

**W7** d Ausgabe .... 2026

**REGELWERK**

## Richtlinie

**für Pumpsysteme in der Trinkwasserversorgung**

**Planung, Projektierung, Bau, Prüfung sowie  
Betrieb und Instandhaltung von Pumpsystemen**

**W7**



**W7** d Ausgabe .... 2026

## **REGELWERK**

### **Richtlinie**

# **für Pumpsysteme in der Trinkwasserversorgung**

**Planung, Projektierung, Bau, Prüfung sowie  
Betrieb und Instandhaltung von Pumpsystemen**

#### **IMPRESSUM**

Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen unter  
[www.svgw.ch/AGB](http://www.svgw.ch/AGB)

Copyright by SVGW, Zürich  
Druck: Zofinger Tagblatt  
Auflage März 2013: 1400 Exemplare

Reproduktion verboten

Bezug bei der Geschäftsstelle des SVGW  
([support@svgw.ch](mailto:support@svgw.ch))





# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Vorwort</b>	<b>6</b>
<b>1 Zielsetzung</b>	<b>8</b>
<b>2 Geltungsbereich</b>	<b>8</b>
2.1 Systemgrenzen	8
2.2 Klassifizierung der Pumpen nach Bauformen	9
<b>3 Gesetzliche Vorgaben, Normative Verweise, weiterführende Dokumente</b>	<b>12</b>
3.1 Eidgenössische Gesetze, Verordnungen	12
3.2 Normen	12
3.3 Richtlinien und Merkblätter	13
<b>4 Definition und Umschreibung von Begriffen</b>	<b>14</b>
<b>5 Grundsätzliches zu Kreiselpumpen</b>	<b>16</b>
5.1 Herstellungsqualität von Kreiselpumpen	16
5.2 Konstruktion einer Kreiselpumpe	17
5.3 Einstufige und mehrstufige Kreiselpumpen	19
5.4 Pumpenkennlinie einer Kreiselpumpe	21
5.5 Systemparameter zur Pumpenauslegung	38
5.6 Auslegung einer Kreiselpumpe	49
5.7 Drehzahlregelung einer Kreiselpumpe	56
5.8 Energieproduktion in der Wasserversorgung, Trinkwasserturbinen	59
<b>6 Allgemeiner Prozess- und Planungsablauf</b>	<b>63</b>
6.1 Projektphasen	63
6.2 Qualifikationsanforderungen Planung und Bau	67
6.3 Ingenieursubmission (Dienstleistungsaufträge)	68
<b>7 Strategische Planung</b>	<b>69</b>
7.1 Ziele der strategischen Planung	69
7.2 Projektpflichtenheft zur Vorstudie	73
<b>8 Vorstudien (SIA 21, SIA 22)</b>	<b>75</b>
8.1 Grundlagen und Ziele zur Vorstudie	75
8.2 Aufstellung Variantenfächer	75

8.3	Pumpenregime und Betriebsweise	75
8.4	Bauform der Kreiselpumpe und Layout der Rohrleitungsführung	80
8.5	Variantenbewertung	81
8.6	Projektpflichtenheft mit Entscheid für Bestvariante	82
<b>9</b>	<b>Projektierung</b>	<b>83</b>
9.1	Grundlagen und Ziele zur Projektierung	83
9.2	Komponenten eines Fördersystems	83
9.3	Hygienisch geeignete Materialien	95
9.4	Grundsätzliches zur Ausführung von Pumpwerken	95
9.5	Spezifisches zur Ausführung von Pumpwerken	98
9.6	Einbindung einer Kreiselpumpe in das Leitsystem	99
9.7	Betriebsweise / Betriebskonzept	100
<b>10</b>	<b>Ausschreibung</b>	<b>104</b>
10.1	Grundlagen und Ziele der Ausschreibung	104
10.2	Vorgehen zur Unternehmersubmission	104
10.3	Ausschreibung von Kreiselpumpen	106
10.4	Beschaffung einer Ersatzpumpe	109
<b>11</b>	<b>Realisierung und Inbetriebsetzung</b>	<b>112</b>
11.1	Grundlagen und Ziele der Realisierung und Inbetriebsetzung	112
11.2	Montage und Inbetriebsetzung einer Kreiselpumpe	112
<b>12</b>	<b>Betrieb und Überwachung</b>	<b>119</b>
12.1	Grundlagen und Ziele von Betrieb und Überwachung	119
12.2	Ein- und Ausschaltvorgänge im Normalbetrieb	119
12.3	Periodischer Zwangslauf	121
12.4	Inspektion und Wartung an Pumpsystemen	122
<b>13</b>	<b>Rehabilitation, Instandhaltung (Werterhalt)</b>	<b>140</b>
13.1	Grundlagen und Ziele von Rehabilitation / Instandhaltung	140
13.2	Instandhaltung an Kreiselpumpen	140
13.3	Instandhaltungsstrategien an Kreiselpumpen	141
13.4	Instandsetzung, Reparatur und Revision an Pumpsystemen	141
13.5	Arbeitssicherheit	142
<b>14</b>	<b>Rückbau</b>	<b>143</b>
14.1	Planung und Vorbereitung	143
14.2	Technische Massnahmen	143
14.3	Entsorgung und Recycling	143
14.4	Dokumentation und Nachkontrolle	143

<b>15</b>	<b>Dokumentation</b>	<b>144</b>
<b>16</b>	<b>Schlussbestimmungen</b>	<b>144</b>

# **VORWORT**

## **ALLGEMEINES VORWORT ZU DEN SVGW-RICHTLINIEN**

Das SVGW-Regelwerk beschreibt praxisnah und pragmatisch Regeln, Leitlinien und Merkmale für Erzeugnissen, Tätigkeiten oder deren Ergebnissen, um eine sichere, zuverlässige und nachhaltige Versorgung mit Trinkwasser sicherstellen zu können. Es konkretisiert die wesentlichen Anforderungen im Interesse der Kunden, der Öffentlichkeit und des Betreibers in Form von Spezifikationen zur Einhaltung von Schutzz Zielen oder zur Vermeidung von Gefahren beim Bau, Betrieb und bei der Instandhaltung technischer Einrichtungen.

Das SVGW-Regelwerk basiert auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft, Technik und praktischer Erfahrung und wird von einer Mehrheit repräsentativer Fachleute und erfahrungsgemäß von den zuständigen Behörden als anerkannte Regeln der Technik angesehen. Es kann auch im Rahmen der Rechtsetzung von Bedeutung sein. Das SVGW-Regelwerk unterstützt den Anwender bei der Einhaltung der wesentlichen Anforderungen (Schutzziele oder abzuwendende Gefahren).

Durch das Anwenden des SVGW-Regelwerks kann sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln entziehen. Wer es anwendet, hat für die korrekte Anwendung im konkreten Fall Sorge zu tragen.

### **Vorwort zu dieser Richtlinie**

Pumpsysteme spielen eine wichtige Rolle in der Wasserversorgung der Schweiz. Trotz der Topografie des Landes, können in der Schweiz nur etwa 30 bis 40% des Trinkwassers gänzlich ohne den Einsatz von Pumpen gewonnen und an die Konsumenten abgegeben werden.

Für den Betrieb dieser Pumpen werden in der Schweiz beachtliche Energiemengen eingesetzt. Durch eine den Einsatzbedingungen entsprechend richtige Auslegung der Pumpsysteme und einen optimalen Betrieb und Wartung können bedeutende Energieeinsparungen erzielt werden. Durchgeführte Energieanalysen bei verschiedenen Versorgungen ergaben Einsparpotentiale von 20 bis 30 %.

Pumpsysteme sind komplexe Werke und haben in der Regel eine grosse Bedeutung für die Wasserversorgung. Ihre Konzeption, ihr Bau und ihre Instandhaltung verlangen spezifische Kenntnisse. Die Struktur der vorliegenden Richtlinie W7 ist prozessorientiert aufgebaut und folgt dem Lebenszyklus einer Anlage.

Mit der Ausarbeitung dieser Richtlinie hat der SVGW eine Arbeitsgruppe betraut, die sich aus folgenden Mitgliedern zusammensetzte:

Adrian Rieder, WVZ, Zürich, Vorsitz  
Reto Baumann, Häny AG, Jona  
Dr. Markus Friedl, OSUT, Rapperswil  
Simon Haag, IWB, Basel  
Bernhard Gyger, WVRB, Bern  
Thomas von Bergen, WVZ, Zürich  
Rolf Meier, SVGW, Zürich  
Markus Biner, SVGW, Zürich



## 1 Zielsetzung

Die vorliegende Richtlinie definiert die allgemein anerkannten Regeln der Technik für Pumpensysteme in der Trinkwasserversorgung.

Sie wendet sich in erster Linie an die Betreiber von Wasserversorgungen, bietet aber auch Hilfestellungen für Behörden sowie planende und ausführende Unternehmen, welche sich mit der Thematik der Pumpensysteme beschäftigen.

Die Richtlinie soll nicht das Fachwissen und die Erfahrung von Spezialisten ersetzen, sondern bietet eine Grundlage zur Sicherstellung technischer Schutzziele und zur Minimierung von Risiken beim Bau, Betrieb und der Instandhaltung von Pumpensystemen in der Trinkwasserversorgung.

## 2 Geltungsbereich

### 2.1 Systemgrenzen

Da je nach Thematik in dieser Richtlinie andere Systembereiche eines Pumpensystems betrachtet werden müssen, werden diese nachfolgend dargestellt und im weiteren Verlauf wo sinnvoll jeweils entsprechend referenziert. Gekennzeichnet durch den/die zutreffenden Buchstaben.

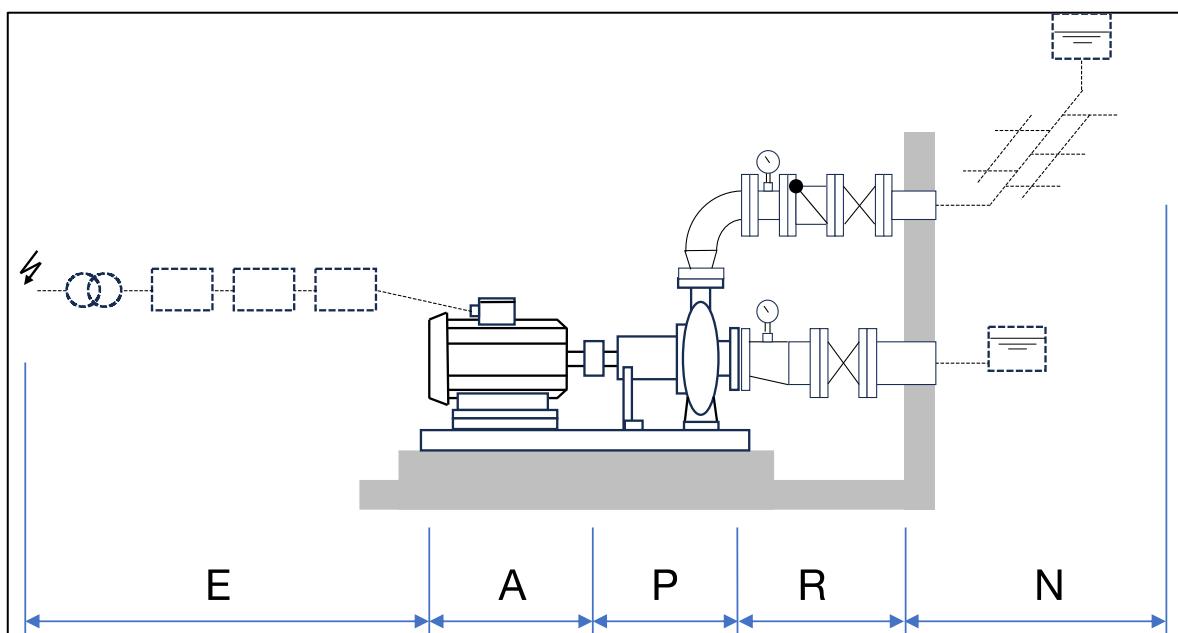


Abbildung 1 Definition der Systemgrenzen eines Pumpensystems in der Trinkwasserversorgung

#### Legende der Teilsysteme:

**E: Elektrische Komponenten**, wie zum Beispiel Transformator, Netzfilter, Startvorrichtung, Sinusfilter,

**A: Antrieb**, meistens Elektromotoren ausgeführt als asynchron Drehstrom-Motor, Kupp lung zwischen Antrieb und Pumpe.

**P: Pumpe**, meistens Kreisel-/Zentrifugalpumpen

**R:** Rohrleitungsnetze innerhalb des Pumpwerks. Rohrleitungen, Armaturen, Instrumentierung und Hilfskomponenten wie zum Beispiel Druckschlagdämpfungsbehälter, welche sich im Pumpwerk befinden

**N:** Rohrleitungsnetze (ausserhalb des Pumpwerks) mit allen Infrastrukturkomponenten zur Wasserverteilung und Wasserspeicherung

In der Richtlinie werden sowohl die einzelnen Systemabschnitte als auch deren Kombinationen behandelt.

## 2.2 Klassifizierung der Pumpen nach Bauformen

(Geltungsbereich: Teilsystem P)

Diese Richtlinie konzentriert sich hauptsächlich auf die Bauformen von Kreiselpumpen, die typischerweise in der Wasserversorgung in der Schweiz eingesetzt werden. Im weiteren Verlauf werden spezifische Themen, die sich auf eine bestimmte Bauform beziehen, durch das jeweilige Abkürzung gekennzeichnet.

### 2.2.1 Einstufige Niederdruckpumpen (ND-P)

Die einstufigen Niederdruckpumpen umfassen zwei verschiedene, nachstehend dargestellte Bauformen.

#### Einflutige einstufige Niederdruckpumpe, «trocken» aufgestellt (ND-P, EF)

Diese Pumpen werden eher selten eingesetzt. Oft gelangen sie als Ausgleichspumpen oder in Wasseraufbereitungsanlagen zum Einsatz.



Abbildung 2 Einflutige, einstufige Niederdruckpumpe (ND-P, EF)

#### Doppelflutige einstufige Niederdruckpumpe, «trocken» aufgestellt (ND-P, DF)

Diese Pumpen, auch «Split-Case-Pumpen» genannt, werden sehr selten eingesetzt. Sie gelangen zur Anwendung, wenn sehr grosse Volumenströme Q auf kleinere Förderhöhen transportiert werden müssen. Doppelflutig in diesem Zusammenhang bedeutet, dass das Wasser parallel, gleichzeitig durch zwei Laufräder, welche in der Regel kombiniert in einem Bauteil vorliegen, gefördert wird.



Abbildung 3 Doppelflutige, einstufige Niederdruckpumpe (ND-P, DF)

## 2.2.2 Mehrstufige Hochdruckpumpe, «trocken» aufgestellt (HD-P)

Diese Pumpen werden sehr häufig eingesetzt. Häufig gelangen sie als Stufen-/Transportpumpen zum Einsatz, selten zur Grundwasserförderung, wo eine geringe Saughöhe vorliegt. Sie sind in vielen verschiedenen Aufstellungsarten und Qualitätsausführungen erhältlich.



Abbildung 4 Mehrstufige Hochdruckpumpen (HD-P)

## 2.2.3 Mehrstufige Hochdruckpumpe, «nass» aufgestellt (UWP)

Diese Pumpen werden sehr häufig eingesetzt. Meistens, zur Wasserförderung aus Grundwasserbrunnen. Die Pumpe und der Antrieb sind dabei unter Wasser eingetaucht, daher auch der Name Unterwassermotorpumpen (UWP). Alternativ kann die Pumpe in einem Druckmantel vollständig trocken aufgestellt werden.



Abbildung 5 Unterwassermotorpumpen (UWP)

## 2.2.4 Bohrlochwellenpumpe (BLWP)

Diese Pumpen wurden früher oft, heute jedoch seltener eingesetzt. Sie finden Verwendung in Grundwasserbrunnen und Wasseraufbereitungsanlagen. Charakteristisch ist die Bauweise, bei der die Pumpe unter Wasser arbeitet, während der Antrieb oben montiert, trocken aufgestellt ist. Die Kraftübertragung (Transmission) erfolgt über Wellen in der Steigleitung. Alternativ kann die Pumpe vollständig trocken aufgestellt werden.



**Abbildung 6 Bohrlochwellenpumpen (BLWP)**

### **3 Gesetzliche Vorgaben, Normative Verweise, weiterführende Dokumente**

Diese Richtlinie enthält Festlegungen aus anderen Publikationen. Die Verweise auf verwendete Publikationen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert. Die Publikationen sind nachstehend aufgeführt.

#### **3.1 Eidgenössische Gesetze, Verordnungen**

SR 817.0	LMG, Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände (Lebensmittelgesetz)
SR 817.02	LGV, Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung
SR 817.022.11	Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV)
SR 817.023.21	Verordnung des EDI über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen (Bedarfsgegenständeverordnung)
SR 933.0	Bauproduktegesetz (BauPG)
SR 933.01	Bauprodukteverordnung (BauPV)
SR 832.20	Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)
SR 832.311.141	Bau AV Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten
SR 531.32	VTM, Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Schweren Mangellagen
SR 221.112.944	PrHG, Bundesgesetz über die Produkthaftpflicht (Produkthaftpflichtgesetz)
SR 943.02	BGBM, Bundesgesetz über den Binnenmarkt (Binnenmarktgesezt)
SR 172.056.1	BöB, Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen
SR 734.31	LeV, Verordnung über elektrische Leitungen

#### **3.2 Normen**

SN EN ISO 14731	Schweissaufsicht – Aufgaben und Verantwortung
SN EN 14901	Rohre, Formstücke und Zubehör aus duktilem Gusseisen – Epoxidharzbeschichtung (für erhöhte Beanspruchung) von Formstücken und Zubehörteilen aus duktilem Gusseisen – Anforderungen und Prüfverfahren
SN EN ISO 5199	Prozesspumpen
EN ISO 9906:2012	Kreiselpumpen – Hydraulische Abnahmeprüfungen
DIN EN 733:1995	Kreiselpumpen mit axialem Eintritt PN10 mit Lagerträger
SIA 118	Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten
SIA 190	Kanalisationen; Leitungen, Normal- und Sonderbauwerke
SIA 405	GEO405 – Geoinformationen zu unterirdischen Leitungen
SIA 462	Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke
SIA 103	Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure und Bauingenieurinnen
SN EN 287-1	Schweißerprüfungen / Abnahmeprüfungen (Stahl)

### 3.3 Richtlinien und Merkblätter

SFV	Leitfaden für die Versorgung mit Löschwasser
SGK C1	Richtlinien für Projektierung, Ausführung und Betrieb des kathodischen Korrosionsschutzes von Rohrleitungen
SGK C2	Richtlinien zum Korrosionsschutz von erdverlegten metallischen Anlagen
SGK C3	Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen
SVGW W1	Richtlinie für die Qualitätsüberwachung in der Trinkwasserversorgung
SVGW W2	Richtlinie für die Qualitätssicherung in Grundwasserschutzonen
SVGW W3	Leitsätze für die Erstellung von Trinkwasserinstallationen
SVGW W6	Richtlinien für Projektierung, Bau und Betrieb von Wasserbehältern
SVGW W5	Richtlinie für Löschwasserversorgung
SVGW W9	Richtlinie für Grundwasserbrunnen
SVGW W10	Richtlinien für Projektierung, Ausführung und Betrieb von Quellfassungen
SVGW W12	Gute Verfahrenspraxis in Trinkwasserversorgungen
SVGW W1000	Empfehlung für die Reinigung und Desinfektion von Trinkwasserleitungen
SVGW W1006	Empfehlung zur Finanzierung der Wasserversorgung
SVGW W1007	Empfehlung Sabotageschutz von Trinkwasserversorgungen
SVGW W1012	Wegleitung für die Planung und Realisierung der Trinkwasserversorgung in Notlagen (W/VN 300)
SVGW W1014	Empfehlung für die Datenerfassung und -auswertung bei Wasserversorgungen
SVGW W10015	Merkblatt: Elektrische Trennung von Wasserleitungen und Erdungsanlagen
SVGW W10018	Merkblatt: Kontaktkorrosion
SVGW GWF101	Rohre und Rohrleitungsteile aus Kunststoff für die Gas- und Trinkwasserversorgung
SVGW ZW 102/ff	Materialien in Kontakt mit Trinkwasser
SVGW ZW162	Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen

Die aufgeführten schweizerischen Dokumente können bei den folgenden Stellen bezogen werden:

Gesetze, Verordnungen: <https://www.bsv.admin.ch/bsv/de/home/publikationen-und-service/gesetze.html>

Korrosionsschutz: <http://www.sia.ch>

Normen Bauwesen: <http://www.snv.ch/>

SN Normen: <http://www.svgw.ch>

SVGW Regelwerk: <http://www.svgw.ch>

Leitfaden SFV, (FKS): <https://www.feukos.ch>

Verband für Kunststoffrohre und Rohrleitungsteile: <http://www.vkr.ch>

Schweizer Verband Gussrohre: <http://www.svg.ch>

## 4 Definition und Umschreibung von Begriffen

<b>NPSH<sub>A</sub></b>	Net Positive Suction Head – Grösse zur Beurteilung des Saugverhaltens einer Kreiselpumpe.
<b>NPSH<sub>R</sub></b>	Net Positive Suction Head Required oder „erforderliche Netto-Saugleistung“ – Wert zur Bewertung des Unterdrucks beim Ansaugen einer Kreiselpumpe.
<b>MID</b>	Magnetisch Induktiver Durchflussmesser – In der Rohrleitung eingesetztes Messgerät zur kontinuierlichen Durchflusssmessung.
<b>ND-P</b>	Niederdruck-Kreisel-Pumpe – Zentrifugalpumpe mit einem Laufrad, einstufig.
<b>HD-P</b>	Hochdruck-Kreisel-Pumpe – Zentrifugalpumpe mit mehreren Laufrädern in Serie geschaltet, mehrstufig.
<b>UWP</b>	Unterwassermotor-Pumpe – meist mehrstufige Zentrifugalpumpe, welche zusammen mit dem direkt aufgebauten Antrieb/Motor unter Wasser zum Einsatz gelangt.
<b>BLWP</b>	Bohrlochwellenpumpe - meist mehrstufige Zentrifugalpumpe, welche über einen trocken aufgestellten Antrieb verfügt, der über Transmissionswellen die meist unter Wasser befindliche Hydraulik antreibt.
<b>EF</b>	Einflutig – Das Wasser durchströmt vollständig ein Laufrad.
<b>DF</b>	Doppelflutig – Das Wasser durchströmt anteilig zwei Laufräder die parallel angeordnet sind, welche in der Regel kombiniert in einem Bauteil vorliegen.
<b>BIM</b>	Building Information Modeling – beschreibt eine digitale Arbeitsmethode für die vernetzte Planung, Bau und Bewirtschaftung von Bauwerken.
<b>FU</b>	Frequenzumformer – Elektronisches Bauteil, welche dem Antrieb eine von der elektrischen Netzfrequenz abweichende Frequenz zur Verfügung stellt und damit die dynamische Änderung der Drehzahl desselben ermöglicht.
<b>BEP</b>	Best Efficiency Point – beschreibt den Betriebspunkt (Q/H), bei welchem die Pumpe mit dem maximalen hydraulischen Wirkungsgrad arbeitet.
<b>SIA</b>	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein – ist ein massgebender Berufsverband der Schweiz.
<b>KBOB</b>	Koordinationsgremium der Bauorgane des Bundes – für Fragen des Submissionswesens, der Teuerungsabgeltung auf Bauleistungen und der Architekten- und Ingenieurhonorare.

<b>SVGW</b>	Fachverband für Wasser, Gas und Wärme – ist die Wissens-, Fach- und Netzwerkorganisation der Schweizer Gas- und Wasserversorgungen.
<b>PT</b>	Peltonturbine – Aktionsturbine in klassischer Bauweise.
<b>GDPT</b>	Gegendruck-Peltonturbine – Turbine auf der Basis einer Peltonturbine in einen Druckbehälter eingebaut, um einen Gegendruck am Austritt der Turbine aufzubauen.
<b>PAT</b>	Pumpe als Turbine – eine rückwärtsdurchströmte Standardpumpe.
<b>DVGW</b>	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches – ist der Branchenverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft.
<b>LCC</b>	Life Cycle Costing – die Summe aller Kosten, welche während der gesamten Lebensdauer eines Systems anfallen.
<b>DMS</b>	Dokumenten-Management-System – ist die Schriftgutverwaltung mithilfe von Software.
<b>ERP</b>	Enterprise-Resource-Planning – umfasst alle Kernprozesse, die zur Führung eines Unternehmens notwendig sind. Eine ERP-Software hilft, all diese Prozesse in einem integrierten System zu verwalten.
<b>PLS</b>	Prozessleitsystem – dient zum Führen einer verfahrenstechnischen Anlage.
<b>CAD</b>	Computer Aided Design – bezeichnet die Unterstützung von konstruktiven Aufgaben mittels EDV zur Herstellung eines Produkts.
<b>CMMS</b>	Computerized Maintenance Management System – beschreibt die systematische Unterstützung von Instandhaltungsabläufen durch Software.
<b>SCADA</b>	Supervisory Control and Data Acquisition – beschreibt im Bereich der industriellen Steuerungsanlagen das Computer-System bzw. die Software zur Überwachung und Steuerung technischer Prozesse.

## 5 Grundsätzliches zu Kreiselpumpen

### 5.1 Herstellungsqualität von Kreiselpumpen

#### 5.1.1 Entwicklungen auf dem europäischen Pumpenmarkt

Bezogen auf die Angebotsbreite im europäischen Pumpenmarkt sind die in der Schweizer Wasserversorgung eingesetzten Pumpen eher klein und gehören entsprechend zur Produktkategorie «Standardpumpen». Selten werden Pumpen nach speziellen Kundenanforderungen modifiziert („Standard-Customizing“), und fast nie kommen speziell für einen Anwendungsfall entwickelte Pumpen („Engineered Products“) zum Einsatz.

Betrachtet man die Entwicklung im europäischen Markt für «Standardpumpen» stellt man folgendes fest:

- die Investitionsbereitschaft sinkt
- die Abschreibungszeiten werden immer kürzer angesetzt
- es werden weniger «Know-How-intensive Produkte» nachgefragt
- beim Unterhaltspersonal werden Kapazitäten eingespart
- zunehmend wird eine erhöhte Verfügbarkeit von «After-Sales-Dienstleistungen» des Lieferanten verlangt

#### 5.1.2 Anpassungen bei den angebotenen Kreiselpumpen

Die Hersteller von rotierenden Maschinen wie Pumpen reagieren auf das Marktbedürfnis «Senkung der Produktkosten» hauptsächlich durch die Reduktion des Pumpen- und Antriebsgewichts. Dies wird unter anderem erreicht, indem die Aggregate tendenziell in einer höheren Drehzahlausführung hergestellt werden. Bei einer rotierenden Maschine hat die Erhöhung der Drehzahl immer einen direkten, negativen Einfluss auf die Gebrauchsduer und die Wartungsfreundlichkeit. Die Möglichkeit eine Revision an einer Pumpe durchzuführen, wird durch den Einsatz von «sehr günstigen» Baureihen auch stark eingeschränkt oder ist betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll durchführbar.

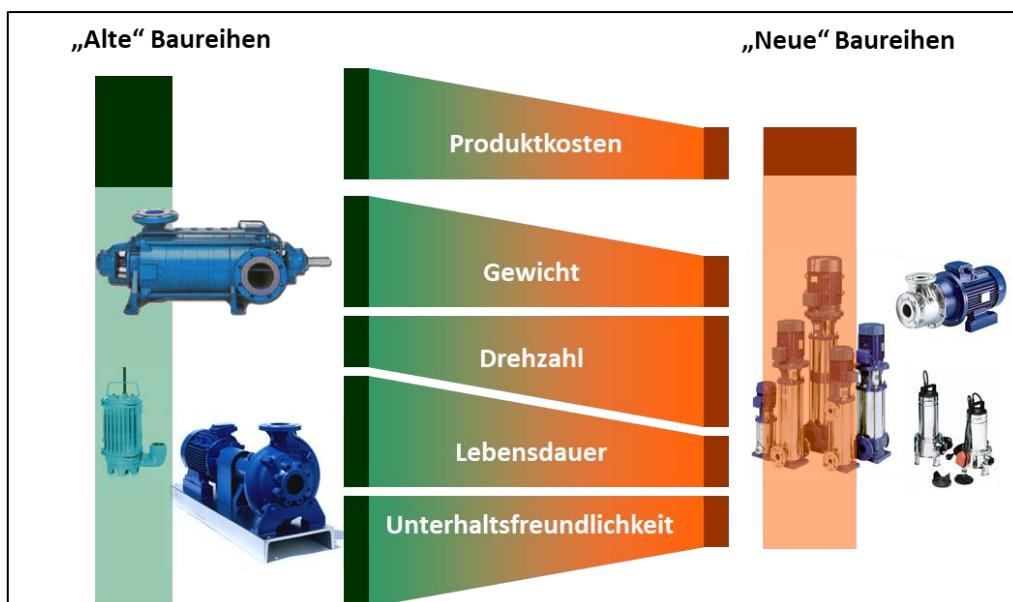


Abbildung 7 Die Herstellungsqualität von Kreiselpumpen

### **5.1.3 Vergleichskriterien für Kreiselpumpen**

Um Kreiselpumpen möglichst aussagekräftig und realitätsnah zu vergleichen, sollten unter anderem folgende Parameter berücksichtigt werden (die Reihenfolge entspricht dabei, in der Regel, der Priorität der Gewichtung):

- Pumpen-Wirkungsgrad P
- Antriebs-Wirkungsgrad M
- Verwendete Materialien (Trinkwasserkonform, Wertigkeit)
- Nenndrehzahl (tendenziell je tiefer desto besser)
- Aufstellungsart (vertikale/horizontale Wellenlage, horizontal tendenziell hochwertiger)
- Art und Materialien der Wellenabdichtung
- Art des Axialschubausgleichs
- Schutzhülsen im Bereich der «freien Pumpenwelle»
- Art der Lagerung und Lagergrösse
- Wellendurchmesser

Viele dieser Informationen sind nicht einfach ersichtlich bzw. verfügbar. Entsprechend sollte auch das Gewicht des Aggregats berücksichtigt werden, da es indirekt über viele qualitätsrelevante Faktoren wie z.B. Material, Wandstärken, Wellendurchmesser, Lagergrössen, Drehzahl, Menge Kupfer im Antrieb, etc. Auskunft gibt.

## **5.2 Konstruktion einer Kreiselpumpe**

### **5.2.1 Funktionsweise**

Kreiselpumpen, auch Zentrifugalpumpen genannt, sind die Bauformen von Pumpen, welche zur Förderung von reinen Medien am häufigsten zum Einsatz gelangen.

Während in Verdrängerpumpen der Druck auf hydrostatischem Weg erzeugt wird, beruht die Energieübertragung in Kreiselpumpen auf hydrodynamischen Vorgängen. Bei eindimensionaler Betrachtung der komplexen Strömungsvorgänge im Laufrad, kann die Energieübertragung im Laufrad aus dem Impulssatz der Strömungsmechanik (Eulersche Gleichungen) berechnet werden.

### **5.2.2 Konstruktionsgrundlagen**

Dabei wird dem Trinkwasser durch Geschwindigkeitsänderungen vom Eintritt zum Austritt des Laufrades Energie zugeführt. Die dabei zugrunde liegenden Geschwindigkeitsdreiecke bilden die Basis für die Dimensionierung und Konstruktion der Pumpe.

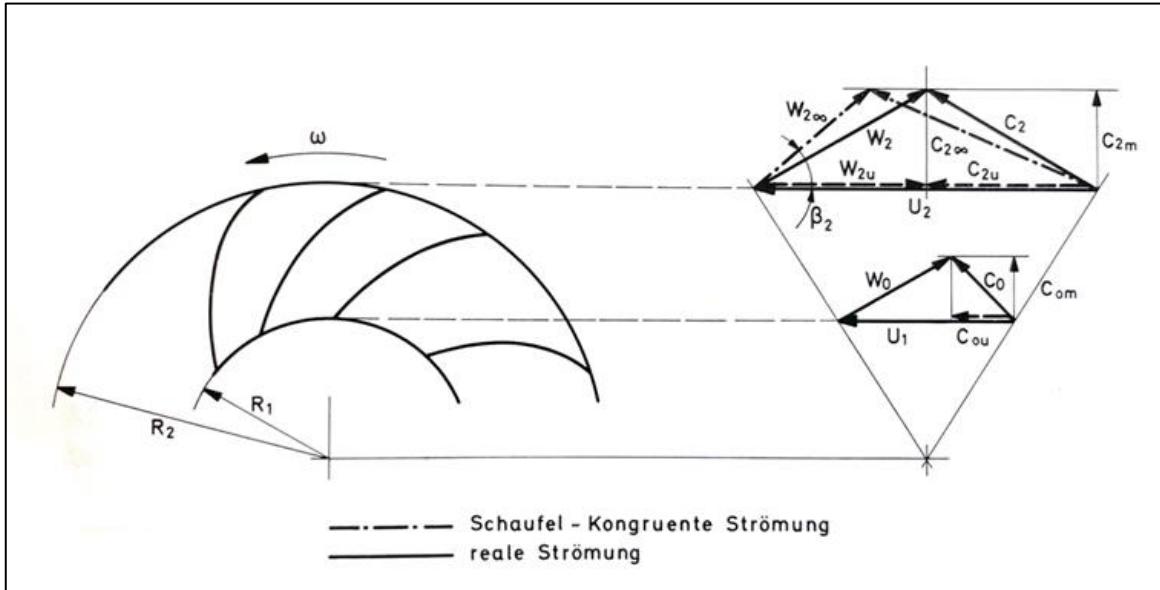


Abbildung 8 Geschwindigkeitsdreiecke (Sulzer Kreiselpumpenhandbuch, VULKAN VERLAG)

Das Verhältnis des Volumenstromes  $Q$  und der Förderhöhe  $H$  zusammen mit der Laufraddrehzahl  $n$  ergeben die einheitslose Grösse  $n_q$ , die spezifische Drehzahl, aus welcher sich die Form des Laufrades ableiten lässt.

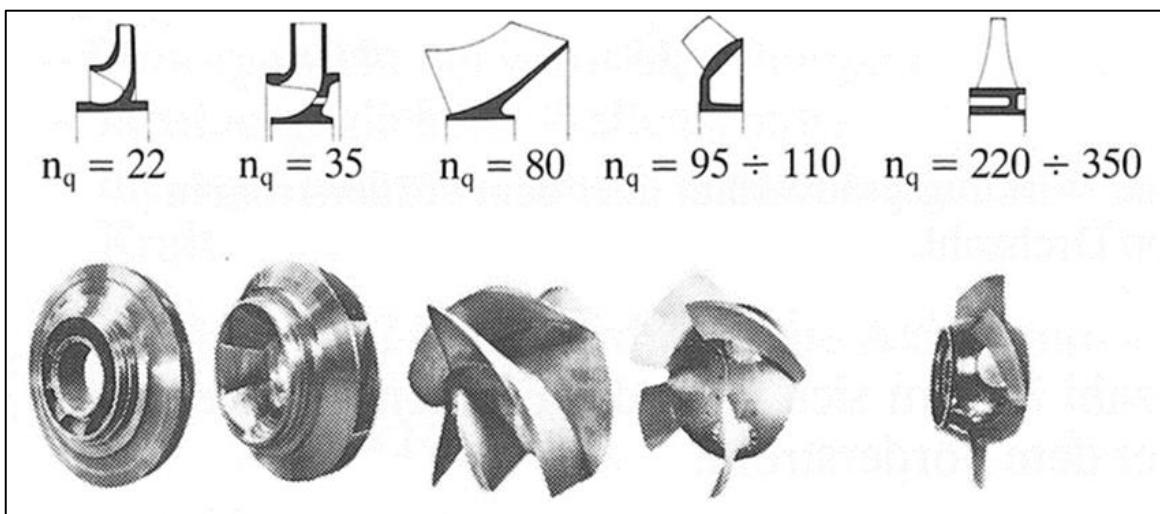


Abbildung 9 Die Laufradformen von Kreiselpumpen (Sulzer Kreiselpumpenhandbuch, VULKAN VERLAG)

### 5.2.3 Laufradformen und Anwendungen

Die Charakteristik der Pumpenkennlinien ist direkt von der Laufradform einer Kreiselpumpe und deren Durchströmungsrichtung abhängig.

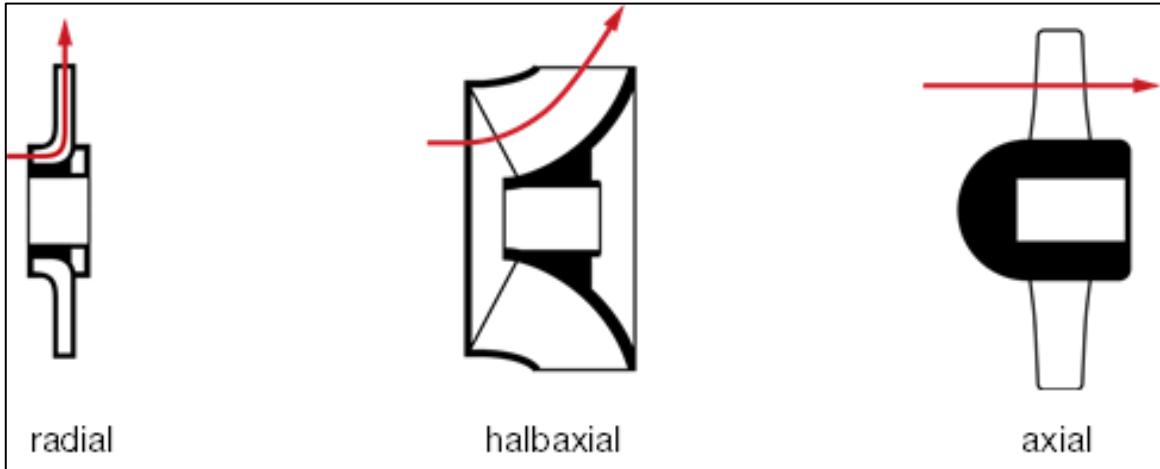


Abbildung 10 Unterscheidung der Laufräder nach Durchströmung

Der Einsatzzweck einer Pumpe, Volumenstrom  $Q$  und Förderhöhe  $H$ , bestimmt damit die Laufradform und auch die möglichen Bauformen der Pumpe, in welcher die Laufräder eingebaut sind:

- Radiallaufräder: für Hochdruckanwendungen
- Halbaxiallaufräder: für Anwendungen mit mittleren Drücken
- Axiallaufräder: für Anwendungen im Niederdruckbereich (selten in der Wasserversorgung)

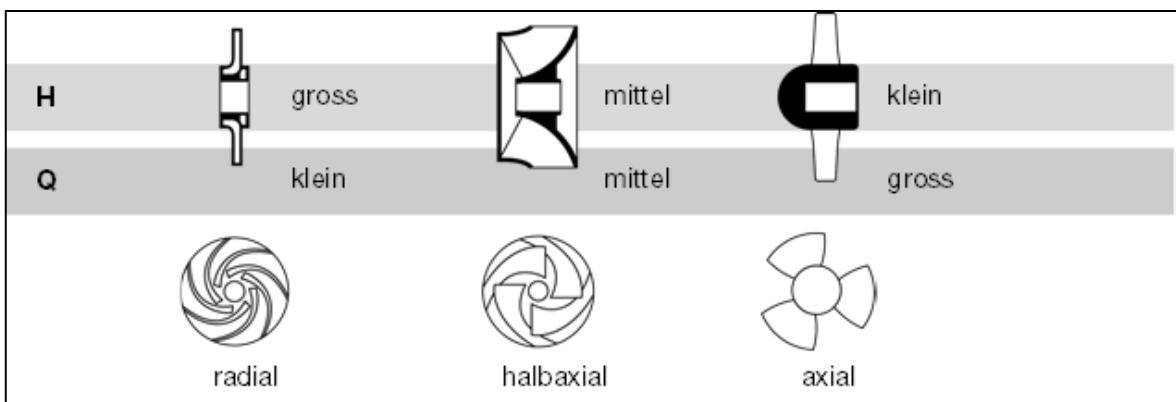


Abbildung 11 Unterscheidung der Laufräder nach Fördereigenschaften  $Q/H$

Die Förderleistung und Kennlinie der Pumpe hängen somit direkt von der Laufradform und Durchströmungsrichtung ab.

### 5.3 Einstufige und mehrstufige Kreiselpumpen

(Geltungsbereich: Teilsystem P / Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP)

#### 5.3.1 Einstufige Kreiselpumpen – Niederdruckpumpen

Eine Niederdruckpumpe ist dadurch charakterisiert, dass sich in der Pumpenhydraulik nur ein Laufrad befindet, welches das Wasser durchströmt. Diese Bauform kommt meist «trocken» aufgestellt in horizontaler Bauform zum Einsatz. Damit werden grosse Volumenströme  $Q$  auf entsprechend kleine Förderhöhen  $H$  bewegt.

