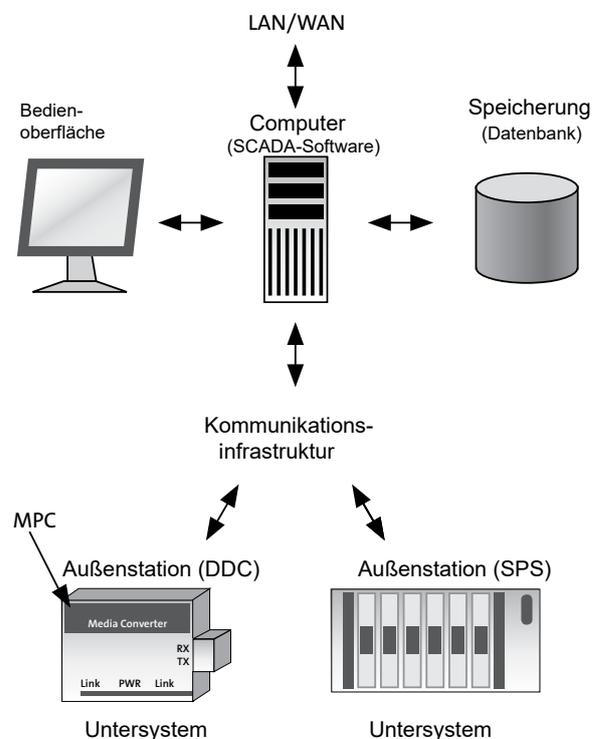


Abb. 61 Darstellung der Hauptkomponenten eines SCADA-Systems

## 8.2.2 SCADA-Funktionen

Nachfolgend sind die typischen Funktionen des zu einem SCADA-System gehörigen Softwarepakets aufgelistet. Die wichtigsten Funktionen sind an oberster Stelle aufgeführt. Die Software der SCADA-Systeme verfügt häufig über Netzwerkserveigenschaften, sodass ein Einloggen in das SCADA-System von einem anderen an das Netzwerk angeschlossenen PC möglich ist, wenn der Hostrechner mit einem LAN-Netzwerk oder mit dem Internet verbunden wird. Die Software des SCADA-Systems ist ein von vielen Softwareherstellern angebotenes Standardpaket, das jedoch in hohem Maße an die Kundenanforderungen (Daten, Funktionen, grafische Darstellung, usw.) angepasst wird.

1. Sicherstellen der Betriebssicherheit
  - Funktioniert die Anlage (bestimmungsgemäßer Betrieb und Erfüllen des Verwendungszwecks)?
  - Muss die Anlage repariert werden (Ursache und Störungsart)?
  - Ist die Anlage ausgefallen (Ursache)?
2. Anzeigen von Anlagenparametern/-zuständen
  - Betriebszustände (wie z. B. EIN/AUS) dargestellt als Grafik und mithilfe von Farben
  - Anzeigen wichtiger Anlagenparameter in der grafischen Anlagenübersicht (Förderhöhe, Förderstrom, usw.)
  - Grafische Darstellung wichtiger Anlagenparameter
3. Alarmaufzeichnung und Alarmweiterleitung
  - Verwalten von Dienstplänen
  - Weiterleiten von Nachrichten (z. B. SMS)
4. Aufzeichnen / Abfragen von Daten
  - Schnittstelle zur Datenbank (z. B. Microsoft SQL)
  - Datenverarbeitung / Datenspeicherung / Datenvisualisierung
5. Regelung
  - Handbetrieb
  - Automatikbetrieb
  - Regelung (selten)
6. Einrichten
  - Anzeigen wichtiger Einrichtungsparameter
  - Ändern wichtiger Einrichtungsparameter

7. Wartungsinformationen
  - Wartungsplan und Wartungshistorie
  - Ersatzteillisten
  - Betriebsanleitungen, Fotos, Anleitungsvideos
8. Expertensystem
  - Künstliche Intelligenz
  - Fehlerdiagnose
  - Entscheidungshilfe
9. Verbindung zum ERP-System des Unternehmens

## 8.2.3 Webbasierte SCADA-Systeme

Eine SCADA-Systemsoftware, die auf einem Webserver anstatt auf einem normalen Windows-PC läuft, wird als *webbasiertes SCADA-System bezeichnet*. Alle Daten sind über das Internet mithilfe eines Webbrowsers (z. B. Internet Explorer) zugänglich. Die Untersysteme können von jedem PC mit Internetzugang an jedem beliebigen Ort auf der Welt überwacht und betrieben werden. So muss keine teure Software auf einem PC oder mehreren PCs installiert werden. Die Software des SCADA-Systems ist auf dem Webserver abgelegt, der von einem Vertragsunternehmen (Systemintegrator) oder vom Kunden (z. B. einem zentralen Webserver der Stadtverwaltung) betrieben wird.

Der Kunde/Nutzer muss sich nicht um spezielle Kenntnisse, die Kommunikation und die Software-/Hardwaretechnologie kümmern und kann sich so auf die Nutzung der Daten und die Wartung des Untersystems konzentrieren. Die Verwendung von Kennwörtern stellt sicher, dass nur autorisierte Personen Zugang zu den jeweiligen Untersystemen erhalten.

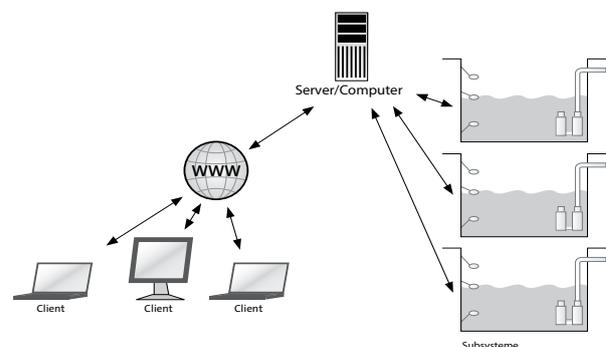


Abb. 62 Prinzipdarstellung eines webbasierten SCADA-Systems



## 8.3 GRUNDLAGEN DER VERNETZUNG

### 8.3.1 Netzwerktopologie

Die Netzwerktopologie beschreibt die Art, wie die miteinander kommunizierenden Gerät im Netzwerk verbunden werden. Dabei ist jede Topologie für spezielle Aufgaben geeignet und besitzt ihre eigenen Vor- und Nachteile.

In einem *Sternnetzwerk*, erfolgt die Verdrahtung von einem zentralen Punkt (z. B. einem Hub oder einer zentralen Steuerung) aus. Bei dieser Topologie ist die Gesamtlänge der verlegten Kabel am größten. Insbesondere die Ethernet-Netzwerke basieren auf der Sterntopologie.

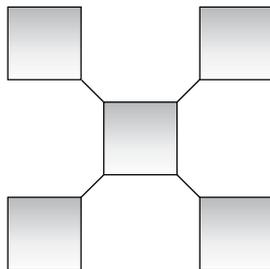


Abb. 63 Sterntopologie

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfaches Hinzufügen von neuen Geräten</li> <li>• Zentrale Regelung und Netzwerk-/Hubüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausfall aller an den Hub angeschlossenen Geräte bei einer Hubstörung</li> </ul>

Ein *Ringnetzwerk* ist eine Netzwerktopologie, bei dem jedes Gerät an genau zwei andere Geräte im Netzwerk angeschlossen ist, sodass für die Signale ein kreisförmiger Pfad gebildet wird. Die Daten wandern von Gerät zu Gerät. Jedes Datenpaket durchläuft somit jedes einzelne Gerät. Insbesondere der alte standardmäßige IBM LAN Token Ring und der in der Industrie verwendete Feldbus Interbus nutzen beide die Ringtopologie.

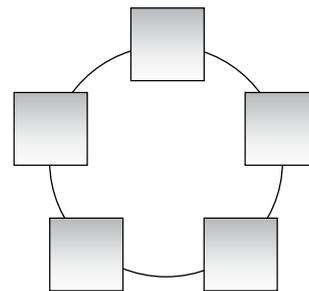


Abb. 64 Ringtopologie

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleichberechtigter Zugang für alle Geräte</li> <li>• Volle Zugriffsgeschwindigkeit auf den Ring für jedes Gerät</li> <li>• Nur geringer Leistungsabfall bei zunehmender Anzahl der Geräte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwendige, kostspielige Verdrahtung</li> <li>• Schwierige und teure Anschlüsse</li> </ul>

In einem *Busnetzwerk* sind alle Geräte an denselben Kabelabschnitt angeschlossen. Die Verdrahtung erfolgt in der Regel kettenförmig (Daisy Chain) oder mithilfe von Verbindungskabeln. Das Kabel verfügt an beiden Enden über einen Abschluss. Übertragene Nachrichten sind für alle an das Kabel angeschlossene Geräte sichtbar. Die meisten Feldbusse (z. B. Profibus, DeviceNet, GENibus) verwenden die Bustopologie. Trotz der Bezeichnung können Feldbusse aber auch auf anderen Topologien basieren.

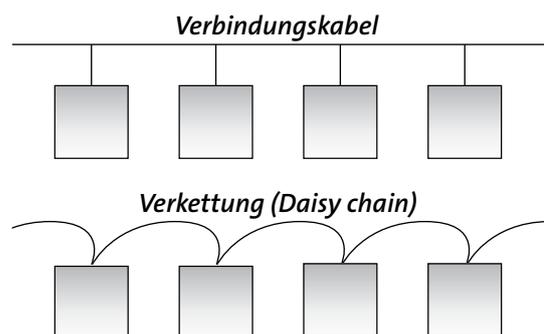


Abb. 65 Bustopologie

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfach umzusetzen</li> <li>• Kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begrenzte Kabellänge und Geräteanzahl</li> <li>• Netzwerkfehler schwer eingrenzbar</li> <li>• Alle Geräte von Kabelstörungen betroffen</li> <li>• Langsameres Netzwerk bei zunehmender Geräteanzahl</li> </ul>

Sehr häufig wird eine Kombination aus diesen drei grundlegenden Topologien verwendet. In diesem Fall spricht man von einer *Mischtopologie*. Erlaubt die verwendete Netzwerktechnologie den Anschluss nach jeder Topologie wird von einer *freien Topologie* gesprochen.

### 8.3.2 Übertragungsprotokoll

Das *Übertragungsprotokoll* definiert die Regeln, wie ein an ein Netzwerk angeschlossenes Gerät Daten mit anderen Netzwerkgeräten austauscht. Dazu gehören die Hardwareeigenschaften, wie z. B. die Impedanz und die elektrischen Signale. Aber auch die Vorgaben zum Datenaustausch werden ausführlich beschrieben, wie z. B. die Übertragungsgeschwindigkeit, der Zeitpunkt und das Format für das Datenpaket. Geregelt ist zudem, die Adressierung von Geräten zum Anfordern von Daten und wie auf die Anfrage geantwortet werden soll.

Das Übertragungsprotokoll dient zur Verwaltung der Kommunikationsleitung. Über das Protokoll wird geregelt, wer wieviele Daten wie lang übertragen darf. Bei Master/Slave-Protokollen (wie z. B. GENibus, Modbus, Profibus) entscheiden die Protokollregeln auch darüber, wer der Master und wer der Slave ist.

Das Übertragungsprotokoll sorgt für eine sichere und fehlerfreie Datenübertragung. Treten dennoch Fehler – in der Protokollsprache *Ausnahmen* genannt – auf, hat das Übertragungsprotokoll die Aufgabe, diese Ausnahmen zu erkennen, angemessen zu reagieren (z. B. die Erstellen eines Fehlerberichts, erneutes Senden, usw.) und schließlich den Fehlerzustand zu beheben, um so das gesamte Netzwerk vor einem Ausfall zu schützen.

### 8.3.3 Funktionsprofil

Das *Funktionsprofil* eines Netzwerkgerätes beschreibt die funktionelle Schnittstelle zum Netzwerk. Die Beschreibung bezieht sich vor allem auf die Ein- und Ausgangsdaten des Gerätes. Diese Daten werden häufig als Datenpunkte oder Datenworte bezeichnet. Das Funktionsprofil beschreibt somit die Datenpunkte, wie z. B. das Format (8 Bit, 16 Bit, usw.),

die Skalierung (Auflösung und Bereich), Grenzen und gegenseitige Beziehung.

Neben der Beschreibung der Datenpunkte legt das Funktionsprofil auch fest, wie das Gerät in einer Anwendung über das Netzwerk betrieben wird. Dokumentiert wird die Beziehung zwischen den einzelnen Gerätefunktionen, die Datenpunkte sowie das Verhalten der Anwendung/Anlage, in der das Gerät installiert ist. Geräte, die dasselbe Übertragungsprotokoll nutzen und Daten nach einem definierten, gemeinsamen Funktionsprofil untereinander austauschen, werden als *interoperabel* bezeichnet.

### 8.3.4 Feldbus

Die Netzwerke, die in industriellen Automationssystemen zum Anschließen von Sensoren, Stellgliedern und Steuerungen verwendet werden, werden als *Feldbus* bezeichnet – im Gegensatz zu den *Local Area Networks (LANs)*, die für Verwaltungszwecke in Büroanwendungen genutzt werden.

Feldbusse sind für den Betrieb in rauer Umgebung – sozusagen für den Einsatz im Feld – ausgelegt und nutzen Ausrüstung und Kabel in Industriequalität. Allgemein unterstützt ein Feldbusprotokoll zudem andere Eigenschaften als ein LAN, weil sich die Anforderungen entsprechend unterscheiden.

Der Feldbus überträgt in der Regel kleine Datenmengen, die jedoch z. B. wegen hoher Abtastraten in kurzen Zeitabständen anfallen. Er muss zudem in der Lage sein, zeitkritische Daten zu übertragen und die Anforderungen im Hinblick auf enge Zeitvorgaben erfüllen (nur kurze Verzögerungen beim Buszugriff und dem Antwortverhalten sowie schnelle Datenverarbeitung).

Ein LAN hingegen überträgt große Datenmengen (Dateien, usw.) zwischen Computern und Servern. Die Datenübertragung erfolgt dabei seltener. Auch an das Antwortverhalten werden keine hohen Ansprüche gestellt, weil hier Menschen und keine zeitkritischen technischen Prozesse involviert sind.



## 8.4. GENIbus

GENIbus steht für "Grundfos Electronics Network Intercommunications bus" und ist ein von Grundfos selbst entwickelter Feldbus, um die speziellen Anforderungen zu erfüllen, die bei der Datenübertragung und Netzwerkanbindung in typischen Pumpenanwendungen im Bereich der Gebäudetechnik, Wasserversorgung, Wasseraufbereitung und Industrie zu berücksichtigen sind.