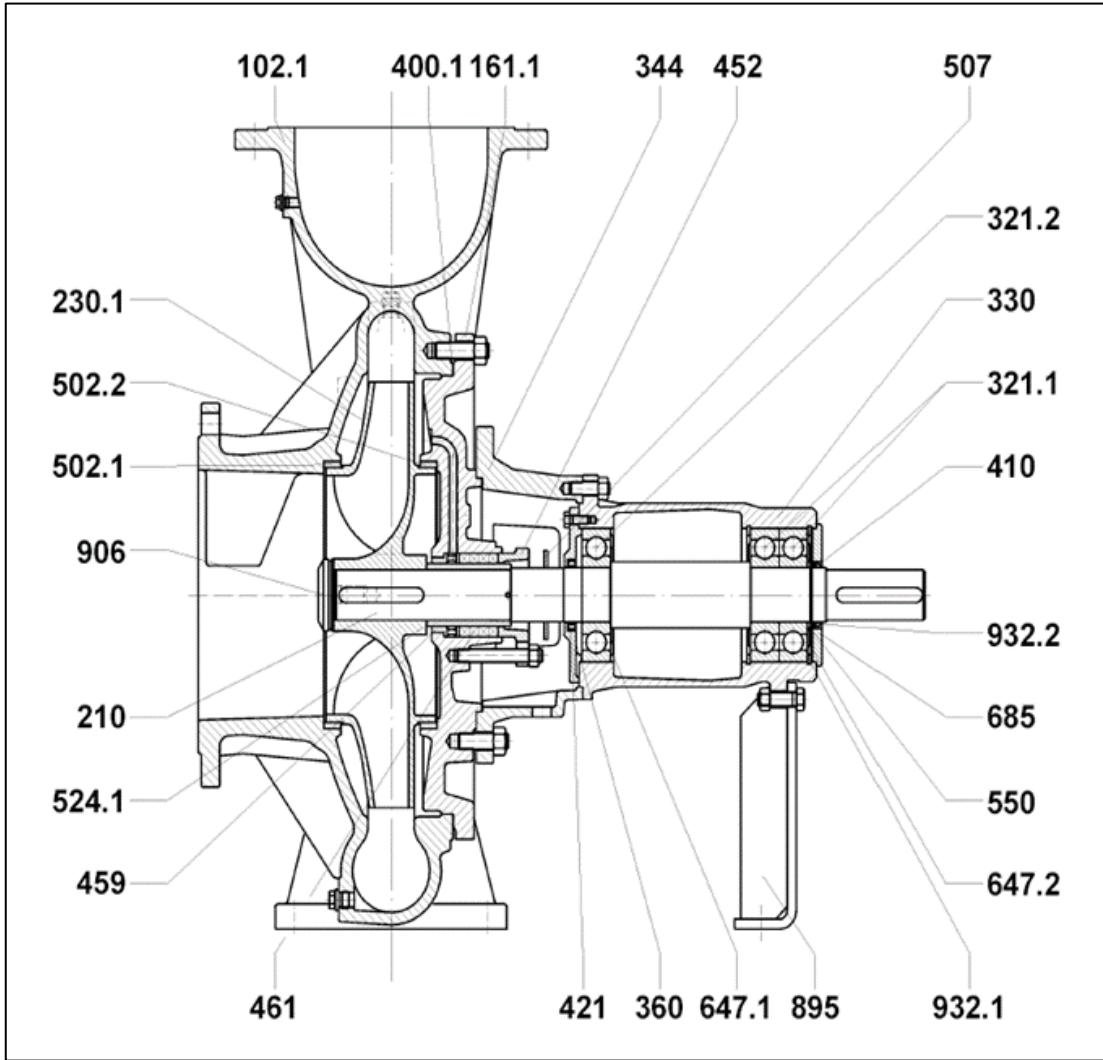


Abbildung 12 Einstufige Niederdruckpumpe (ND-P) (Anderes Schnittbild, ohne Positionsnummern)

### 5.3.2 Mehrstufige Kreiselpumpen – Hochdruckpumpen

Eine Hochdruckpumpe ist dadurch charakterisiert, dass sich in der Pumpenhydraulik mehr als ein Laufrad befindet, welche vom Wasser nacheinander (in Serie) durchströmt werden. Diese Bauform kommt sowohl «trocken», als auch «nass» aufgestellt zum Einsatz. Damit werden verhältnismässig kleine Volumenströme Q auf entsprechend grosse Förderhöhe H bewegt.

Diese Pumpen existieren in sehr vielen unterschiedlichen Bauformen, Aufstellungsarten und Qualitätsausführungen.

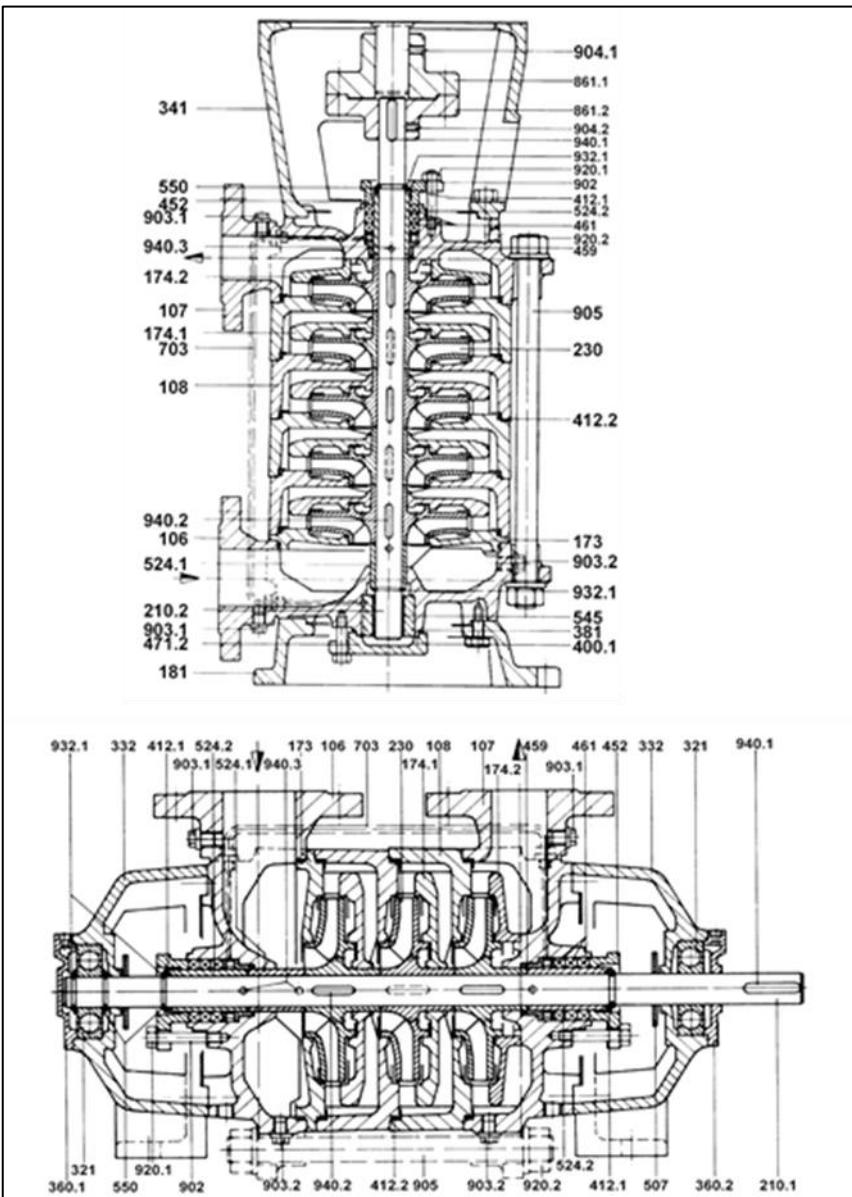


Abbildung 13 Mehrstufige Hochdruckpumpe (HD-P) (Anderes Schnittbild auch UWP/BLWP, ohne Positionsnr.)

## 5.4 Pumpenkennlinie einer Kreiselpumpe

(Geltungsbereich: Teilsystem P, R, N / Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP)

### 5.4.1 Bedeutung der Pumpenkennlinie

Die Pumpenkennlinie beschreibt die charakteristischen Leistungsdaten einer Pumpe und dient als Grundlage für die Auslegung eines Pumpensystems. Neben der Kennlinie müssen auch andere Faktoren wie Bauform, Aufstellungsart, Antriebsart sowie die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Fördermediums berücksichtigt werden.

### 5.4.2 Einfluss des Fördermediums

Hersteller erstellen Pumpenkennlinien standardmäßig auf Basis von Wasser mit Eigenschaften, die den physikalischen und chemischen Anforderungen von Trinkwasser entsprechen (Dichte, Viskosität, Temperatur, etc.). Entsprechend kann daher auf eine tiefere Analyse der Mediencharakteristik verzichtet werden.

### 5.4.3 Aufbau einer Pumpenkennlinie

Eine vollständige Pumpenkennlinie einer Kreiselpumpe besteht aus vier Teilbereichen bzw. Einzelkennlinien, dargestellt als Funktionen des Volumenstroms Q (X-Achse):

1. Q/H-Kennlinie: Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Förderhöhe.
2. Q/ $\eta$ -Kennlinie: Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Volumenstrom.
3. Q/P-Kennlinie: Volumenstrom im Verhältnis zur Leistungsaufnahme der Pumpe
4. Q/NPSH<sub>R</sub>: Kennlinie: Saugvermögen der Pumpe (Net Positive Suction Head)

#### Darstellung und Einheiten:

- X-Achse: Volumenstrom Q in l/s, l/min, m<sup>3</sup>/h oder seltener m<sup>3</sup>/s und l/h.
- Y-Achsen: Förderhöhe, Wirkungsgrad, Leistung und NPSH3% als abhängige Variablen

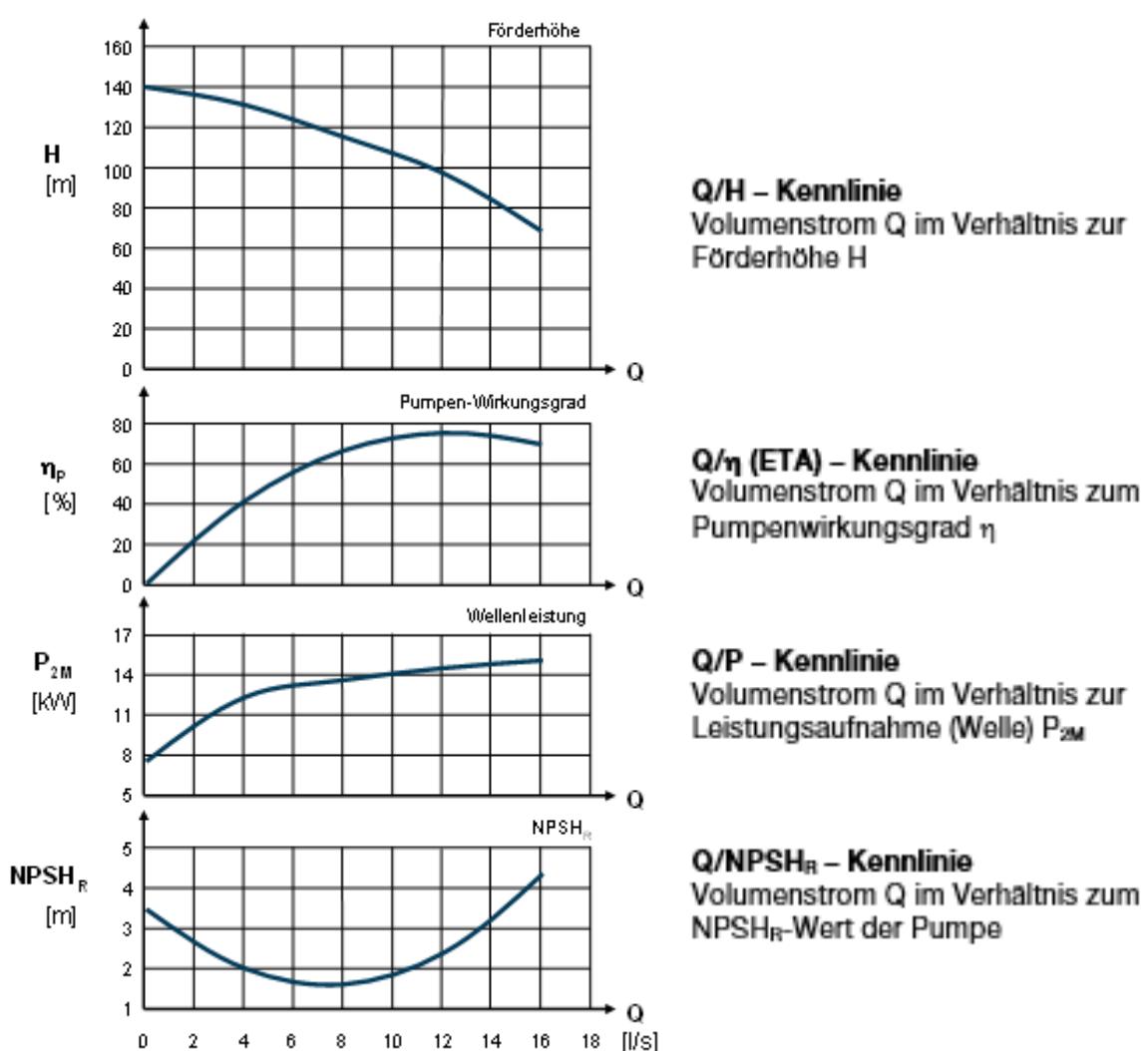


Abbildung 14 Die Kennlinien einer Kreiselpumpe - Pumpenkennlinie

Eine vollständige Pumpenkennlinie enthält neben den genannten Einzelkennlinien auch Zusatzinformationen wie Pumpentyp, Laufradtyp und -durchmesser, Drehzahl, Toleranzklassen und das Bezugsmedium. Diese Parameter unterstützen eine präzise Auswahl der passenden Pumpe für spezifische Einsatzbedingungen.

#### 5.4.4 Beispiel einer vollständigen Pumpenkennlinie für Trinkwasseranwendungen

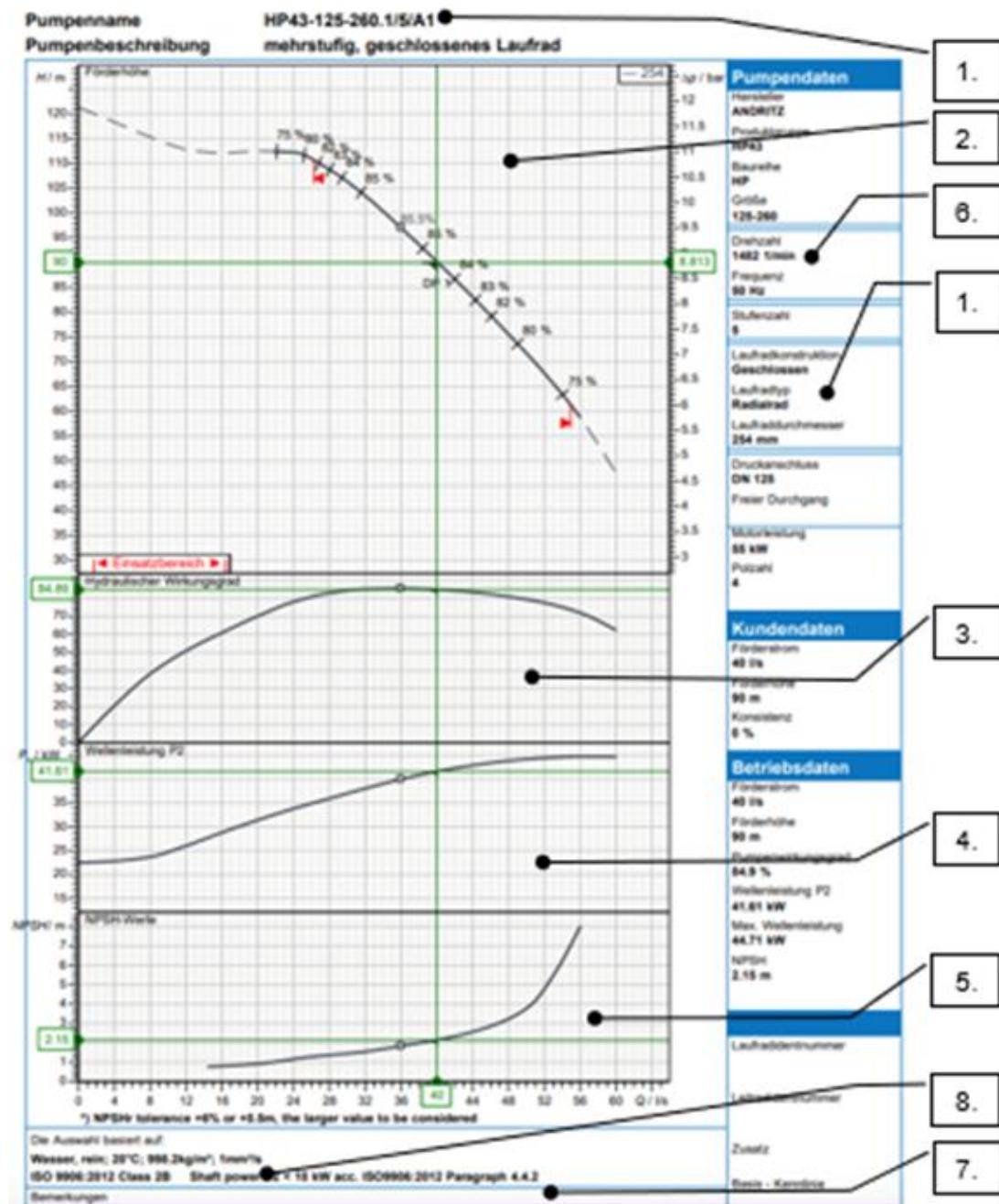


Abbildung 15 Beispiel einer vollständigen Pumpenkennlinie

## 5.4.5 Messung der Q/H-Kennlinie

Die Q/H-Kennlinie ist das zentrale Diagramm für die Auswahl einer Kreiselpumpe. Sie wird am Pumpenprüfstand wie folgt ermittelt:

### 1. Aufbau der Testanordnung

Die Pumpe wird am Prüfstand installiert. Die Förderhöhe 0 wird durch den Wasserspiegel definiert, aus dem die Pumpe Wasser ansaugt.

Druckseitig wird ein vertikales, reibungsfreies Rohr mit seitlichen, verschliessbaren Abgängen montiert. Die Rohrlänge entspricht der maximalen Förderhöhe der Pumpe.

### 2. Messung erster Betriebspunkt

Die Pumpe wird gestartet, und der unterste Abgang geöffnet. Der Volumenstrom  $Q$  wird gemessen. Die entsprechende Förderhöhe  $H$  ergibt den ersten Betriebspunkt, der im Q/H-Diagramm als Punkt eingetragen wird.

### 3. Schrittweise Wiederholung

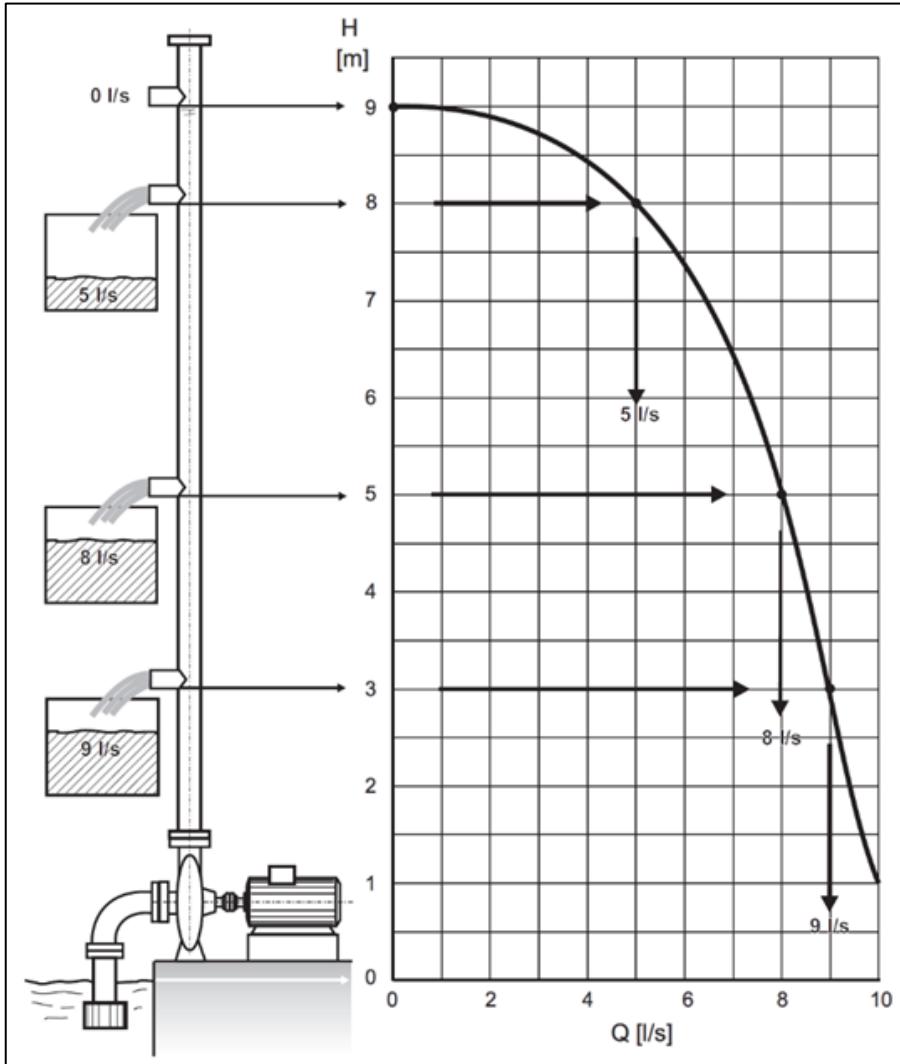
Durch Öffnen höher liegender Abgänge wird der Vorgang mehrfach wiederholt. Für jeden Abgang werden Volumenstrom  $Q$  und Förderhöhe  $H$  ermittelt und die Punktpaare in das Diagramm eingetragen.

### 4. Ermittlung der Nullförderhöhe

Bei Öffnung des höchsten Abgangs (im Beispiel Abb.16 bei 9 m Höhe) tritt kein Wasser mehr aus (Volumenstrom = 0 l/s). Der Wasserspiegel bleibt jedoch direkt unterhalb des Abgangs stehen. Diese Höhe entspricht der maximalen Förderhöhe oder «Nullförderhöhe» oder «Förderhöhe gegen geschlossenen Schieber» der Pumpe und wird ebenfalls eingetragen.

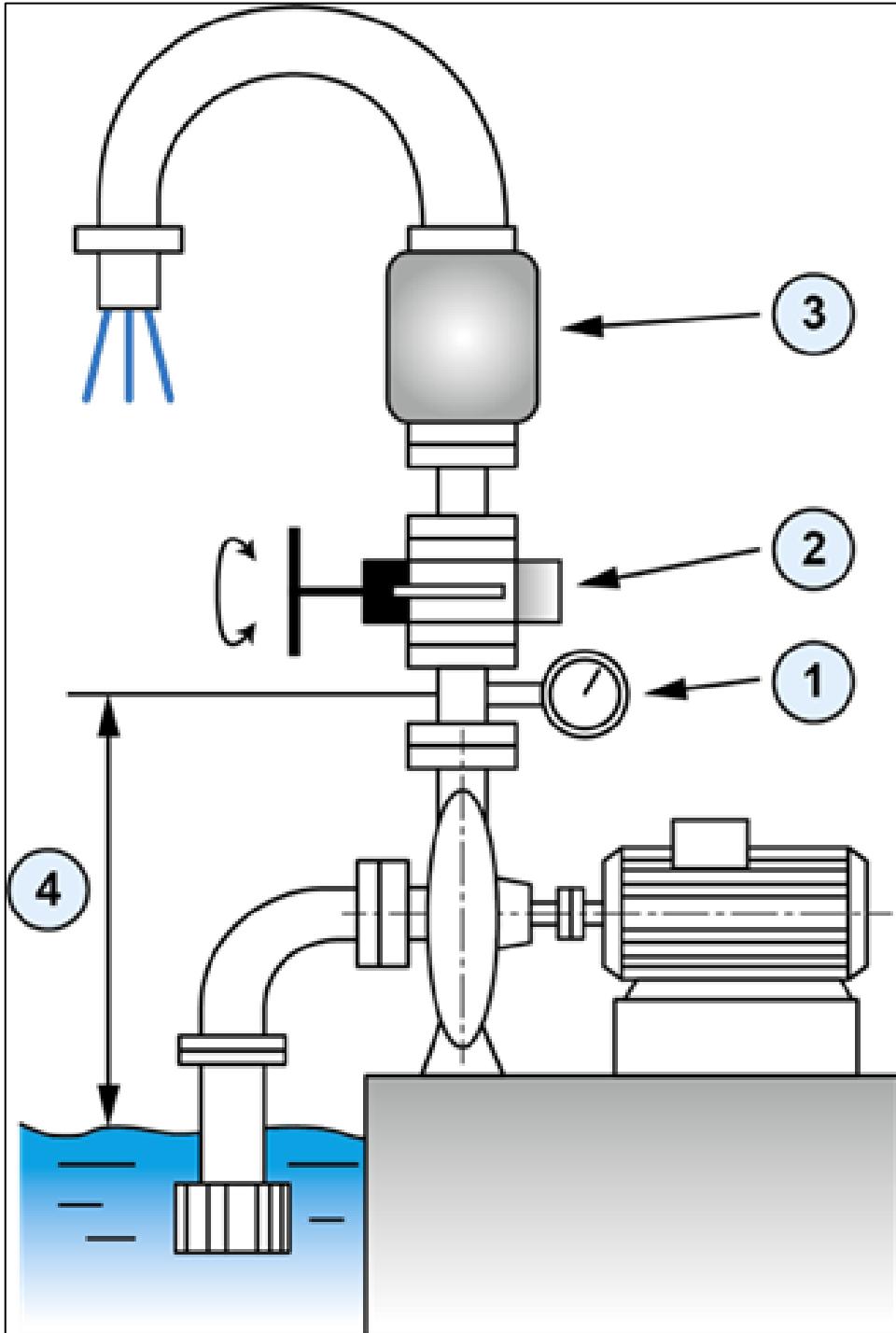
### 5. Erstellung der Q/H-Kennlinie

Die ermittelten Punkte werden durch eine Linie verbunden. Diese Linie stellt die Q/H-Kennlinie der Pumpe dar.



**Abbildung 16 Entstehung der Q/H-Kennlinie – hydraulische Prüfstandsmessung**

Abbildung 16 zeigt einen Messaufbau, wie er auf Pumpenprüfständen in der Praxis eingesetzt wird. Dieser Aufbau ermöglicht die präzise Ermittlung der Q/H-Kennlinie unter realitätsnahen Bedingungen und gewährleistet dabei die Erfassung aller relevanten Betriebsdaten.



**Legende:**

1. Manometer zur Anzeige der Förderhöhe  $H$  der Pumpe (1 bar ~ 10.2 m Wassersäule)
2. Hydraulischer Widerstand (Ventil) um die Förderhöhe  $H$  der Pumpe zu erreichen
3. Durchflussmessung, um den Volumenstrom  $Q$  bei der jeweiligen Förderhöhe  $H$  festzustellen.
4. Diese Höhe muss zu der, am Manometer abgelesenen, Förderhöhe  $H$  addiert werden. (Manometer zeigen immer den Druck in Flussrichtung an!)

**Abbildung 17 Messaufbau – hydraulische Prüfstandsmessung**

Mit dieser Messvorrichtung werden nun mehrere Volumenströme  $Q$  und die dazugehörigen Förderhöhen  $H$  gemessen. Durch schrittweises Verstellen des hydraulischen Widerstands (Ventil) werden verschiedene Betriebspunkte erfasst, indem der Volumenstrom

$Q$  und die dazugehörige Förderhöhe  $H$  gemessen werden. Wenn das Ventil (2) komplett geschlossen ist, stellt sich die «Nullförderhöhe» oder eben «Betriebspunkt gegen geschlossenen Schieber» ein. Dies ist der Punkt auf der  $Q/H$ -Kennlinie, bei dem die Pumpe den maximalen Druck erzeugt, aber keinen Volumenstrom fördert.

Die  $Q/H$ -Kennlinie zeigt alle möglichen Betriebspunkte, welche die Kreiselpumpe anfahren kann, abhängig vom Volumenstrom und der Förderhöhe. Sie gibt also einen Überblick über die Leistungsfähigkeit der Pumpe und ist eine zentrale Entscheidungsgrundlage für deren Auswahl.

#### 5.4.6 Einsatzbereich der Kreiselpumpe

Auf der  $Q/H$ -Kennlinie markiert der Hersteller den Einsatzbereich der Kreiselpumpe. Dieser Bereich umfasst alle Betriebspunkte, an denen die Pumpe sicher betrieben werden kann, ohne Schäden oder unzulässige Belastungen zu verursachen. Innerhalb dieses Bereichs ist die Pumpe für alle Betriebspunkte technisch geeignet.

#### Best Efficiency Point (BEP)

Bei der Auslegung einer Pumpe ist darauf zu achten, dass sie möglichst nahe am Best Efficiency Point (BEP) betrieben wird. Der BEP ist der Punkt auf der  $Q/H$ -Kennlinie, an dem die Pumpe ihren höchsten Wirkungsgrad erreicht. Ein Betrieb am BEP ist energetisch und betrieblich optimal, da:

- der Energieverbrauch minimiert wird,
- mechanische Belastungen gleichmäßig verteilt sind, und
- Verschleiss und Wartungsbedarf reduziert werden.

#### Unterschied zwischen Einsatz- und Auslegungsbereich

- **Einsatzbereich:** Umfasst alle sicheren Betriebszustände der Pumpe, unabhängig von der Effizienz.
- **Auslegungsbereich:** Konzentriert sich auf die effizientesten Betriebsbedingungen rund um den BEP.

Der Auslegungsbereich ist daher enger definiert als der Einsatzbereich und stellt sicher, dass die Pumpe langfristig wirtschaftlich und zuverlässig arbeitet.

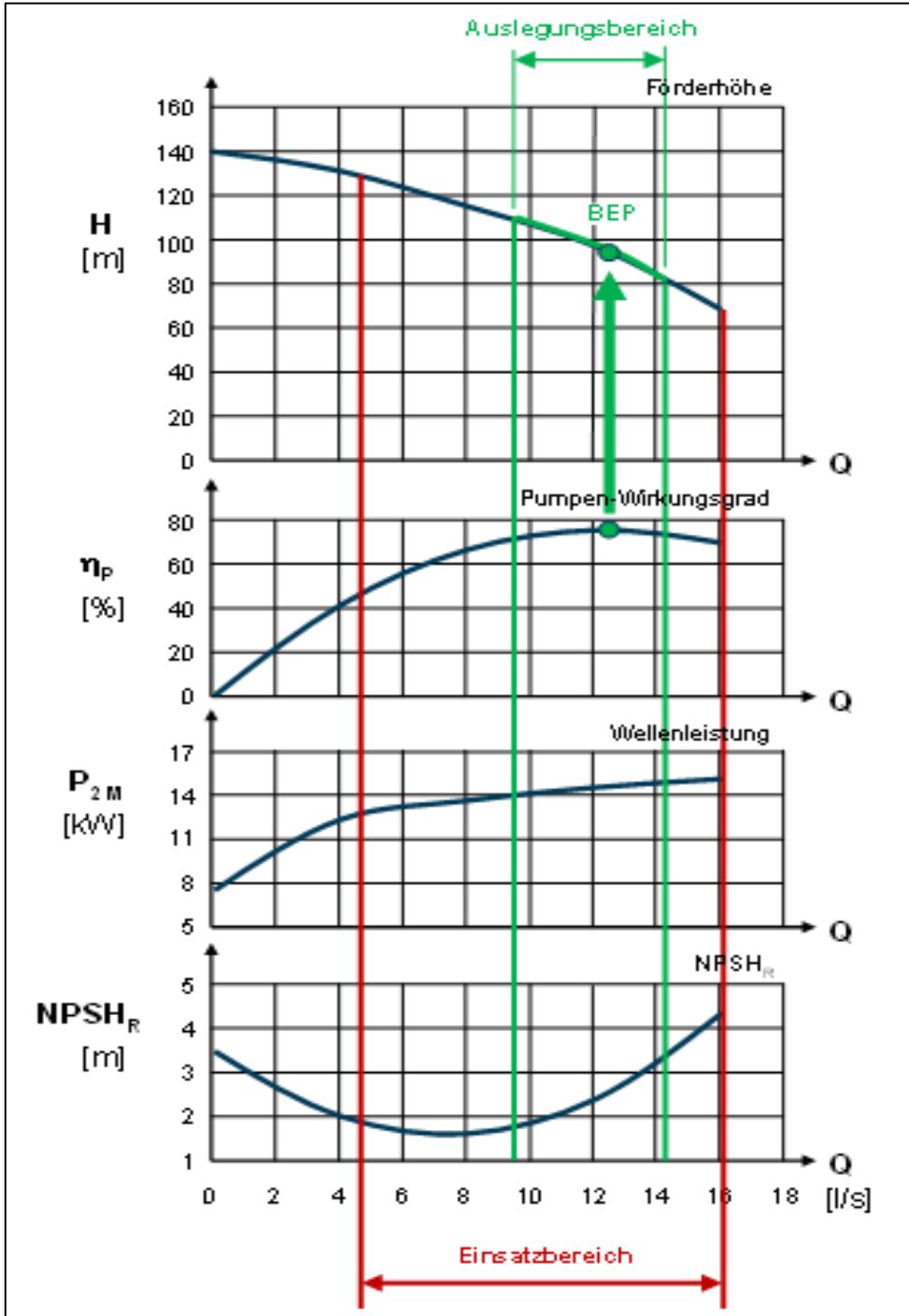


Abbildung 18 Q/H-Kennlinie mit Einsatzbereich und Auslegungsbereich

Der Betrieb einer Kreiselpumpe sollte immer möglichst nah am Best Efficiency Point (BEP) erfolgen, um sowohl eine hohe Energieeffizienz als auch den einwandfreien Betrieb sicherzustellen. Ein Betrieb abseits des BEP führt zu ungünstigen Strömungsverhältnissen und mechanischen Belastungen, die langfristig Schäden an der Pumpe und den angeschlossenen Leitungen verursachen können. Insbesondere ist mit den folgenden Problemen zu rechnen:

- Rückströmungen: Strömungsabrisse innerhalb der Pumpe.
- Wirbel und Turbulenzen: Verstärkte Unregelmässigkeiten in der Strömung, die auf die Pumpe und angrenzende Leitungen einwirken.
- Mechanische Belastungen: Ungleichmässige Belastungen auf das Laufrad und die Lager, die zu vorzeitigem Verschleiss oder Ausfällen führen können.

Zur Beurteilung, ob eine Kreiselpumpe gut ausgelegt ist, gelten folgende Werte:

Auslegungsbereich <sup>1</sup>		Untere Grenze	Obere Grenze
Q - Optimal	BEP	-10%	+5%
Q - Tolerierbar	BEP	-30%	+15%
$\eta$ - Tolerierbar	BEP	$\eta_{BEP} \cdot 0.9$	-

<sup>1</sup> Siehe Abbildung 17 und 18

Tabelle 1 Auslegungsbereiche in Abhängigkeit des Volumenstroms Q und des Wirkungsgrades  $\eta$

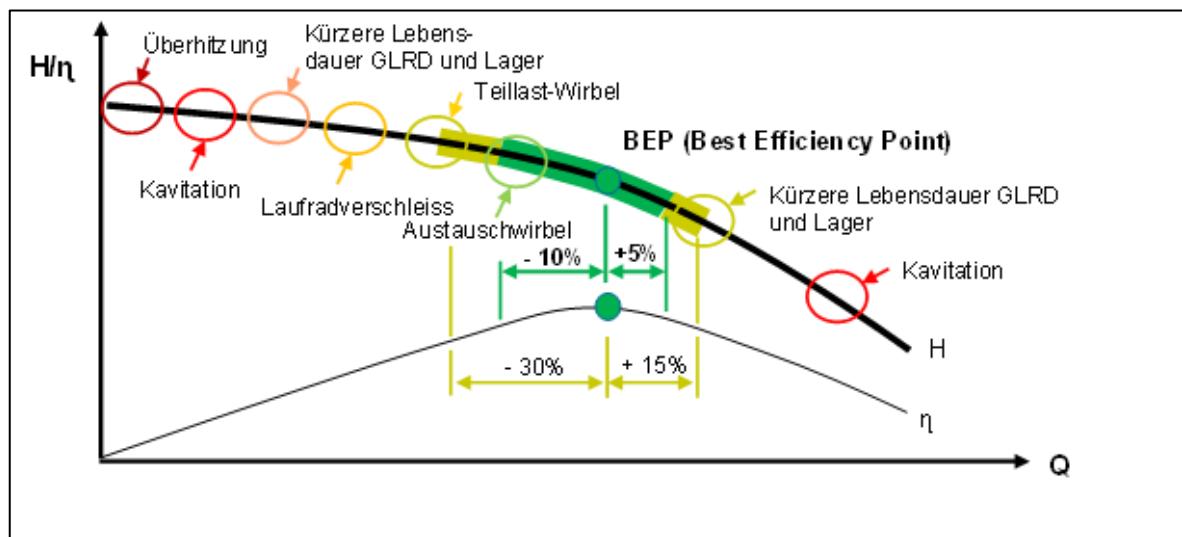


Abbildung 19 Q/H-Kennlinie mit hydro-mechanischen Effekten (Judy Hodgson (Du Pont))

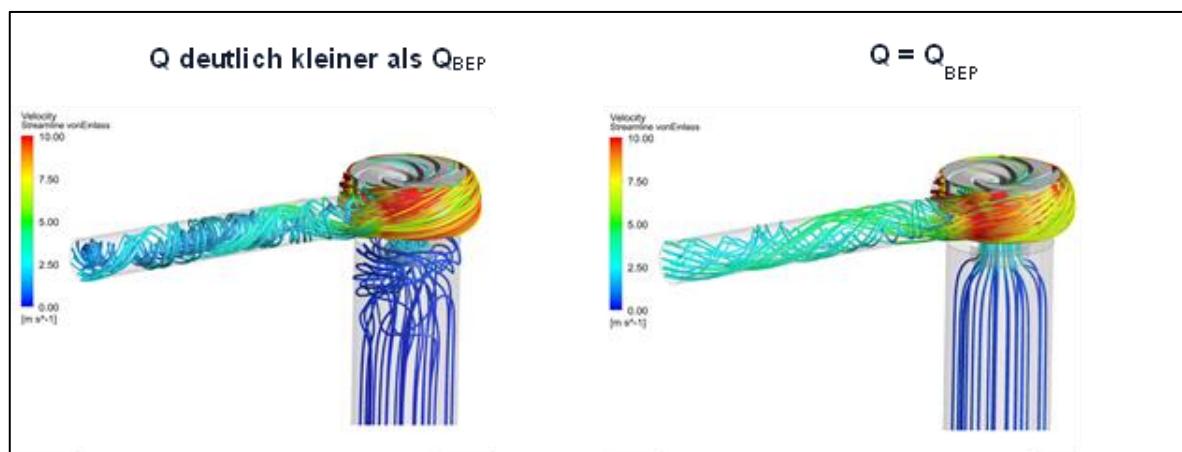


Abbildung 20 Rückströmungen, Wirbel und Turbulenzen

#### 5.4.7 Die Q/ $\eta$ (ETA)-Kennlinie und Q/P-Kennlinie

Die Q/ $\eta$  (ETA)-Kennlinie und die Q/P-Kennlinie sind eng mit der Q/H-Kennlinie einer Kreiselpumpe verbunden. Sie liefern wichtige Informationen über die Effizienz und den Leistungsbedarf der Pumpe bei verschiedenen Volumenströmen.

- **Q/η-Kennlinie:** Beschreibt den Wirkungsgrad der Pumpe in Abhängigkeit vom Volumenstrom Q. Sie zeigt, bei welchem Volumenstrom die Pumpe am effizientesten arbeitet.
- **Q/P-Kennlinie:** Zeigt den Leistungsbedarf (Wellenleistung) der Pumpe in Abhängigkeit vom Volumenstrom Q. Sie stellt die Leistung dar, die erforderlich ist, um die Förderhöhe zu erreichen und den gewünschten Volumenstrom zu fördern.