### 8.4.1 Hintergrundinformationen

Der GENIbus wurde zuerst 1991 als Feldbus-Schnittstelle für die Grundfos Umwälzpumpenbaureihe UPE im Markt eingeführt. Die UPE-Pumpen waren weltweit die ersten Wasserpumpen mit integriertem Frequenzumrichter und integrierter Feldbus-Schnittstelle.

Die ursprüngliche Aufgabe der GENIbus-Schnittstelle war, den Netzwerkbetrieb der drehzahlregulierten Umwälzpumpen in Untersystemen zu ermöglichen, wobei ein zentraler Master mehrere Regelkreise mit parallel geschalteten Pumpen bedienen und gleichzeitig wichtige Pumpendaten, wie z. B. Förderhöhe, Förderstrom und Alarmmeldungen, auf einem Display anzeigen kann. Seitdem wurde der GENIbus zu einem modernen und kostengünstigen Grundfos-Standard weiterentwickelt. Er ist für nahezu alle Grundfos Produkte mit integrierter Elektronik einsetzbar. Das Haupteinsatzgebiet ist:

- Vernetzung von Pumpen, Hilfseinrichtungen und Steuerungen in Grundfos Untersystemen (z. B. Hydro MPC und PPD)
- Einbindung in Automationssysteme (z. B. SCADA) mithilfe des Grundfos CIM/CIU-Kommunikationskonzepts
- Verbindung zu PC Tools über Adapter zum Konfigurieren sowie zur Störungssuche, Parameterüberwachung, Datenaufzeichnung, usw.

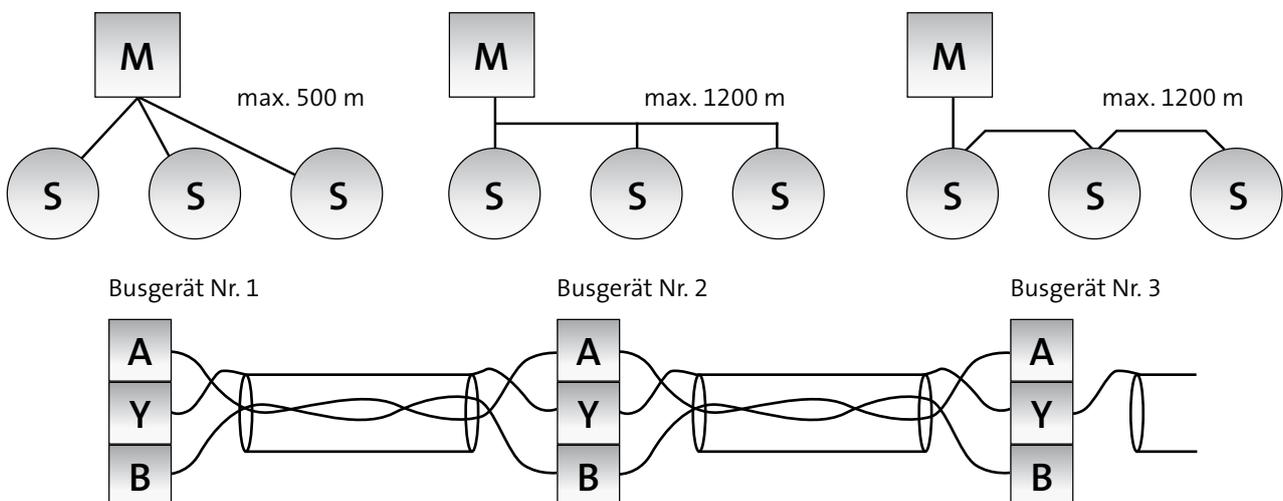
### 8.4.2 Verkabelungsrichtlinien

Allgemein

- Abgeschirmte Twisted-Pair-Kabel verwenden
- Schirm an beiden Enden aufliegen
- Zum Anschließen von mehreren Geräten Daisy-Chaining bevorzugen
- Stichleitungen vermeiden
- Leitungen so kurz wie möglich halten
- Wenn möglich, die Busleitungen von den Stromkabeln trennen

GENIbus

- Keine Abschlusswiderstände verwenden
- Eine Kommunikationsentfernung bis zu 1.200 m in der Regel problemlos möglich
- Kommunikationsentfernung mithilfe von Verstärkern erweiterbar
- Bei Geräuschproblemen den an einem Ende des Busgerätes vorhandenen Schirm entfernen



Daisy chaining als beste Verkabelungsvariante für den GENIbus

## 8.5 GRUNDFOS GENIBUS PRODUKTE FÜR SP-ANWENDUNGEN

Mithilfe des elektronischen Motorschutzgerätes MP 204 kann die SP-Pumpe fernüberwacht werden:

- Strom und Spannung bei dreiphasigen Pumpen
- Phasenwinkel und  $\cos \theta$  bei dreiphasigen Pumpen
- Anlaufstrom
- Stromasymmetrie
- Isolationswiderstand
- Leistungs- und Stromaufnahme
- Versorgungsfrequenz
- Motortemperatur
- Anliegende Alarm- und Warnmeldungen
- Aufgezeichnete Alarmmeldungen
- Betriebsstunden und Einschaltdauer der Spannungsversorgung
- Anzahl der Einschaltungen (Gesamtanzahl und Anzahl pro Stunde)
- Anzahl der Neustarts (Gesamtanzahl und Anzahl pro Tag)
- Betriebsart des Motorschutzgeräts MP 204.

Wird das elektronische Motorschutzgerät MP 204 als EIN/AUS-Stellglied verwendet, kann die SP-Pumpe aus der Ferne ein- und ausgeschaltet werden. Zudem können Alarmmeldungen, der Alarmspeicher und verschiedene Zähler, wie z. B. der Betriebsstundenzähler und der Zähler für die Einschaltungen zurückgesetzt werden.

Mithilfe des CIU 251 allein oder in Verbindung mit dem MP 204 oder CUE können folgende Parameter überwacht werden:

- Messwert des Pt100-Temperaturfühlers
- Wert des Impulszählereingangs
- Wert des 4-20 mA Analogeingangs
- Alarmauslösewert überschritten (für die zuvor erwähnten Eingänge)
- Einschaltdauer der Spannungsversorgung
- Aufgezeichnete Alarmmeldungen.

Das MP 204 und das IO 112 haben beide eine GENIBus-Schnittstelle. Das MP 204 wird vom Grundfos Gateway G100 unterstützt, an das bis zu 32 MP 204 gleichzeitig angeschlossen werden können. Das G100

ermöglicht die Kommunikation über Modbus (RS232, Funk oder GSM) oder über Profibus. Es verfügt zudem über einen integrierten Datenlogger, mit dem ca. 300.000 Daten mit Zeitstempel aufgezeichnet werden können. Das Datenblatt für das G100 ist im Grundfos Product Center hinterlegt.

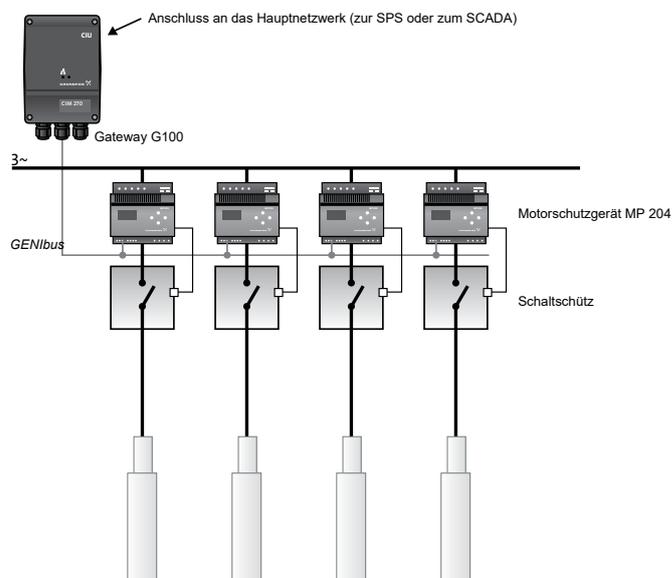
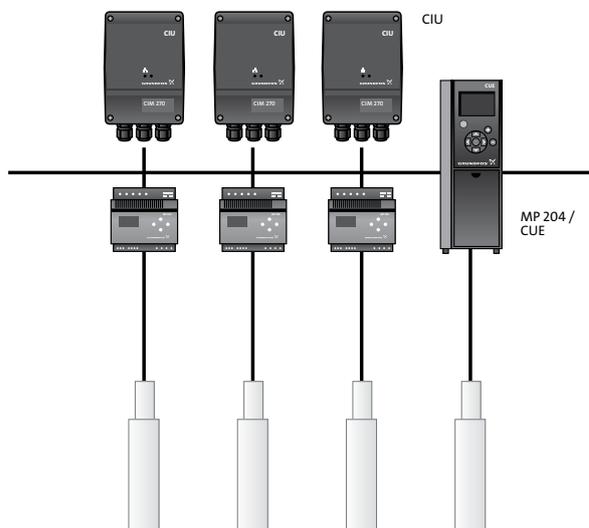


Abb. 66 Darstellung der Fernüberwachung und Fernregelung von SP-Pumpeninstallationen





### **Grundfos GO**

Grundfos Pumpen sind für die drahtlose Kommunikation mit der Grundfos GO App vorbereitet. Die Kommunikation erfolgt über Funk. Zum Schutz gegen Missbrauch ist die Funkübertragung zwischen der Pumpe und der Fernbedienung Grundfos GO verschlüsselt.

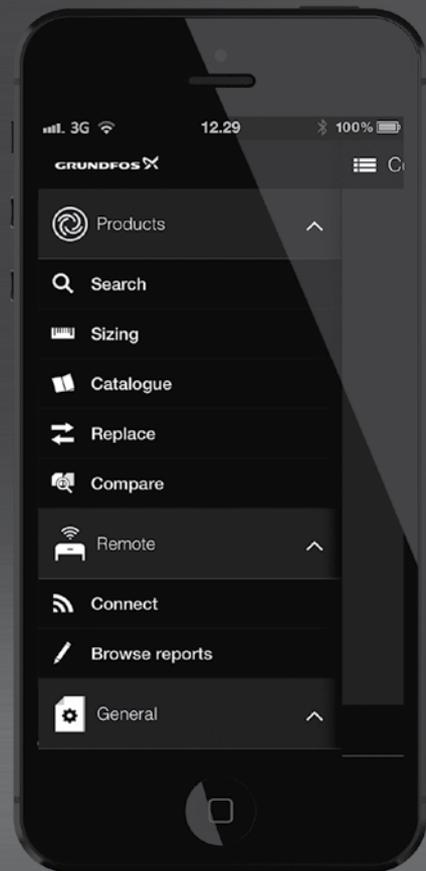
Die Grundfos GO App kann im Apple App Store und Android Market heruntergeladen werden. Für die Nutzung der App ist ein mobiles Schnittstellengerät MI 202, MI 204 oder MI 301 erforderlich.

Bei dem MI 202 und MI 204 handelt es sich um Zusatzmodule für die Datenübertragung über Infrarot und Funk. Das MI 202 kann in Verbindung mit Apple Geräten mit 30-Pin-Steckverbindung (iPhone 4, 4S und iPod touch 4G) verwendet werden. Das MI 204 ist für Apple Geräte mit Lightning-Schnittstelle bestimmt.

Das Kommunikationskonzept Grundfos GO ersetzt die Fernbedienung Grundfos R100. Das bedeutet, dass alle Produkte, die mit der R100 betrieben werden können, auch vom Grundfos GO unterstützt werden.

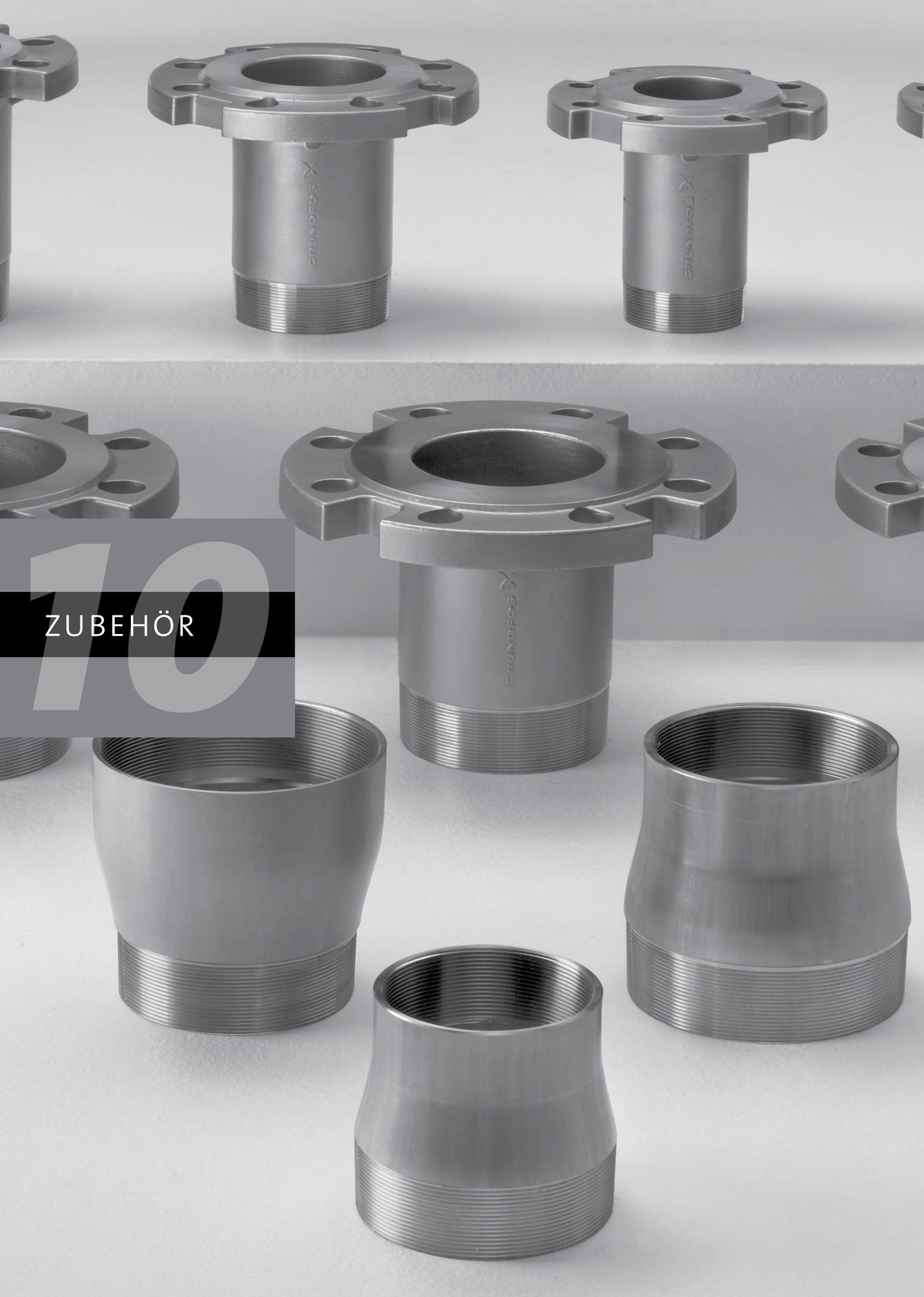
Die Funktion und das Verbinden mit der Pumpe sind in den entsprechenden Betriebsanleitungen im Abschnitt für das Einrichten mit der Grundfos GO beschrieben.