### Physikalische Zusammenhänge zwischen den Leistungen an Pumpe mit Antrieb

Für eine einfache Betrachtung gelten folgende physikalische Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Leistungen an einem Pumpenaggregat mit Antrieb:

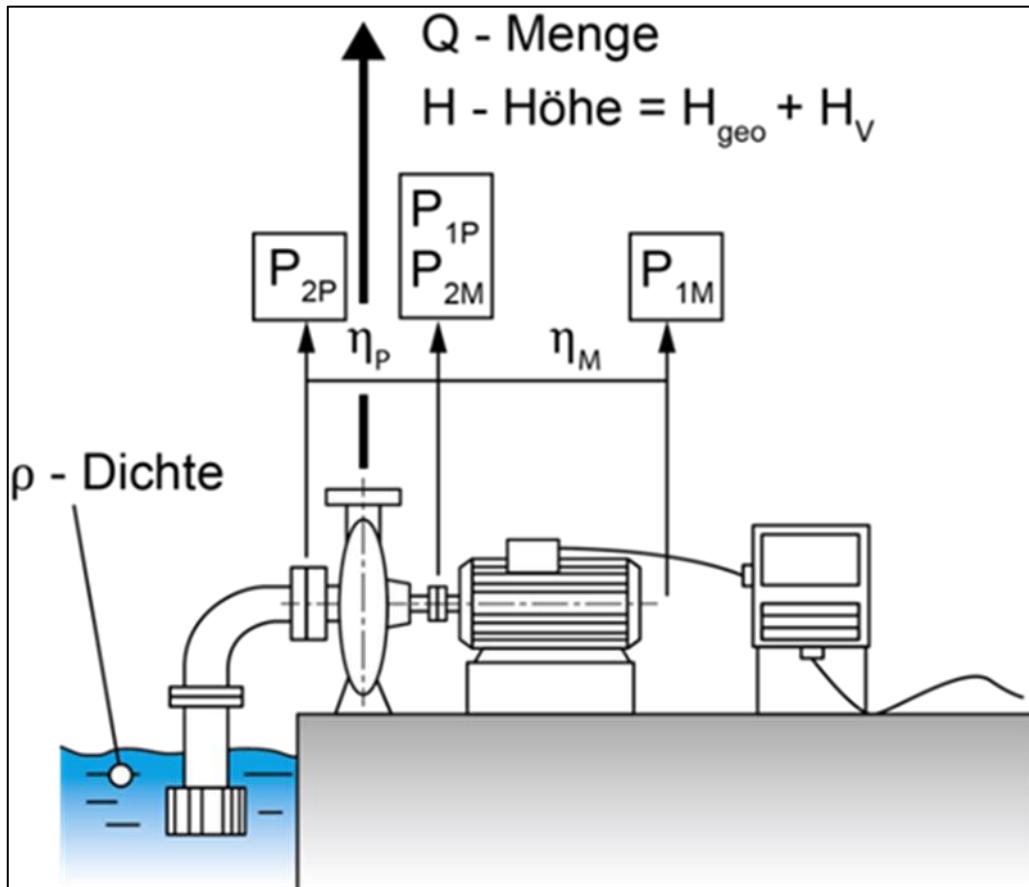


Abbildung 21 Wirkungsgrad und Leistung einer Kreiselpumpe

Grösse	Formel	Einheit
Hydraulische Pumpenleistung	$P_{2P} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$	[W]
Elektrische Antriebsleistung	$P_{1M} = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$	[W]
Wellenleistung	$P_{1P} = P_{2M}$	[W]
Gesamtwirkungsgrad	$\eta_{tot} = \eta_P \cdot \eta_M$	[ - ]
Pumpenwirkungsgrad, Antriebswirkungsgrad (Motor)	$\eta_P = \frac{P_{2P}}{P_{1P}}, \quad \eta_M = \frac{P_{2M}}{P_{1M}}$	[ - ]

Legende:

Q	Volumenstrom der Pumpe	[m <sup>3</sup> /s]
H	Förderhöhe der Pumpe	[m]
g	Fallbeschleunigung, 9.81	[m/s <sup>2</sup> ]

$\rho$	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$P$	Leistung	[W]
$\eta$	Wirkungsgrad	[-]
$U$	Spannung	[V]
$I$	Strom	[A]
$\cos\phi$	Leistungsfaktor	[-]

Tabelle 2 Wirkungsgrad und Leistung einer Kreiselpumpe

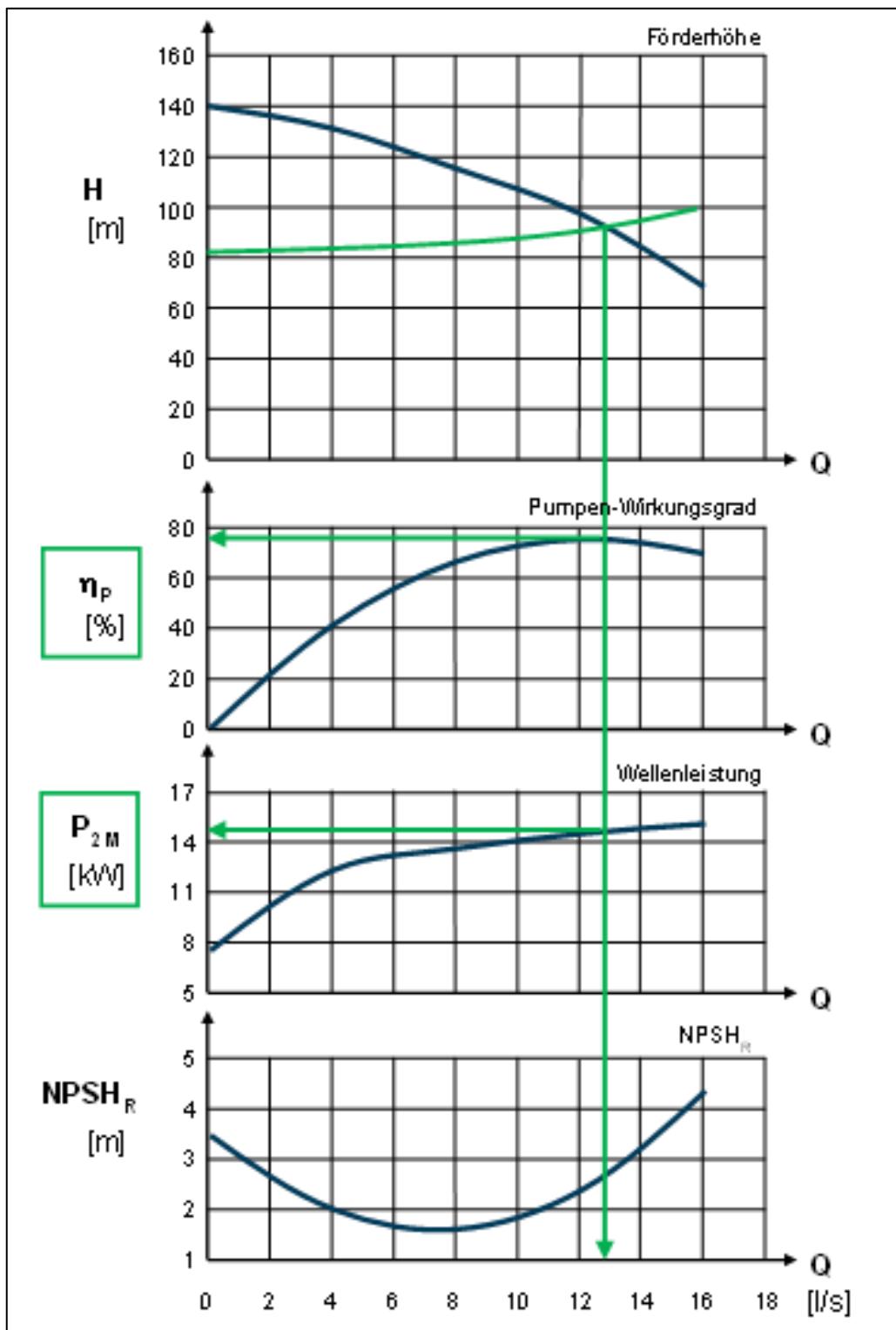


Abbildung 22 Wirkungsgrad- und Leistungskennlinie einer Kreiselpumpe

## **Wirkungsgrad und Leistung einer Kreiselpumpe**

Der Pumpenwirkungsgrad  $\eta_P$ , auch hydraulischer Wirkungsgrad genannt, beschreibt, wie effizient die Pumpe die aufgenommene mechanische Energie in hydraulische Energie umwandelt. Der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{tot}$  berücksichtigt sowohl den Pumpenwirkungsgrad  $\eta_P$  als auch den Antriebwirkungsgrad  $\eta_M$  der den Energieverlust im Motor beschreibt.

Auf den Kennlinien wird normalerweise der Pumpenwirkungsgrad  $\eta_P$  angezeigt. Um den Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{tot}$  des Pumpenaggregats zu bestimmen, muss auch der Antriebwirkungsgrad  $\eta_M$  berücksichtigt werden.

Im Regelfall wird auch die Wellenleistung  $P_{1P}$ ,  $P_{2M}$ , auch mechanische Leistung genannt, auf den Kennlinien angezeigt, da diese die mechanische Leistung angibt, die zur Erreichung der gewünschten Förderleistung benötigt wird.

In den Abbildungen 21 und 22 wird der Zusammenhang zwischen den Wirkungsgrad- und Leistungskennlinien sowie die damit verbundenen Formeln veranschaulicht. Diese helfen, den Energiebedarf und die Effizienz einer Kreiselpumpe in unterschiedlichen Betriebsbereichen zu analysieren und zu optimieren.

### **5.4.8 Q/NPSH<sub>R</sub>-Kennlinie**

Die Q/NPSH<sub>R</sub>-Kennlinie beschreibt das erforderliche Saugvermögen / Vordruck (Net Positive Suction Head Required, NPSH3%) der Kreiselpumpe in Abhängigkeit vom Volumenstrom Q. Sie dient der Vermeidung von Kavitation, einem schädlichen physikalischen Phänomen.

### **Funktionsweise der Kreiselpumpe und Kavitation**

Eine Kreiselpumpe kann Wasser nur fördern, wenn die Saugleitung und die Pumpe vor der Inbetriebnahme vollständig gefüllt sind. Das physikalische Limit des Saugvermögens wird durch den Dampfdruck des Wassers bestimmt:

- Sinkt der Druck in der Pumpe lokal unter den Dampfdruck des Wassers, entstehen Dampfblasen.
- Diese Dampfblasen kollabieren (implodieren) in Zonen mit höherem Druck, wodurch extreme Kräfte freigesetzt werden.
- In der Nähe von Bauteilen führt dies zu Materialabtrag und charakteristischen Schäden, die als Kavitationsschäden bekannt sind.

Kavitation führt zu Störungen und Schäden an der Pumpe. Folgende charakteristische Schadbilder sind häufig anzutreffen:



**Abbildung 23** Starke Kavitationsspuren am Eintrittsbereich eines Laufrades

### Bedeutung der Q/NPSH<sub>R</sub>-Kennlinie

Die Q/NPSH3%-Kennlinie steht für das Saugvermögen / Vordruck der Pumpe bei einem entsprechenden Volumenstrom Q. Sie zeigt auf, welcher minimale Druck (NPSH<sub>R</sub>) am Eintritt der Pumpe erforderlich ist, um Kavitation bei einem bestimmten Volumenstrom Q zu verhindern. Der NPSH-Wert der Anlage (NPSH<sub>A</sub>) muss berechnet und mit dem NPSH3% der Pumpe verglichen werden:

Wenn die Bedingung:  $NPSH_A \geq NPSH_R$  (multipliziert mit dem Sicherheitsfaktor Sa)

erfüllt ist, wird, bedingt durch das Saugvermögen / Vordruck der Pumpe, in diesem Betriebspunkt keine Kavitation auftreten.

### Sicherheitsfaktor zur Verhinderung von Kavitation

Kavitation kann grundsätzlich auch durch andere Ursachen hervorgerufen werden (ungünstiger Strömungsverlauf, Turbulenzen, etc.). Um Kavitation weitmöglichst auszuschliessen, sollte darum zusätzlich ein Sicherheitsfaktor Sa in die Auslegung des NPSH<sub>A</sub>-Werts einbezogen werden.

Der Sicherheitsfaktor für NPSH<sub>A</sub> liegt je nach Anlage und Betriebsbedingungen typischerweise zwischen 0,5 und 2 Metern. Dadurch wird ein ausreichender Abstand zum NPSH3% gewährleistet und das Risiko für Kavitation minimiert.

Die Q/NPSH3%-Kennlinie ist ein zentrales Instrument für die Auslegung und den sicheren Betrieb von Kreiselpumpen. Sie gewährleistet, dass die Pumpe innerhalb eines sicheren Bereichs betrieben wird, ohne dass Kavitation auftritt, die die Effizienz und Lebensdauer der Pumpe gefährden könnte.

Der Sicherheitsfaktor kann mittels der nachstehenden Formel berechnet werden:

$$Sa = NPSH_A / NPSH3\% \text{ im Bestpunkt (BEP)}$$

### 5.4.9 Ermittlung des NPSH-Wert der Anlage

Nachstehend werden drei Möglichkeiten dargestellt, um den NPSH-Wert der Anlage NPSH<sub>A</sub> zu ermitteln:

## 1. Auf Basis einer Berechnung (Bernoulli)

$$NPSH_A = \frac{p_l - p_d}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} - H_{geoS} - H_{vS} \quad [m]$$

Legende:

$NPSH_A$	NPSH-Wert der Anlage	[m]
$p_l$	Luftdruck im Saugbecken	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]
$p_d$	Dampfdruck des Wassers	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	Fallbeschleunigung, 9.81	[m/s <sup>2</sup> ]
$v$	Geschwindigkeit im Saugbecken	[m/s]
$H_{geoS}$	geodätische Saughöhe	[m]
$H_{vS}$	Reibungsverlust der Saugleitung	[m]

Die Formel ist gültig für den Saugbetrieb aus offenen Behältern (Reservoir, Grundwasserbrunnen), so wie er in der Trinkwasserversorgung anzutreffen ist. Die Geschwindigkeit im Saugbecken ist dabei in den meisten Fällen mit 0 (Null) einzusetzen, da dessen Fläche viel grösser ist als der Querschnitt der Saugleitung.  $H_{geoS}$  ist bei vertikalen Pumpen im Zentrum des zuunterst liegenden Laufrades anzusetzen.

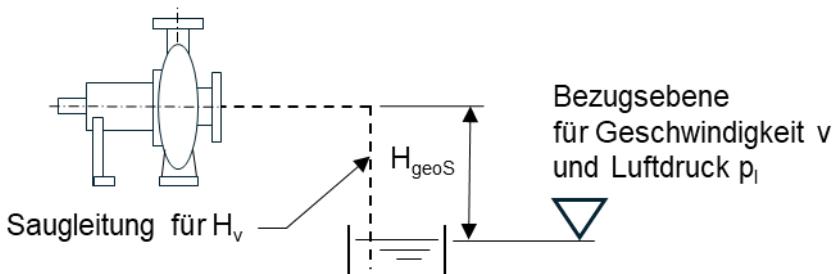


Abbildung 24 NPSH-Wert der Anlage, Schema zur Formel

## 2. Auf Basis einer graphischen Herleitung auf der Kennlinie - detailliert

Das Vorgehen wird anhand des folgenden Beispiels erläutert:

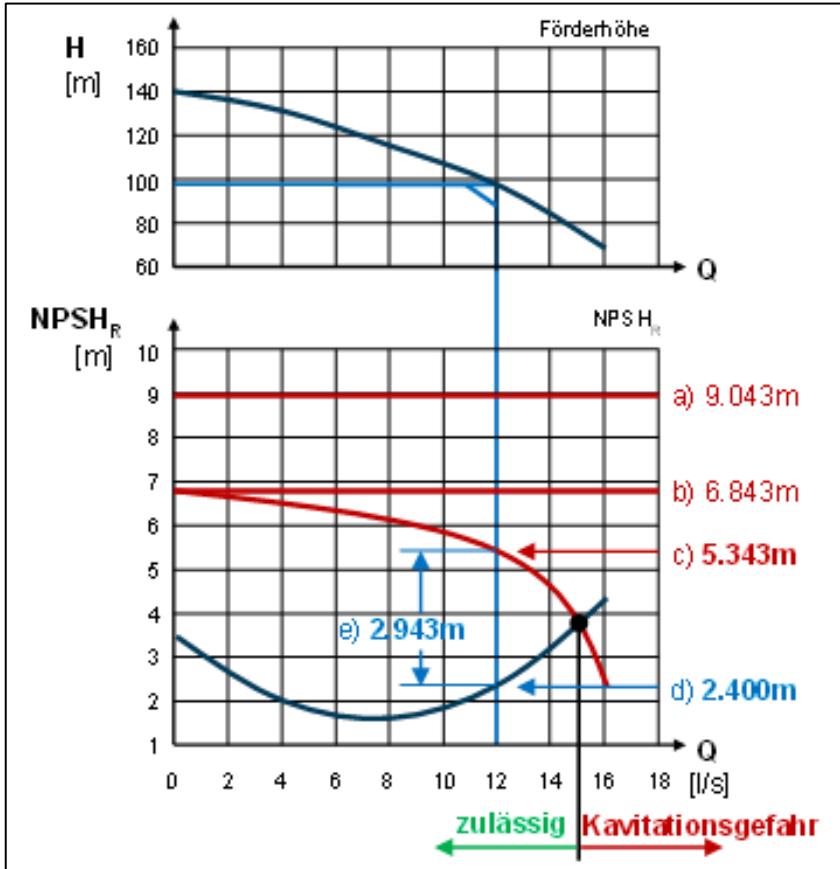


Abbildung 25  $NPSH_R$  graphische Herleitung, detailliert

- a) «Luftdruck  $p_l$  minus Dampfdruck  $p_d$ » ergibt die Ausgangsbasis auf der  $Q/NPSH_R$ -Kennlinie:

Beispiel: Aufstellhöhe  $1'000 \text{ m.ü.M.}$ , Wassertemperatur  $10^\circ\text{C} = 89'875 \text{ Pa} - 1'200 \text{ Pa} = 88'675 \text{ Pa} = 9,043 \text{ m}$  ( $100'000 \text{ Pa} \approx 10.197 \text{ m}$ )

- b) «Geodätische Saughöhe  $H_{geoS}$ » in Abzug bringen von a):

Beispiel:  $2.2 \text{ m}$  Saughöhe  $H_{geoS}$ , somit  $9.043\text{m} - 2.2 \text{ m} = 6.843 \text{ m}$

- c) «Reibungsverlust der Saugleitung  $H_{vs}$  in Abzug bringen von b) =  $NPSH_A$ -Kennlinie:

Beispiel:  $1.5 \text{ m}$  Reibungsverlust in der Saugleitung  $H_{vs}$  bei  $Q = 12 \text{ l/s}$ , somit  $6.843 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 5.343 \text{ m}$   $NPSH_A$  bei  $Q = 12 \text{ l/s}$

Ergibt sich ein Schnittpunkt der Linie c) =  $NPSH_A$ -Kennlinie mit der  $NPSH_R$ -Kennlinie, gelten die Betriebsbereiche links davon als zulässig, die Betriebsbereiche rechts davon als Kavitationsgefährdet. Dies entspricht  $NPSH_A \geq NPSH_R$ :

Beispiel:  $5.343 \text{ m} \geq 2.4 \text{ m}$  somit, zulässiger Betrieb

Die Differenz zwischen der  $NPSH_R$ -Kennlinie und der  $NPSH_A$ -Kennlinie beim entsprechenden Volumenstrom  $Q$  entspricht der Saugreserve der Pumpe:

Beispiel:  $5.343 - 2.4 = 2.943 \text{ m}$  Saugreserve

Temperatur [°C]	Dampfdruck [Pa = N/m²]
--------------------	---------------------------

0.01	600
10.0	1'200
20.0	2'300
30.0	4'200
40.0	7'400
50.0	12'300
60.0	19'900
70.0	31'200
80.0	47'400
90.0	70'100
100.0	101'000
110.0	143'000
120.0	198'000

Tabelle 3 Dampfdruck  $p_d$  von Wasser

Aufstellhöhe [m.ü.M.]	Luftdruck [Pa = N/m <sup>2</sup> ]
0 (NN)	101'325
1000	89'875
2000	79'495
3000	70'109

Tabelle 4 Luftdruck  $p_l$  bezogen auf die Aufstellhöhe der Pumpe (ICAO-Standardatmosphäre)

### 3. «Faustformel» zur Überprüfung $NPSH_R$ (gültig im Mittelland) – vereinfacht

Das Vorgehen ist grundsätzlich analog zur graphischen Herleitung (gem. Pkt. 2.):

- Als Ausgangsbasis auf der Q/NPSH<sub>R</sub>-Kennlinie werden 8m gewählt. Damit wird die Aufstellhöhe «Mittelland» (bis 1'000 m.ü.M) und eine maximale Wassertemperatur von 20°C berücksichtigt mit einer zusätzlichen Sicherheitsreserve von 1m.
- «Geodätische Saughöhe  $H_{geoS}$ » in Abzug bringen von a)
- «Reibungsverlust der Saugleitung  $H_{vs}$  in Abzug bringen von b) = NPSH<sub>A</sub>-Kennlinie
- Ergibt sich ein Schnittpunkt der Linie c) = NPSH<sub>A</sub>-Kennlinie mit der NPSH<sub>R</sub>-Kennlinie, gelten die Betriebsbereiche links davon als zulässig, die Betriebsbereiche rechts davon als Kavitationsgefährdet. Dies entspricht  $NPSH_A \geq NPSH_R$

Der Saugbetrieb einer Kreiselpumpe bringt viele Nachteile und Risiken mit sich und muss darum, wenn immer möglich vermieden werden. Die Pumpenhydraulik soll mit Zulaufdruck bzw. im Wasser eingetaucht aufgestellt werden.

## 5.4.10 Toleranzklassen nach ISO 9906:2012

### Anwendung der Norm

Bereits in der Beschaffungsphase sollte mit dem Lieferanten eine Prüfstandsmessung nach ISO 9906:2012 vereinbart werden. Damit kann nachgewiesen werden, dass die vereinbarten Betriebsparameter der Pumpe – wie Volumenstrom Q, Förderhöhe H, Wirkungsgrad  $\eta$  und Wellenleistung P – eingehalten werden.

**Es ist dabei spezifisch zu vereinbaren, dass der Wirkungsgrad nach der gewählten Toleranzklasse einzuhalten bzw. nachzuweisen ist, da dieser gemäss Norm nicht zwingend gemessen werden muss.**

Die Toleranzklassen bezüglich der herstellungsbedingten, unvermeidbaren Abweichungen, der hydraulischen Leistungswerte, von baugleichen Pumpentypen, werden auch mittels dieser Norm festgelegt.

Von Leistungsmessung im Pumpwerk, zu Abnahmезwecken, ist abzusehen, da die Voraussetzungen für eine normgerechte Messung nach ISO 9906:2012 nicht erfüllt werden und damit keine Grundlage vorliegt um zulässige Abweichungen zu definieren.

Die Norm beschreibt Abnahmeklassen mit entsprechenden Toleranzbereichen:

Klasse <sup>1</sup>	1U	1E	1B	2B	2U	3B
<b>Q</b>	+ 10%	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 8\%$	+ 16%	$\pm 9\%$
<b>H</b>	+ 6%	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$	+ 10%	$\pm 7\%$
<b><math>\eta</math></b>	$\geq 0\%$	$\geq 0\%$	- 3%	- 5%	- 5%	- 7%

<sup>1</sup> Für Pumpen mit einer Wellenleistung unter 10kW sind die obenstehenden Toleranzfaktoren zu streng, bzw. die herstellungsbedingte Streuung zu gross. Darum gelten andere Faktoren, welche weitaus grössere Abweichungen zulassen.

**Tabelle 5 Abnahmeklassen und Toleranzwerte nach ISO 9906:2012**

### Interpretation der Toleranzwerte:

1. Auf dem Garantiepunkt (vereinbarten Betriebspunkt Q/H) wird das Toleranzkreuz eingezeichnet.
2. Schneidet das Kreuz die Messkennlinie (Abb.25 grün) in mindestens einem Schenkel (Q oder H) so gilt die Vorgabe als erfüllt.
3. Auf dem Garantiepunkt (vereinbarter Wirkungsgrad Q/ $\eta$ ) wird der Toleranzschenkel (nach unten) eingezeichnet, sofern relevant.
4. Schneidet der Schenkel die Messkennlinie (Abb.26 grün) so gilt die Vorgabe als erfüllt.

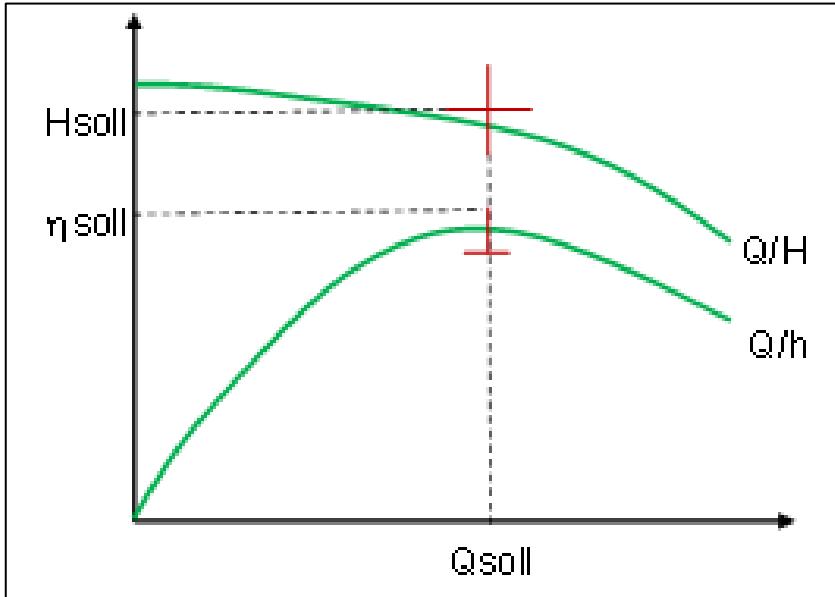


Abbildung 26 Interpretation der Toleranzwerte nach ISO 9906:2012

Für grössere Pumpen in der Wasserversorgung ( $> 22 \text{ kW } P_{2M}$ ) sollen nur die Toleranzklassen 1B und 1E zur Anwendung gelangen.

## 5.5 Systemparameter zur Pumpenauslegung

(Geltungsbereich: Teilsystem R, N / Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP)

### 5.5.1 Systemkennlinie (Drucklinie)

Die Systemkennlinie, auch Drucklinie oder Anlagenkennlinie genannt, beschreibt die hydraulischen Bedingungen, unter denen eine Pumpe arbeitet. Sie berücksichtigt die Reibungsverluste sowie weitere Einflüsse im System, wie beispielsweise Druckverluste in Rohrleitungen oder geodätische Höhenunterschiede ( $H_{geo}$ ).

#### Einfluss variierender Betriebszustände

Bei der Pumpenauslegung müssen mögliche Extremwerte des Systems berücksichtigt werden. Bei variierenden Betriebszuständen, wie zum Beispiel unterschiedlichen Wasserspiegeln vor und/oder nach der Pumpe und unterschiedlichen Betriebszeiten der Pumpe (nachts/tagsüber) müssen immer die Extremwerte zur Auslegung der Pumpe herangezogen werden.

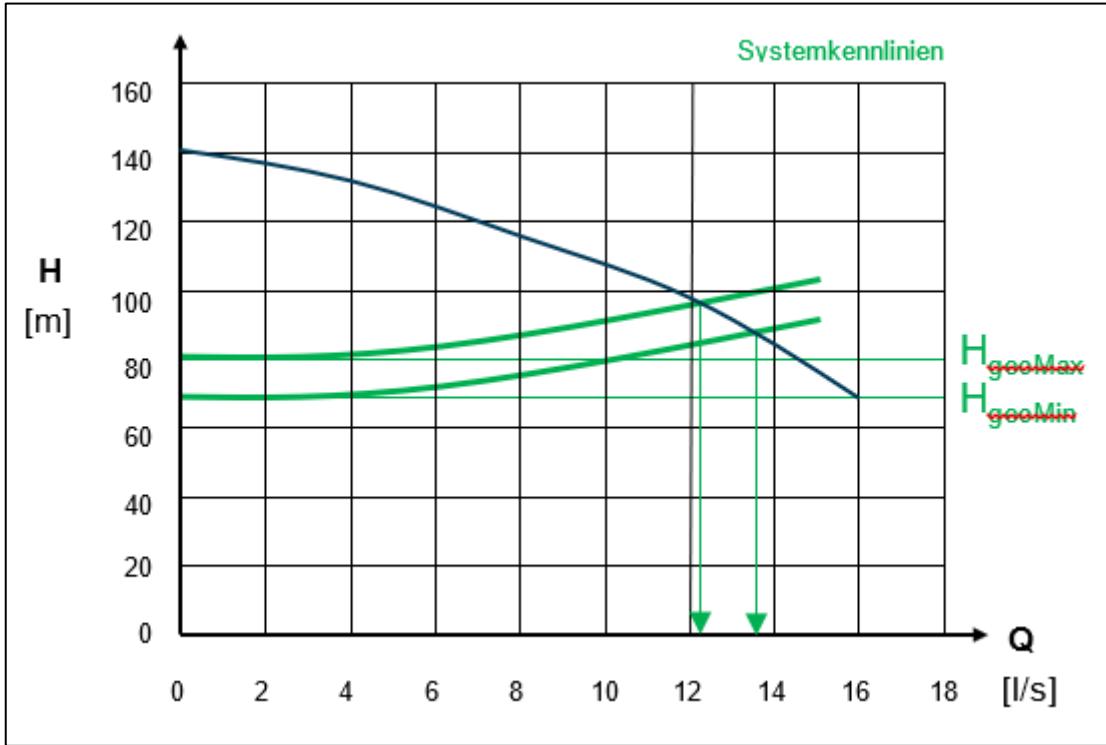


Abbildung 27 Systemkennlinie (Drucklinie) in der Pumpenkennlinie dargestellt

Abbildung 27 veranschaulicht die Systemkennlinie innerhalb der Pumpenkennlinie und zeigt die verschiedenen Druckverhältnisse, welche in einem Versorgungsnetz auftreten.

Im Zusammenhang mit der Auslegung von Pumpen wird dabei primär auf den Zustand «Pumpen während der Nacht» fokussiert, da zu dieser Zeit meist der geringste Verbrauch und somit der höchste dynamische Druck vorliegt.

Alle Betriebszustände, welche davon abweichen führen zu einer Verschiebung der Betriebspunkte der Pumpe. Falls eine Pumpe auch ausserhalb der Nacht betrieben werden soll, sind alle Betriebszustände bei der Auslegung zwingend mit zu berücksichtigen. Durch den Tagesverbrauch im Netz sinkt der dynamische Druck.

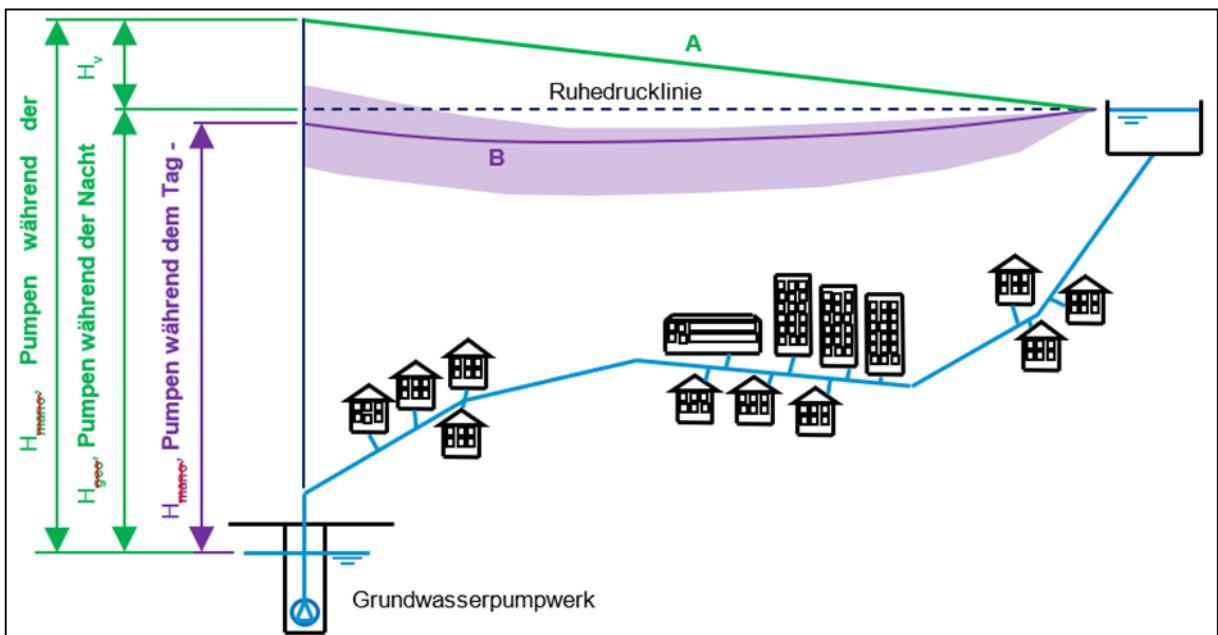


Abbildung 28 Systemkennlinie (Drucklinie) im hydraulischen Schema dargestellt

Abbildung 28 zeigt die hydraulischen Druckverhältnisse eines grossen Versorgungsgebiets im hydraulischen Schema. Die Systemkennlinie variiert je nach Betriebszustand und Tageszeit.

In Abbildung 29 ist ein Beispiel für die Systemkennlinie eines grossen Versorgungsgebiets aufgezeichnet. Dargestellt sind alle Betriebszustände über ein Jahr. Jeder Punkt entspricht einem Stundenmittelwert. Durch die kürzere Fließdistanz während dem Tag (nur zum Verbraucher nicht bis ins Reservoir) ist die Förderhöhe während dem Tag (hellblaue Punkte) ca. 2 m tiefer als in der Nacht (dunkelblaue Punkte).

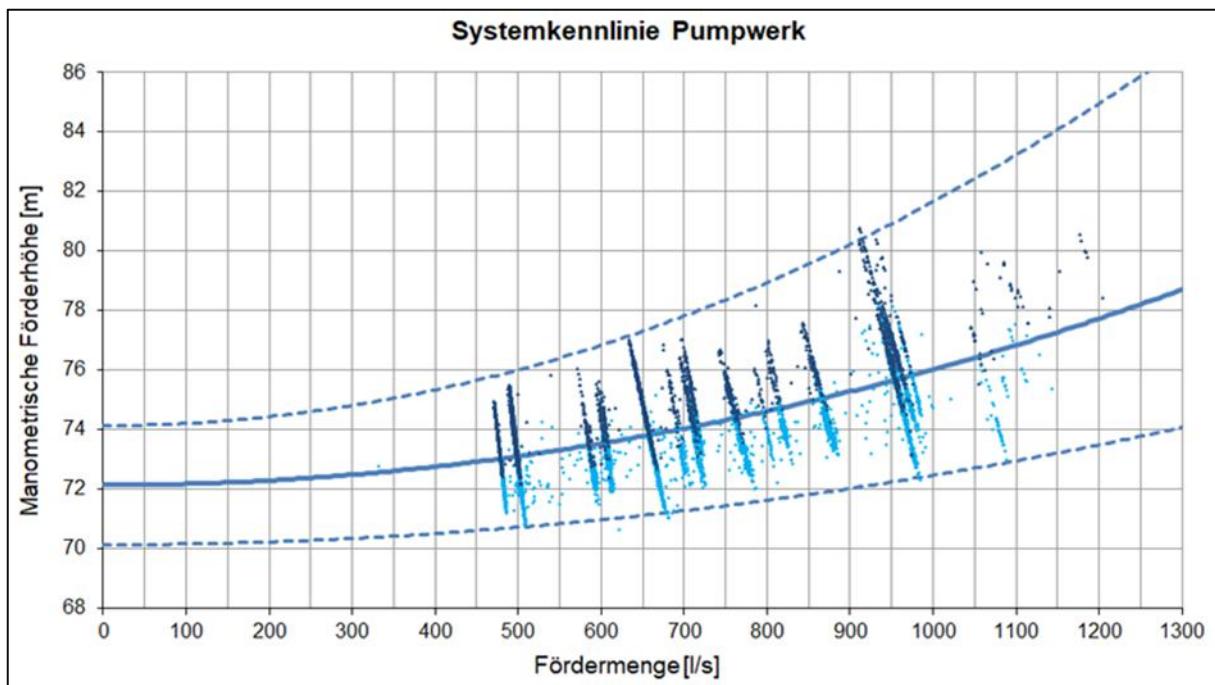


Abbildung 29 Beispiel für die Systemkennlinie eines grossen Versorgungsgebiets

In Abbildung 31 sind die Druckverhältnisse und deren Variationen einmal in einer Transportleitung und einmal in einer Pumpleitung, die gleichzeitig ins Netz und ins Reservoir fördert, dargestellt.

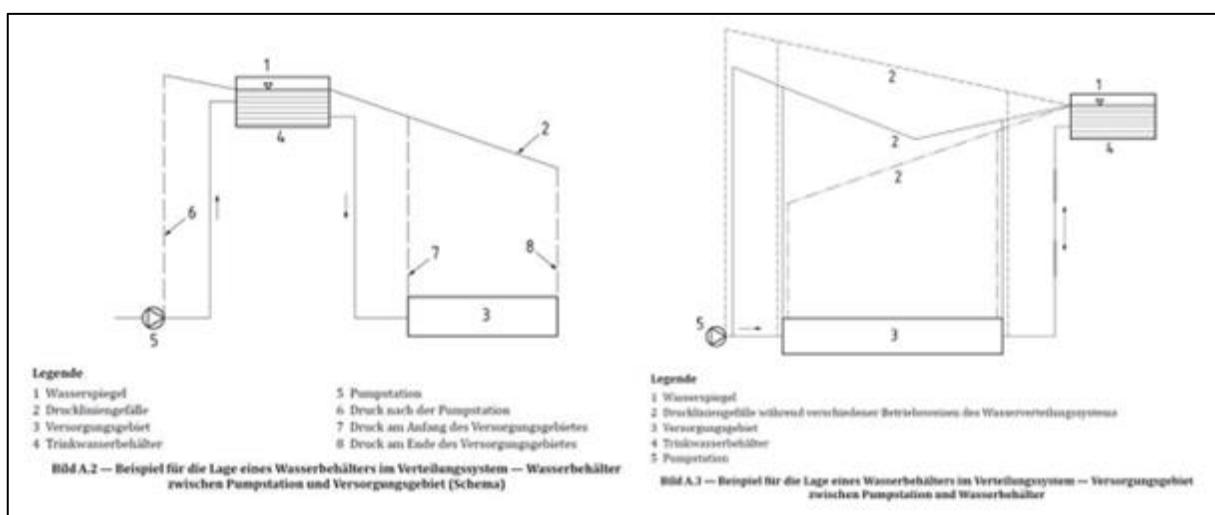


Abbildung 30 Druckverhältnisse einer Transport- und einer Pumpleitung (Quelle: EN1508)

## 5.5.2 Ermittlung der relevanten Systemparameter zur Auslegung einer Pumpe

Wie für das gesamte Versorgungsgebiet soll auch für den Systemteil, in welchem eine Pumpe eingesetzt wird, ein hydraulisches Schema dargestellt werden.

Bei massstäblicher Darstellung desselben (Höhen-/Längenprofil) wird damit gleichzeitig die Basis für die Beurteilung der Druckschlaggefährdung geschaffen.

Die folgenden Systemparameter sind zu ermitteln:

### 1. Ermittlung der maximalen und minimalen geodätischen Förderhöhe ( $H_{geo}$ )

Aus dem hydraulischen Schema werden anhand der maximalen und minimalen Wasserstände, sofern hydraulisch relevant, die geodätischen Förderhöhen ermittelt. Geodätische Förderhöhe bedeutet in diesem Zusammenhang die Förderhöhe, welche in statischem Zustand des Systems durch Messen festgestellt werden kann. In einem Beispiel wie in Abb.28 dargestellt, entspricht sie der Ruhedrucklinie, bezogen auf den Wasserstand des Grundwasserpumpwerks.

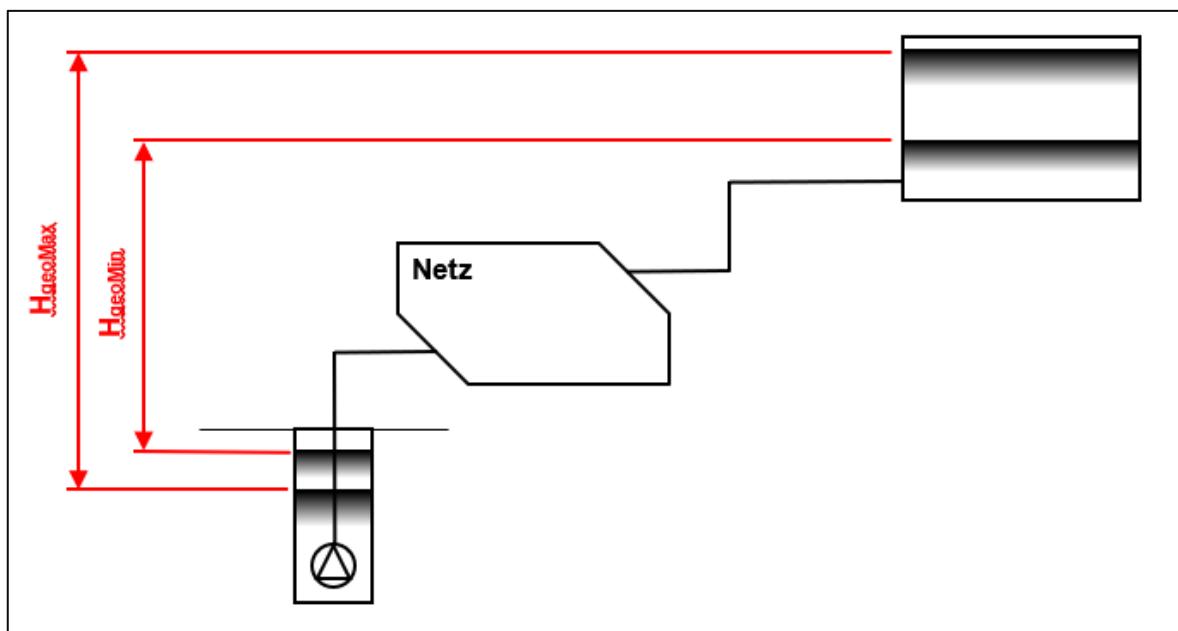


Abbildung 31 Ermittlung der geodätischen Förderhöhe ( $H_{geo}$ )

### 5. Ermittlung des saug- und druckseitigen Reibungsverlustes ( $H_v$ )

Alle Rohrleitungen, Rohrleitungskomponenten und Hydraulikzubehörteile verursachen Reibungsverluste (Druckverluste), die bei der Dimensionierung der Pumpe berücksichtigt werden müssen, da sie die Förderhöhe ( $H_{mano} = H_{geo} + H_v$ ) bestimmen.

Der Reibungsverlust  $H_v$  steht dabei in einem direkten Verhältnis zum Volumenstrom  $Q$  und verändert sich bei linear variierendem Volumenstrom in einer quadratischen Funktion.

Die Feststellung dieser Verluste erfolgt entweder über eine Berechnung, eine computergestützte Simulation oder eine Messung direkt auf der Anlage, jeweils beim gewünschten Auslegungsvolumenstrom  $Q$ .

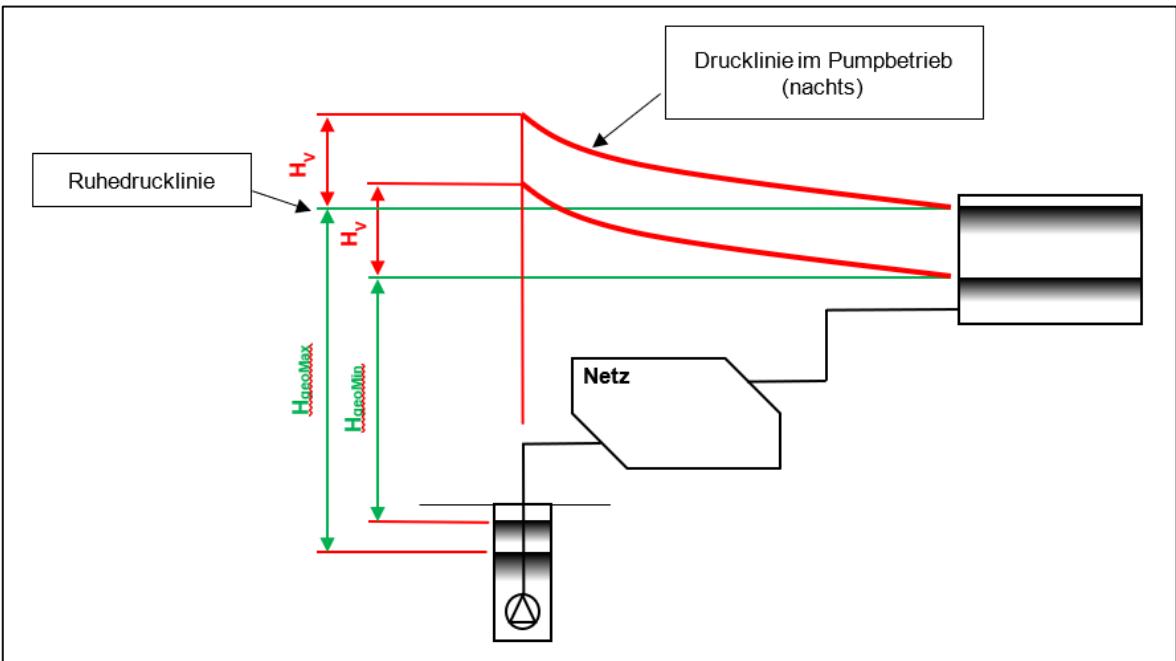


Abbildung 32 Ermittlung des saug- und druckseitigen Reibungsverlustes ( $H_v$ )

## 6. Ermittlung der manometrischen Förderhöhe ( $H_{mano}$ )

Die für die Auslegung der Pumpe relevante Förderhöhe  $H_{mano}$ , darum auch Auslegungsförderhöhe genannt, berechnet sich wie folgt:

$$H_{mano} = H_{geo} + H_v$$

Diese Förderhöhe entspricht der auf der Pumpenkennlinie im Q/H-Diagramm.