# FEHLERBEHEBUNG





Störung	Ursache	Abhilfe
<p>Laute Geräusche in den Rohrleitungen der Wohnung oder des Gebäudes.</p> <p>Die Manometer zeigen nach kurzer Zeit keinen Druck mehr an.</p> <p>Luftausstoss in Rohrleitungen und Armaturen.</p>	Druckstöße beim Ein- und Ausschalten der Pumpe	Einen 50-Liter-Membrandruckbehälter an der Stelle installieren, wo die Steigleitung und die horizontale Druckleitung zusammentreffen. Beim Ausschalten der Pumpe strömt das Wasser aus dem Membrandruckbehälter und verhindert so, dass sich ein Vakuum bildet.
Luft dringt in die Saug- und Druckleitung ein.	Entstehen von Vakuum durch Druckstöße	Druckstöße durch Sanftanlauf, Frequenzumrichter oder Membrandruckbehälter verhindern.
Schnelle Abnahme der Förderleistung.	Verschleiß durch in den Brunnen eindringenden Sand/Schlamm	Betroffene Brunnen ermitteln und den Brunnenabschnitt absperren oder die Förderleistung um die Hälfte reduzieren.
Sicherungen lösen häufig aus und der Motor verbraucht zu viele kWh pro gefördertem m <sup>3</sup> .	Hohe Anlauffrequenz	Die Förderleistung reduzieren oder einen Frequenzumrichter bzw. größeren Membrandruckbehälter installieren.
Zu hohe Leistungsaufnahme des Motors und verschlissene Vielnutzwelle/-kupplung.	Auftrieb	Förderleistung soweit drosseln, dass der Betrieb am Wirkungsgradbestpunkt erfolgt oder die Anzahl der Laufräder reduzieren.
Verschlissene Auftriebslager.	Auftrieb bei EIN/AUS-Betrieb	Bei der Inbetriebnahme den Förderstrom einregeln.
<p>Drucklager des Unterwassermotors beschädigt.</p> <p>Isolationswiderstand bei wiederwickelbaren Motoren zu gering.</p>	Kavitation	Zulaufbedingungen zur Pumpe verbessern und Betrieb am Wirkungsgradbestpunkt ermöglichen.
Die Motortemperatur steigt mit der Zeit und die Förderleistung sinkt.	Ablagerungen (Kalzium, Eisen, usw.) auf der Motoroberfläche und den hydraulischen Bauteilen der Pumpe	Die Pumpe und den Motor zum Reinigen aus dem Brunnen ziehen. Die Rohrleitung, den Brunnenfilter reinigen und einen Kühlmantel installieren.
Die Förderleistung sinkt.	Aggressives Wasser (Korrosion an der Pumpe und den Rohrleitungen)	Rohrleitung abdrücken. Bei Auftreten von Leckagen, die Pumpe und die Rohrleitungen durch Produkte mit höherer Korrosionsklasse ersetzen.
Beim Abschalten entweicht Wasser aus der Rohrleitung.	Korrosion an der Steigleitung	Die Pumpe aus dem Brunnen ziehen und die vorhandene Rohrleitung durch eine Rohrleitung mit höherer Korrosionsklasse ersetzen.
Zu geringe Förderleistung. Zu hohe Leistungsaufnahme.	Entgasung	Die Pumpe weiter absenken, wenn sie mit einem Gasmantel ausgerüstet ist.
Der Wasserspiegel im Brunnen sinkt kontinuierlich.	Zu hohe Brunnenbelastung	Die Förderleistung reduzieren, bis der Wasserspiegel über das Jahr konstant bleibt. Weitere Brunnen an anderen Grundwasserleitern bohren.



# 10

ZUBEHÖR



Nachfolgend wird das zurzeit für die Grundfos SP-Unterwasserpumpen lieferbare Zubehör beschrieben. Die zugehörigen Produktnummern finden Sie im SP-Datenheft.

## 10.1 KÜHLMÄNTEL

Allgemein wird der Einsatz von Kühlmänteln empfohlen, wenn die Motorkühlung unzureichend ist. Für die Grundfos Unterwassermotoren ist immer eine Mindestströmungsgeschwindigkeit von 0,15 m/s entlang des Motors erforderlich.

Bei Behälteranwendungen ist in der Regel immer ein Kühlmantel vorzusehen. Auch bei Tiefbrunnenanwendungen muss eventuell ein Kühlmantel installiert werden, wenn die Gefahr besteht, dass das Wasser von oben zum Pumpenzulauf gelangt und somit nicht automatisch entlang des Motors strömt.

Weitere Anwendungen, bei denen ein Kühlmantel verwendet werden sollte:

- Der Motor wird einer hohen thermischen Belastung z. B. durch eine hohe Umgebungstemperatur, Stromasymmetrie oder Überlast ausgesetzt.
- Aggressive Medien werden gefördert, sodass sich die Korrosionsgeschwindigkeit bei jedem Temperaturanstieg um 10 °C verdoppelt.
- Sedimentation oder Ablagerungen treten um den und/oder am Motor auf.

Durch Verwendung eines Kühlmantels wird die Motortemperatur auf ein Minimum gesenkt und die Lebensdauer des Motors verlängert.

$$v = \frac{Q \times 353}{D^2 - d^2} \text{ [m/s]}$$

Q	m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom
D	mm	Kühlmanteldurchmesser
d	mm	Pumpendurchmesser

Der Grundfos Kühlmantel ist so gestaltet, dass die Strömungsgeschwindigkeit entlang des Motors mindestens 0,5 m/s und maximal 3 m/s beträgt, um optimale Betriebsbedingungen für die Pumpe und den Motor zu gewährleisten.

## 10.2 KORROSIONSSCHUTZ BEI SEEWASSER

Bei Eintauchen in chlorhaltiges Wasser kann Edelstahl durch Spaltkorrosion oder Lochfraß angegriffen werden.

Die Wahrscheinlichkeit der Korrosionsbildung ist abhängig von folgenden Faktoren:

- Werkstoffgüte (GG, AISI 304, AISI 316, AISI 904L)
- Chloridgehalt im Wasser
- Elektrochemisches Potential des medienberührten Metalls
- Temperatur
- Sauerstoffgehalt
- Strömungsgeschwindigkeit des in Kontakt mit der metallischen Oberfläche befindlichen Fördermediums
- pH-Wert.

Wird Metall in Wasser eingetaucht, bildet es eine elektrochemische Zelle, vergleichbar mit einer in ein Elektrolyt (z. B. chlorhaltiges Wasser) eingetauchten Anode und Kathode. Dieses Verhalten wird auch als galvanische Zelle bezeichnet. Dabei ist die Anode der aktive Teil und die Kathode der edlere Teil.

Metalle können in der Reihenfolge ihrer Seewassereignung in einer Korrosionstabelle (galvanische Spannungsreihe) aufgelistet werden. Wird die Metalloberfläche in der elektrochemischen Zelle zur Anode, kommt es zur Korrosionsbildung.

### 10.2.1 Kathodischer Korrosionsschutz

Der kathodische Korrosionsschutz ist ein Verfahren zur Eindämmung von Korrosion an einer bestimmten Metalloberfläche, die zur Kathode der elektrochemischen Zelle gemacht wird. Dies kann auf zwei Arten erfolgen:

- **Galvanisch:** Verwenden eines Opfermetalls
- **Elektrisch:** Verwenden einer Gleichstromspannungsquelle und einer Inertanode.

### 10.2.2 Galvanischer Korrosionsschutz

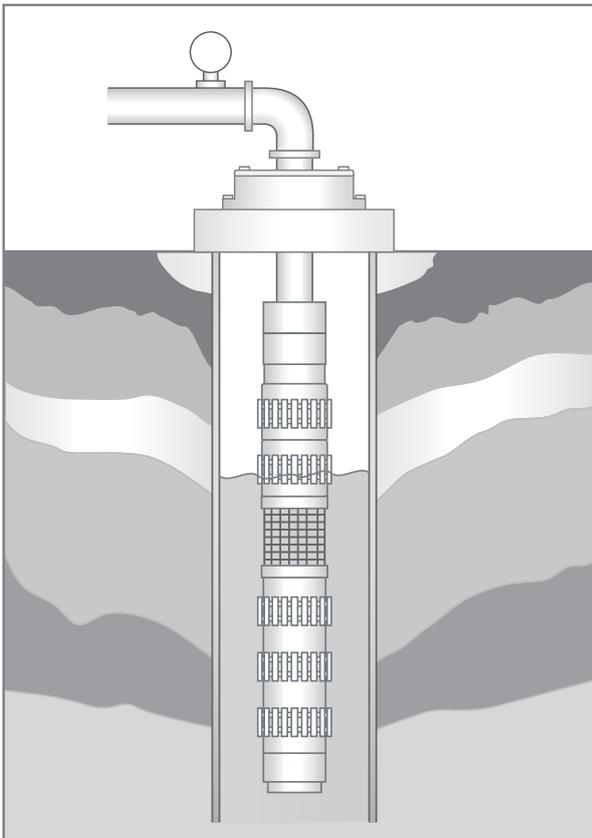


Abb. 67 Unterwasserpumpe mit Opferanoden aus Zink

Grundfos bietet eine Reihe von Opferanoden aus Zink für seine Unterwasserpumpen und -motoren an. Zum Schutz der Steigleitungen aus Metall werden entsprechende Standardlösungen empfohlen.

Bei der Verwendung von Opferanoden sind die negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu beachten. Zudem bildet sich Salz während des galvanischen Prozesses.

Das Verfahren muss ständig überwacht werden, um die Opferanoden rechtzeitig austauschen zu können.

Der Vorteil besteht darin, dass das Verfahren selbstregulierend ist. Die Abnutzung der Anoden zeigt, wie hoch die Korrosionsneigung ist.

Bei größeren und komplexeren Anlagen ist eine sorgfältige Planung erforderlich, um den passenden

Korrosionsschutz auszuwählen. Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Werkstoff der Opferanode
- Form der Opferanode
- Anbau
- Anschluss.

### 10.2.3 Elektrischer Korrosionsschutz

Für den elektrischen Korrosionsschutz ist eine Gleichstromspannungsquelle erforderlich. Außerdem muss das tatsächliche Potential zwischen dem zu schützenden Metall und einer Referenzelektrode bekannt sein. Dabei muss ein möglicher Bewuchs auf dem Metallteil berücksichtigt werden, durch den sich mit der Zeit die Potentialdifferenz ändern kann.

Das Verfahren erfordert eine individuelle Ausgestaltung. Deshalb wird empfohlen, bei der Ausrüstung auf externe Lieferanten zurückzugreifen, die auch die entsprechende Beratung liefern können. In der Regel wird eine Gleichspannung von 50 V mit 10 bis 100 A angelegt.

Der Vorteil dieses Verfahren besteht darin, dass wegen der Inaktivität keine Chemikalien in die Umwelt gelangen. Das Verfahren verbraucht jedoch Energie aufgrund der erforderlichen Spannungsversorgung.

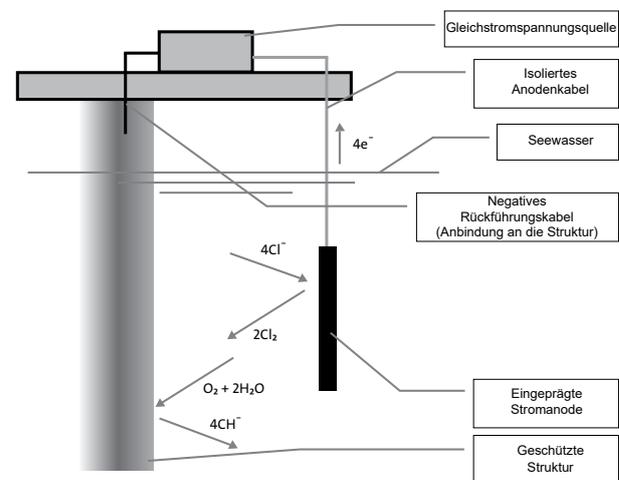


Abb. 68 Prinzip des elektrischen Korrosionsschutzes



### 10.3 UNTERWASSERKABEL

Je nach Anwendung liefert Grundfos verschiedene Arten von Unterwasserkabeln. Allgemeine Richtlinien zur Kabelauswahl sind in Kapitel 7.5 zu finden.

Es gibt Kabel, die speziell für den Einsatz in Verbindung mit Unterwasserpumpen entwickelt worden sind. Einige von ihnen haben eine Trinkwasserzulassung. Kabel für Unterwasserpumpen werden von zahlreichen Herstellern angeboten. Der Kabelhersteller sollte bestätigen, dass das Kabel den Grundfos Standard GS418A0010 erfüllt. Darin wird eine zusätzliche Überprüfung des Isolationswiderstands bei in Wasser eingetauchtem Kabel gefordert.

Die ordnungsgemäße Funktion des Kabels ist von einer wasserdichten Abdichtung abhängig. Die Vergussmasse muss an der Kabeloberfläche und den einzelnen Leitern haften bleiben. Vor dem Vergießen muss deshalb die Oberfläche sorgfältig gereinigt werden. Einige Kabelhersteller verwenden flüssige Gleitmittel, wie z. B. Silikonöl in ihren internen Fertigungsprozessen. Diese Flüssigkeiten lassen sich nur sehr schwer von der Oberfläche entfernen, sodass eine wasserdichte Abdichtung kaum zu realisieren ist. Deshalb ist darauf zu achten, dass das richtige Verfahren zum Verbinden des Motor- und Unterwasserkabels verwendet wird.

### 10.4 KABELVERBINDUNG

Unabhängig von dem angewandten Abdichtungsverfahren, ist die Haftkraft zwischen dem Dichtungsmittel und dem Kabel von größter Bedeutung für eine wasserdichte Abdichtung. Wie in Kapitel 10.3 beschrieben, ist eine saubere und ölfreie Oberfläche hierfür erforderlich.

Zum Reinigen der Oberfläche dürfen keine Lösungsmittel verwendet werden, weil dadurch das Kabel dauerhaft beschädigt werden kann. Somit sind nur mechanische Reinigungsverfahren zulässig, wie z. B. das Abwischen mit einem trockenen Tuch oder das Abschmiegeln mit Schleifpapier zur Schaffung einer unberührten Oberfläche.