$H_{mano}$  entspricht der Energie in Form von Höhe (Druck), welche die Pumpe bei einem entsprechenden Volumenstrom  $Q$ , in das System einbringen muss.

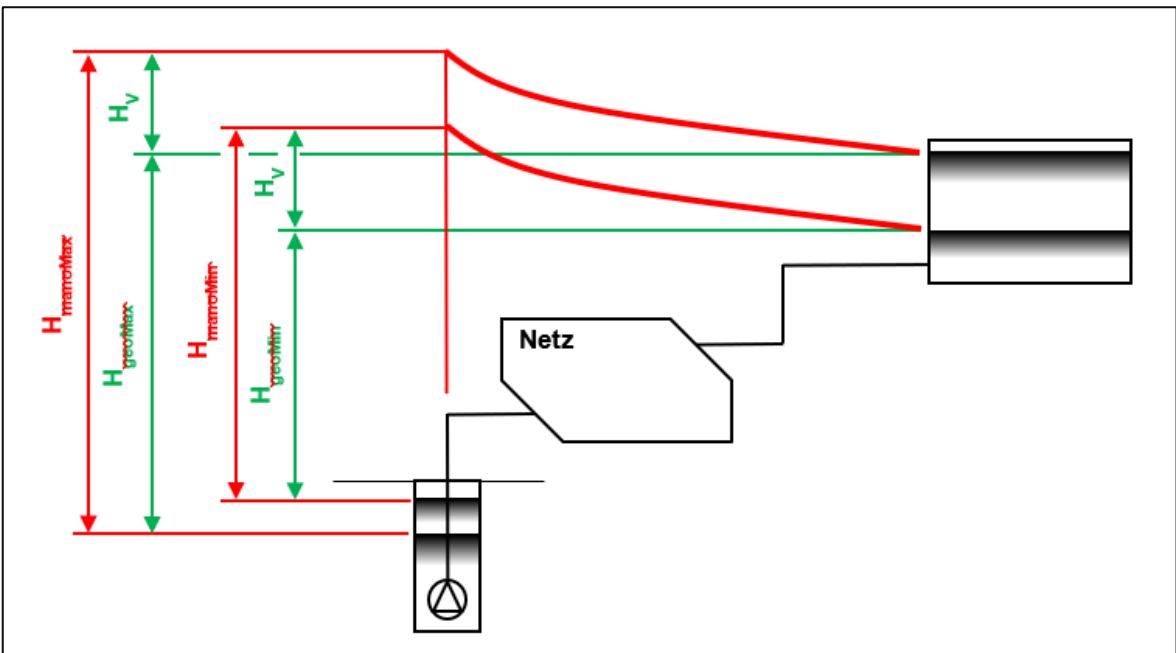


Abbildung 33 Ermittlung der manometrischen Förderhöhe ( $H_{mano}$ )

### 5.5.3 Hydraulisches Schema

Grundsätzlich betrachtet existieren die folgenden vier hydraulische Grundschemata, welche alle Anwendungsfälle abdecken, die in der Schweizer Wasserversorgung anzutreffen sind:

1. Offene Systeme im Eintauchbetrieb «Grundwasserpumpwerk, ...»
2. Offene Systeme mit Zulaufdruck «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk, ...»
3. Offene Systeme im Saugbetrieb «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk, ...»
4. Geschlossene Systeme (z.B. Wärmenutzungskreisläufe)

Zur besseren Übersicht wird nachstehend nur jeweils ein Zustand ( $H_{geo}$ ,  $H_{mano}$ ) dargestellt.

Die Drucklinie hat bei massstäblicher Darstellung des hydraulischen Schemas stets über dem Leitungsverlauf zu liegen. Der Abstand zwischen Drucklinie und Leitungsverlauf zeigt dabei den zu erwartenden dynamischen Druck an dieser Stelle an. Kommt die Drucklinie in einem Leitungsabschnitt unter den Leitungsverlauf zu liegen, ist das gleichbedeutend mit einer zu erwartenden Unterdrucksituation an der betroffenen Stelle, was es unbedingt zu vermeiden gibt.

#### 1. Offene Systeme im Eintauchbetrieb «Grundwasserpumpwerk, ...»

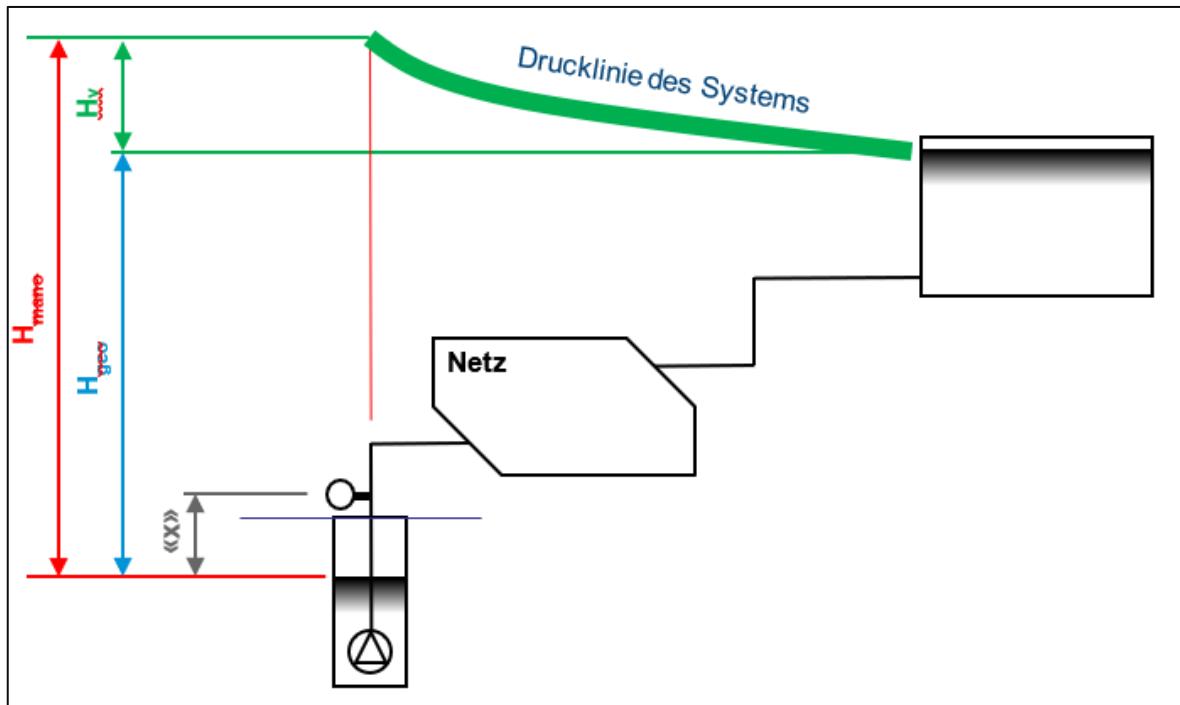


Abbildung 34 Hydraulisches Schema «Grundwasserpumpwerk»

Für diesen hydraulischen Fall kommen sowohl Unterwassermotorpumpen (UWP), und Bohrlochwellenpumpen (BLWP) zum Einsatz.

Bei «vor Ort Messungen» ist unbedingt zu berücksichtigen, dass die geodätische Höhendifferenz vom Manometer bis zum Wasserspiegel «x», sowie der Reibungsverlust  $H_v$  in diesem Leitungsabschnitt zum Ablesewert am Manometer addiert werden müssen.

#### 2. Offene Systeme mit Zulaufdruck «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk, ...»

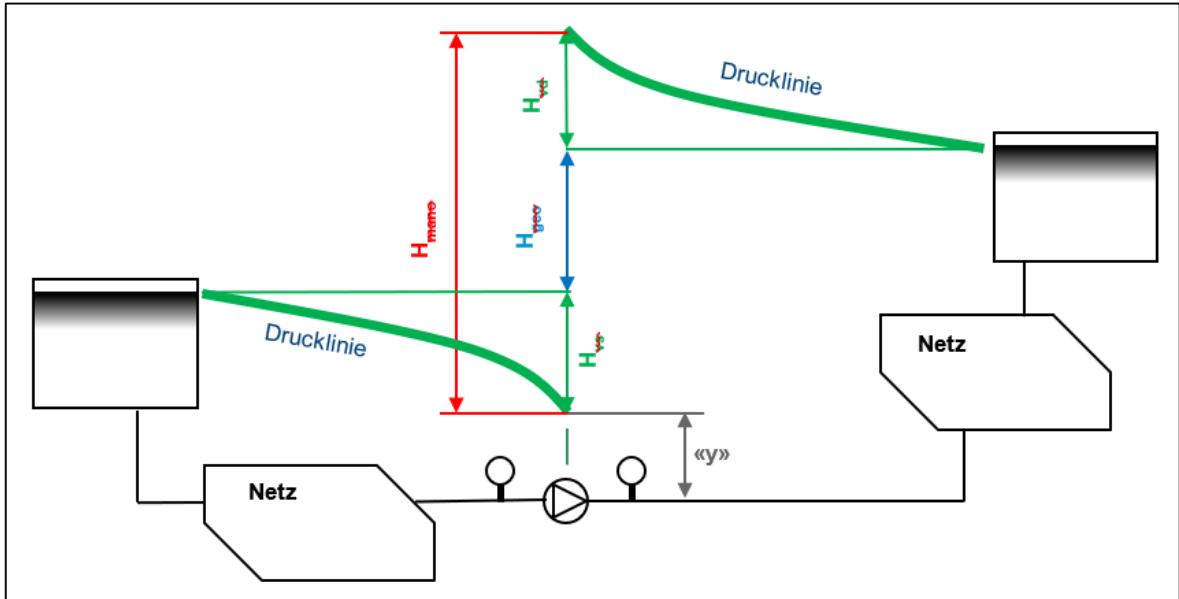


Abbildung 35 Hydraulisches Schema «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk mit Zulaufdruck»

Für diesen hydraulischen Fall kommen «trocken» aufgestellte Hochdruckpumpen (HD-P), Niederdruckpumpen (ND-P) und Bohrlochwellenpumpen (BLWP) zum Einsatz.

In diesem Fall ist, unter anderem zu berücksichtigen, dass der dynamische Zulaufdruck  $\ll y \gg$  ausreichend hoch ist, um die Pumpe störungsfrei zu betreiben. Eine Messung des Zulaufdruckdruckes im statischen Zustand reicht für die Auslegung der Pumpe nicht aus.

### 3. Offene Systeme im Saugbetrieb «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk, ...»

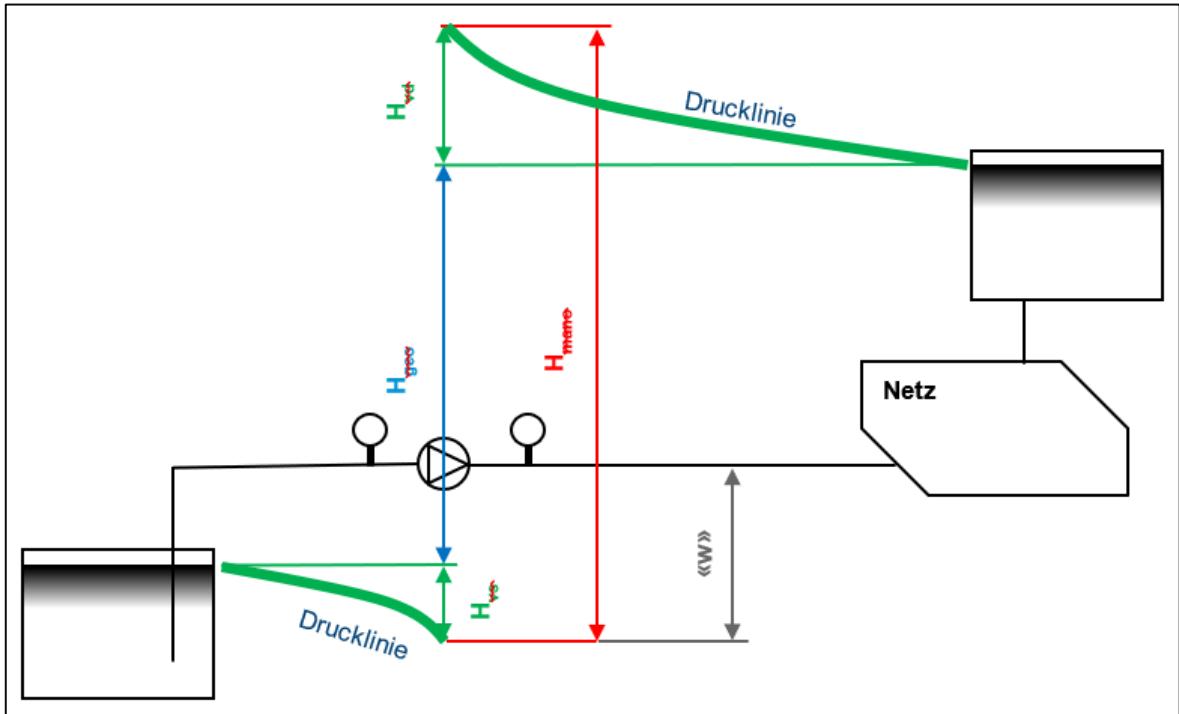


Abbildung 36 Hydraulisches Schema «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk im Saugbetrieb»

Für diesen hydraulischen Fall kommen «trocken» aufgestellte Hochdruckpumpen (HD-P), Niederdruckpumpen (ND-P) und Bohrlochwellenpumpen (BLWP) zum Einsatz.

In diesem Fall ist, unter anderem zu berücksichtigen, dass die dynamische Saughöhe «w» nicht zu hoch ist. Mit der NPSH<sub>A</sub>-Betrachtung, wird dies sichergestellt.

#### 4. Geschlossene Systeme (z.B. Wärmenutzungskreisläufe)

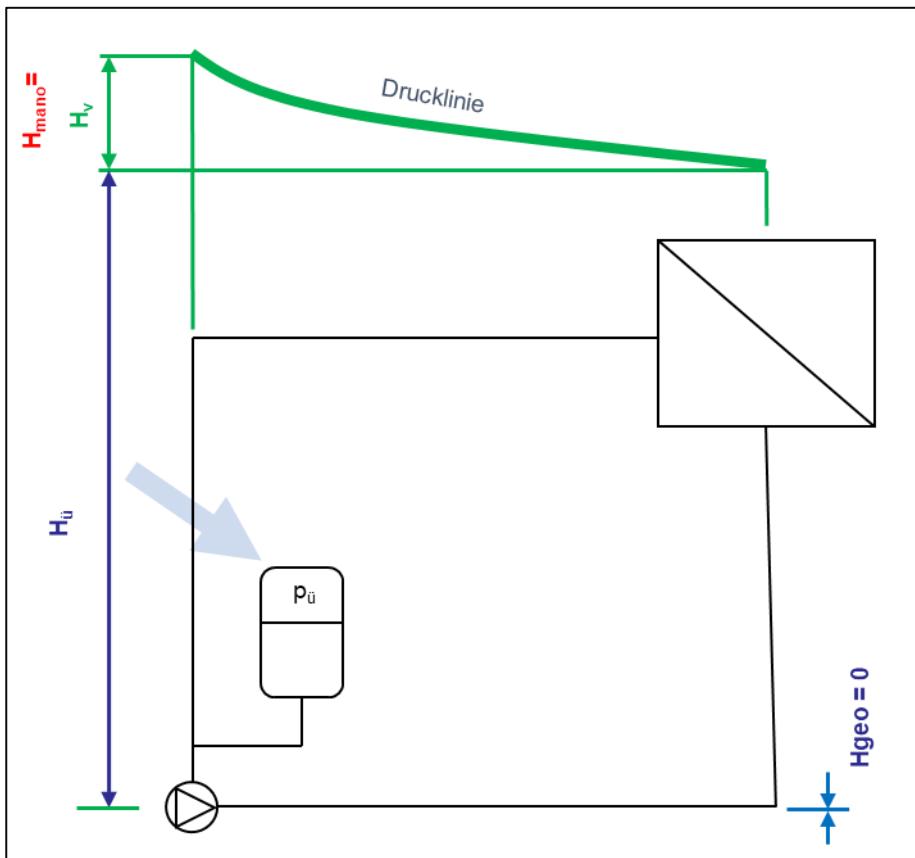


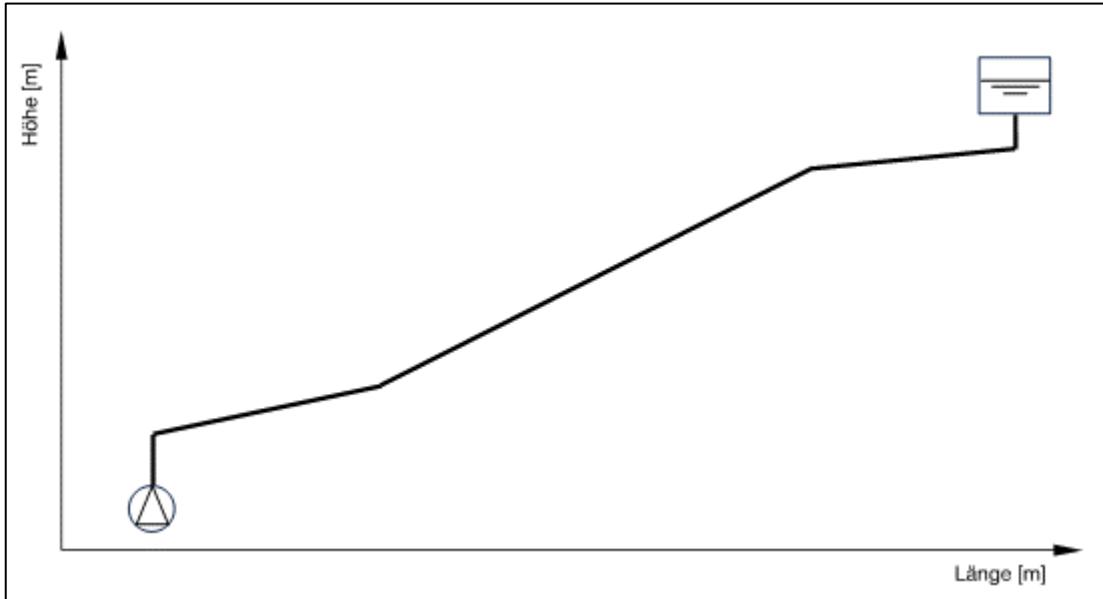
Abbildung 37 Hydraulisches Schema «Geschlossene Systeme»

Für diesen hydraulischen Fall kommen «trocken» aufgestellte Niederdruckpumpen (ND-P) und Hochdruckpumpen (HD-P) zum Einsatz.

Dieser Fall ist selten in Wasserversorgungen anzutreffen. Es ist zu berücksichtigen, dass bei geschlossenen Systemen keine geodätische Förderhöhe  $H_{\text{geo}}$  vorliegt. Die Förderhöhe  $H_{\text{mano}}$  besteht einzig aus Reibungsverlust  $H_v$ . Um Sicherzustellen, dass im System keine unzulässigen Unterdrücke auftreten, ist mit einem Überdruck  $H_{\text{ü}}$  die Drucklinie über den höchstliegenden Systembestandteil anzuheben. Dies wird mit einem Druckbehälter erreicht, der über einen entsprechenden Überdruck  $p_{\text{ü}}$  verfügt.

##### 5.5.4 Drucklinie und Druckschlag

Hierzu muss das hydraulische Schema, massstäblich als Höhen-/Längenprofil, des Leistungsverlaufes dargestellt und betrachtet werden.



**Abbildung 38 Höhen-/Längenprofil eines hydraulischen Systems**

Für die Betrachtung sind zusätzlich folgende Informationen erforderlich:

6. Länge der einzelnen Rohrleitungsabschnitte mit jeweiligem Innendurchmesser
7. Materialien der Rohre in den einzelnen Abschnitten und deren Nenndruckstufen
8. Die Pumpenkennlinie ( $Q/H$ ) und Angaben über Armaturen mit Relevanz im Pumpbetrieb
9. Die vom Betreiber für diesen Einsatzfall tolerierte Amplitude der Druckvariation im Nullspannungsfall -> Schutzziel

Diese Informationen erlauben:

- die Drucklinie im Pumpbetrieb zu berechnen und darzustellen, um unzulässige Systemzustände zu erkennen.
- eine Druckschlag-Simulation (numerisch, PC basiert) durchzuführen, um allfällige erforderliche Schutzmassnahmen, für den Nullspannungsfall, zu dimensionieren.

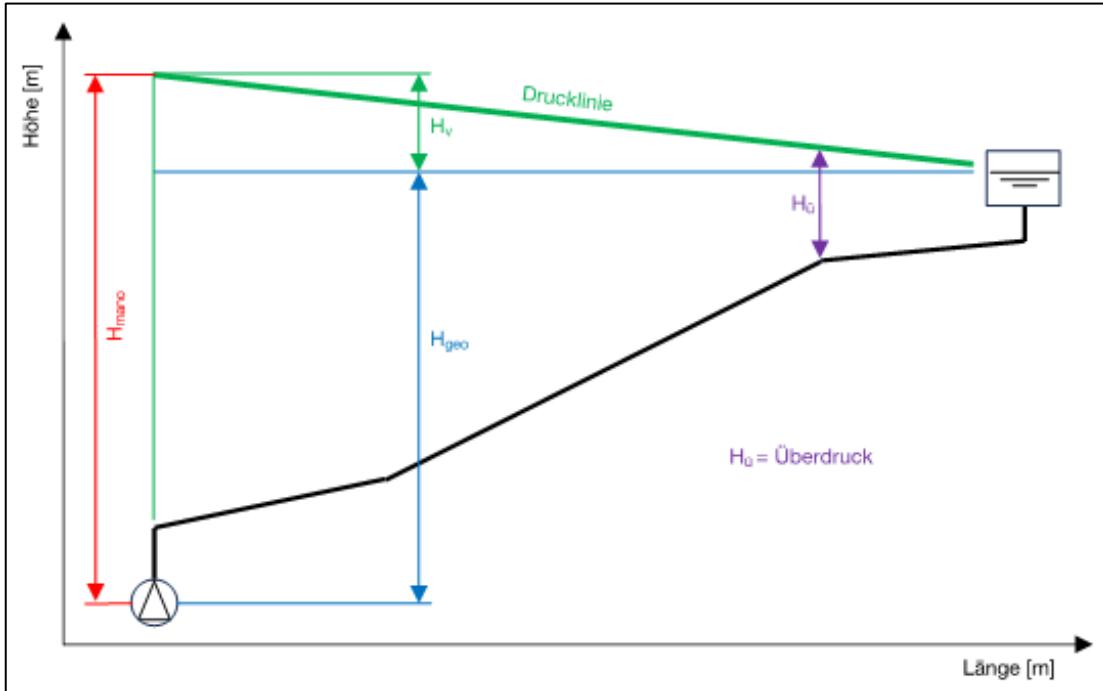


Abbildung 39 Drucklinie im Höhen-/Längenprofil

Die Darstellung der Drucklinie im Höhen-/Längenprofil zeigt in jedem Abschnitt des Rohrleitungssystems, welcher Druck im Pumpbetrieb herrscht.

Die Bedingung, dass die Drucklinie an jeder Stelle über dem Höhen-/Längenprofil zu liegen kommt muss daher erfüllt sein, um sicherzustellen, dass immer ein dynamischer Überdruck vorhanden ist.

Der Nullspannungsfall, Stromausfall bei laufender Pumpe, wird der Simulation dabei als Extremzustand zugrunde gelegt.

Der Druckschlag entsteht dabei, wenn die Bewegungsenergie in der Flüssigkeit (Massenträgheit des bewegten Trinkwassers in der Leitung) in Verformungsarbeit umgewandelt wird.

Wird eine Druckschlag-Simulation auf Basis des beschriebenen Beispiels durchgeführt, entspricht das Ergebnis der nachstehenden Grafik.

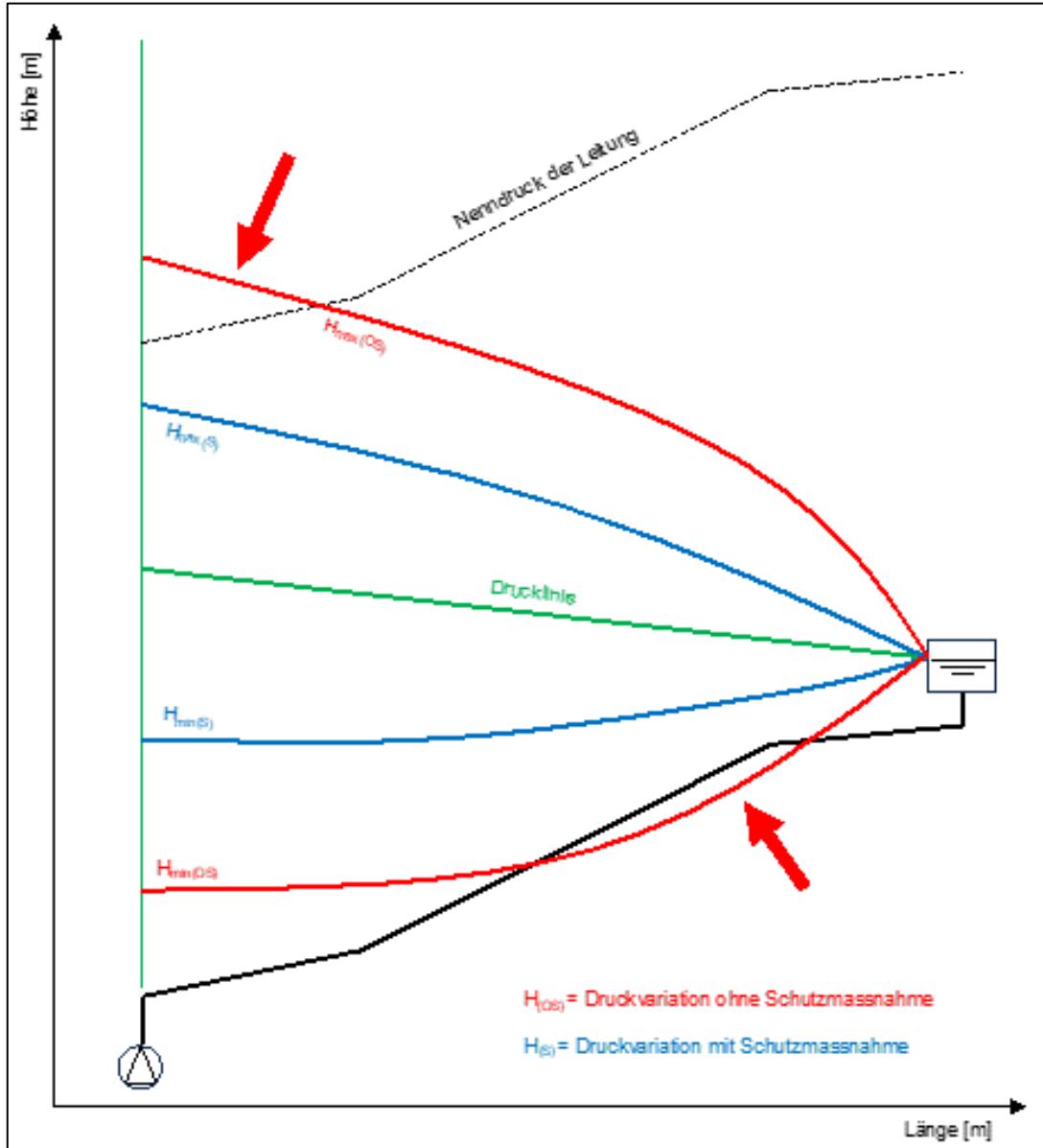


Abbildung 40 «Druckeinhüllende» das Ergebnis der Druckschlag-Simulation

Im Beispiel werden zwei Druckeinhüllende aufgezeigt (roter und blauer Bereich). Sie stellen jeweils die maximal erreichten Amplituden der Druckvariation über und unter der Drucklinie dar. Der rote Bereich zeigt, die Druckvariation ohne Schutzmassnahme, wobei einerseits an einem Leitungsabschnitt ein Unterdruck auftritt, sowie im Bereich der Pumpe der Nenndruck der Leitung überschritten wird. Durch iteratives Einfügen von Schutzmassnahmen wie beispielsweise von Druckbehältern, Schwungrädern oder andere Spezialarmaturen, wird eine optimale Lösung ermittelt, welche sicherstellt, dass weder das Leitungsprofil noch der maximal zulässige Leitungsdruck geschnitten werden, dies entspricht der Druckvariation im blauen Bereich.

Wie gross dabei die verbleibende Amplitude der Druckvariation mit Schutzmassname bleibt, legt der Betreiber als Schutzziel vor der Simulation fest.

#### Übersicht der Schutzmassnahmen und deren Eignung

Schutzmassnahmen	Normalbetrieb (Pumpenregime)	Nullspannungsfall (Stromausfall)	Schnell schliessende Armaturen
------------------	---------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------

<b>Be-(Ent)lüftungsventil</b> 	Nur beschränkt (Nur in Ausnahmefällen einsetzen)	Nur beschränkt (Nur in Ausnahmefällen einsetzen)	Nur beschränkt (Nur in Ausnahmefällen einsetzen)
<b>Düsenrückschlagventil</b> 	Nur beschränkt (Pumpenschutz)	Nur beschränkt (Pumpenschutz)	Nur beschränkt (Pumpenschutz)
<b>An-/Abfahrklappen</b> 	Schutz	Kein Schutz	Kein Schutz
<b>Frequenzumformer</b> 	Schutz	Kein Schutz	Kein Schutz
<b>Schwungräder</b> 	Schutz	Schutz	Kein Schutz
<b>Druckbehälter</b> 	Schutz	Schutz	Schutz

**Tabelle 6 Übersicht und Wirkung der Schutzmassnahmen bei korrekter Dimensionierung**

Druckbehälter, sowohl Membrandruckbehälter als auch Druckwindkessel, bieten den umfangreichsten Schutz gegen Druckschläge.

Schwungräder können, auch einen guten Schutz für den Nullspannungsfall bieten. Auch ein Einsatz in Kombination mit Druckbehältern ist möglich.

Alle anderen Schutzmassnahmen sind nicht als vollwertige Lösung zu betrachten.

Düsenrückschlagventile können, korrekt dimensioniert (ausreichende Federkraft), aufgrund ihrer sehr schnell schliessenden Charakteristik, bei einem Druckschlag eine Schutzwirkung für die davor eingebaute Pumpe wahrnehmen. Im Gegensatz zu Rückschlagklappen, welche bei Strömungsumkehr einen hohen Druckschlag verursachen können (Klapponschlag).

## 5.6 Auslegung einer Kreiselpumpe

(Geltungsbereich: Teilsystem A, P, R, N / Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP)

## 5.6.1 Vorgehen zur Pumpenauslegung

Um eine Kreiselpumpe korrekt auszulegen, müssen die Pumpenkennlinie ( $Q/H$ ) und die Systemkennlinie korrekt zusammengeführt werden.

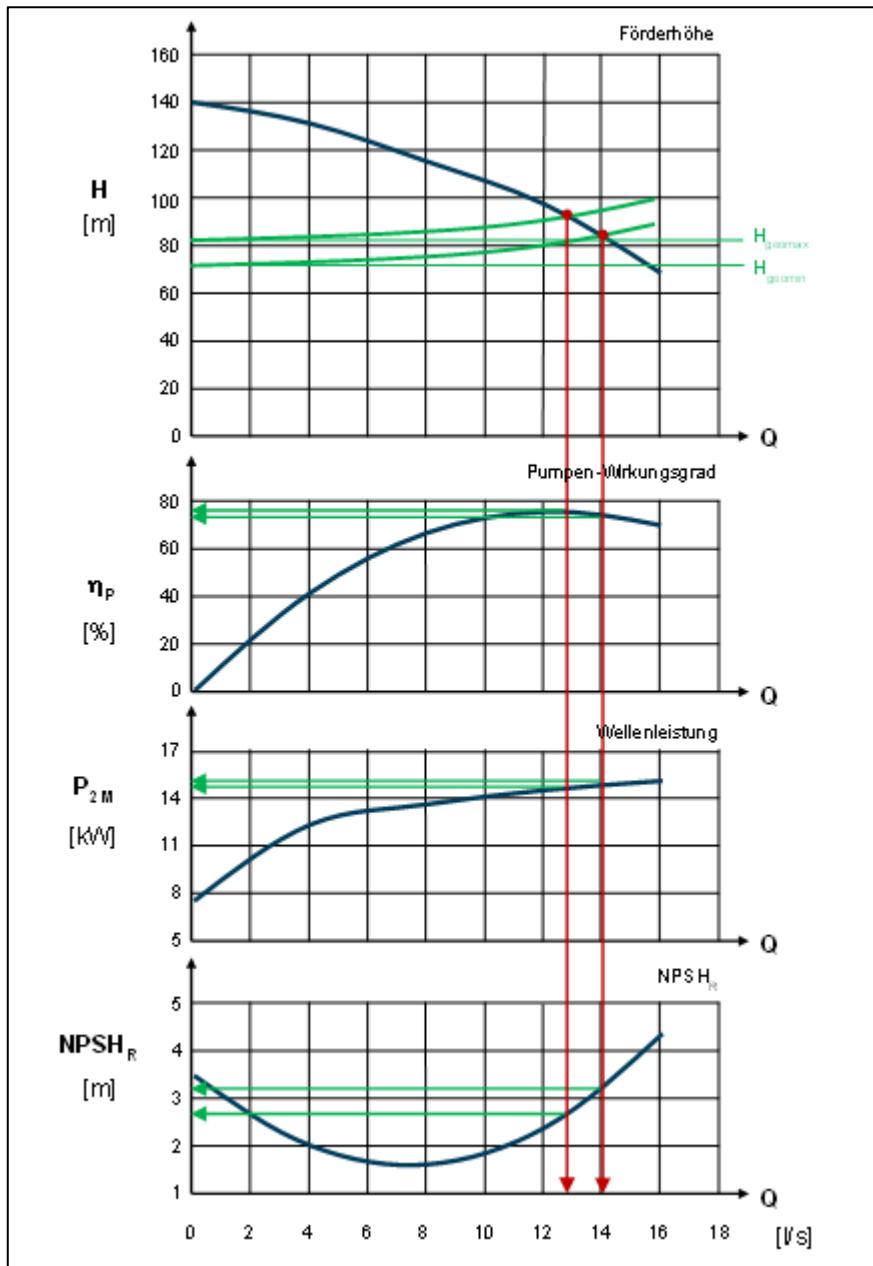


Abbildung 41 Die Auslegung einer Kreiselpumpe auf der Pumpenkennlinie

Abb. 41 zeigt ein Beispiel, wie eine Pumpenkennlinie mit eingezeichneten Systemkennlinien aussehen kann.

Das Vorgehen zur Auslegung und Interpretation läuft in folgenden Schritten ab:

1. Die maximale und minimale **geodätische Förderhöhe  $H_{geo}$**  als horizontale Linien in die Pumpenkennlinie einzeichnen. (bei 82 m und 72 m)
2. Den errechneten **Reibungsverlust des Systems  $H_v$**  sowohl auf der minimalen als auch auf der maximalen geodätischen Förderhöhe  $H_{geo}$  nach oben führend einzeichnen. (-> Systemkennlinien)
3. Sofern eine «passende» Pumpenhydraulik gefunden wurde, was heute durch Pumpenauswahlprogramme erledigt wird, ergeben sich auf der  $Q/H$ -Kennlinie zwei

Schnittpunkte mit den beiden Systemkennlinien. Diese Schnittpunkte stellen die Betriebspunkte der Pumpe dar, bei den entsprechenden **manometrischen Förderhöhen  $H_{mano}$** . (bei 94 m und 85 m)

4. Ausgehend von den beiden Schnittpunkten eine vertikale Linie durch alle Kennlinien einzeichnen und auf der X-Achse ablesen. Dies ergibt den minimalen und maximalen Volumenstrom Q, den man im Betrieb der Pumpe erwarten kann, abhängig von der jeweiligen geodätischen Förderhöhe  $H_{geo}$ . (12.7 l/s und 14.1 l/s)
5. Die beiden Schnittpunkte, mit den vertikalen Linien, bei der **Wirkungsgradkennlinie  $\eta_p$**  horizontal nach links auf die Skala geführt, zeigen den Wirkungsgrad, bei welcher die Pumpe arbeitet. (76 % und 74 %)
6. Die beiden Schnittpunkte, mit den vertikalen Linien, bei der **Leistungskennlinie  $P_{2M}$**  horizontal nach links auf die Skala geführt, zeigen den mechanischen Leistungsbedarf  $P_{2M}$ , welcher der Antrieb (Motor) der Pumpe zuführen muss. (15.4 kW und 15.9 kW)
7. Die beiden Schnittpunkte, mit den vertikalen Linien, bei der **NPSH<sub>R</sub>-Kennlinie** horizontal nach links auf die Skala geführt, zeigen die NPSH3%<sub>R</sub>-Werte, welche für eine allfällige Überprüfung des «Saugvermögens» der Pumpe herangezogen werden müssen. (2.7 m und 3.2 m)

Dem Pumpenaggregat muss nun noch ein Antrieb entsprechender Drehzahl zugeordnet werden, welcher sicherstellt, dass in jedem Betriebsbereich ausreichend Leistung zur Verfügung steht.

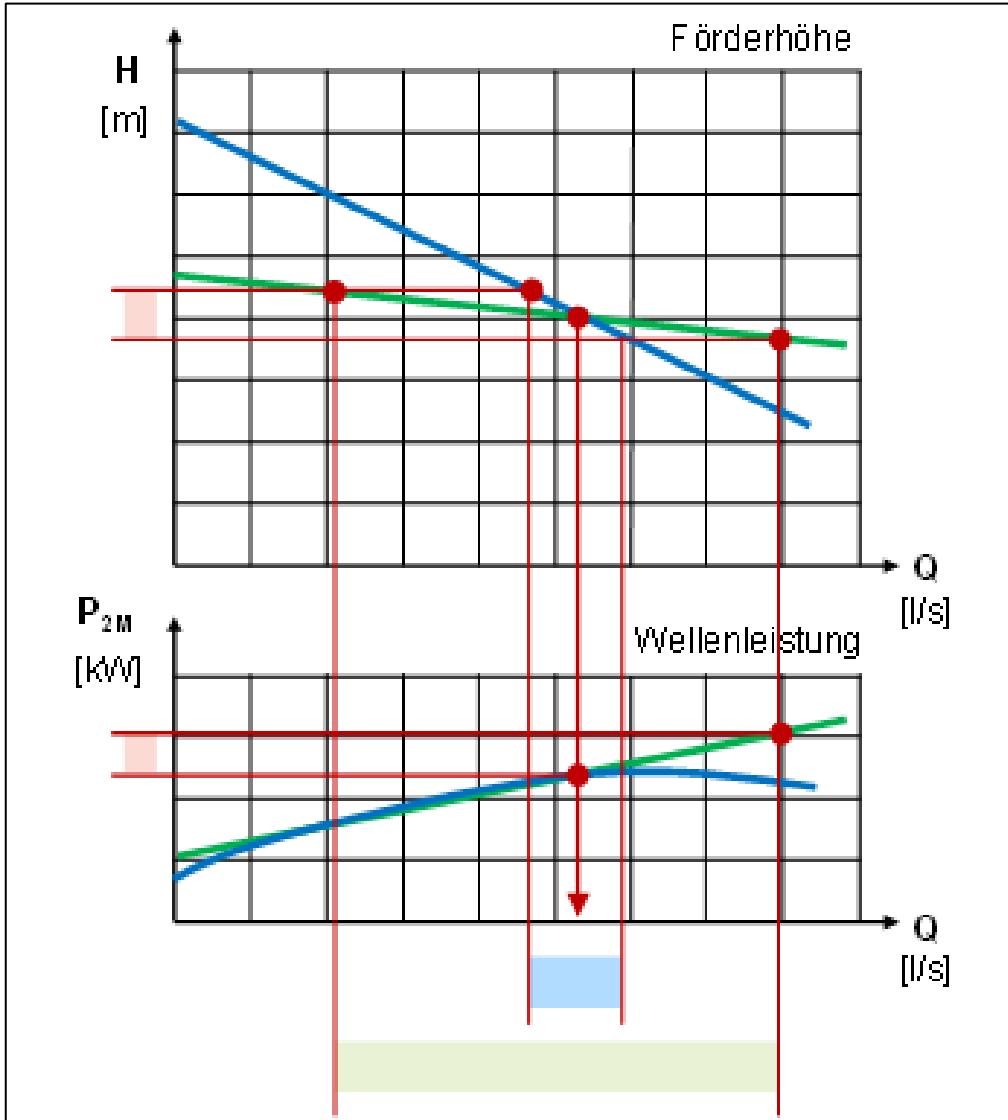
Hierbei ist heute mindestens ein Antrieb der Energieeffizienzklasse IE4 für «trocken aufgestellte Antriebe» vorzusehen, welcher bei Betrieb mit fixer Drehzahl nicht mehr als 30% überdimensioniert ist.