Grundfos bietet eine Reihe von erprobten Kabelverbindungen an, mit denen 4-adrige Unterwasserkabel bis hin zu Einzelleitern der Unterwasserkabel mit dem Motorkabel verbunden werden können. Gängige Verfahren sind dabei das Ausgießen mit Harz und die Verwendung eines Warmschrumpfschlauchs. Empfohlen wird die KM-Kabelkupplung, die auf dem Aufschrumpfen eines Schlauchs unter Aufbringen von Wärme basiert.



## 10.5 STEIGLEITUNGEN

Grundfos bietet den Wellmaster als Alternative zu den standardmäßig verwendeten Stahl- und Kunststoffrohren an. Dieser als flexible Steigleitung einsetzbare Schlauch mit Polyurethan-Ummantelung besitzt in zahlreichen Ländern eine Trinkwasserzulassung. Er ist mit Durchmessern von 1" bis 8" und in Längen bis 200 m lieferbar.

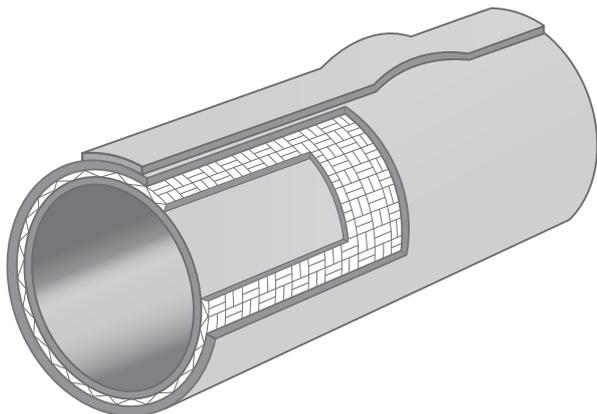


Abb. 69 Schnitt durch den Wellmaster-Schlauch

## 10.6 ANSCHLUSSSTÜCKE

SP-Pumpen werden standardmäßig mit Rp- oder NPT-Anschlussgewinde geliefert. Besitzt die Rohrleitung eine andere Anschlussart, bietet Grundfos eine Vielzahl an Anschlussstücken an, mit denen z. B. der Anschluss an Rohrleitungen mit größerem oder kleinerem Durchmesser sowie mit DIN-Flansch ermöglicht wird.



## 10.7 MOTORSCHUTZ

Als Motorschutz bietet Grundfos das MP 204 an, das das Temperatursignal vom Tempcon-Fühler abgreift, wenn der Motor mit einem Tempcon-Fühler ausgerüstet ist. Besitzt der Motor keinen Tempcon-Fühler, wird eine Lösung mit einem Pt100- oder Pt1000-Fühler empfohlen, dessen Signal ebenfalls vom MP 204 verarbeitet werden kann.

Das MP 204 ist ein elektronisches Motorschutzgerät zum Schutz von Unterwassermotoren und -pumpen.

Das MP 204 besitzt folgende Eigenschaften:

- Geeignet für einphasige und dreiphasige Motoren
- Trockenlaufschutz
- Schutz des Motors vor Überhitzung
- Überlastschutz
- Sehr hohe Genauigkeit.





## 10.8 FREQUENZUMRICHTER CUE

Die Grundfos Baureihe CUE umfasst eine Reihe von externen Frequenzumrichtern zur Drehzahlregelung von Grundfos Unterwassermotoren.

Bei Verwendung eines CUE-Frequenzumrichters ist kein externer Motorschutz erforderlich. Der CUE-Frequenzumrichter bietet zudem folgende Vorteile:

- Konstantdruck
- Konstantes Niveau
- Konstanter Volumenstrom
- Konstante Kennlinie
- Optimale Betriebsbedingungen (Energieeinsparung)

Für den Betrieb über einen Frequenzumrichter ist ein Ausgangsfilter erforderlich. Grundfos bietet zwei Arten von Ausgangsfiltern an: dU/dt-Filter und Sinusfilter.



### Grundfos in the palm of your hand

Read more

Grundfos Product Center  
Search and sizing tool to help you make the right choice

Extranet  
Easy product ordering

Quick links

How we think and act

#### Products

Find the right product for your need

Find products

#### Service

Find information on the Grundfos service offerings

Service information

# ZUSATZINFORMATIONEN

#### SMART water treatment

Grundfos provides the smartest, high-quality products and services for water treatment.

Our broad and comprehensive portfolio allows us to be the premier provider of water treatment solutions.

#### Thinking Buildings Universe

Explore the New Thinking Buildings Universe and get updated on the latest application solutions, tools that makes your working tasks easier and our products that suit your specific application needs within Commercial Buildings.

#### NO COMPROMISE!

Replace damaged or inefficient wastewater pumps with Grundfos SE/SL S-tube impeller equipped pumps and reduce clogging and downtime immediately.

Grundfos SE/SL pumps with S-tube impellers...

#### Meet the energy challenge NOW

Pumps are the key to energy efficiency

Grundfos high efficiency pump and motor technology can reduce the average pump's energy consumption by up to 60%. That is why we are making the potential of pumps loud and clear through Meet the Energy Challenge NOW.

#### Latest News

13/06/2014

#### Grundfos – the perfect match in Brazil

World-class sports events call for world-class surroundings fitted with the very best pump solutions. When the referee sets the ball rolling in Brazil this summer, there will not only be adrenalin...

05/06/2014

#### Mission Energy is nearly accomplished

An energy awareness campaign on national Indian television is reaching its finale. Grundfos has played a critical role throughout the course of this campaign, and will continue at the close.

03/05/2014

#### New agreement in Singapore opens doors for sustainable future

Singapore's National Water Agency, PUB, and Grundfos commit to develop and refine tomorrow's waste water solutions together.

02/05/2014

#### We put water on the agenda in Singapore

Grundfos offers its expertise within efficient water solutions, as politicians and important players in the water industry, set the course at Singapore International Water Week.

» See all news stories

to think innovato

#### Subscribe to newsletter

Grab the opportunity to stay up-to-date on Grundfos news and events. Sign up and we will send you our newsletter.

Subscribe

GRUNDFOS Holding A/S

Poul Due Jensen Vej 7  
DK-8950 Ejerringbro, Denmark  
Tel.: +45 87501400 | Fax: +45 87501402  
CVR no. 31 85 83 56



Weitere Informationen über Grundfos finden Sie auf unserer Internetseite unter [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com).

### Grundfos Product Center

Mithilfe des Online-Portals Grundfos Product Center können Sie Pumpen auslegen, im umfangreichen Produktkatalog nach einer Pumpe suchen sowie eine passende Austauschpumpe oder Pumpe für bestimmte Fördermedien finden. Für jede Pumpe finden Sie alle wichtigen Informationen – einschließlich Pumpenkennlinie, technische Daten, CAD-Zeichnungen, verfügbare Ersatzteile, Installationsvideos und andere wichtige Unterlagen – auf die über die Produktseite zugegriffen werden kann.