### 5.6.2 Kennlinienformen und deren Eigenheiten

Kennlinien von Kreiselpumpen weisen unterschiedliche Formen auf. Die Gründe hierfür liegen einerseits bei den verschiedenen Laufradformen (Radiallaufrad, Halbaxiallaufrad, Axiallaufrad) und andererseits bei der Stufenzahl der Pumpen.

Sowohl die Q/H-, Q/P- als auch die Q/η-Kennlinie sind davon betroffen.

Einstufige Niederdruckpumpen haben häufig «flache» Q/H-Kennlinien. Dies muss bei der Auslegung der Pumpe unbedingt berücksichtigt werden. Generell sind Pumpen mit «steiler» Q/H-Kennlinie, wenn immer möglich zu bevorzugen. Hinweis: Zur Beurteilung der Steilheit ist der Massstab der Kennlinien zu beachten.



**Abbildung 42 Unterschiedliche Kennlinienformen und daraus resultierende Konsequenzen (blau steil, grün flach)**

Es sollte, wenn immer möglich auf den Einsatz von Pumpen mit «flachen» Q/H-Kennlinien verzichtet werden, da diese viel stärker auf Änderungen/Abweichungen in der Förderhöhe H mit einer entsprechenden Veränderung des Volumenstroms Q reagieren.

Ebenso sind diesbezüglich die Leistungskennlinien mit unterschiedlichen Formen zu beachten. Die Leistungsreserve des Antriebs muss das Risiko möglicher Abweichungen berücksichtigen.

### 5.6.3 Serielauf mittels mehrstufiger Kreiselpumpen

Der Serielauf bzw. das Hintereinanderschalten von zwei oder mehreren Kreiselpumpen trifft man in der Praxis sehr selten an. Weil die mehrstufige Hochdruckpumpe genau diesen Zweck in einer Pumpe erfüllt.

Wenn mehrere Kreiselpumpen bzw. mehrere Laufräder in Serie hintereinandergeschaltet werden, addiert sich die Förderhöhe H bei gleichbleibendem Volumenstrom Q.

## 5.6.4 Parallellauf von Kreiselpumpen

Der Parallellauf bzw. das Nebeneinanderschalten von zwei oder mehreren Kreiselpumpen ist weit verbreitet.

Bei der Auslegung des Pumpsystems ist im Pumpenregime der allfällige Parallellauf bereits zu berücksichtigen. Ein Parallelbetrieb von Kreiselpumpen, welche nicht dafür ausgelegt wurden, kann die Pumpen, deren Antrieb und auch das umgebende System beschädigen.

Wenn mehrere Pumpen parallel, nebeneinandergeschaltet werden, addiert sich der Volumenstrom  $Q$  bei gleichbleibender Förderhöhe  $H$ .

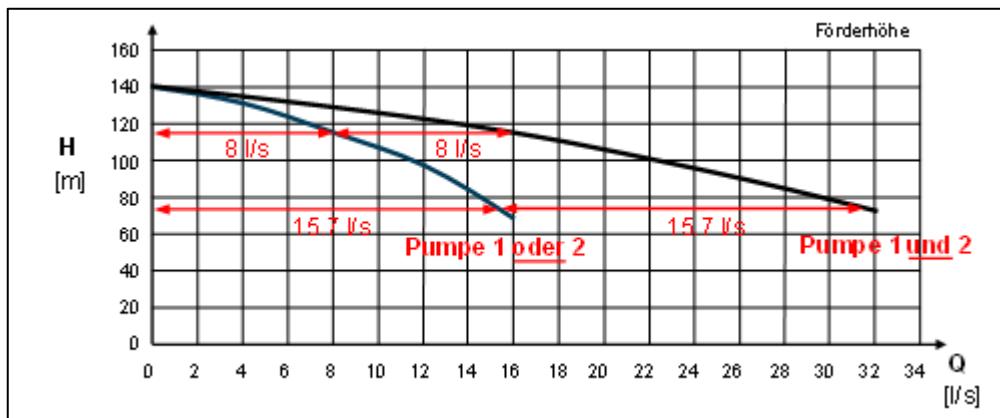


Abbildung 43 Parallellauf von Kreiselpumpen, die  $Q/H$ -Kennlinie

Im Regelfall werden gleich gross dimensionierte Kreiselpumpen parallel nebeneinander betrieben. Ausnahmen bilden zum Beispiel Druckerhöhungsanlagen ohne Reservoir, welche einen Netzteil direkt bewirtschaften und auch den Löschfall abzudecken haben.

Da der Reibungsverlust  $H_f$  im System mit zunehmendem Volumenstrom  $Q$  in quadratischer Funktion ansteigt, fördern mehrere Pumpen gemeinsam immer weniger als die Summe aller Volumenströme  $Q$  im Einzellauf.

### Beispiel eines Parallellaufs von zwei baugleichen Kreiselpumpen

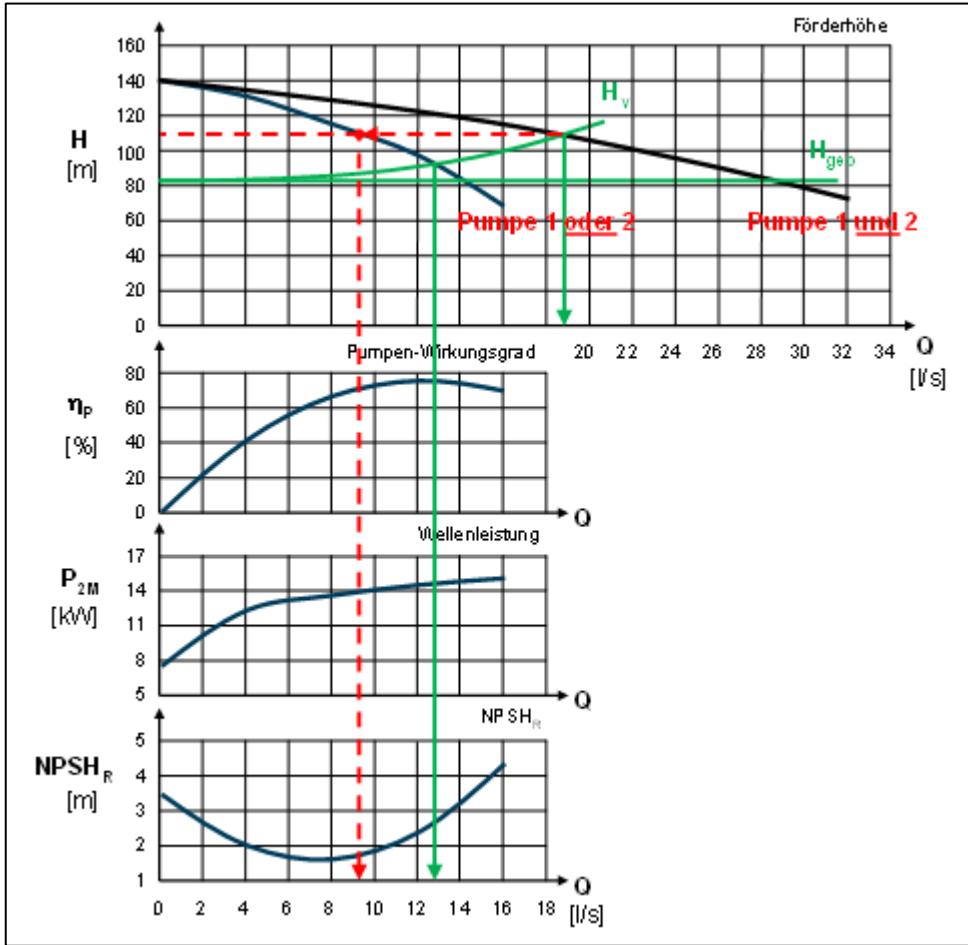


Abbildung 44 Parallellauf von Kreiselpumpen, Auslegung und Interpretation

Interpretation der Kennlinie:

- Pumpe 1 oder 2 allein laufend, fördern einen Volumenstrom  $Q$  von 12.7 l/s
- Pumpe 1 und 2 gemeinsam laufend fördern einen Volumenstrom  $Q$  von 18.8 l/s
- Das Zuschalten der zweiten Pumpe bringt einen zusätzlichen Volumenstrom  $Q$  von 6.1 l/s. ( $12.7$  l/s +  $6.1$  l/s =  $18.8$  l/s)
- Im Parallellauf fördern beide baugleichen Pumpen einen identischen Volumenstrom  $Q$  von je 9.4 l/s. ( $9.4$  l/s +  $9.4$  l/s =  $18.8$  l/s)
- Der Betriebspunkt, wenn beide Pumpen gemeinsam laufen (rot gestrichelte Linie) verschiebt sich dadurch vom Betriebspunkt, wenn eine Pumpe allein läuft.

## 5.6.5 Ab-/Eindrehen von Laufrädern

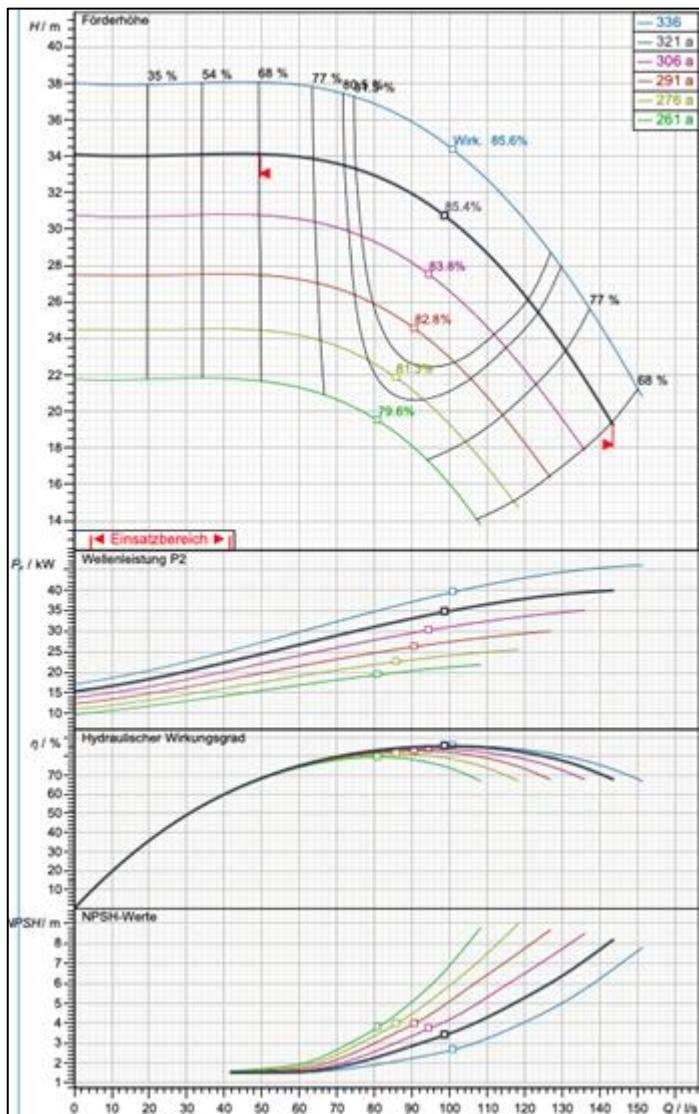


Abbildung 45 Kennlinie einer Kreiselpumpe mit verschiedenen Laufraddurchmessern

Neben der Drehzahlregelung, welche variabel ist, kann der Betriebspunkt einer Kreiselpumpe durch entsprechendes Ab-/Eindrehen des Laufraddurchmessers, bleibend, verändert werden.

Diese Massnahme wird, unter anderem, vom Pumpenhersteller genutzt, um mit möglichst wenigen Baureihen ein möglichst grosses Kennfeld abzudecken.

Eine Reduktion des Laufraddurchmessers geht immer auch mit einer Reduktion des Pumpenwirkungsgrades einher. Es sollen darum, wenn immer möglich, Kreiselpumpen mit vollem (maximalem) Laufraddurchmesser eingesetzt werden.

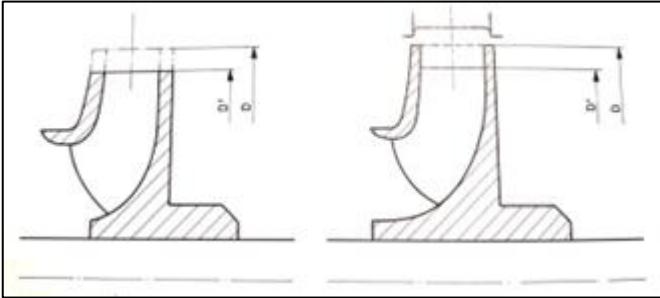


Abbildung 46 Abdrehen bzw. Eindrehen von Laufrädern (Sulzer Kreiselpumpenhandbuch)

## 5.7 Drehzahlregelung einer Kreiselpumpe

(Geltungsbereich: Teilsystem E, A, P, R, N / Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP))

### 5.7.1 Drehzahlregelung mittels Frequenzumformer

Mit dem Einsatz eines Frequenzumformers (FU) kann die Drehzahl des Antriebs (meist Asynchron Drehstrommotor) und damit auch die Drehzahl der Kreiselpumpe dynamisch angepasst werden.

Durch die Veränderung der Drehzahl an einer Kreiselpumpe verändern sich alle Pumpenkennlinien. Dadurch kann der Betriebspunkt variabel angepasst werden.

Auch im Einsatzgebiet der Schweizer Wasserversorgungen gibt es Anwendungen, wo eine solche Regelung der Kreiselpumpen vorteilhaft ist.

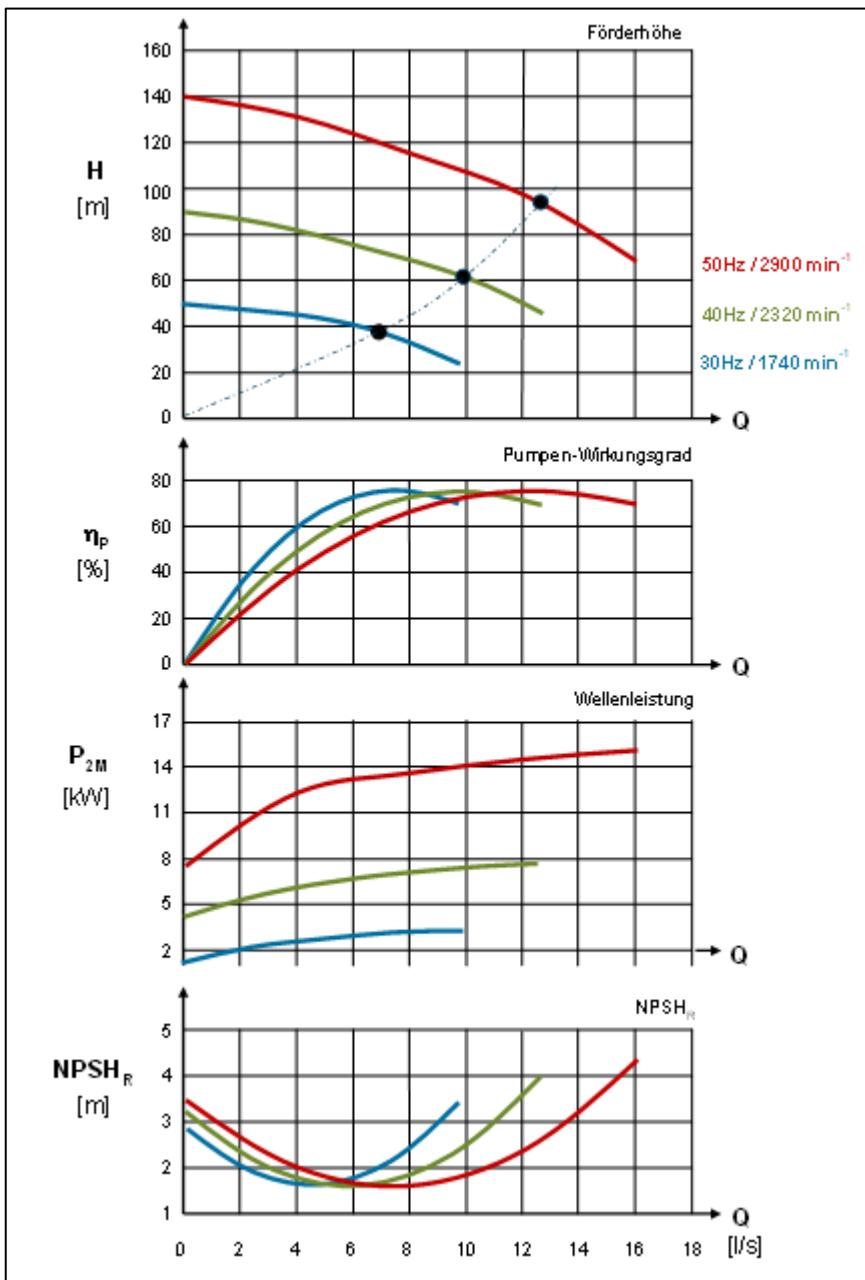


Abbildung 47 Kennlinien einer Kreiselpumpe mit Drehzahlregelung

### 5.7.2 Physikalische Zusammenhänge

Der Zusammenhang zwischen der Veränderung der **elektrischen Frequenz F** und der daraus resultierenden Veränderung der **Drehzahl n** ist linear mit folgender Abhängigkeit:

$$n = \frac{F \cdot 60}{p}$$

Legende:

n	Nenndrehzahl (synchron)	[min <sup>-1</sup> ]
F	Netzfrequenz elektrisch	[Hz = 1/s]
p	Pol-paarzahl	[ - ] (4 Pole = 2 Pol-paare)

Der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Drehzahl  $n$  und der daraus resultierenden Veränderung des Volumenstroms  $Q$ , der Förderhöhe  $H$  und der Wellenleistung  $P_{2M}$  ist wie folgt:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^1$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Legende:

$n$	Drehzahl	[min-1]
$Q$	Volumenstrom	[m³/s]
$H$	Förderhöhe	[m]
$P$	Leistung	[W]

Der Wirkungsgrad  $\eta_p$  bleibt annähernd konstant hoch, bei reduzierter Drehzahl  $n$  und verschiebt seinen Bestpunkt BEP nach links. Daraus resultiert aus den Q/H-Kennlinien, verschiedener Drehzahl, ein Verlauf des Bestpunktes des Wirkungsgrades, welcher in einer quadratischen Funktion gegen Null zu läuft. (siehe Abb. 47, gestrichelte Linie)

### 5.7.3 Hinweise zur praktischen Anwendung

Der Regelbereich für eine Kreiselpumpe, wie sie in der Schweizer Wasserversorgung zur Anwendung gelangt, liegt normalerweise zwischen 50 Hz und 30 Hz. Es kann in Einzelfällen von Vorteil sein, die Kreiselpumpe bei einer Frequenz über 50 Hz und/oder unter 30 Hz zu betreiben.

Bei der Auslegung der Kreiselpumpe sind zwingend alle Betriebspunkte, welche später, durch Drehzahlregelung, mit einem Frequenzumformer angefahren werden zu berücksichtigen und zu überprüfen.

Ein Frequenzumformer und die, mit ihm möglicherweise zusätzlich erforderlichen Komponenten wie Netz- oder Sinusfilter ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen.

Der Antrieb ist vor den Auswirkungen des Frequenzumformers, wo erforderlich zu schützen.

Die Resilienz (Widerstandsfähigkeit) und Betriebssicherheit des Systems sinkt mit jeder, nicht zwingend benötigten Komponente, welche in Serie eingebaut wird.

Systembedingt sind Drehzahlregelungen in klassischen Anwendungen (Netzpumpen) der Schweizer Wasserversorgung, nur bedingt und unter gewissen Voraussetzungen geeignet. Die flache Systemkennlinie, auf welcher alle Betriebspunkte der Kreiselpumpe zu liegen kommen, hat zur Folge, dass der Bereich des Volumenstroms  $Q$ , auf welchem die Pumpe im optimalen Auslegungsbereich läuft, klein ist. Bei allen Betriebspunkten ausserhalb dieses Bereichs verfügt die Kreiselpumpe nicht über einen guten Wirkungsgrad.

Im Gegensatz dazu zeigt sich, dass ein geschlossenes System, welches über keine geodätische Förderhöhe  $H_{geo}$  verfügt, diesbezüglich sehr gut für eine Drehzahlregelung geeignet ist, da die Systemkennlinie deckungsgleich mit dem Verlauf des Bestpunktes BEP ist.

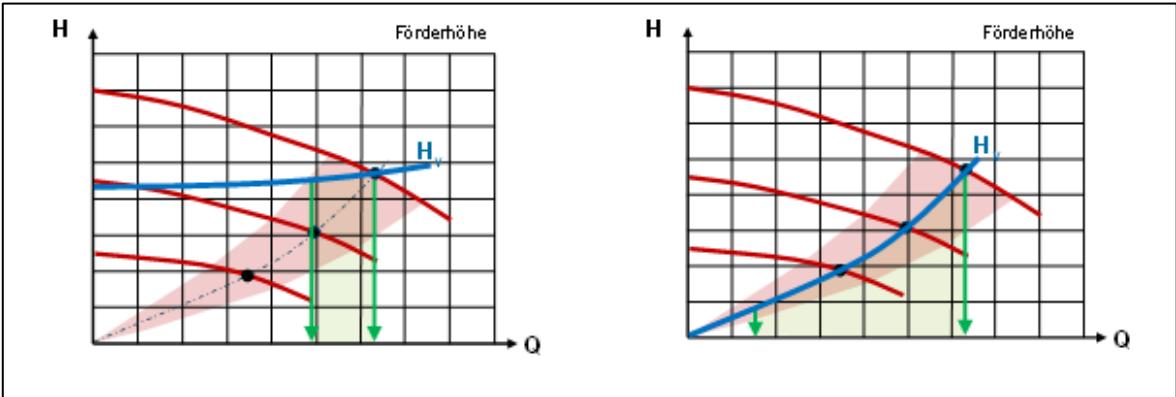


Abbildung 48 Sinnvoller Regelbereich einer Kreiselpumpe in Abhängigkeit der Systemkennlinie

Eine Drehzahlregelung mit Frequenzumformer ist dann sinnvoll, wenn:

- im Bereich der Aufbereitungsanlagen mit variablen Volumenströmen  $Q$  gearbeitet wird.
- Lastmanagement im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien
- Betrieb an einem Notstromaggregat (Trinkwasserversorgung in Mangellagen)
- ein «Energiegeführter Betrieb» gefahren wird. Im Kapitel 9 beschrieben.
- ein Quellwasserpumpwerk, mit kleinem Volumen im Quellsammler (Vorlagebehälter), das auf die Menge der Quellschüttung geregelt wird, um dessen Niveau konstant zu halten.
- Spezielle hydrogeologische Verhältnisse
- Verwendung neuer Motortechnologien (PM, Synchronreluktanz, ...), sofern diese für den Anwendungsfall sinnvoll sind.

Auf eine Drehzahlregelung mit Frequenzumformer ist zu verzichten, wenn:

- eine Kreiselpumpe die Aufgabe hat, in konstanten Bedingungen, zum Beispiel nachts, während einer gewissen Zeit, ein höherliegendes Reservoir zu befüllen.
- diese ausschliesslich zum Starten und Stoppen einer Kreiselpumpe eingesetzt wird, anstelle einer Drosselklappe.
- eine konstante Betriebsweise vorliegt, oder eine solche einfach zu realisieren wäre.

## 5.8 Energieproduktion in der Wasserversorgung, Trinkwasserturbinen

Die Energieproduktion in der Trinkwasserversorgung, mittels Trinkwasserturbinen, ist eine bewährte und sinnvolle Art, um erneuerbare Energie zu gewinnen.

Hauptgründe, welche für ein Trinkwasserkraftwerk sprechen:

- Die Infrastruktur (Netz, Gebäude, ...) ist bereits vorhanden.
- Es werden keine zusätzlichen Eingriffe in die Natur vorgenommen.
- Die Kosten für ein Trinkwasserkraftwerk sind verhältnismässig gering.
- Die Wasserversorgung verfügt bereits über die fachliche Kompetenz, um ein solches Kraftwerk zu betreiben.
- Fördergelder

## 5.8.1 Bauformen der eingesetzten Technologien

Folgende Bauformen werden in der Schweiz hauptsächlich zur Produktion von Energie aus Trinkwasser eingesetzt:

- Peltonturbine PT: Diese Aktionsturbine in klassischer Bauweise benötigt einen freien Auslauf, unterhalb aus der Turbine und muss daher oberhalb eines Behälters (Tosbecken) platziert werden.
- Gegendruckpeltonturbine GDPT: Diese Turbine basiert auf einer Peltonturbine ist jedoch in einem Druckbehälter eingebaut. Dies ermöglicht den Einbau auf einem Niveau unterhalb des Austrittswasserspiegels (zum Beispiel im Rohrkeller vom Zielreservoir), da das Wasser mittels des Gegendrucks, nach der Turbine wieder angehoben werden kann.
- Pumpe als Turbine PAT: Eine Standardpumpe rückwärts durchströmt ist eine einfache und kostengünstige Turbine. Der Durchsatz Q durch die PAT kann nicht variiert werden und die Wirkungsgrade liegen tiefer als die von Peltonturbinen.

Bauformen	PT	GDPT	PAT
<b>Wirkungsgrad <math>\eta_T</math></b>	85 - 92%	85 - 91%	60 - 85%
<b>Initialkosten</b>	100 %	140 %	40 %
<b>Durchsatz Q</b>	variabel	variabel	fixiert
<b>Gegendruck <math>H_{gegen}</math></b>	nicht möglich	bis 2 bar	bis 25 bar

Tabelle 7 Vergleich der Bauformen von Trinkwasserturbinen

Ab einem hydraulischen Potential von 5 kW und einer jährlichen Energieproduktion von 25'000 kWh wird empfohlen potenzielle Projekte detailliert hinsichtlich einer möglichen Umsetzung zu prüfen.

Das hydraulische Potential berechnet sich analog zu Tabelle 2, Hydraulische Pumpenleistung  $P_{2P}$ .



Abbildung 49 Peltonturbine PT, vertikale Aufstellung



**Abbildung 50** Gegendruckpeltonturbine GDPT



**Abbildung 51** Pumpe als Turbine PAT

### 5.8.2 Einsatzgebiete für Turbinen in Trinkwasserversorgungen

Nachfolgend werden die Einsatzgebiete dargestellt, in welchen Trinkwasserturbinen in der Schweiz häufig im Einsatz stehen (Aufzählung ist nicht abschliessend):

#### 1. Quellwassernutzung

Die meisten Turbinen in der Schweizer Wasserversorgung sind in diesem Anwendungs-fall eingesetzt. Eine hochliegende Quelle speist das höchstliegende Reservoir, die dabei vorhandene Druckdifferenz  $H$ , kann anstelle einer Energievernichtung (Druckbrecher) zur Energieproduktion genutzt werden.

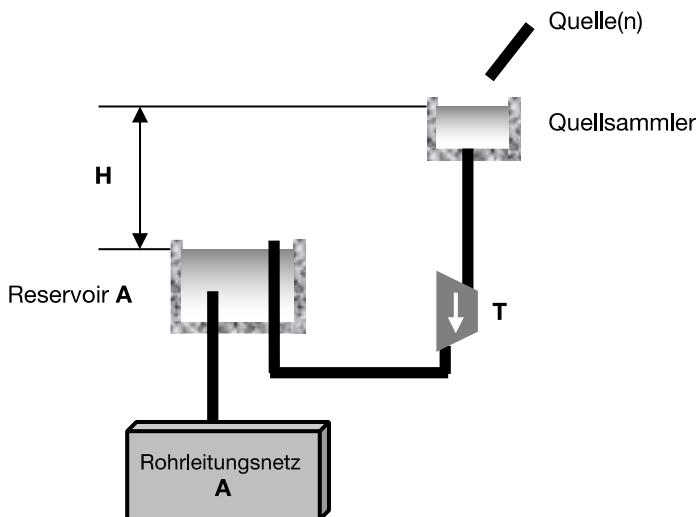


Abbildung 52 Quellwassernutzung

## 2. Ausgleich von Druckzonen (Notpumpwerk)

In diesem Anwendungsfall wird das Reservoir B vom Reservoir A aus bewirtschaftet, die Druckdifferenz  $H$  kann dabei genutzt werden. Falls auch eine umgekehrte Bewirtschaftung vorgesehen ist (Stufenpumpwerk), kann eine Pumpe eingesetzt werden, welche gleichzeitig auch als PAT betrieben werden kann. Damit deckt eine Pumpe beide Funktionen ab (Pumpe und Turbine).

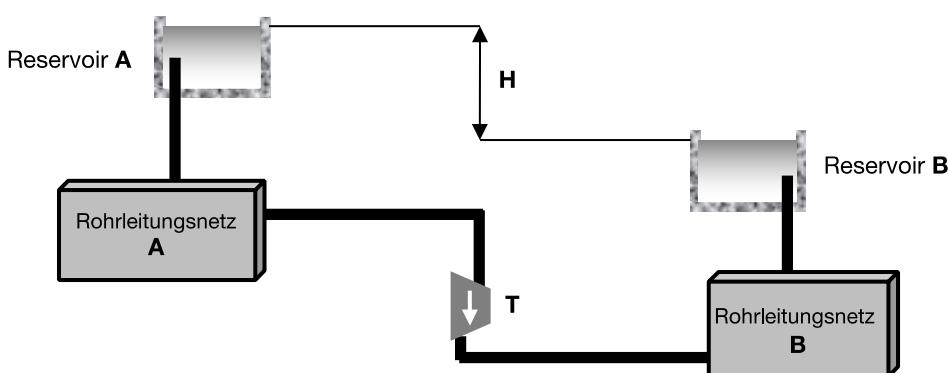
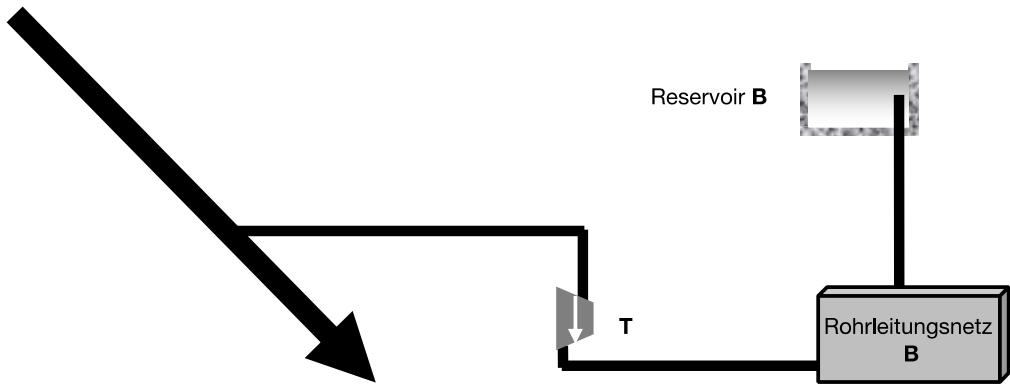


Abbildung 53 Ausgleich von Druckzonen (Notpumpwerk)

## 3. Bezug ab einer Transportleitung

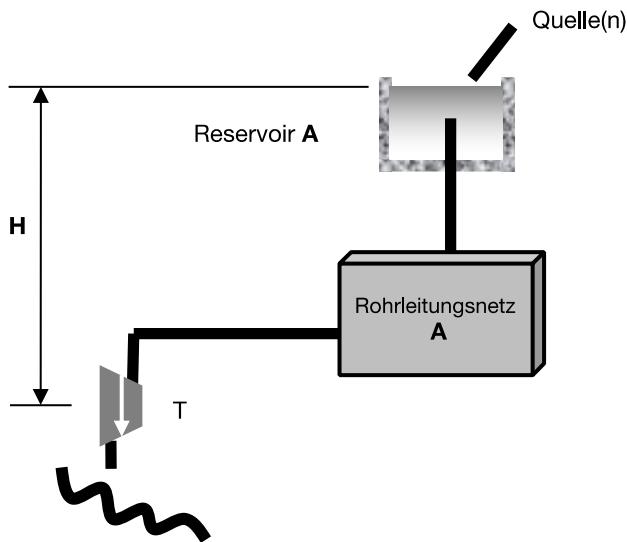
Wenn eine Wasserversorgung ihr Reservoir ab einer Transportleitung befüllt, welche über einen höheren Druck verfügt als notwendig, kann die Druckdifferenz mit einer PAT zur Energieproduktion genutzt werden.



**Abbildung 54** Bezug ab Verbandsleitung

#### 4. Abturbanierung von Überschusswasser

Der Überschuss des Quellertrages (in der Konzession) kann durch das Versorgungs-netz geführt werden, um ihn unterhalb desselben über eine Turbine in den Vorfluter zu führen und dabei die Druckdifferenz H energetisch zu nutzen.



**Abbildung 55** Abturbanierung von Überschusswasser

Als wichtigster Grundsatz bei der energetischen Nutzung von Trinkwasser muss berücksichtigt werden, dass zu jeder Zeit eine sichere Versorgung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser für alle Bezüger gewährleistet werden muss. Deshalb ist jedes Trinkwasserkraftwerk mit einem Bypass auszurüsten, welcher die Versorgung im Störungsfall der Turbine ungehindert sicherstellen kann.

## 6 Allgemeiner Prozess- und Planungsablauf

### 6.1 Projektphasen

Die vorliegende Richtlinie ist prozessorientiert aufgebaut. In Abbildung 56 sind den einzelnen Projektschritten die entsprechenden Kapitel zugeordnet. Mit dieser Darstellung soll dem Anwender die Zuordnung spezifischer Fragestellungen zu den jeweiligen Kapiteln erleichtert werden.

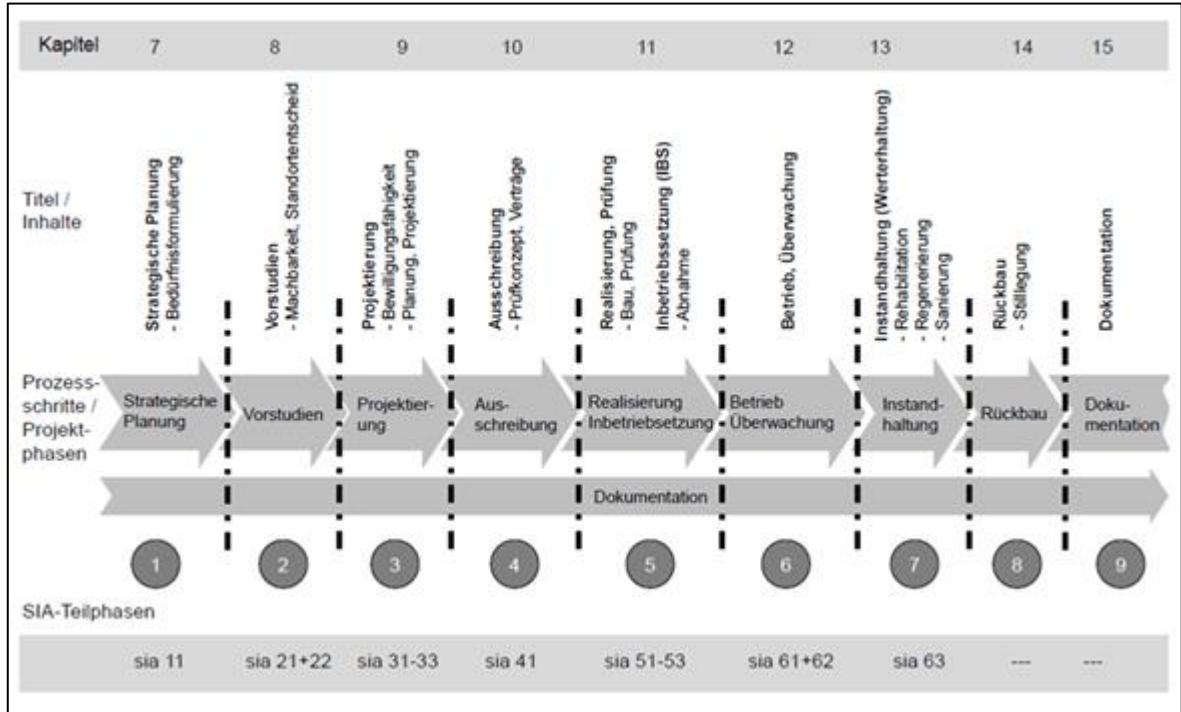


Abbildung 56 Prozessorientierter Aufbau der Richtlinie Pumpsysteme in der Trinkwasserversorgung

Die folgenden Projektphasen haben sich für einen umfassenden Planungs- und Bauablauf bewährt:

<b>1. Strategische Planung</b> <i>SIA 11 Bedürfnisformulierung</i>		Siehe <b>Kapitel 7</b>					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ziele</th> <th>Massnahmen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenstellung der relevanten <b>Grundlagen und Randbedingungen</b></li> </ul> </td><td> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volumenstrom-, Förderhöhen- und Leistungsdauerlinien der bestehenden Förderanlagen im betrachteten System auswerten</li> <li>Angaben zur Wasserqualität (Temperatur, pH, Trübung, Partikelgrösse) zusammenstellen</li> <li>Angaben zu Schwachstellen des aktuellen Systems zusammenstellen</li> </ul> </td></tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Projektpflichtenheft zur Vorstudie</b> mit Einsatzgrenzen und Wirkungsweise der neuen Pumpenanlage erstellt</li> </ul> </td><td>Je nach Aufgabenstellung sind Lage, Betriebsweise und Volumenstrom der Pumpenpläne bereits als Vorgabe zu definieren oder als Aufgabe für das Variantenstudium auszuweisen</td></tr> </tbody> </table>		Ziele	Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenstellung der relevanten <b>Grundlagen und Randbedingungen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumenstrom-, Förderhöhen- und Leistungsdauerlinien der bestehenden Förderanlagen im betrachteten System auswerten</li> <li>Angaben zur Wasserqualität (Temperatur, pH, Trübung, Partikelgrösse) zusammenstellen</li> <li>Angaben zu Schwachstellen des aktuellen Systems zusammenstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Projektpflichtenheft zur Vorstudie</b> mit Einsatzgrenzen und Wirkungsweise der neuen Pumpenanlage erstellt</li> </ul>	Je nach Aufgabenstellung sind Lage, Betriebsweise und Volumenstrom der Pumpenpläne bereits als Vorgabe zu definieren oder als Aufgabe für das Variantenstudium auszuweisen
Ziele	Massnahmen						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenstellung der relevanten <b>Grundlagen und Randbedingungen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumenstrom-, Förderhöhen- und Leistungsdauerlinien der bestehenden Förderanlagen im betrachteten System auswerten</li> <li>Angaben zur Wasserqualität (Temperatur, pH, Trübung, Partikelgrösse) zusammenstellen</li> <li>Angaben zu Schwachstellen des aktuellen Systems zusammenstellen</li> </ul>						
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Projektpflichtenheft zur Vorstudie</b> mit Einsatzgrenzen und Wirkungsweise der neuen Pumpenanlage erstellt</li> </ul>	Je nach Aufgabenstellung sind Lage, Betriebsweise und Volumenstrom der Pumpenpläne bereits als Vorgabe zu definieren oder als Aufgabe für das Variantenstudium auszuweisen						
<b>2. Vorstudien</b> <i>SIA 21 Machbarkeitsstudie</i> <i>SIA 22 Auswahlverfahren</i>		Siehe <b>Kapitel 8</b>					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ziele</th> <th>Massnahmen</th> </tr> </thead> </table>		Ziele	Massnahmen				
Ziele	Massnahmen						

1. Entscheid Bestvariante gefällt, Pumpenregime und Betriebsweise definiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mögliche Varianten aufzeigen:           <ul style="list-style-type: none"> <li>o Aufteilung des gesamten Volumenstrom <math>Q_{tot}</math>, des zu erstellenden Pumpwerks auf eine sinnvolle Anzahl Pumpen</li> <li>o Hydraulische geeignete Bauform der Pumpen (spezifische Drehzahl <math>n_q</math>)</li> <li>o NPSH3%-Anlage</li> <li>o Antriebsart (IEC-Antrieb, wassergekühlte Ausführung, Nieder-/Mittelspannung)</li> <li>o Platzangebot, Aufstellungsart, Aufstellungshöhe und Rohrleitungsführung</li> </ul> </li> <li>- Nachhaltigkeitsgrundsätze (LCC) berücksichtigen</li> <li>- Bewilligungsfähigkeit beurteilen</li> <li>- Risikofaktoren abklären</li> <li>- Bestvariante ermitteln (Nutzwertanalyse)</li> </ul>						
2. Projektpflichtenheft erstellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydraulische Disposition/Schema erstellen</li> <li>- Werkstoffe festlegen</li> <li>- Kostenrahmen, Termin und Ablaufplan definieren</li> </ul>						
<p><b>3. Projektierung</b>  <i>SIA 31 Vorprojekt</i>  <i>SIA 32 Bauprojekt</i>  <i>SIA 33 Bewilligungen</i></p>	Siehe <b>Kapitel 9</b>						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #cccccc; text-align: center; padding: 5px;">Ziele</th> <th style="background-color: #cccccc; text-align: center; padding: 5px;">Massnahmen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektbasis und Nutzungsvereinbarung mit Projektingenieur vereinbart</li> </ul> </td> <td style="padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planungsmassnahmen durch Auftraggeber / Fachspezialisten und Bauherrenunterstützung veranlassen</li> <li>- Projektfreigabe: Projekt freigeben und Vorprojekt starten</li> <li>- Grundlagen Ausführungsplanung erstellen (hydraulische Berechnungen, Disposition der Anlagen und Einbauten, Nutzungsvereinbarung und Pflichtenheft)</li> <li>- Materialfrage klären</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzept des Fördersystems erstellt</li> </ul> </td> <td style="padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionale Anforderungen festlegen</li> <li>- Komponenten des Fördersystems bestimmen</li> <li>- hydraulische Bemessung durchführen</li> <li>- Technische Ausrüstung bestimmen (inkl. Elektroinstallation und Messtechnik)</li> <li>- Hygienisch geeignete Materialien festlegen</li> <li>- Statische Konstruktion festlegen</li> <li>- Meist lohnt es sich die Pumpen bereits im Vorprojekt produktionsfertig zu definieren und bei Bedarf eine separate Submission vorgezogen durchzuführen</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Ziele	Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektbasis und Nutzungsvereinbarung mit Projektingenieur vereinbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planungsmassnahmen durch Auftraggeber / Fachspezialisten und Bauherrenunterstützung veranlassen</li> <li>- Projektfreigabe: Projekt freigeben und Vorprojekt starten</li> <li>- Grundlagen Ausführungsplanung erstellen (hydraulische Berechnungen, Disposition der Anlagen und Einbauten, Nutzungsvereinbarung und Pflichtenheft)</li> <li>- Materialfrage klären</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzept des Fördersystems erstellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionale Anforderungen festlegen</li> <li>- Komponenten des Fördersystems bestimmen</li> <li>- hydraulische Bemessung durchführen</li> <li>- Technische Ausrüstung bestimmen (inkl. Elektroinstallation und Messtechnik)</li> <li>- Hygienisch geeignete Materialien festlegen</li> <li>- Statische Konstruktion festlegen</li> <li>- Meist lohnt es sich die Pumpen bereits im Vorprojekt produktionsfertig zu definieren und bei Bedarf eine separate Submission vorgezogen durchzuführen</li> </ul>	
Ziele	Massnahmen						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektbasis und Nutzungsvereinbarung mit Projektingenieur vereinbart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planungsmassnahmen durch Auftraggeber / Fachspezialisten und Bauherrenunterstützung veranlassen</li> <li>- Projektfreigabe: Projekt freigeben und Vorprojekt starten</li> <li>- Grundlagen Ausführungsplanung erstellen (hydraulische Berechnungen, Disposition der Anlagen und Einbauten, Nutzungsvereinbarung und Pflichtenheft)</li> <li>- Materialfrage klären</li> </ul>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzept des Fördersystems erstellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionale Anforderungen festlegen</li> <li>- Komponenten des Fördersystems bestimmen</li> <li>- hydraulische Bemessung durchführen</li> <li>- Technische Ausrüstung bestimmen (inkl. Elektroinstallation und Messtechnik)</li> <li>- Hygienisch geeignete Materialien festlegen</li> <li>- Statische Konstruktion festlegen</li> <li>- Meist lohnt es sich die Pumpen bereits im Vorprojekt produktionsfertig zu definieren und bei Bedarf eine separate Submission vorgezogen durchzuführen</li> </ul>						

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt, Terminplanung und Kostenvoranschlag erstellt und von Auftraggeber genehmigt</li> <li>• Bewilligungen für die Ausführung liegen vor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kostenrahmen, Termin und Ablaufplan definieren</li> <li>- Baubewilligungsverfahren auslösen und eventuell Planauflage durchführen</li> </ul>
---	---

<b>4. Ausschreibung</b> <i>SIA 41 Ausschreibung</i>		Siehe Kap. 10
Ziele	Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausschreibungspakete festgelegt</li> <li>• Ausschreibungsverfahren pro Leistungspaket definiert (Freihändig, Einladungsverfahren, öffentliche Ausschreibung)</li> <li>• Vergaben erfolgt und Werkverträge abgeschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eignungskriterien definieren</li> <li>- Zuschlagskriterien mit Gewichtung festlegen</li> <li>- Fachkonzepte mit Anforderungen an die Ausführungsqualität definieren (Prüf-, Hygienekonzept, Ausführungskontrolle, Pflichtenhefte)</li> <li>- Ausschreibungen durch Ingenieur und Fachplaner durchführen</li> <li>- Geeignete Unternehmer bestimmen und direkt informieren (Pumpen, Rohrleitungsbau, MSR, Elektro)</li> <li>- Offertvergleich erstellen</li> <li>- Objekt- oder Baukredit beantragen</li> <li>- Vergabeempfehlung, -anträge erstellen</li> </ul>	

<b>5. Realisierung, Prüfung und Inbetriebnahme</b> <i>SIA 51 Ausführungsprojekt</i> <i>SIA 52 Ausführung</i> <i>SIA 53 Inbetriebnahme und Abschluss</i>		Siehe Kap. 11
Ziele	Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pumpwerk gemäss Pflichtenheft erstellt</li> <li>• Leistungstests durchgeführt</li> <li>• Pumpenanlage gereinigt, desinfiziert und freigegeben</li> <li>• Pumpenanlage ins Versorgungsnetz eingebunden</li> <li>• Inbetriebsetzung erfolgt</li> <li>• Pumpenanlage durch Betreiber / Bauherrschaft übernommen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausführungsprojekt Pumpenanlage erarbeiten</li> <li>- Ausführungsprojekt Werkleitungen erarbeiten</li> <li>- Objektgarantien festgelegt</li> <li>- Koordination sicherstellen</li> <li>- Bau des Pumpwerks inklusiv allen Einbauten / Installationen durch örtliche Bauleitung eng begleiten</li> <li>- Inbetriebnahme Gesamtsystem abschliessen und ins PLS einbinden</li> <li>- Endabrechnung erstellen</li> <li>- Pläne des ausgeführten Bauwerks erstellen</li> <li>- Anlagendokumentation erstellen</li> </ul>	

<b>6. Betrieb und Überwachung</b> <i>SIA 61 Betrieb</i> <i>SIA 62 Überwachung</i>		Siehe Kap. 12
Ziele	Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherer und qualitätskonformer, wirtschaftlicher Betrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualitätskontrollen durchführen</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• In- und Ausserbetriebnahmen ge-regelt und dokumentiert</li> <li>• Betriebstauglichkeit der Anlage erhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Betriebsdaten und Messergebnisse dokumen-tieren (Inspektion)</li> <li>- Betriebsunterlagen pflegen und aktuell halten</li> <li>- Personal schulen</li> <li>- Betrieblicher Unterhalt durchführen (Wartung)</li> </ul>
--	--

7. Instandhaltung (Werterhaltung) SIA 63 Instandhaltung		Siehe Kap. 13
Ziele	Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zustandsanalyse durchgeführt</li> <li>• Mängel beurteilt und Massnah-men zu deren Behebung festge-legt</li> <li>• Sanierungsverfahren festlegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualität und Wert für die Restnutzungsdauer wird aufrechterhalten</li> <li>- Fortlaufende Dokumentation und Archivierung aller Instandhaltungsmassnahmen</li> </ul>	

8. Rückbau		Siehe Kap. 14
Ziele	Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine nachteiligen Auswirkungen auf die Versorgungsinfrastruktur und die Umgebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rückbau Bauwerke gemäss Vorgaben der Be-hörden</li> <li>- Fachgerechte Entfernung und Entsorgung der Installationen (Armaturen, Rohrleitungen, Kabel etc.)</li> </ul>	

9. Dokumentation		Siehe Kap. 15
Ziele	Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für alle Projektphasen liegt eine ordnungsmässige Dokumentation vor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der Dokumentenlenkung, Ablage und Aufbewahrung</li> <li>- Archivierung der Dokumente ist definiert (Um-fang und Aufbewahrungsdauer)</li> </ul>	

**Tabelle 8 Projektphase mit Zielen und Massnahmen/Resultaten**

## 6.2 Qualifikationsanforderungen Planung und Bau

Planung und Bau von Pumpwerken müssen durch qualifizierte Fachunternehmen und Spezialisten ausgeführt werden. Bei Bedarf ist eine Bauherrenvertretung oder -unterstützung durch eine geeignete Fachperson sicherzustellen.

Ein zweckmässiges Qualitätsmanagement baut auf dem Grundsatz, dass alle Projektbe-teiligten ihre Verantwortung für die Qualität ihres Beitrags am Projekt tragen. Somit steht der Bauherr in der Pflicht, alle Projektbeteiligten entsprechend sorgfältig auszuwählen.

Das Fachunternehmen/Planungsbüro hat den Nachweis zu erbringen, dass es ein nach-vollziehbares Qualitätsmanagement-System unterhält (z.B. nach ISO 9001, PQM) und or-ganisatorisch, fachlich und personell mindestens folgende Anforderungen sicherstellt:

- Vorhaltung und Beachtung der geltenden Vorschriften, Normen und technischen Regeln für den vorgesehenen Tätigkeitsbereich.
- Einhaltung der Regeln für Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz auf der Baustelle.
- Beschäftigung und Einsetzung einer ausreichenden Anzahl von hinreichend ausgebildeten und erfahrenen Fachkräften für jedes Projekt resp. jede Baustelle.
- Durchführung von Massnahmen zur laufenden Fortbildung des eigenen Fachpersonals.
- Überprüfung der Qualifikation von Auftragnehmern.

Es wird empfohlen für die Baustellenorganisation/Bauleitung und durchgängige Qualitäts sicherung unterschiedliche Personen einzusetzen.

### **6.3 Ingenieursubmission (Dienstleistungsaufträge)**

Sofern die notwendigen Planungs- und Projektierungsarbeiten nicht mit internen Kräften durchgeführt werden können, ist die Mitarbeit von externen Dienstleistern vorzusehen. In diesem Fall wird empfohlen, eine Ingenieursubmission durchzuführen. Die Vergaberegeln der jeweils gültigen kantonalen Submissionsverordnung sind zu beachten.

Das vorteilhafteste Angebot wird anhand der Zuschlagskriterien ermittelt. Die Wahl der richtigen Zuschlagskriterien und deren Gewichtung sind für den Projekterfolg entscheidend. So sind neben dem Preis, Qualität, Termine, Projektorganisation und Qualifikation der Schlüsselpersonen, wie auch die Analyse der Aufgabenstellung und die Angabe von Referenzen etc. in der Zuschlagsbewertung zu berücksichtigen. Ein klares Bewertungsschema mit Notenskala und Gewichtung ist festzulegen.

Ein Beispiel für mögliche Zuschlagskriterien mit Gewichtung findet sich in Kapitel 10.2

Weitere Hinweise finden sich unter anderem im KBOB-Planervertrag, den SIA-Normen und dem entsprechenden Leitfaden welcher auf [www.kbob.admin.ch](http://www.kbob.admin.ch) publiziert ist.

## 7 Strategische Planung

### 7.1 Ziele der strategischen Planung

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Zusammenstellung der relevanten Grundlagen/**Randbedingungen**:
  - Volumenstrom-, Förderhöhen- und Leistungsdauerlinien der bestehenden Förderanlagen im betrachteten System
  - Angaben zu Schwachstellen des aktuellen Systems
- **Projektpflichtenheft zur Vorstudie** mit Einsatzgrenzen und der Wirkungsweise der neuen Pumpenanlage. Je nach Aufgabenstellung sind Lage, Betriebsweise und Volumenstrom der Pumpenlagnen bereits als Vorgabe definiert oder als Aufgabe für das Variantenstudium ausgewiesen.

Anhand der folgenden Beispiele sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie eine systematische Bedarfsermittlung (hinsichtlich Volumenstrom, Förderhöhe und kombiniert durch eine hydrodynamische Modellierung) durchgeführt werden kann.

#### 7.1.1 Beispiele für die Bedarfsermittlung anhand von Volumenstrom-Dauerlinien:

In Abbildung 57 ist eine schematische Volumenstrom Dauerlinien dargestellt. Auf der X-Achse wird jeweils der Volumenstrom/Durchfluss  $Q$  dargestellt, auf der Y-Achse der jährliche Zeitanteil in Prozent, bei welchem der entsprechende Volumenstrom/Durchfluss unterschritten wird. Die Dauerlinie der Stunden-Mittelwerte zeigt die Verteilung in Bezug auf die stündlich gemittelten Volumenströme/Durchflüsse im betrachteten System. Die Dauerlinie der Tages-Mittelwerte zeigt die Verteilung in Bezug auf die täglich gemittelten Volumenströme/Durchflüsse im betrachteten System. Die Fläche unterhalb der Dauerlinien entsprechen dem jährlich geförderten Volumen [ $m^3$ ].

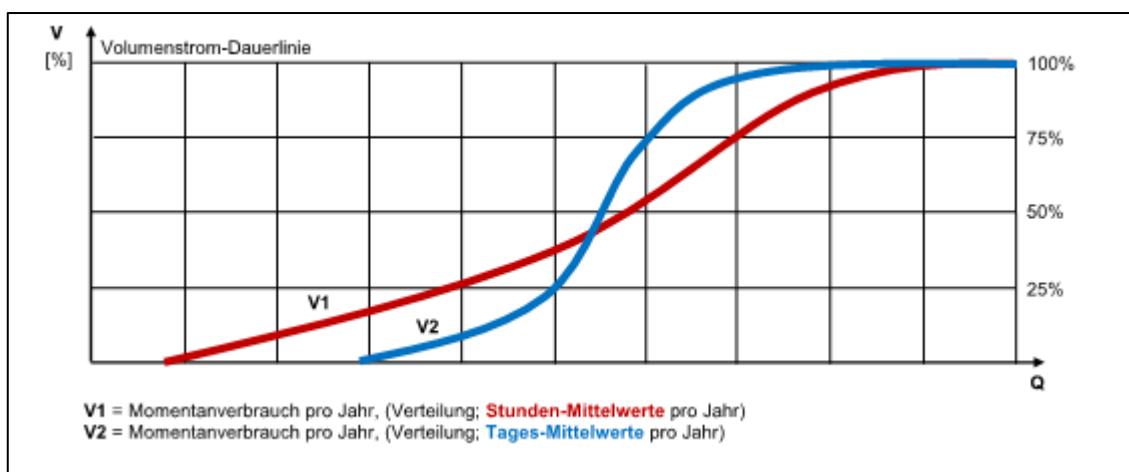
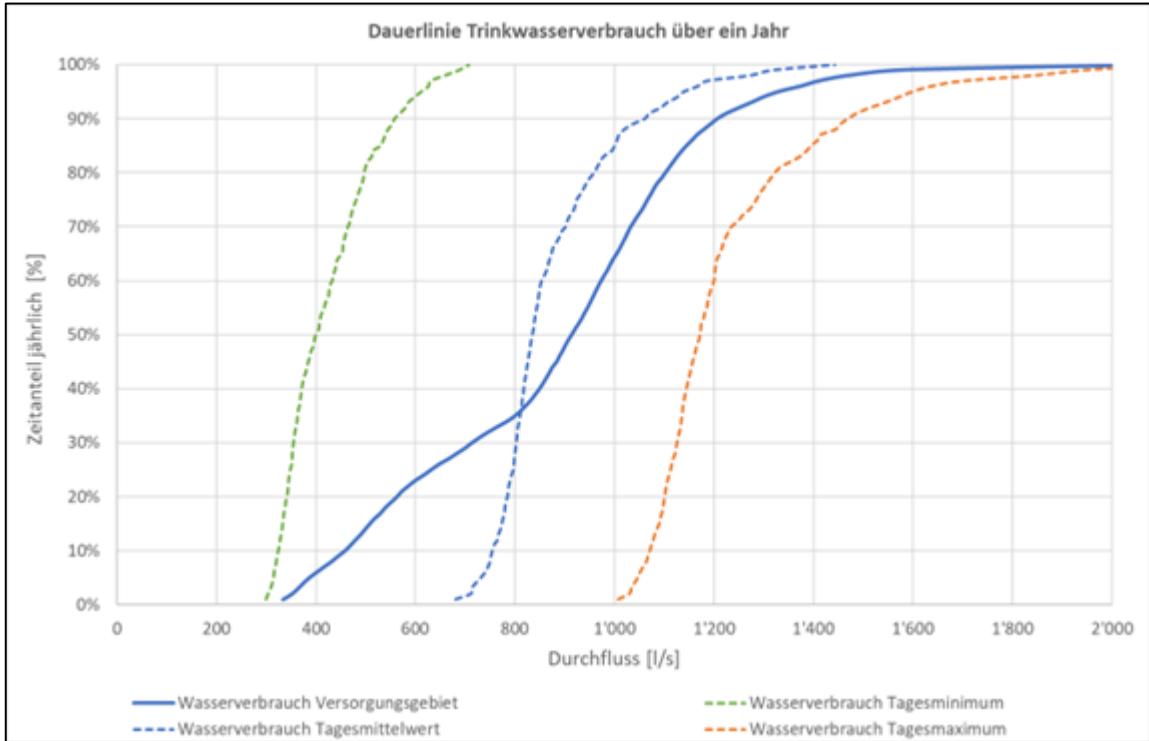


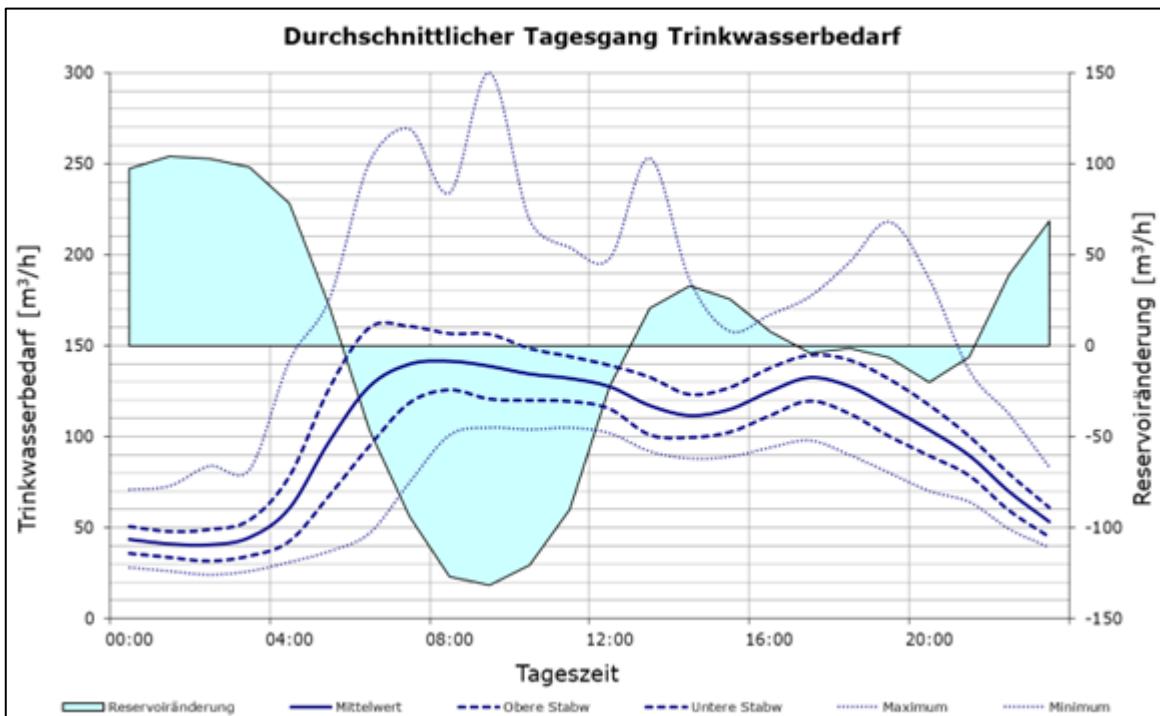
Abbildung 57 Beispiel Volumenstrom Dauerlinien, schematisch

In Abbildung 58 ist eine Volumenstrom Dauerlinien über ein Jahr für ein grosses städtisches Versorgungsgebiet dargestellt. Aufgeführt sind 1-Stunden Mittelwerte, Tages-Mittelwerte sowie die minimalen und die maximalen 1-Stunden Werte pro Tag. Der Tagesverbrauch liegt zwischen ca. 700 l/s und 1500 l/s. Während 60% der Zeit liegt der Tagesverbrauch zwischen 800 l/s und 1000 l/s. Stundenwerte > 1300 l/s gibt es nur während weniger als 5% der Zeit.



**Abbildung 58** Beispiel Volumenstrom Dauerlinien über ein Jahr für ein grosses städtisches Versorgungsgebiet

In Abbildung 59 ist ein Beispiel für den durchschnittlichen Tagesgang des Trinkwasserbedarfs über ein Jahr dargestellt. Mit Standardabweichung, Maximal- und Minimalwerten (Basis: 1-Stunden Mittelwerte). Zwischen 7:00 und 17:00 Uhr liegt der Mittlere Trinkwasserbedarf bei  $130 \text{ m}^3/\text{h}$ . In der Nacht bei  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ . Mit dem aktuellen Pumpenregime wird das Reservoir zwischen 21:00 und 05:30 Uhr gefüllt und zwischen 05:30 Uhr und 12:30 Uhr entleert ( $\pm 100 \text{ m}^3/\text{h}$ )



**Abbildung 59** Beispiel für den durchschnittlichen Tagesgang des Trinkwasserbedarfs über ein Jahr mit Standardabweichung, Maximal- und Minimalwerten (Basis: 1-Stunden Mittelwerte).

### 7.1.2 Beispiele für die Bedarfsermittlung anhand einer dynamischen Systemkennline:

In Abbildung 60 sind die Betriebszustände zweier parallel betriebener Pumpen dargestellt. Aufgeführt sind alle Betriebszustände über ein Jahr. Jeder Punkt entspricht einem Stundenmittelwert. Die Systemkennlinie setzt sich aus der geodätischen Förderhöhe bis zum Reservoir (minimaler Füllstand, ca. 32.5 m) dem variablen Wasserstand im Reservoir (bis ca. 4 m) und dem dynamischen Anteil (bei 35 l/s Fördermenge ca. 3 m) zusammen.

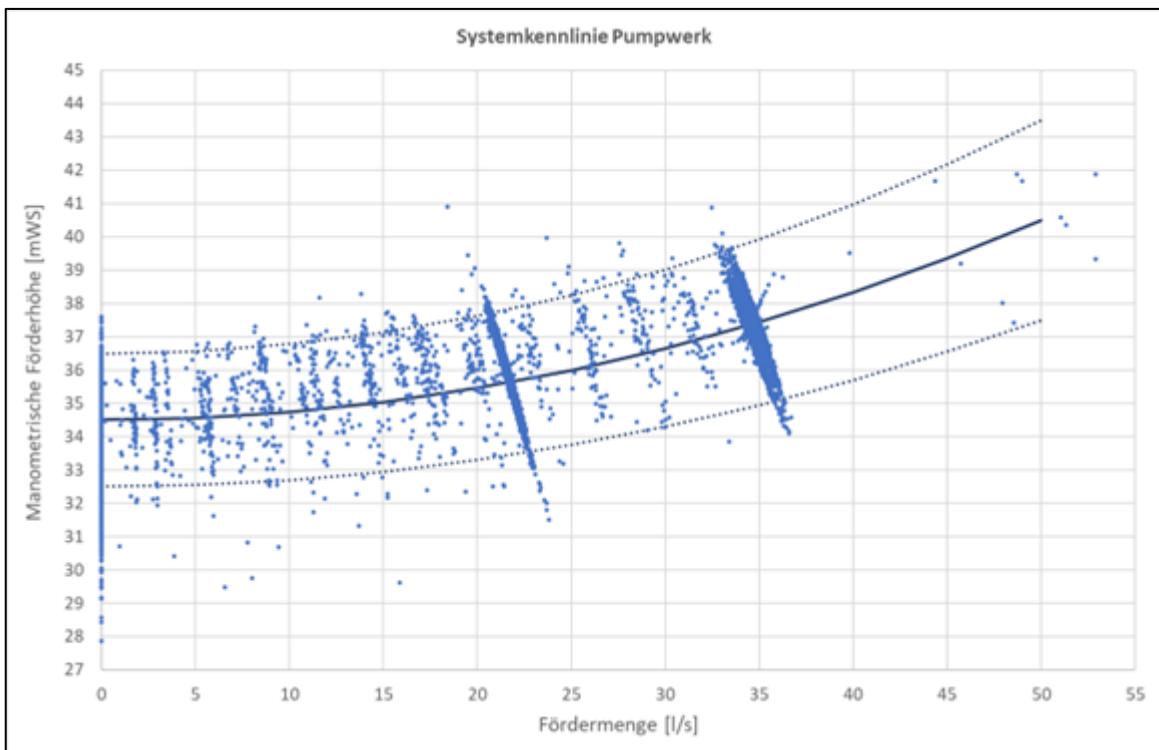
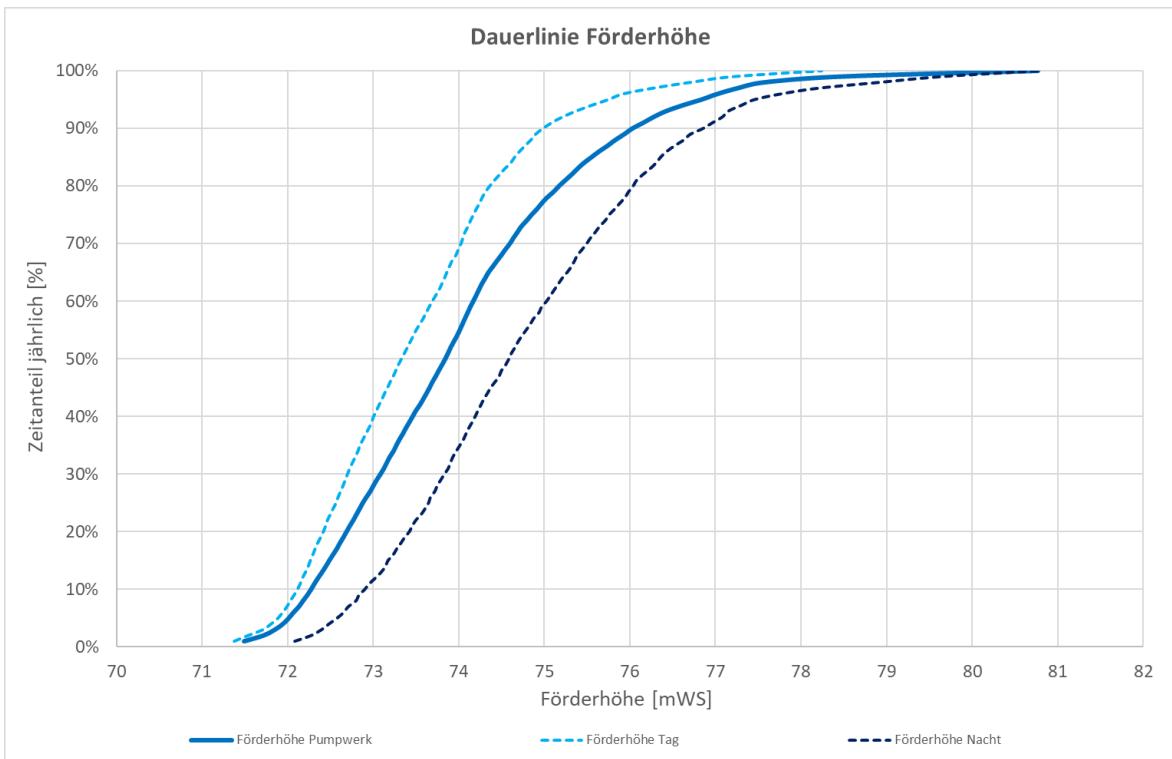


Abbildung 60 Beispiel für die Systemkennlinie eines kleineren Versorgungsgebiets mit 2 parallel betriebenen Pumpen

In Abbildung 61 ist die Dauerlinie der Förderhöhe für ein grosses städtisches Versorgungsgebiet dargestellt. Als Basis dienen die 1-Stunden Mittelwerte über ein Jahr. Die manometrische Förderhöhe liegt zwischen 71.5 und 81 mWS mit einem Mittelwert bei 73.8 mWS. Die Förderhöhe in der Nacht liegt infolge höherer dynamischer Verluste ca. 1.5 mWS über der Förderhöhe während dem Tag. Die zusätzlichen Verluste in der Nacht entstehen, da das meiste Wasser über das Netz den ganzen Weg bis zum Reservoir zurücklegen muss.



**Abbildung 61 Dauerlinie Förderhöhe für ein grosses städtisches Versorgungsgebiete**

In Abbildung 62 ist eine hydrodynamische Modellierung eines Versorgungsgebietes dargestellt. Anhand der Modellierung können Schwachstellen im Netz erkannt und Massnahmen untersucht werden. Üblich sind Auswertungen bezüglich Fliessgeschwindigkeit, Druckabnahme pro km Leitung und Druckverteilung im Netz.



**Abbildung 62 Hydrodynamisches Modell eines Versorgungsgebiete**

## 7.2 Projektpflichtenheft zur Vorstudie

### 7.2.1 Parameterermittlung auf Basis einer Szenarien-Rechnung

Auf Basis der Grundlagen können die Einsatzgrenzen und die Wirkungsweise der neuen Pumpenanlage anhand einer Szenarien-Rechnung untersucht werden. Der Umfang der Untersuchungen richtet sich dabei nach Wichtigkeit und Grösse der geplanten Anlage.

Bei komplexen Verhältnissen wird eine hydrodynamische Modellierung des gesamten Versorgungsgebiets empfohlen (siehe Kap. 7.1). Mit unterschiedlichen Szenarien soll dabei ein möglichst breites Spektrum der zukünftigen Betriebsweisen abgebildet werden. Häufig untersucht werden:

- Normalbetrieb
  - Sommer mit Maximalbezug (Tagesmaximum)
  - Sommer mit Minimalbezug (Nachtminimum)
  - Tagesgang Sommer, Winter und Frühjahr
- Sonderbetrieb
  - Revision oder Ausfall paralleler Pumpstation (Pumpstation, welche die gleiche Zone speist, ist ausser Betrieb)
  - Revision Reservoir
  - Revision Transportleitung
- Störfälle
  - Netzunterbruch / Rohrbruch
  - Pumpenausfall / Ausfall Standbein zur Versorgung
  - Ausfall Reservoir

Auf Basis der Szenarien-Rechnung kann Lage, Betriebsweise und Volumenstrom von Pumpenlagern optimiert und als Vorgabe für das folgende Variantenstudium festgelegt werden.

### 7.2.2 Identifikation von Schwachstellen des aktuellen Systems

Um Schwachstellen im Trinkwasserversorgungssystem zu erkennen, können gezielte Methoden eingesetzt werden, wie die Befragung des Betriebspersonals oder die Auswertung von registrierten Ereignissen. Diese Ansätze bieten wertvolle Einblicke in praktische Herausforderungen und wiederkehrende Probleme.

#### Methoden zur Schwachstellenanalyse:

- Befragung des Betriebspersonals

Das Betriebspersonal verfügt oft über umfassendes Wissen zu betrieblichen Abläufen und bekannten Problemen. Eine strukturierte Befragung kann Hinweise auf häufig auftretende Schwierigkeiten, ineffiziente Prozesse und sicherheitsrelevante Mängel geben. Typische Themen in der Befragung könnten sein:

  - Wiederkehrende Störungen und deren Häufigkeit
  - Probleme mit spezifischen Anlagenkomponenten (z. B. Pumpen, Steuerungen)
  - Schwierigkeiten bei Wartungsarbeiten und deren Einfluss auf die Betriebssicherheit
  - Rückmeldungen zu ergonomischen oder sicherheitsrelevanten Aspekten
- Auswertung der registrierten Ereignisse

Eine systematische Analyse der erfassten Ereignisse (wie Störungen, Wartungsarbeiten und Notabschaltungen) gibt detaillierte Einblicke in die Leistungsfähigkeit und Schwachstellen des Systems. Durch die Auswertung können Muster erkannt werden, wie z. B.:

- Häufigkeit und Ursachen von Ausfällen oder Störungen
- Zeitliche Verteilung von Betriebsstörungen, die auf überlastete Komponenten hindeuten könnten
- Auftreten von Grenzwertüberschreitungen, die auf Defizite in der Anlagendimensionierung hinweisen
- Häufige Wartungsanforderungen, die auf eine möglicherweise unzureichende Qualität der Komponenten oder eine hohe Beanspruchung schliessen lassen

## 8 Vorstudien (SIA 21, SIA 22)

### 8.1 Grundlagen und Ziele zur Vorstudie

Folgende Grundlagen aus der vorhergehenden Bearbeitungsphase (Kapitel 7: Strategische Planung) liegen vor:

- Zusammenstellung der relevanten Grundlagen/**Randbedingungen**:
  - a. Volumenstrom-, Förderhöhen- und Leistungsdauerlinien der bestehenden Förderanlagen im betrachteten System
  - b. Angaben zu Schwachstellen des aktuellen Systems
- **Projektpflichtenheft zur Vorstudie** mit Einsatzgrenzen und der Wirkungsweise der neuen Pumpenanlage. Je nach Aufgabenstellung sind Lage, Betriebsweise und Volumenstrom der Pumpenlängen bereits als Vorgabe definiert oder als Aufgabe für das Variantenstudium ausgewiesen.

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Entscheid Bestvariante gefällt, Pumpenregime und Betriebsweise definiert
- Projektpflichtenheft erstellt

Im Folgenden werden zur Festlegung der Bestvariante relevante Aspekte beleuchtet und Empfehlungen formuliert:

### 8.2 Aufstellung Variantenfächer

Im Variantenfächern sollen mögliche Lösungen aufgezeigt werden, mit welchen der Zielzustand erreicht werden kann. Diese können sich hinsichtlich der Konstruktion, des planerischen und baulichen Aufwands, der Ausführungskosten, Betrieb und Instandhaltung unterscheiden.

Es wird empfohlen in den Variantenfächern neben den naheliegenden Varianten, soweit grundsätzlich technisch realisierbar, auch ausgefallene Varianten aufzunehmen. Dies ermöglicht den nachvollziehbar dokumentierten Ausschluss gewisser Lösungen.

Folgende Varianten werden häufig untersucht:

3. Neubau des Pumpwerks an bestehender Lage
4. Neubau des Pumpwerks an neuer Lage
5. Vernetzung, Anpassung der Leitungsnetz- oder Zonengrenzen
6. Pumpenregime und Betriebsweise (siehe Kap. 8.3)
7. Unterschiedliches Layout der Rohrleitungsführung und Bauform der Kreiselpumpen (siehe Kap. 8.4)

### 8.3 Pumpenregime und Betriebsweise

Hierbei ist der gesamte Volumenstrom  $Q_{tot}$ , des zu erstellenden Pumpwerks, ermittelt aus Dauerlinie, dynamischer Systemkennlinie, hydrodynamischem Modell, GWP, Konzession, auf eine sinnvolle Anzahl Pumpen zu verteilen.

Die Betrachtung von Volumenstrom Dauerlinien zeigt, dass der Volumenstrom im Bereich von 95 bis 100% sehr stark ansteigt. Den zu pumpenden Volumenstrom  $Q_{tot}$  auf 100% des Durchflusses auszulegen, kann daher zu einer Überdimensionierung des gesamten Pumpwerks. Eine situative Reduktion auf z.B. 95% =  $Q_{tot}$  ist daher zu prüfen.

Es gibt kein Modell oder Schema, welches für diese Aufgabenstellung als Standard herangezogen werden kann, da die Ausgangslagen immer jeweils individuelle Rahmenbedingungen aufweisen. Die nachfolgenden Beispiele zeigen mögliche Ansätze auf:

### 8.3.1 Betriebsweise «komplett über das Reservoir» (Pumpen laufen nachts) - klassisch

Dieses Szenario, basiert auf der Ausgangslage, dass die Pumpen nachts laufen, um das Reservoir zu befüllen, welches primär tagsüber die Versorgungsgebiete speist. Die Betriebsbedingungen ( $H_{geo}$ ,  $H_v$ ) sind konstant. Daher soll bei dieser Betriebsweise auf den Einsatz eines Frequenzumformers (FU) zur Drehzahlregelung verzichtet werden.

Die Gründe, welche für diese Betriebsweise sprechen, sind einerseits konstante Druckzustände im Netz, welche eine «einfache» Auslegung der Pumpe(n) erlauben und andererseits der Aspekt, dass «Nachstrom» günstiger ist. Der letztgenannte Punkt trifft heute jedoch, vermehrt, nicht mehr zu, da die Wasserversorgung als Grossverbraucher die Energie, zu einem Einheitstarif, am freien Markt beschaffen kann.

#### Fall 1: kleinere Pumpwerke, 2 x 100% $Q_{tot95\%}$ ( $Q_{tot95\%} < 2000 \text{ l/min} / 33.3 \text{ l/s}$ )

Der Volumenstrom  $Q_p$  der Pumpe wird auf den Volumenstrom  $Q_{tot}$  ausgelegt. Somit  $Q_{tot} = Q_p$ . Die zweite eingesetzte, baugleiche Pumpe stellt 100% Redundanz sicher. Ein Parallellauf ist in diesem Fall nicht vorgesehen.

#### Fall 2: mittlere Pumpwerke, 3 x 70% $Q_{tot95\%}$ ( $Q_{tot95\%} < 4000 \text{ l/min} / 66.6 \text{ l/s}$ )

Der Volumenstrom  $Q_p$  der Pumpe wird auf 70% des Volumenstrom  $Q_{tot}$  ausgelegt. Bei geringem Netzverbrauch läuft nachts eine Pumpe, um das Reservoir zu befüllen. Bei hohem Netzverbrauch läuft nachts eine Pumpe und eine zweite wird bedarfsabhängig, parallel zugeschaltet. Somit liegt  $Q_p$  im Bereich von 70%  $Q_{tot95\%}$  bis  $Q_{tot95\%} < 140\% Q_{tot95\%}$ . Die dritte baugleiche Pumpe dient der Redundanz.

Die Resilienz dieser Konfiguration ist höher als im Fall 1, da auch beim gleichzeitigen Ausfall von 2 Pumpen immer noch 70% von  $Q_{tot95\%}$  zur Verfügung stehen und damit der Wasserbedarf mit einer längeren Laufzeit in den Tag hinein sicherstellt werden kann.

Bei der Auslegung in diesem Fall muss zwingend berücksichtigt werden, dass primär sowohl der Betriebspunkt, wenn eine Pumpe läuft (Hauptbetriebspunkt), aber auch der Betriebspunkt im Parallelauf in einem guten Bereich auf der Wirkungsgradkennlinie liegen. (nahe BEP, siehe Kap. 5.3 Tab. 1).

#### Fall 3: grössere Pumpwerke ( $Q_{tot95\%} > 4000 \text{ l/min} / 66.6 \text{ l/s}$ )

Die Dimensionierung kann in solchen Fällen wie im nachfolgenden Beispiel gezeigt über die Volumenstrom Dauerlinie mit Tages-Mittelwerten/Jahr dargestellt als V2 (siehe Abb.60) erfolgen.

Mögliches Vorgehen:

1. Die Versorgung des Reservoirs soll in 8 Stunden nachts stattfinden. Die Volumenstrom Dauerlinie mit Tages-Mittelwerten/Jahr V2 zeigt den Bedarf pro Tag (24h).
- Die Momentanverbrauchswerte V2 werden darum mit 3 multipliziert (24h:8h=3), um die Dauerlinie V2' mit den, für die Pumpenauslegung erforderlichen Volumenströmen  $Q$  zu erhalten.

- Auf der Q/H-Kennlinie mit kongruenter Q-Skala zur Dauerlinie V2' wird die geodätsche Förderhöhe  $H_{geo}$  und die Systemkennlinie  $H_v$  eingetragen.
  2. Der Schnittpunkt der Dauerlinie V2' mit  $Q_{tot95\%}$  ergibt den maximalen Volumenstrom, welche alle Pumpen gemeinsam laufend erreichen müssen.
- Je nach Verlauf der Dauerlinie V2' wird nun festgelegt, wie viele Pumpen eingesetzt werden, um den maximalen Volumenstrom von  $Q_{tot95\%}$  zu erreichen. Massgeblich dabei ist, dass die Pumpenanzahl mit der grössten Laufzeit nahe dem bestmöglichen Pumpenwirkungsgrad BEP im Bereich von  $\eta_{opt}$  zu liegen kommt.
- Das Beispiel zeigt, dass 3 Pumpen im Regime vorgesehen werden, wobei 2 Pumpen während ca. 30% der Zeit laufen und 3 Pumpen während ca. 65 % der Zeit, jeweils nachts während 8 Stunden. Es wird ebenfalls ersichtlich, dass 1 Pumpe allein laufend, während 24h/Tag ca. 85% aller Tagesbedarfe pro Jahr abdecken könnte.
  3. Im Zuge der Vorstudie wird festgelegt, dass im Pumpwerk total 3 Pumpen installiert werden. Zusätzlich ist belegt, dass eine sehr hohe Redundanz vorliegt, da die Pumpen auf einen Betrieb von 8h pro Tag ausgelegt wurden.

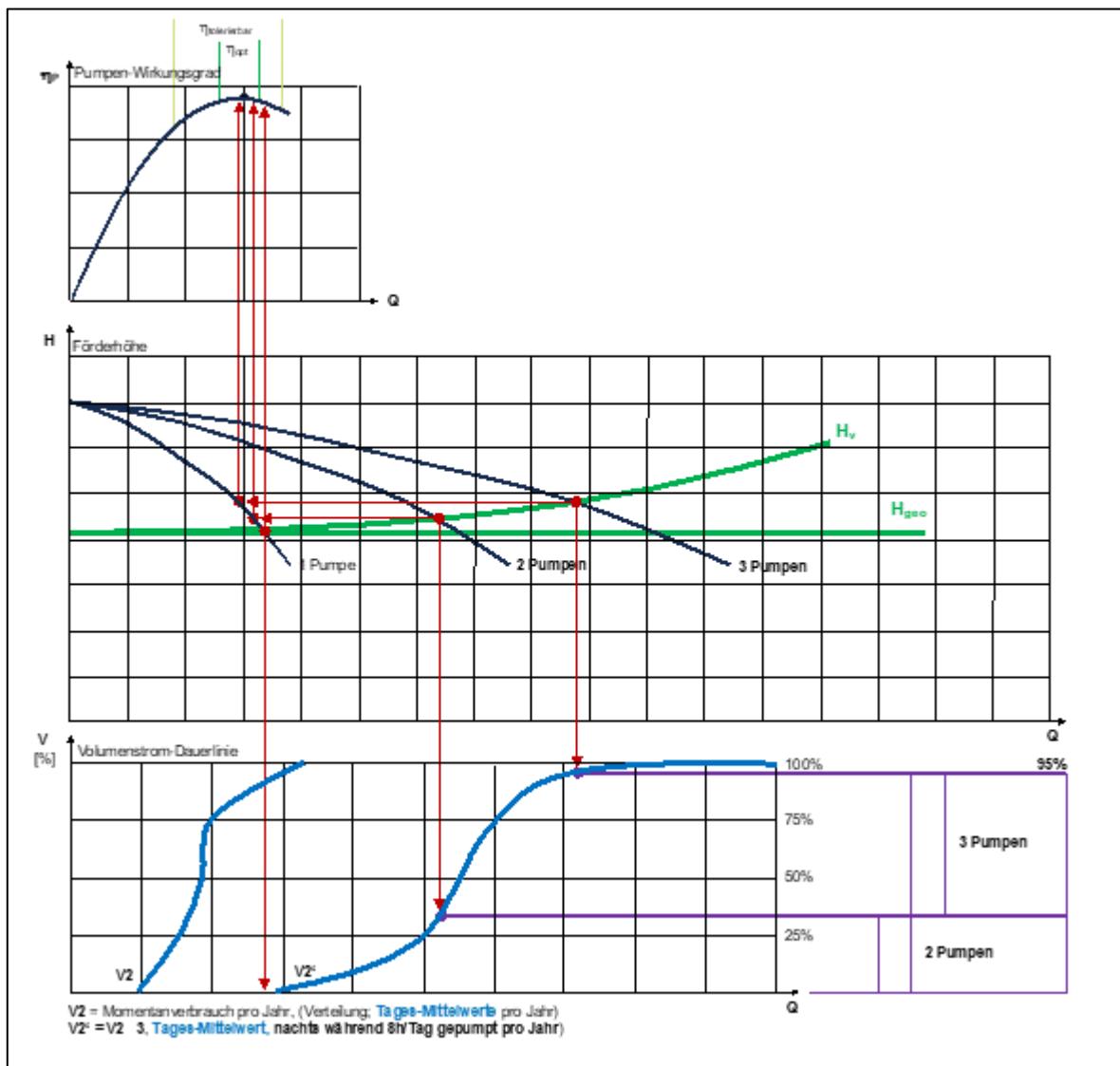


Abbildung 63 Vorstudie, grössere Pumpwerke, Pumpen laufen nachts, Basis Dauerlinie Tages-Mittelwert

Dieses Beispiel zeigt klar, dass es bereits zum Zeitpunkt der Vorstudie empfehlenswert ist, sich mit effektiven Pumpenkennlinien zu beschäftigen, um sicherzustellen, dass die analysierten Lösungen auch grundsätzlich realisierbar sind.