Das Grundfos Product Center verfügt über eine übersichtliche Benutzeroberfläche, die ein schnelles und einfaches Auffinden der Produkte und der zugehörigen Informationen mithilfe der nachfolgenden Funktionen ermöglicht:

- **Schnellsuche** – Suchen Sie nach einer bestimmten Pumpe und finden Sie die zugehörigen Auslegungs- und Austauschinformationen.
- **Medienratgeber** – Geben Sie das zu fördernde Medium, die Temperatur und Konzentration ein und finden Sie die passende Pumpe für die Aufgabe.
- **Schnellauslegung** – Geben Sie einfach nur die Förderhöhe und den Förderstrom für die gewünschte Pumpe ein und das Programm findet alle Grundfos Pumpen, die Ihren Suchkriterien entsprechen.
- **Kundenspezifische Ergebnisse** – Die Suchergebnisse lassen sich nach verschiedenen Kriterien sortieren, wie z. B. günstigster Anschaffungspreis, geringster Stromverbrauch oder geringste Lebenszykluskosten.

Als registrierter Nutzer des Grundfos Product Centers haben Sie direkt von der Startseite einen schnellen Zugriff auf zuvor gespeicherte Suchanfragen und komplette Projekte. Das gesamte Online-Portal ist zudem für die Nutzung auf mobilen Geräten optimiert, sodass Sie auch von unterwegs mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets Zugriff auf alle wichtigen Daten und Funktionen haben.

Alphabetisches Verzeichnis	Kapitel	Seite
Aggressives Wasser (Seewasser) .....	3.7	25
Allgemeine Beschreibung der Motorbauarten .....	5.1	37
Anlasstransformator (AT) .....	5.4.3	43
Anlasswiderstand (AW) .....	5.4.4	44
Anschlussstücke .....	10.6	88
Anwendungen .....	3	16
Anzahl der Ein- und Ausschaltungen .....	7.9	71
Auswählen der Pumpe .....	4.3	30
Auswählen der Steigleitung .....	7.4	67
Bauweise .....	4.1	29
Bergbau .....	3.2.1	19
Betriebspunkt .....	7.3.1	61
Brunnen und Brunnenanforderungen .....	7.1	59
Brunnendurchmesser .....	7.3.2	61
Brunnenleistung .....	7.3.3	61
Brunnenleistung und Wirtschaftlichkeit .....	2.2.5	12
CUE-Frequenzumrichter für SP-Pumpen .....	5.6	48
Direktanlauf (DOL) .....	5.4.1	42
Druckmodule .....	3.9	27
Einleitung .....	1	7
Eintauchtiefe .....	3.5.1	22
Elektrischer Korrosionsschutz .....	10.2.3	86
Entwässerung .....	3.2	19
Fehlerbehebung .....	9	82
Feldbus .....	8.3.4	78
Frequenz .....	6.3	52
Frequenzumrichter .....	6.4	53
Frequenzumrichter CUE .....	10.8	89
Frequenzumrichter (drehzahl geregelter Antrieb) .....	5.4.6	45
Frequenzumrichterbetrieb .....	5.5	46
Frequenzumrichterbetrieb .....	7.11	71
Frischwasserversorgung .....	3.1	17
Funktionsprofil .....	8.3.3	78
Galvanischer Korrosionsschutz .....	10.2.2	86
Generatorbetrieb .....	7.12	72
GENIbus .....	8.4	79
Grundfos GENIbus-Produkte für SP-Anwendungen .....	8.5	80
Grundlagen der Vernetzung .....	8.4	77
Grundwasser .....	2.2	9
Grundwasserbedarf .....	2.2.3	10
Grundwasserbrunnen .....	2.2.1	9
Hauptkomponenten eines SCADA-Systems .....	8.2.1	75
Hintergrundinformationen .....	8.4.1	79
Horizontale Anwendungen .....	3.3	20
Inbetriebnahme der Pumpe .....	7.10	71
Installation .....	7.6	69
Installation & Betrieb .....	7	58
Kabelauflegung und Kabelaufwahl .....	7.5	68
Kabelverbindung .....	10.4	87
Kathodischer Korrosionsschutz .....	10.2.1	85
Kavitation .....	3.5	21
Kommunikation .....	8	74
Korrosionsschutz bei Seewasser .....	10.2	85
Kühlmäntel .....	10.1	85

Alphabetisches Verzeichnis	Kapitel	Seite
Kühlmantel .....	7.3.8	66
Leistungsreduzierung bei Unterwassermotoren .....	7.3.6	65
Luft-/Gashaltiges Wasser .....	3.4	20
Motoren & Steuerungen .....	5	36
Motorkabel, Unterwasserkabel und Kabelkupplungen .....	5.2	40
Motorschutz .....	10.7	88
Motorschutzgeräte .....	5.3	40
Netzanschluss .....	6.5	54
Netzwerktopologie .....	8.4.1	77
Oberflächenwasser .....	2.3	14
Pumpen .....	4	28
Pumpen im Parallelbetrieb .....	7.7	70
Pumpen in Reihenschaltung .....	7.8	70
Pumpen- und Motorauswahl .....	7.3	60
Pumpenanordnung .....	7.2	60
Pumpenkennlinien und Toleranzen .....	4.4	31
Pumpenwirkungsgrad .....	7.3.4	61
Reduzierung des Anlaufstroms .....	5.4	41
Ressourcen .....	2.1	9
Rohranschlüsse für die Steigleitung .....	7.6.3	70
Rohwasserbedarf sowie Brunnenleistung und Aufbereitungskapazität .....	2.2.4	11
Salzwasserquellen .....	2.3.2	14
Sanftanlauf (SA) .....	5.4.5	44
SCADA-Funktionen .....	8.2.2	76
SCADA-Systeme .....	8.2	75
Schutz vor dem Sieden .....	7.3.7	65
Spannung .....	6.2	51
Spannungsasymmetrie .....	6.2.1	51
Steigleitungen .....	10.5	88
Stern-Dreieck-Anlauf (SD) .....	5.4.2	42
Stromasymmetrie .....	6.6	54
Stromerzeugung .....	6.1	51
Stromverbrauch .....	4.5	32
Stromversorgung .....	6	50
Süßwasserquellen .....	2.3.1	14
Über- und Unterspannung .....	6.2.2	51
Übertragungsprotokoll .....	8.3.2	78
Uferfiltration .....	2.2.2	10
Unterwasserkabel .....	10.3	87
Verbinden des Motor- und Unterwasserkabels .....	7.6.2	69
Verkabelungsrichtlinien .....	8.4.2	79
Verschleißteile .....	4.2	30
Warmwasser und geothermisches Wasser .....	3.8	26
Wasserressourcen .....	2.1	9
Wasserschlag .....	3.6	24
Wassertemperatur .....	7.3.5	64
Wasserversorgung .....	2	9
Webbasierte SCADA-Systeme .....	8.3.3	76
Ziel der Kommunikation und Vernetzung .....	8.1	75
Zubehör .....	10	84
Zusammenbau von Pumpe und Motor .....	7.6.1	69
Zusatzinformationen .....	11	90





## SP-PUMPENSYSTEME

Ein komplettes Grundfos Unterwasserpumpensystem besteht aus einer SP-Pumpe, einem passenden Unterwassermotor, einem Frequenzumrichter und einer Überwachungseinrichtung. Alle Komponenten sind optimal aufeinander abgestimmt. Auf diese Weise ist eine hohe Zuverlässigkeit und Energieeffizienz des Gesamtsystems sichergestellt.

Grundfos kann im Bereich der Unterwasserpumpen auf eine jahrzehntelange Erfahrung zurückblicken und verfügt deshalb über das notwendige Anwendungswissen in der Wasserversorgung, Bewässerung und im Bergbau.

Weitergehende Informationen über die Vorzüge der SP-Unterwasserpumpensysteme finden Sie unter [www.grundfos.de](http://www.grundfos.de).