### 8.3.2 Betriebsweise «Energiegeführter Betrieb» / «Kostengeführter Betrieb»

**«Energiegeführter Betrieb»:** Pumpen laufen optimiert auf den Energieverbrauch (effizienzgeführter Betrieb),

**«Kostengeführter Betrieb»:** Pumpen laufen optimiert auf den Strompreis

Dieses Szenario, basiert auf der Ausgangslage, dass die Pumpen unabhängig von der Tageszeit laufen. Es wird in diesem Fall nicht nur die Bewirtschaftung des Reservoirs berücksichtigt, sondern viele weitere Parameter, unter anderem die Effizienz der Pumpe und die Effizienz des Gesamtsystems, mit dem Hauptziel den Energieverbrauch für die gesamte Bewirtschaftung so gering wie möglich zu halten. Um den Anforderungen an einen «Energiegeführten Betrieb» gerecht zu werden, ist in den meisten Fällen der Einsatz von Frequenzumformern (FU) zur Drehzahlregelung vorzusehen.

Die massgeblichen Unterschiede zur Betriebsweise «komplett über das Reservoir» (Pumpen laufen nachts) sind:

- Pumpen laufen auch tagsüber, weil der Netzdruck bedingt durch den Verbrauch tiefer liegt und darum die Pumpe nicht immer die gesamte Förderhöhe zum Reservoir aufzubringen hat. Siehe auch Abbildung 29 «Systemkennlinie im hydraulischen Schema»
- Aufgrund der unterschiedlichen Druckverhältnisse im Netz wird der Volumenstrom Q der Pumpe(n) kontinuierlich angepasst, um sicherzustellen, dass die Pumpe(n) immer im optimalen Bereich des Wirkungsgrades läuft BEP (Best Efficiency Point).
- Der Volumenstrom Q wird dabei so niedrig wie möglich gehalten, um damit auch den Verlustanteil Hv im Netz gering zu halten.
- Aufgrund von Prognosewerten wird nur so viel Wasser ins Reservoir gefördert, dass die Versorgung sichergestellt ist.
- Damit kann, was objektspezifisch zu verifizieren ist, eine markante Energieeinsparung erzielt werden.

Je nach Prognosedaten und verfügbarer Historie kann das Reservoir so bewirtschaftet werden, dass günstige Energie vom Spotmarkt zum Einsatz gelangt. Ziel dabei: Es wird vor allem dann gepumpt, wenn günstige Energie verfügbar ist und entsprechend automatisiert eingekauft wurde. («Kostengeführter Betrieb»)

Im Kapitel 9.6 Betriebsweise/Betriebskonzept werden die Einflussgrößen und deren Handhabung, anhand eines Modells, beschrieben, um einen «Energiegeführten Betrieb» oder «Kostengeführten Betrieb» umzusetzen.

#### Fall 4: «Energiegeführter Betrieb» («Kostengeführter Betrieb»)

Die Dimensionierung kann in solchen Fällen wie im nachfolgenden Beispiel gezeigt über die Volumenstrom Dauerlinie mit Stunden-Mittelwerten/Jahr V1(siehe Abb. 60) erfolgen.

Mögliches Vorgehen:

1. Die Versorgung des Netzes und des Reservoirs soll während 24h stattfinden. Die Volumenstrom Dauerlinie mit Stunden-Mittelwerten/Jahr V1 zeigt den Bedarf pro Tag (24h).

- Die Momentanverbrauchswerte V1 entsprechen aufgrund des 24h Betriebs 1:1 dem Volumenstrom Q der Pumpen.
- Auf der Q/H-Kennlinie mit kongruenter Q-Skala zur Dauerlinie V1 wird die geodätische Förderhöhe  $H_{geo}$  und die Systemkennlinie  $H_v$  eingetragen. Diese zeigt die Volumenströme, welche die Pumpen fördern bei einen «klassischen Betrieb», wenn die Pumpen nur nachts laufen würden. Dieser Fall ist auch zu betrachten.
- Die Dauerlinie V1 ergibt den maximalen Volumenstrom, welche alle Pumpen gemeinsam laufend mindestens erreichen müssen. (min.  $Q_{tot95\%}$ )
- Anhand von Messdaten oder aus Simulationen werden nun die Druckzustände ermittelt, welche maximal und minimal tagsüber im Netz auftreten. Jeweils ohne laufende Pumpen und mit laufender Pumpe. (=  $H_{mano}$  tagsüber)
  2. Je nach Verlauf der Dauerlinie V1 wird nun festgelegt, wie viele Pumpen eingesetzt werden, um den maximalen Volumenstrom von zu erreichen.
  3. Es wird nun berechnet bei welcher Anzahl laufender Pumpen und bei welcher Drehzahl, welcher Volumenstrom Q gefördert wird, damit die Pumpe im BEP-Punkt (Best Efficiency Point) läuft. (= Vorgabedaten, nach welcher die Regelung arbeitet)
- Die Pumpen werden, nach im Kapitel 9.6 «Betriebsweise/Betriebskonzept» beschriebenen Modell betrieben.
  4. Im Zuge der Vorstudie wird festgelegt, dass im Pumpwerk total 6 Pumpen installiert werden. Zwei davon als Reserve. Zusätzlich liegt eine hohe Redundanz der Pumpen vor, welche im Betriebskonzept eingebunden sind.
  5. Dieses Beispiel zeigt klar, dass es bereits zum Zeitpunkt der Vorstudie empfehlenswert ist, sich mit effektiven Pumpenkennlinien zu beschäftigen, um sicherzustellen, dass die analysierten Lösungen auch grundsätzlich realisierbar sind.

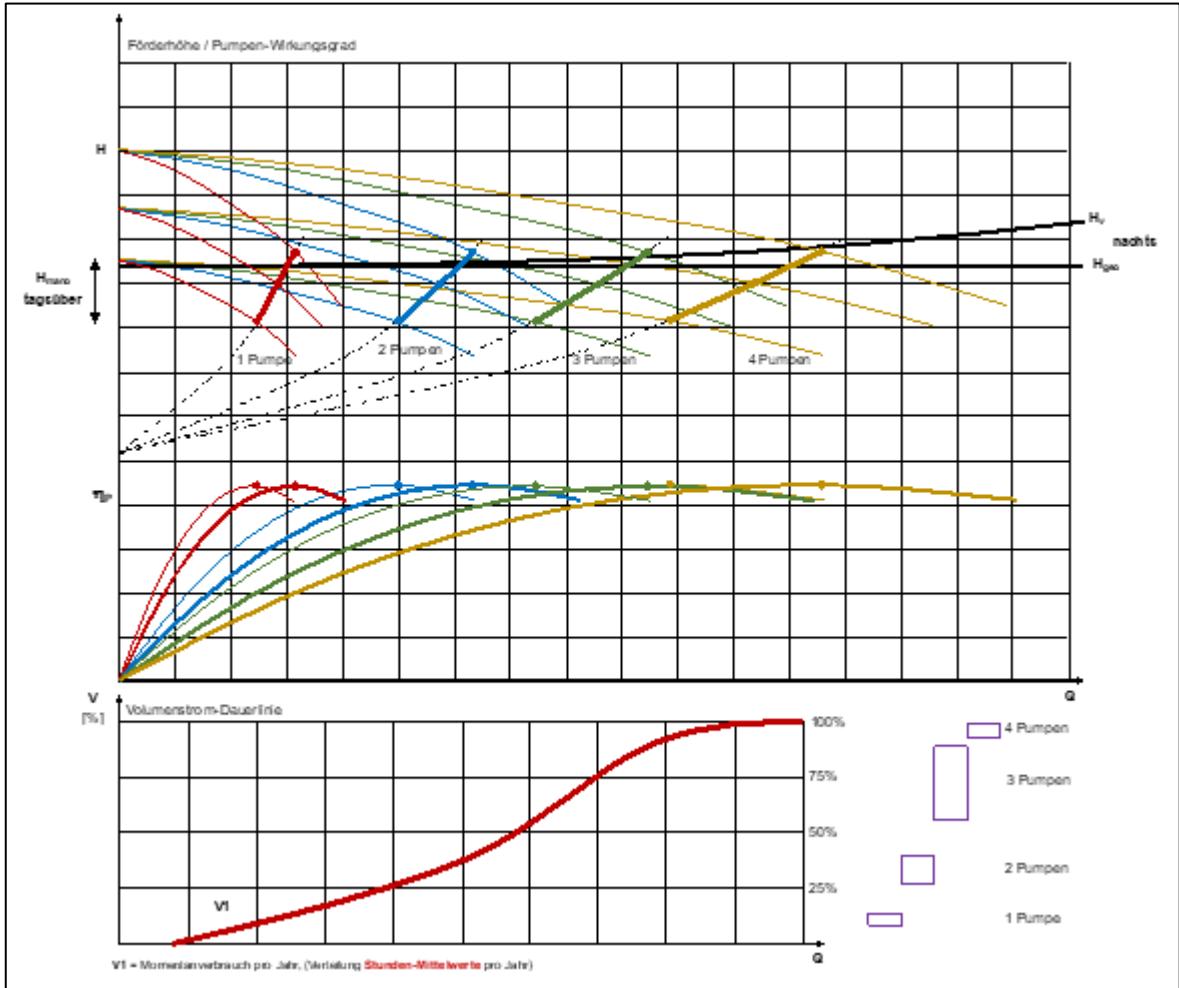


Abbildung 64 Vorstudie, Pumpen laufen 24h «energiegeführter Betrieb», Basis Dauerlinie Stunden-Mittelwert

## 8.4 Bauform der Kreiselpumpe und Layout der Rohrleitungsführung

Soweit für die Grobkostenschätzung erforderlich, sind für die betrachteten Varianten gemäss Variantenfächern verschiedene Bauformen konzeptionell zu prüfen. Auf Basis der Volumenströme  $Q$ , Förderhöhen  $H$  und dem  $NPSH_3\%_A$  werden folgende Aspekte untersucht:

- Hydraulische geeignete Bauformen (spezifische Drehzahl  $n_q$ )
  1.  $NPSH_3\%$ -Berechnung
  2. Antriebsart (IEC-Antrieb, wassergekühlte Ausführung, Nieder-/Mittelspannung)
  3. Platzangebot, Aufstellungsart, Aufstellungshöhe und Rohrleitungsführung
- Zugänglichkeit für Inspektion und Wartung, Montage/Demontage inkl. Zugangsöffnungen und Kranbahn

Beispiel für Varianten mit unterschiedlichem Layout der Rohrleitungsführung:

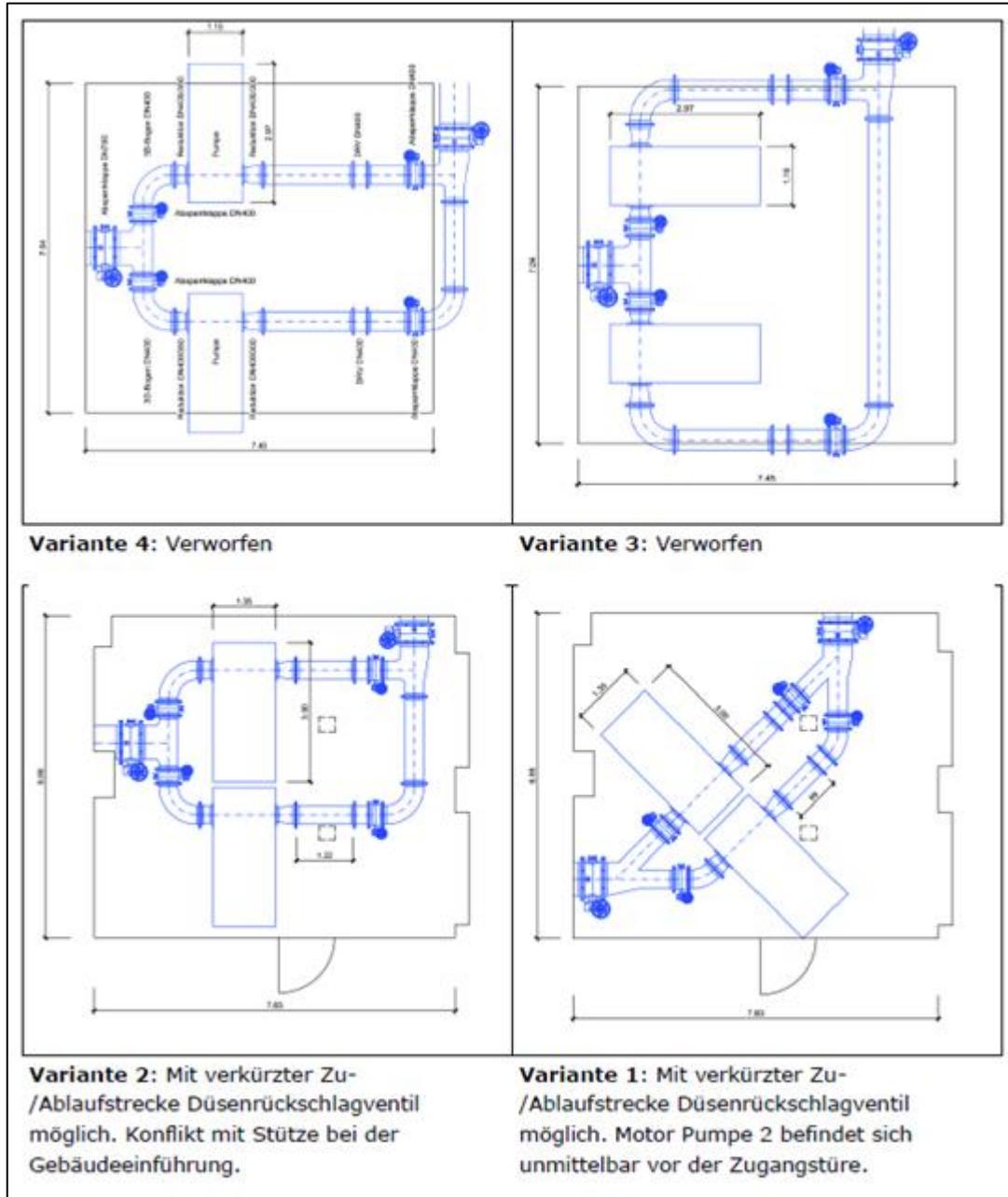


Abbildung 65 Unterschiedliches Layout der Rohrleitungsführung bei festgelegter Bauform

## 8.5 Variantenbewertung

Die Variantenbewertung kann beispielsweise mit einem qualitativen Vergleich, einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung oder einer Nutzwertanalyse erfolgen. Mögliche Ziele und Kriterien für eine Nutzwertanalyse mit einem Vorschlag der Gewichtung findet sich in Tabelle 2. Diese sind auf jeweils auf das konkrete Projekt anzupassen.

Als Basis für die Nutzwertanalyse ist für alle betrachteten Varianten eine Schätzung von Investitions-, Energie-, Betriebs-, Instandsetzungs-, Stillstands- und Rückbaukosten zu erstellen. Die relative Genauigkeit zwischen den Varianten ist dabei wichtiger als die absolute. Eine Kostenschätzung auf Basis von Benchmark-Preisen mit +/-30% Genauigkeit hat sich bewährt.

Üblicherweise umfasst die Variantenbewertung folgende Elemente:

1. Ermittlung der jährlichen Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs, LCC)

2. Nutzwertanalyse
3. Variantenvergleich auf Basis der Projektziele
4. Sensitivitätsanalyse mit veränderter Gewichtung der Ziele

Ziele	Ge-wicht	Kriterium	Gewicht
<b>Tiefe Kosten</b>	25%	Tiefe Life Cycle Costs (LCC, DVGW W618) inkl. Energie-, Betriebs-, Instandsetzungs-, Stillstands- und Rückbaukosten	25%
<b>Hohe Qualität Trinkwasser</b>	20%	Zentrale Lage im Versorgungsgebiet	10%
		Materialien in Kontakt mit Trinkwasser	10%
<b>Geringer Eingriff in die Umwelt</b>	18%	Wenig tangierte Schutzgüter	6%
		Eignung Baugrund	6%
		Geringer Eingriff ins Landschaftsbild	6%
<b>Betrieb Pumpwerk effizient und sicher</b>	27%	Gute Zugänglichkeit	5%
		Tiefe Anfälligkeit für Störungen, Alarme	5%
		Resilienz - Hohe Systemsicherheit bei Ausfall von Anlageteilen (Armaturen, Rohrleitungen, Verunreinigungen, Fehlmanipulationen)	5%
		Trinkwasserversorgung bei Stromausfall sichergestellt	5%
		Lösung ermöglicht den Einsatz unterschiedlicher Bauformen von Kreiselpumpen	3%
		Manueller Notbetrieb möglich	4%
<b>Realisierung ohne Hürden</b>	10%	Schallemission und Sichtbarkeit zu Anwohnern	2%
		Aktueller Grundeigentümer unterstützt Projekt	8%

**Tabelle 9 Beispiel, Bewertungsgrundlage für Variantenvergleich**

## 8.6 Projektpflichtenheft mit Entscheid für Bestvariante

Der Entscheid Bestvariante wird auf Basis der Nutzwertanalyse gefällt. Mit der Abstützung des Entscheids auf diese technisch, rechtlich und wirtschaftlich anerkannte Methode wird insbesondere der Standortgebundenheit ausserhalb der Bauzone Rechnung getragen.

Mit dem Vorgehen wird die Rechtssicherheit deutlich erhöht.

## **9 Projektierung**

### **9.1 Grundlagen und Ziele zur Projektierung**

(Geltungsbereich: Teilsystem E, A, P, R, N / Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP))

Folgende Grundlagen aus der vorhergehenden Bearbeitungsphase (Kapitel 8: Vorstudien) liegen vor:

- Projektpflichtenheft mit Entscheid Bestvariante und Festlegung von Lage, Pumpentyp, Betriebsweise und Volumenstrom  $Q_{tot}$  der Pumpenanlage
- Aufteilung des gesamten Volumenstrom  $Q_{tot}$ , des zu erstellenden Pumpwerks auf eine sinnvolle Anzahl Pumpen. Im Rahmen dieses Planungsschritts sind üblicherweise auch folgende Parameter konzeptionell festgelegt:
  - Hydraulische geeignete Bauform der Pumpen (spezifische Drehzahl  $nq$ )
  - NPSH3%-Anlage
  - Antriebsart (IEC-Antrieb, wassergekühlte Ausführung, Nieder-/Mittelspannung)
  - Platzangebot, Aufstellungsart, Aufstellungshöhe und Rohrleitungsführung

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Planungsziele und Nutzungsvereinbarung mit Projekt ingenieur vereinbart
- Konzept des Fördersystem erstellt:
  - Funktionale Anforderungen festlegen
  - Komponenten des Fördersystems bestimmen
  - hydraulische Bemessung durchführen
  - Technische Ausrüstung bestimmen (inkl. Elektroinstallation und Messtechnik)
  - Hygienisch geeignete Materialien festlegen
  - Statische Konstruktion festlegen
  - Meist lohnt es sich die Pumpen bereits im Vorprojekt produktescharf zu definieren und bei Bedarf eine separate Submission vorgezogen durchzuführen
- Projekt, Terminplanung und Kostenvoranschlag erstellt und von Auftraggeber genehmigt
- Bewilligungen für die Ausführung liegen vor

Im Folgenden werden zur Erstellung des Konzepts des Fördersystems relevante Aspekte beleuchtet und Empfehlungen formuliert:

### **9.2 Komponenten eines Fördersystems**

(Geltungsbereich: Teilsystem E, A, P, R)

Die Gestaltung eines Pumpwerks ist sehr komplex und vielfältig. Es muss unbedingt spezifisches Fachwissen in die Projektierung einfließen. Nachstehend werden wichtige Komponenten und deren Anordnung beschrieben. Die Angaben und Darstellung sind keinesfalls abschliessend und alleingültig.

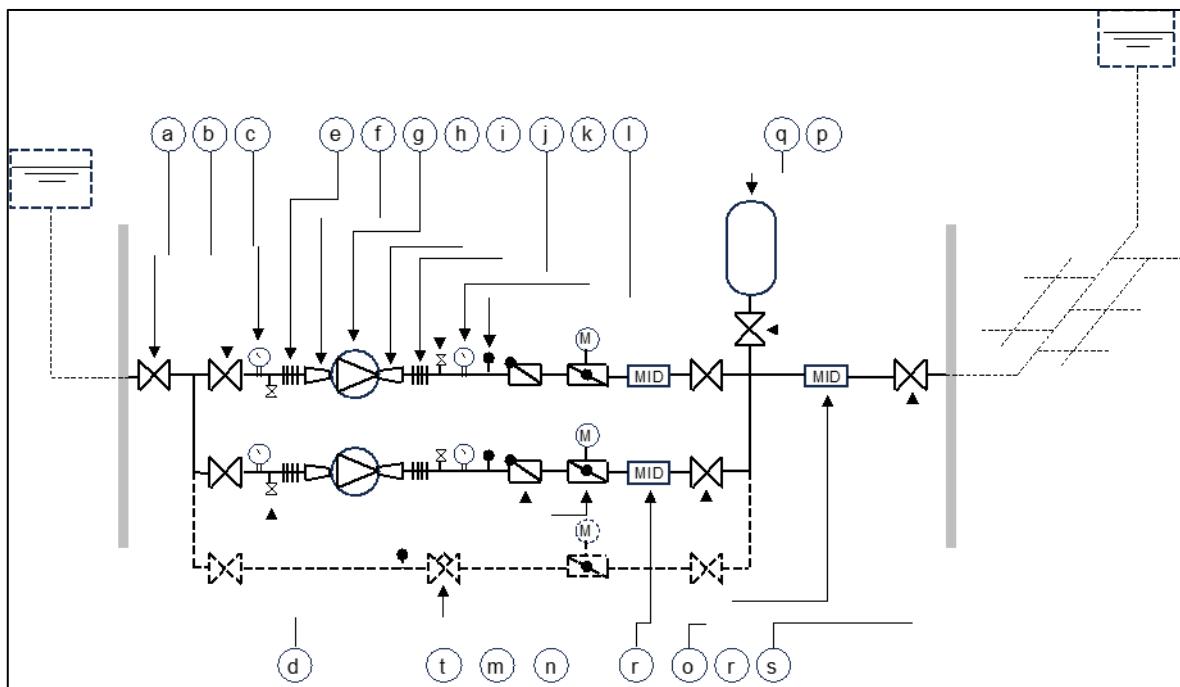


**Abbildung 66 Komponenten in einem Pumpsystem**

Um die Anordnung der Komponenten und deren Zusammenhang mit einer Kreiselpumpe in einem Pumpwerk zu veranschaulichen, wird im Folgenden auf spezifische Beispiele für verschiedene Pumpwerkstypen eingegangen. Dabei sind die Anordnungen an die Komponenten abhängig vom jeweiligen Einsatzgebiet und den funktionalen Anforderungen des Pumpwerks.

### 9.2.1 Anordnung der Komponenten in verschiedenen Systemkonfigurationen

#### Offene Systeme mit Zulaufdruck «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk, ...»

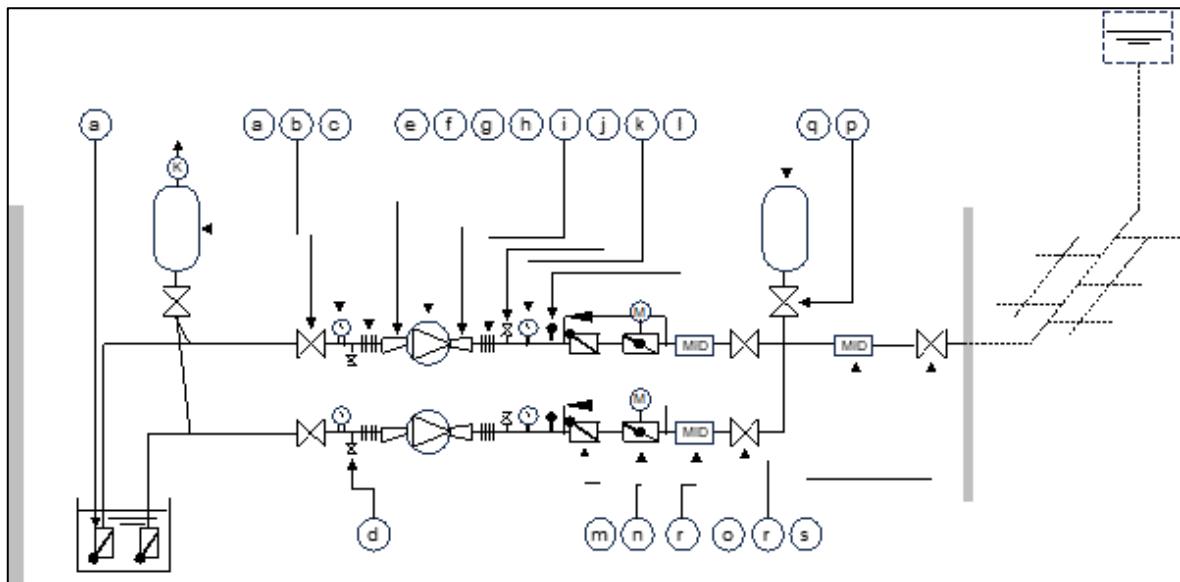


**Abbildung 67 Offene Systeme mit Zulaufdruck, mögliche Anordnung der Komponenten**

**Legende:**

- a) Hauptschieber am Eingang zum Pumpwerk
- b) Revisionsschieber pro Pumpe, im jeweiligen Strang
- c) Zulaufseitige Druckmessung, Manometer und/oder Drucktransmitter
- d) Entleerungspunkt / Probenahmestelle, im jeweiligen Strang (am tiefsten Punkt)
- e) Ausbaustück (ev. Kompensator) zum spannungsfreien Anschluss der Pumpe
- f) Zentrischer Konus, als Reduktion auf den Saugstutzen-Durchmesser der Pumpe
- g) Kreiselpumpe, «trocken» aufgestellt
- h) Zentrischer Konus, als Erweiterung vom Druckstutzen-Durchmesser der Pumpe
- i) Ausbaustück (ev. Kompensator) zum spannungsfreien Anschluss der Pumpe
- j) Entlüftungspunkt, im jeweiligen Strang (am höchsten Punkt)
- k) Druckseitige Druckmessung, Manometer und/oder Drucktransmitter
- l) Strömungswächter als Trockenlauf- und Störungsüberwachung
- m) Düsenrückschlagventil als Rückflussverhinderer
- n) Drosselklappe motorisch betrieben, um die Pumpe an- und abzufahren
- o) Revisionsschieber pro Pumpe, im jeweiligen Strang
- p) Revisionsschieber zum Druckbehälter als Druckschlagdämpfung
- q) Druckbehälter als Druckschlagdämpfung
- r) Volumenstrommessung Q (MID), sicher bei grösseren Pumpwerken auch in jedem Strang
- s) Hauptschieber am Ausgang vom Pumpwerk
- t) Druckreduzierung (im Stufenpumpwerk) um die untere Zone von der obenliegenden versorgen zu können. Als manuelle oder automatisierte Lösung je nach Anforderung des Systems.

**Offene Systeme im Saugbetrieb «See-/Quellwasser-/Stufenpumpwerk, ...»**



**Abbildung 68 Offene Systeme im Saugbetrieb, mögliche Anordnung der Komponenten**

**Legende:**

- a) Bodenventil/Fussventil oder alternativ eine Vakuumhebeanlage
- b) Revisionsschieber pro Pumpe, im jeweiligen Strang
- c) Saugseitige Druckmessung, Manometer und/oder Drucktransmitter
- d) Entleerungspunkt / Probenahmestelle, im jeweiligen Strang (am tiefsten Punkt)
- e) Ausbaustück (ev. Kompensator) zum spannungsfreien Anschluss der Pumpe
- f) Exzentrischer Konus, als Reduktion auf den Saugstutzen-Durchmesser der Pumpe

- g) Kreiselpumpe, «trocken» aufgestellt
- h) Zentrischer Konus, als Erweiterung vom Druckstutzen-Durchmesser der Pumpe
- i) Ausbaustück (ev. Kompensator) zum spannungsfreien Anschluss der Pumpe
- j) Auffüll- und Entlüftungspunkt, im jeweiligen Strang (am höchsten Punkt)
- k) Druckseitige Druckmessung, Manometer und/oder Drucktransmitter
- l) Strömungswächter als Trockenlauf- und Störungsüberwachung
- m) Düsenruckschlagventil als Rückflussverhinderer (mit Bypass-Leitung sofern ein Bodenventil/Fussventil eingesetzt wird)
- n) Drosselklappe motorisch betrieben, um die Pumpe an- und abzufahren
- o) Revisionsschieber pro Pumpe, im jeweiligen Strang
- p) Revisionsschieber zum Druckbehälter als Druckschlagdämpfung
- q) Druckbehälter als Druckschlagdämpfung
- r) Volumenstrommessung Q (MID), sicher bei grösseren Pumpwerken auch in jedem Strang
- s) Hauptschieber am Ausgang vom Pumpwerk

Pro Kreiselpumpe ist, in Kombination mit einem Boden-/Fussventil, eine separate Saugleitung vorzusehen.

Der Rohrleitungsverlauf auf der Saugseite der Kreiselpumpe muss in Wasserflussrichtung stetig ansteigend ausgeführt werden (Steigung 3%), so dass allfällige Luft in der Saugleitung zur Pumpe geführt und dort entlüftet werden kann.

### Offene Systeme im Eintauchbetrieb «Grundwasserpumpwerke»

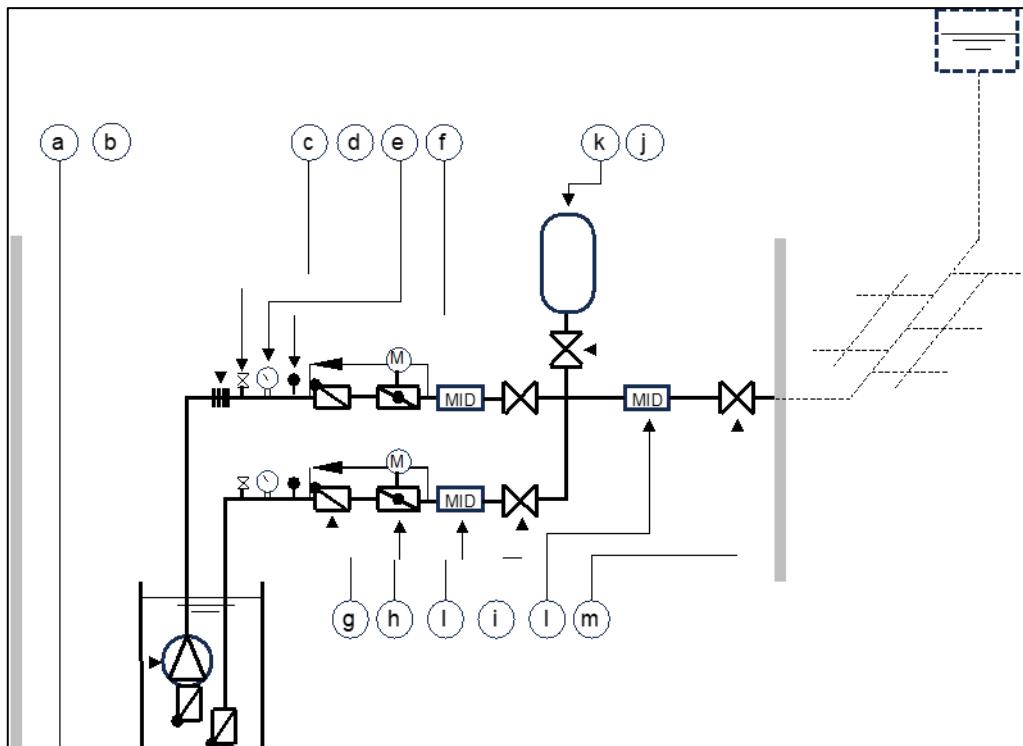


Abbildung 69 Offene Systeme im Saugbetrieb, mögliche Anordnung der Komponenten

Abbildung 69 Offene Systeme im Eintauchbetrieb, mögliche Anordnung der Komponenten

- a) Unterwassermotorpumpe (UWP) mit Ruckschlagventil auf der Druckseite
- b) Bohrlochwellenpumpe (BLWP) mit Fussventil auf der Saugseite
- c) Ausbaustück zum spannungsfreien Anschluss der Pumpe (nur für BLWP)

- d) Auffüll- und Entlüftungspunkt / Probenahmestelle, im jeweiligen Strang (am höchsten Punkt)
- e) Druckseitige Druckmessung, Manometer und/oder Drucktransmitter
- f) Strömungswächter als Trockenlauf- und Störungsüberwachung
- g) Düsenrückschlagventil als Rückflussverhinderer mit Bypass-Leitung
- h) Drosselklappe motorisch betrieben, um die Pumpe an- und abzufahren
- i) Revisionsschieber pro Pumpe, im jeweiligen Strang
- j) Revisionsschieber zum Druckbehälter als Druckschlagdämpfung
- k) Druckbehälter als Druckschlagdämpfung
- l) Volumenstrommessung Q (MID), bei grösseren Pumpwerken auch in jedem Strang
- m) Hauptschieber am Ausgang vom Pumpwerk

### Düsenrückschlagventil

Das Düsenrückschlagventil ist bevorzugt als Rückflussverhinderer einzusetzen, wegen des geringen Reibungsverlustes  $H_v$ , sowie der sehr kurzen Schliesszeit, welche die Pumpe vor Druckschlägen schützen kann.

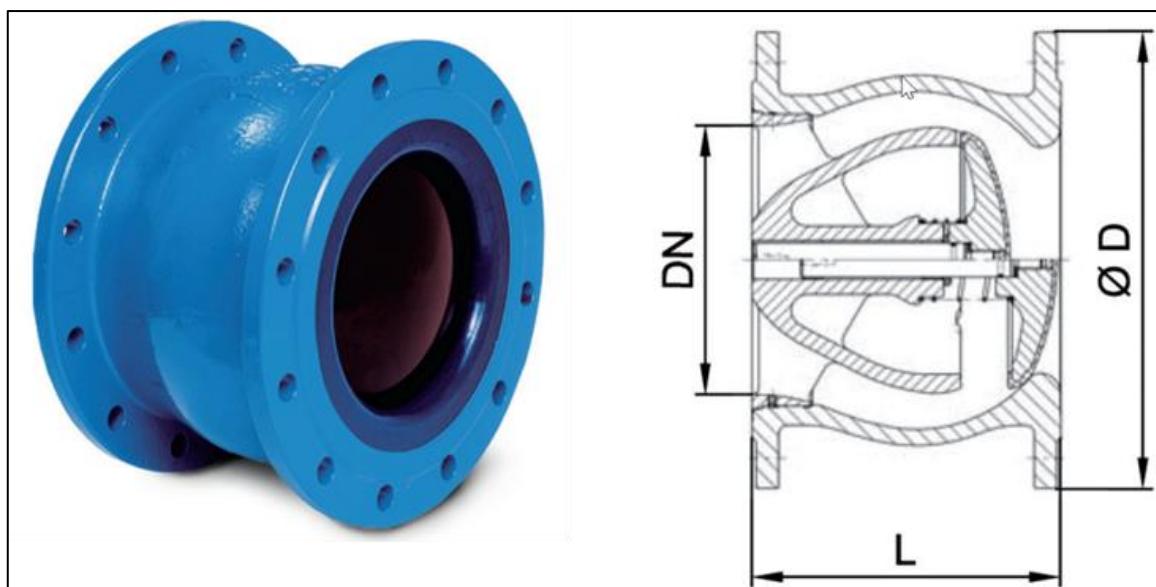


Abbildung 70 Düsenrückschlagventil (Quelle: Noreva)

### Ausbaustücke

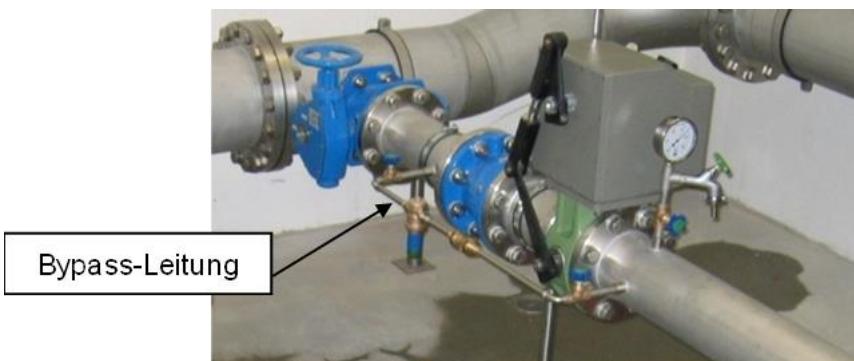
Möglichst direkt vor und nach der Pumpe eingesetzt, stellen diese sicher, dass die Pumpe spannungsfrei an die Rohrleitung angeschlossen werden kann. Es müssen daher Ausbaustücke eingesetzt werden, welche in einer beliebigen Längsposition fixiert werden können.



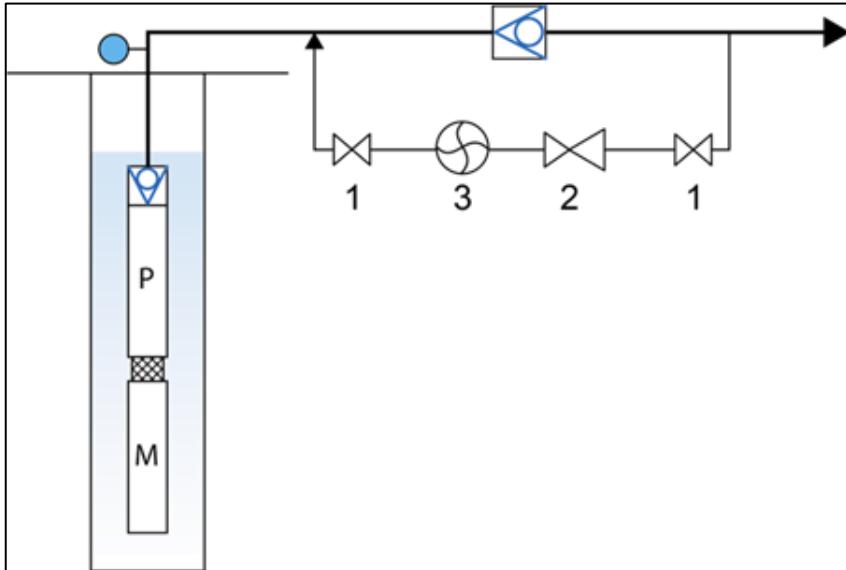
**Abbildung 71 Ausbaustück**

### Rückführende Bypass-Leitung

Die Bypass Leitung ist erforderlich, wenn zwei Rückflussverhinderer in Serie geschaltet eingebaut werden. Damit wird sichergestellt, dass der zweite «untenliegende» Rückflussverhinderer sauber schliessen kann beim Stoppvorgang der Pumpe, auch wenn der «obenliegende» Rückflussverhinderer schneller schliesst.



**Abbildung 72 Bypass-Leitung**



**Abbildung 73 Bypass-Leitung, schematische Darstellung**

Legende:

1. Kugelhahn
2. Druckreduzierventil (1 bar Ausgangsdruck)
3. Durchflussanzeige (optisch)

Bei Installationen mit einer Drosselklappe, um die Pumpe an-/abzufahren, ist die Bypass-Leitung um beide Armaturen zu legen. (Siehe Abb. 66)

### 9.2.2 Antrieb - Asynchron Drehstrommotor

Diese Bauform wird sowohl in der Schweiz als auch weltweit am häufigsten als Antrieb von Kreiselpumpen eingesetzt.



**Abbildung 74 Asynchron Drehstrommotor (Quelle: ABB)**

Konstruktionsbedingt weisen diese in Abhängigkeit der Polzahl und der Netzfrequenz eine fixe Drehzahl auf. Der physikalische Zusammenhang zwischen Polzahl und Netzfrequenz ist wie folgt:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \frac{\text{min}}{\text{s}}$$

Legende:

n	Synchondrehzahl	[min <sup>-1</sup> ]
f	Netzfrequenz	[Hz]
p	Polpaarzahl	[ - ] (4 Pole = 2 Polpaare)

Um ein nutzbares Drehmoment an der Motorwelle zu erzeugen, benötigt das induzierte Magnetfeld des kurzgeschlossenen Rotors einen «Schlupf» im Verhältnis zum elektrischen Magnetfeld des Stators. Daher fällt die Asynchrondrehzahl = Nenndrehzahl tiefer aus als die Synchondrehzahl.

Polzahl des Antriebs	Synchondrehzahl	Asynchrondrehzahl = Nenndrehzahl
<b>2 – Pole</b>	3000 min <sup>-1</sup>	<b>2900 min<sup>-1</sup></b>
<b>4 – Pole</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>1450 min<sup>-1</sup></b>
<b>6 – Pole</b>	1000 min <sup>-1</sup>	<b>950 min<sup>-1</sup></b>
<b>8 – Pole</b>	750 min <sup>-1</sup>	<b>720 min<sup>-1</sup></b>

**Tabelle 10 Drehzahlen von Asynchron Drehstrommotoren im 50 Hz Netz**

Beim Betrieb mit Frequenzumformer FU ist der Antrieb (sicher ab Baugrösse 280) mit mindestens einem stromisolierten Lager auszurüsten, um durch den Frequenzumformer induzierte Gleichspannungen zu unterbrechen und damit Lagerschäden vorzubeugen.

Bei sehr tiefen Drehzahlen (< 20 Hz) ist spezifisch der Einsatz eines Fremdlüfters zu prüfen, da der Lüfter auf dem Motor nicht mehr die erforderliche Kühlleistung erbringen kann.

Die anfallende Abwärme der Antriebe ist bei der Projektierung eines Pumpsystems zu berücksichtigen. Der Einsatz von wassergekühlten Antrieben kann fallweise eine Lösung darstellen.

Beim Startvorgang des Asynchron Drehstrommotors wird konstruktionsbedingt (Magnetisierung, Induktion) kurzzeitig ein Anlaufstrom [ $I_A$ ] benötigt, welcher dem 6–9-fachen des Nennstroms [ $I_N$ ] entspricht. Dies führt unter anderem zu einer starken thermischen Belastung der Statorwicklung und deren Isolation. Daher hat ein zu häufiges Ein- und Ausschalten des Antriebs einen Kurzschluss in der Wicklung zur Folge.

Es ist darum steuerungsseitig sicherzustellen, dass folgende Schalthäufigkeit leistungsabhängig nicht überschritten wird.

Nennleistung P <sub>2M</sub>	Maximale Schalthäufigkeit pro Stunde (gleichmäßig verteilt)
<b>Bis 15 kW</b>	10/h
<b>Bis 30 kW</b>	7/h
<b>Bis 75 kW</b>	5/h
<b>Grösser 75 kW</b>	3/h

**Tabelle 11 Maximale Schalthäufigkeit pro Stunde in Abhängigkeit der Nennleistung P<sub>2M</sub>**

Die Statorwicklung ist vor einer unzulässigen Überhitzung zu schützen. Folgende, gebräuchliche, Schutzmassnahmen stehen zur Verfügung:

Bezeichnung	Beschreibung
<b>Motorschutzschalter</b>	Schützt den Antrieb bedingt gegen Schäden. Ist immer in die Steuerung einzubauen. Keine direkte Überwachung der Wicklungstemperatur, überwacht die Stromaufnahme.
<b>Wicklungsthermostat (Klixon)</b>	In der Statorwicklung eingebaute Bimetall-Schalter. Einfache Auswertung in der Steuerung. Verlässlicher Schutz.
<b>Kaltleiter (PTC)</b>	In der Statorwicklung eingebaute, temperaturabhängige Widerstände. Auswertegerät in der Steuerung erforderlich. Verlässlicher Schutz.
<b>PT100</b>	In der Statorwicklung eingebaute, linear zur Temperatur ändernde Widerstand. Auswertegerät in der Steuerung erforderlich. Anzeige der aktuellen Temperatur möglich. Verlässlicher Schutz.

**Tabelle 12 Temperaturüberwachung der Statorwicklung**

Die Aufstellhöhe über Meer des Antriebs ist zu berücksichtigen, da mit zunehmender Höhe die Dichte der Umgebungsluft sinkt und damit auch die Kühlwirkung der Lüfterflügel. Darum muss der Antrieb in grosser Höhe entsprechend überdimensioniert werden, um diesem Effekt Rechnung zu tragen.

Aufstellhöhe m.ü.M	Korrekturfaktor für die Auswahl der Nennleistung $P_{2M}$
<b>1000</b>	1.00
<b>1500</b>	1.02
<b>2000</b>	1.05
<b>3000</b>	1.09

**Tabelle 13 Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Aufstellhöhe m.ü.M.**

### 9.2.3 Elektrische Startvorrichtung (Anlassverfahren)

Der 6-9-fache Anlaufstrom des Antriebs kann im elektrischen Netz zu einer unzulässigen Belastung führen, wenn es nicht explizit dafür ausgelegt wurde. Daher existieren die nachfolgend beschriebenen Startvorrichtungen (Anlassverfahren), um diesem Effekt Rechnung zu tragen.

#### Direktanlauf

- Antriebe bis 3.6 kW (P1M) dürfen in der Schweiz direkt gestartet werden.
- Die Steuerung schliesst dabei den Antrieb unmittelbar nach dem Startbefehl an das elektrische Netz an.
- Der Antrieb nimmt dabei während dem Hochfahrvorgang den vollen Anlaufstrom [IA] auf.
- Höhere Leistungen dürfen nur nach Rücksprache mit dem lokalen Elektrizitätswerk direkt gestartet werden.

### **Stern/Dreieck-Anlauf**

- Früher häufig, heute eher selten eingesetzt.
- Der Antrieb wird in Sternschaltung hochgefahren und dann in Dreieckschaltung umgeschaltet.
- Die Leistungsaufnahme und das Drehmoment des Antriebs wird in der Sternschaltung um den Faktor  $\sqrt{3}$  reduziert. Damit verbunden fällt auch der Anlaufstrom entsprechend tiefer aus (Gültig für Wicklungen die für 400/690V ausgelegt sind).

### **Softstarter / Sanftanlauf**

- Am häufigsten eingesetzte Startvorrichtung.
- Basiert auf einer Phasenanschnitt-Steuerung, welche, mittels Leistungselektronik, das Drehmoment des Antriebs reduziert, damit verbunden fällt auch der Anlaufstrom entsprechend tiefer aus.
- Relevante Parameter für den Start eines Antriebs mit einer Kreiselpumpe:
  - Spannungsgeführter Startvorgang, womöglich mit Stromgrenze (= 3 bis 4 • IA)
  - Startspannung mindestens 55% der Nennspannung
  - Leistungselektronik nach dem Hochfahrvorgang überbrückt
  - «Freier Auslauf», um die Pumpe auszuschalten (Stoppvorgang)
  - Maximale Anlaufzeit für Pumpen mit Segmentlager = 2 Sekunden
- Die Startvorrichtung dient dazu den Anlaufstrom zu begrenzen, nicht als hydraulische Druckschlagdämpfung.

### **Frequenzumformer (FU)**

- Eingesetzt bei einer Betriebsweise, welche eine variable Drehzahl erfordert.
- Geeignete Startvorrichtung um grössere Leistungen mit Notstromgruppen zu starten.
- Der Frequenzumformer verfügt über einen Gleichrichter und einen anschliessenden Wechselrichter, welcher aus dem Gleichstrom im Zwischenkreis einen sinusähnlichen Strom und Spannung in der gewünschten Frequenz bildet.
- Der Frequenzumformer erzeugt konstruktionsbedingt Transiente (Spannungsspitzen) und Gleichspannungen auf der Ausgangsseite und Oberwellenanteile auf der Netzseite. Deren Umfang und Eignung für den Antrieb und das elektrische Netz sind während der Auslegung zu prüfen und gegebenenfalls Abhilfemaßnahmen vorzusehen.
- Frequenzumformer erlauben bei entsprechender Auslegung auch einen Betrieb über 50 Hz, dabei ist bei der Auslegung unter anderem das erforderliche Drehmoment zu beachten.
- Bei der Auslegung eines Frequenzumformers sind diesen Umständen entsprechend Rechnung zu tragen und allfällige erforderliche Massnahmen vorzusehen:
  - «trocken» aufgestellte Antriebe können (je nach Herstellerangaben) ohne Filter betrieben werden, wenn die Leitungslänge sehr kurz ist (einige Meter) und mittels einem «symmetrischen, abgeschirmten» Kabel, mit beidseitig niederohmig geschlossenem Schirm auf Erde, ausgeführt wird. (stromisolierte Lager siehe Kap. Antriebe)
  - bei Unterwassermotorpumpen UWP, mit entsprechend längeren Leitungslängen, ist immer ein Sinusfilter vorzusehen. Der Sinusfilter reduziert Spannungsspitzen und sorgt dafür, dass die an den Motor gelieferte Spannung eine möglichst glatte Sinuskurve hat, was den Motor schützt und die Lebensdauer verlängert.

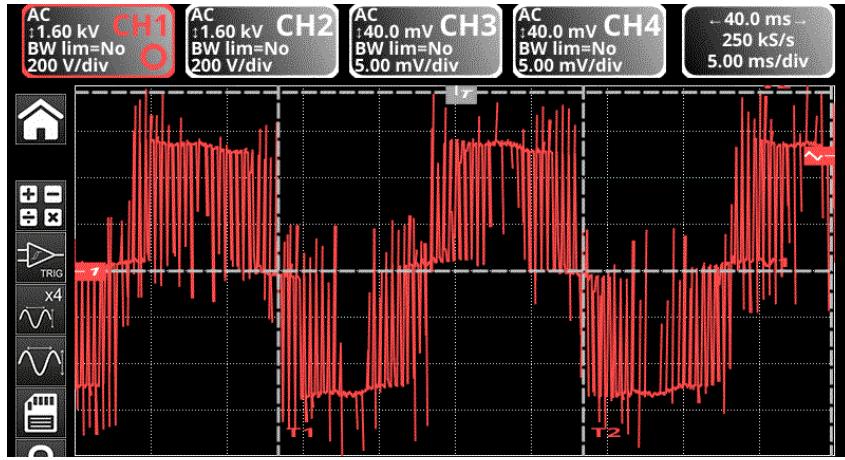


Abbildung 75 Sinus der Spannung nach einem Frequenzumformer, ohne Filter

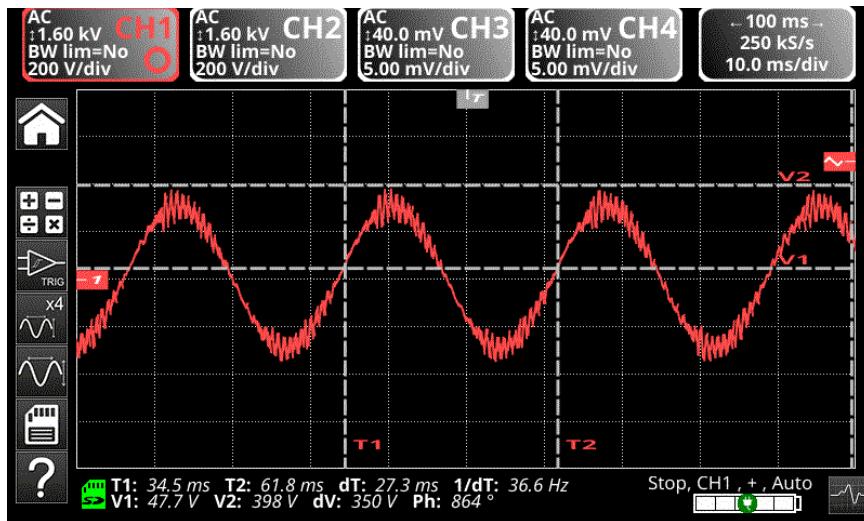


Abbildung 76 Sinus der Spannung nach einem Frequenzumrichter und einem Sinusfilter

Es kommen zwei unterschiedliche Technologien von ausgangsseitigen Filtern zum Einsatz, die Abwägung, ab wann der wirkungsvollere Sinusfilter eingesetzt werden soll, ist komplex. Daher wird empfohlen mit dem Hersteller vom Motor und des Frequenzumformers den möglichen Einsatz eines Sinusfilter abzuklären, wenn die Notwendigkeit eines Filters installationsbedingt, erforderlich ist.

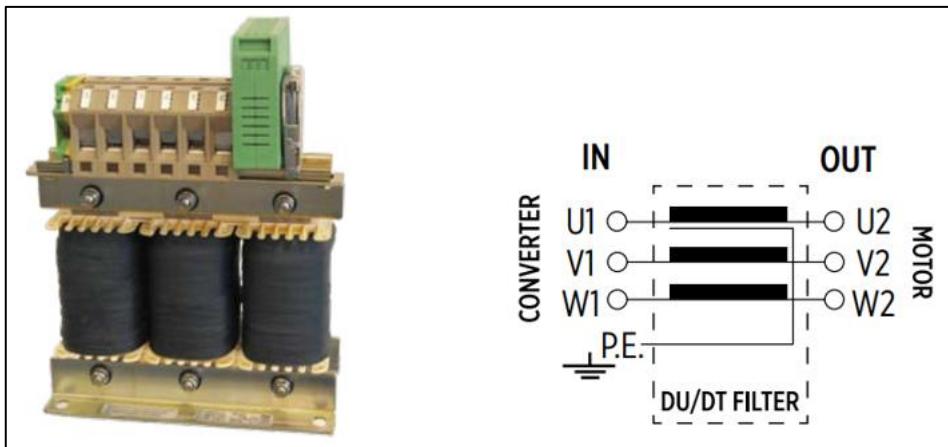


Abbildung 77 dV/dt-Filter, bestehend aus drei Spulen (Quelle: Franklin electric)

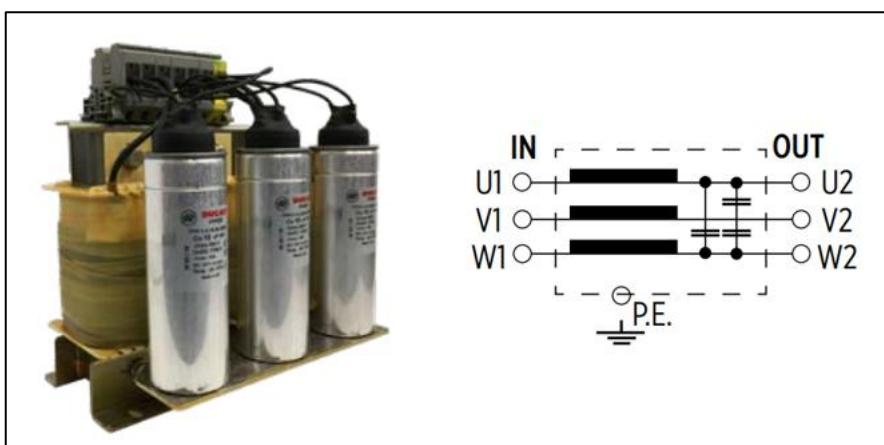


Abbildung 78 SinusFilter, bestehend aus drei Spulen und drei Kondensatoren (Quelle: Franklin electric)

Bei den vorstehend aufgezählten Verfahren (Direktstart, Stern/Dreieck-Anlauf und Softstarter/Sanftanlauf) bezieht der Antrieb konstruktionsbedingt Blindleistung während dem Pumpvorgang. Diese ist ab einer gewissen Schwelle zusätzlich zur Wirkleistung kostenpflichtig (häufig, wenn  $\cos \phi < 0.92$ ). Darum ist in den betroffenen Steuerungsanlagen eine **Blindleistungs-Kompensationsanlage** (Kondensatoren) zu installieren. Beim Einsatz von Frequenzumformern FU, kann darauf verzichtet werden, da dies direkt im Gerät selbst kompensiert wird.

Pumpen mit Segmentlager (UWP und gewisse Bohrlochwellenpumpen) müssen beim Startvorgang innerhalb 2 Sekunden mindestens auf mindestens 60% der Nenndrehzahl beschleunigt werden. Falls für den Stoppvorgang kein freier Auslauf vorgesehen wird, ist bei der Verzögerung die gleiche Zeit einzuhalten.

## **9.3 Hygienisch geeignete Materialien**

Es ist sicherzustellen, dass bei der Neuerrichtung oder Instandhaltung von Pumpensystemen nur Werkstoffe und Materialien verwendet werden, die für den Einsatz in direktem oder indirektem Kontakt mit Trinkwasser geeignet sind.

Alle Anlagenteile, die in Kontakt mit Trinkwasser kommen, müssen eine lebensmittelrechtlich zulässige Zusammensetzung aufweisen. Das bedeutet:

- Die Abgabe von Fremdstoffen aus den Materialien an das Trinkwasser beschränkt sich auf unvermeidliche Stoffe und Stoffmengen.
- Die Migrationslimiten für Trinkwasser sind eingehalten.
- Es findet weder eine gesundheitsrelevante noch eine geruchliche oder geschmackliche Beeinträchtigung statt.
- Das Material verursacht keine Verkeimungsprobleme.
- Die Konformität der verwendeten Produkte mit den Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung ist durch eine SVGW-Zertifizierung (gemäß Reglement ZW116) nachgewiesen oder durch eine andere Lieferanten-Bescheinigung nach gleichwertigen Qualitätskriterien.

## **9.4 Grundsätzliches zur Ausführung von Pumpwerken**

Die nachfolgenden Informationen und Hinweise haben direkten Einfluss auf die einwandfreie Funktion des Pumpsystems. (siehe auch Kap. 9.2)

- Bei jeder installierten Kreiselpumpe ist möglichst direkt zulauf- und druckseitig je ein Manometer und/oder Drucktransmitter zu installieren. (siehe Kap. 9.2)
- Die Kreiselpumpen sind, wenn immer möglich mit Zulaufdruck zu betreiben.
- Die Strömungsgeschwindigkeit in der Saug-/Zulaufleitung sollte  $< 1 \text{ m/s}$  betragen.
- Die Strömungsgeschwindigkeit in der Druckleitung sollte  $1.0 - 2.5 \text{ m/s}$  betragen.
- In der Zulaufleitung sollte eine Beruhigungstrecke von  $5x D$  vorliegen.
- Krümmer unmittelbar vor dem Eintritt (und Austritt) der Pumpe vermeiden.
- Mehrfachkrümmer und Raumkrümmer auf der Sag-/Zulaufseite unbedingt vermeiden.
- Krümmer-Radius mindestens  $r = 3D$
- Jegliche Hochpunkte des Leitungsverlaufs im Pumpwerk verhindern.
- Pumpen müssen spannungsfrei an die Druck- und Saugleitung angeschlossen werden bzw. müssen mindestens die Herstellervorgaben eingehalten werden.

### **9.4.1 Abstützungen von Rohrleitungen**

Pumpenstutzen (Saug- und Druckseite) sind nicht geeignet, um statische und dynamische Kräfte des Rohrleitungssystems aufzunehmen. Wird dies nicht berücksichtigt treten häufig unzulässige Schwingungen und Folgeschäden daraus auf (Risse in Gehäuseteilen, Lagerschäden, defekte Wellenabdichtungen, etc.).

- Neben der Ermittlung der statischen Kräfte sind die dynamischen Kräfte, speziell im Bereich von Krümmern (Umlenkung), zwingend zu berechnen und die Abstützungen entsprechend zu dimensionieren.

- Beispiel:  $Q = 80 \text{ l/s}$ ,  $H = 100 \text{ m}$  umgelenkt in einem  $90^\circ$  3-D Krümmer mit Nennweite DN250 ergibt eine dynamische Kraft  $F_{\text{RES}}$  von 49 kN ( $\approx 5$  Tonnen)!

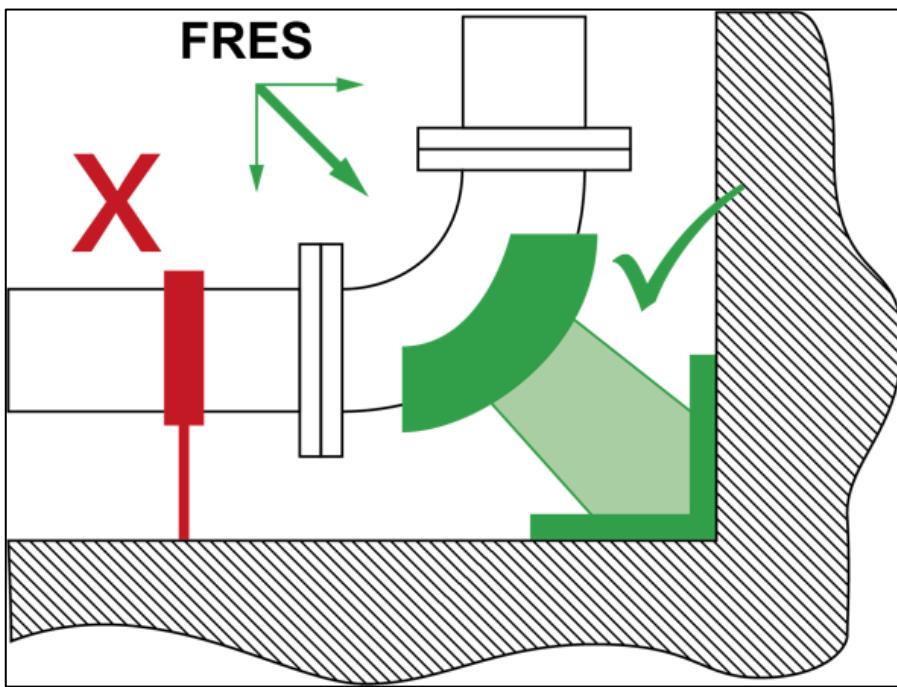


Abbildung 79 Abstützungen von Rohrleitungen

Für das Rohrleitungssystem wird die Erstellung eines Kräfteplans empfohlen. Daraus können die Kräfte abgeleitet und die Abstützungen im Pumpensystem entsprechend dimensioniert werden. Ebenso wird daraus unter anderem ersichtlich, ob Pumpen mit einem Kompensator an die Rohrleitung angeschlossen werden müssen.

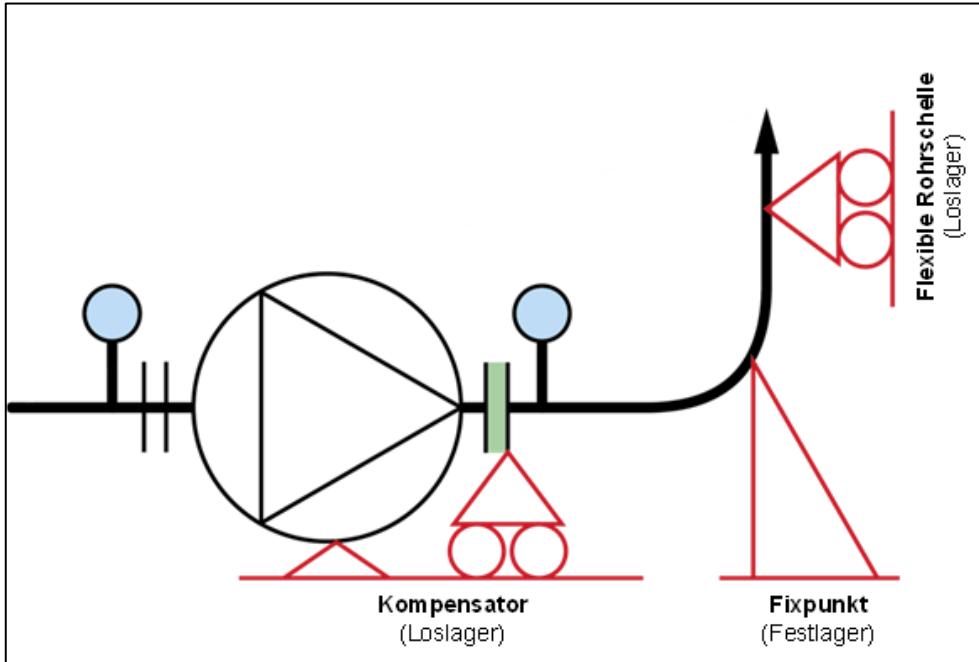


Abbildung 80 Kräfteplan eines Rohrleitungssystems

Die Berechnungen der Kräfte und deren Lagerung/Abstützung ist komplex, daher wird empfohlen dies durch eine entsprechende Fachperson durchführen zu lassen.

#### 9.4.2 Korrosionsschutz

Im Zuge der Projektierung eines Pumpwerks sollte ebenfalls ein «Erdungs- und Korrosionsschutzkonzept» erstellt werden, welches unter anderem darüber Auskunft gibt, welche Massnahmen getroffen werden, um unzulässige Stromflüsse, zwischen unterschiedlichen Werkstoffen, zu unterbinden und damit auch diesbezüglicher Korrosion vorzubeugen.

Punkte, welche dabei, unter anderem, zu berücksichtigen sind:

- Der Antrieb, meist mit der Pumpe elektrisch leitend verbunden, muss komplett getrennt von allen anderen Anlagebestandteilen geerdet werden.
- Alle unterschiedlichen Werkstoffe im Pumpwerk sind elektrisch voneinander getrennt, pro Materialgruppe an ein separates Erdungspotential angeschlossen und ggf. über eine Abgrenzeinheit miteinander verbunden.
- Wenn möglich sollten gleichartige Werkstoffe verbaut werden.

Die Aufzählung ist keinesfalls abschliessend und allgemeingültig, da es verschiedene Konzepte gibt, um den Korrosionsschutz herzustellen.

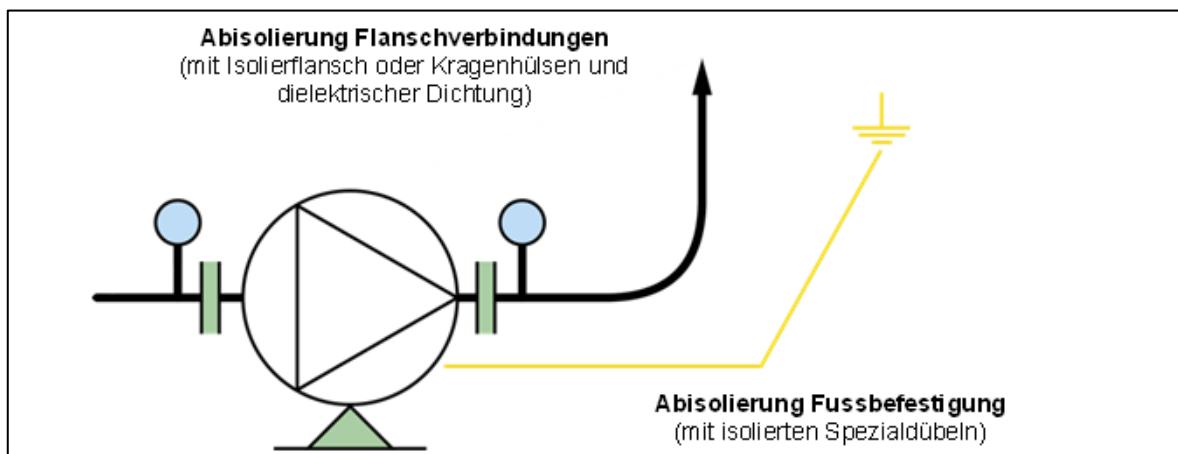


Abbildung 81 Elektrische Trennung eines Kreiselpumpenaggregats im Rohrleitungssystem



Abbildung 82 Elektrische Verbindung gleichartiger Werkstoffe (Chromstahlleitungen)

#### Gleichartige Werkstoffe verbauen:

Bei der Ausrüstung von Grundwasserpumpwerken mit Unterwassermotorpumpen, ist darauf zu achten, dass in einen neuen Brunnen, in welchem die Filter- und Vollrohre, so-wie die Steigleitung aus Chromstahl gefertigt sind, keine Graugusspumpen eingebaut werden, sondern Chromstahlgusspumpen.

Das gleiche gilt umgekehrt für ältere Brunnen.

Sollte dies nicht möglich sein, muss entsprechend dem jeweiligen Erdungs- und Korrosionsschutzkonzept eine Materialgruppe isoliert und über eine Abgrenzeinheit geführt werden.

### 9.5 Spezifisches zur Ausführung von Pumpwerken

Bei der Projektierung von Pumpsystemen in Grundwasserpumpwerken und Seewasserwerken sind spezifische, wichtige Rahmenbedingungen zu beachten, welche nachstehend oberflächlich erläutert werden.

#### 9.5.1 Grundwasserpumpwerk

- Die Einbaulage der Pumpen muss auf die Lage der Filterstrecke abgestimmt werden.
- Der Ansaugbereich der Pumpe darf nie in der Filterstrecke liegen, da lokal hohe Strömungsgeschwindigkeiten den Filter nachhaltig beschädigen können.
- In Abhängigkeit der Antriebsleistung und der technischen Ausführung des Antriebs muss eine minimale Fliessgeschwindigkeit von 0.3 – 0.5 m/s aussen am Motormantel vorliegen um diesen ausreichend zu kühlen.
- Wenn diese minimale Fliessgeschwindigkeit nicht eingehalten werden kann, ist die Pumpe (UWP) mit einem sogenannten Strömungsmantel auszurüsten.
- Wenn mehrere Pumpen im gleichen Brunnen parallel laufen, sind diese in der Höhe versetzt anzuordnen.

- Es existieren spezielle Antriebe, welche auf keine Fließgeschwindigkeit außen am Motormantel zur Kühlung angewiesen sind.
- Grundwasserbrunnen sind nie völlig lotrecht. Es ist daher im Einzelfall zu prüfen, ob und wie die Pumpen bei den effektiv vorliegenden Abmessungen des Brunnens eingebaut werden können.

### 9.5.2 Seewasserwerk (Entnahmehbauwerk)

- Für die Anwendung der Seewasserentnahme ist speziell der Thematik der Wanderingmuscheln und auch der Quaggamuschen Beachtung zu schenken.
- Neben der Strategie der Bewirtschaftung/Reinigung der Fassungsrohre müssen auch Aspekte der Pumpen beachtet werden:
  - Der einfache Zugang zu den Pumpen für eine allfällige Wartung soll gewährleistet sein.
  - Falls eine periodische Spülung der Pumpe mit einem Medium vorgesehen ist, das das Muschelwachstum reduziert/verhindert, ist dies bereits bei der Spezifikation der Pumpe hinsichtlich der Materialverträglichkeiten zu berücksichtigen.
  - Eine Drucküberwachung vor der Pumpe signalisiert den Widerstand, welcher durch den Muschelbefall verursacht wird, bevor die Pumpe im Bereich der Kavitation betrieben wird.

## 9.6 Einbindung einer Kreiselpumpe in das Leitsystem

Aktuelle Leitsysteme bieten viele Möglichkeiten zur Aufzeichnung, Speicherung und Auswertung von Daten. Bereits bei der Projektierung eines Pumpsystems soll festgelegt werden, welche Parameter der Pumpsysteme auf das Leitsystem übertragen und dort aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Gründe, warum die Erfassung, Übermittlung, Aufzeichnung und Auswertung von Betriebsparametern des Pumpsystems, im Leitsystem, relevant sind:

- Um den Zustand des Pumpsystems zuverlässig und kontinuierlich zu erfassen.
- Um allfällige Abweichungen rasch und zielgerichtet beurteilen zu können.
- Um für zukünftige Möglichkeiten (Predictive Maintenance, KI, Industrie 4.0, ...) bereits die Grundlage zur Verfügung zu haben.

Aus Gründen der Resilienz (Betriebssicherheit, Verfügbarkeit und Cybersecurity) des Pumpsystems ist es wichtig, dass die Daten, deren Bearbeitung und die daraus abgeleiteten Manipulationen im eigenen Leitsystem der Wasserversorgung erfolgen und nicht an Drittsysteme übergeben werden.

### 9.6.1 Erfassung und Übertragung von Parametern

Folgende Parameter eines Pumpsystems sollten erfasst und an das Leitsystem übertragen werden:

- Ein- und Ausschaltvorgänge, ab der Startvorrichtung
- Volumenstrom Q, ab dem MID
- Drücke saug- und druckseitig der Pumpe, ab den Drucktransmittern (Differenzdruck)
- Phasenströme I, ab der Pumpensteuerung oder Startvorrichtung
- Frequenz f, ab dem Frequenzumformer, falls vorhanden
- Fehlermeldungen und Störungen, ab der Pumpensteuerung oder Startvorrichtung

- Spannungen U und Leistungsfaktor  $\cos\varphi$ , in Priorität 2

### 9.6.2 Parameterbasierte Aussagen zum Zustand des Pumpsystems

Wenn das Leitsystem die entsprechende Logik abbildet, können daraus beispielsweise folgende Aussagen über den Zustand der Pumpe gewonnen werden: (nicht abschliessend):

#### Kontinuierliche Effizienzüberwachung

- Die Pumpe hat dazu periodisch in einem konstanten Betriebszustand (nachts, bei 50Hz) zu laufen.
- Aus dem Volumenstrom Q, der Druckdifferenz  $\Delta p/H_{mano}$  und der elektrischen Leistungsaufnahme  $P_{1M}$ , wird der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{tot}$  berechnet und mit dem Auslegungswert verglichen.
- Sobald eine zu definierende Abweichung vorliegt, erfolgt eine Meldung und daraus können Aktionen zur Beurteilung und ggf. Instandstellung ausgelöst werden.
- Viele mechanische und elektrische Probleme des Pumpaggregats führen zu einer Reduktion des Wirkungsgrades. Probleme können so frühzeitig erkannt werden.
- Der effiziente Betrieb der Pumpsysteme ist so jederzeit sichergestellt und die Betriebssicherheit damit deutlich erhöht.

#### Verschleiss an der Pumpe vs. veränderte Rohrleitungsnetz-Charakteristik

- Die Pumpe hat dazu periodisch in einem konstanten Betriebszustand (nachts, bei 50Hz) zu laufen.
- Ist der Volumenstrom Q und die Druckdifferenz  $\Delta p/H_{mano}$  konstant, weist einerseits die Pumpe keinen Verschleiss auf und der durchströmte Netzteil zeigt auch keine Anomalien.
- Verändert sich das Verhältnis Volumenstrom Q und Druckdifferenz  $\Delta p/H_{mano}$ , werden weitere Betriebspunkte bei tieferen Drehzahlen gemessen. Daraus kann anhand eines Vergleichs mit Vorgabewerten festgestellt werden, ob die Ursache für die Veränderung am Verschleiss an der Pumpe, oder einer Anomalie im durchströmten Netz liegt (bedingt einen Frequenzumformer im System).

Viele weitere Aussagen lassen sich aus den empfohlenen Parametern ableiten, welche massgeblich zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit des Pumpsystems beitragen.

## 9.7 Betriebsweise / Betriebskonzept

Im Zuge der Projektierung muss die Betriebsweise konkretisiert werden, so dass bei der anschliessenden Ausschreibung alle Rahmenbedingungen festgelegt sind.

Es empfiehlt sich, die Anforderungen an das Pumpsystem für die Unternehmerausschreibung mit möglichst viel Spielraum, hinsichtlich der hydraulischen Parameter Q/H zu formulieren. Ansonsten besteht das Risiko, dass keine Pumpen angeboten werden, welche im optimalen Wirkungsgradbereich  $\eta_{opt}$  laufen. Dies kann zum Beispiel erreicht werden, indem man der Ausschreibung eine Systemkennlinie mit einer gewissen Bandbreite beim Volumenstrom Q beilegt.

### 9.7.1 Betriebsweise «komplett über das Reservoir» (Pumpen laufen nachts) - klassisch

Diese herkömmliche und bewährte Betriebsweise ist vor allem für kleine Pumpwerke geeignet. Sie hat den Vorteil, dass auf Basis von konstanten Druckbedingungen eine optimal

laufende Pumpe ausgelegt werden kann ( $\eta_{opt}$ ). Ein weiterer Grund für diese Betriebsweise war in vielen Fällen bis anhin auch der wirtschaftliche Grund, dass «Nachtstrom» zum Niedertarif günstiger war, dieser Umstand ändert sich jedoch zunehmend mit der Liberalisierung des Marktes. Siehe dazu auch Kapitel 8.2.

### 9.7.2 Betriebsweise «Energiegeführter Betrieb» (Pumpen laufen unabhängig von der Tageszeit)

Wie im Kapitel 8.3. erläutert hat diese Betriebsweise das primäre Ziel den Energie- und Kostenaufwand für die Bewirtschaftung des Reservoirs mit Pumpen so weit wie möglich zu reduzieren. Erfahrungen und Hochrechnungen zeigen, dass das Potential dafür, im Vergleich zur Betriebsweise «komplett über das Reservoir» deutlich im zweistelligen Prozentbereich liegen kann. Die Umsetzung solcher Konzepte ist komplex und individuell, da jede Wasserversorgung andere Voraussetzungen und Umgebungsbedingungen aufweist.

Es gibt keinen allgemeingültigen Ansatz, was die Umsetzung eines «energiegeführten Betriebes» alles beinhaltet. Im Folgenden werden anhand eines Beispiels einige Möglichkeiten aufgezeigt:

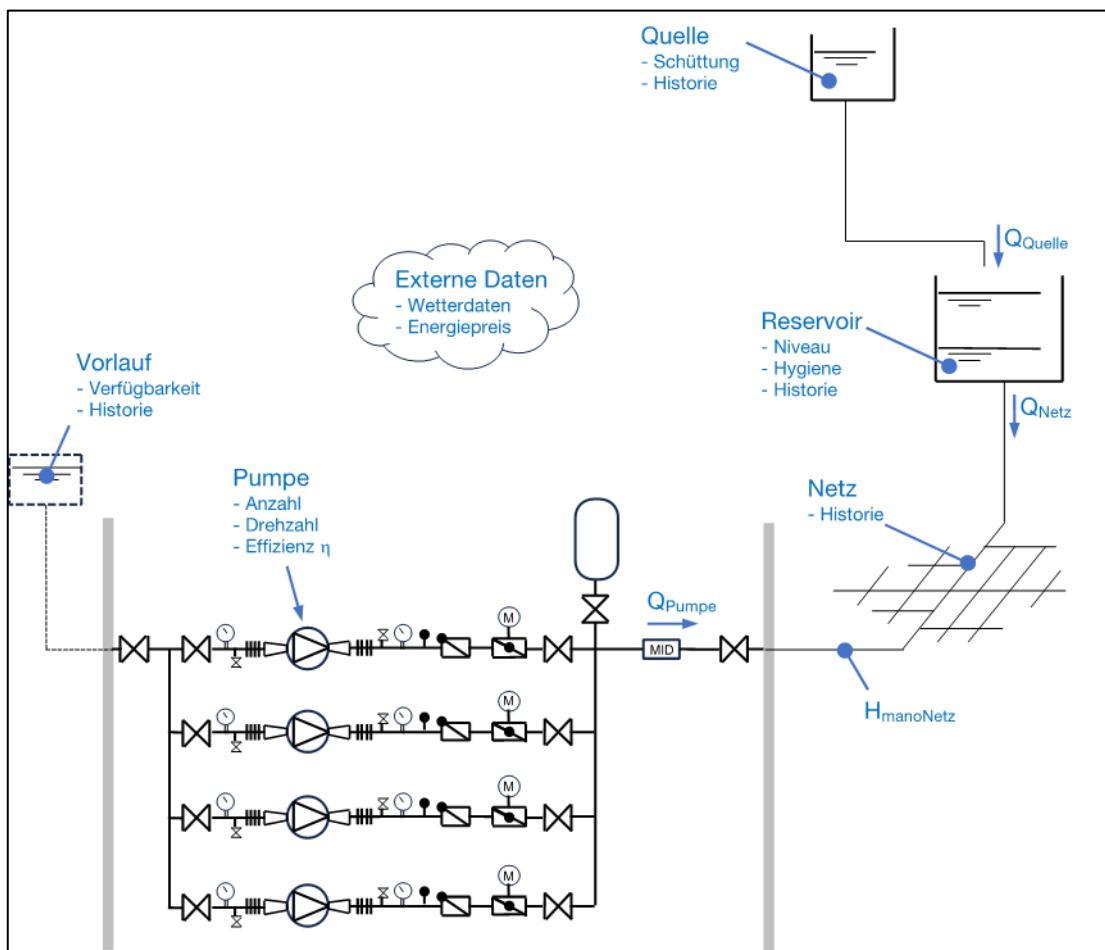


Abbildung 83 Modelldarstellung «Energiegeführter Betrieb», Pumpen laufen unabhängig von der Tageszeit

Ein «Energiegeführter Betrieb», kann folgende Funktionen umfassen (zunehmende Komplexität):

- Die drehzahlgeregelten Pumpen haben druckabhängig  $H_{manoNetz}$  einen definierten Drehzahlbereich, welcher sicherstellt, dass die Pumpe(n) bei BEP läuft. Der Volumenstrom  $Q$  ist dabei untergeordnet. Anhand des voraussichtlichen Tagesganges

(Netz Historie) und dem Reservoir Niveau, Hygiene (Stagnation) wird festgelegt, welchen Anteil des Volumenstromes Q die Pumpen direkt ins Netz fördern und welchen Teil ins Reservoir. Ziel dabei: möglichst lange mit möglichst wenig Pumpen auf möglichst geringer Drehzahl das Netz direkt bewirtschaften ->  $H_v$  im Netz geringhalten. Das Reservoir dabei auf, aus hygienischer Sicht, notwendiges Niveau absenken und dann nur auf minimal erforderliches Niveau befüllen. Dabei nur Pumpen, wenn das Wasser nicht aus einem höherliegenden Energieniveau bezogen werden kann (Quellen).

- Das Modell berechnet den effizienten Betriebspunkt (Drehzahl) der Pumpe(n) kontinuierlich selbst, aus  $Q/H$  und Energieverbrauch =  $E_{tot}$ , und vergleicht diesen laufend mit Vorgabewerten, um allfällige Anomalien an der Pumpe frühzeitig zu lokalisieren.
- Je nach Prognosedaten und Historie kann das Reservoir so bewirtschaftet werden, dass, neben der optimierten Betriebsweise, günstige Energie vom Spotmarkt zum Einsatz gelangt. Ziel dabei: Es wird vor allem dann gepumpt, wenn günstige Energie verfügbar ist und entsprechend automatisiert eingekauft wurde. («Kosten geführter Betrieb»)

Unabhängig von der Ausprägung der Algorithmen ist es zwingend erforderlich, dass die Versorgung mit einfachsten Massnahmen auf einen «klassischen Handbetrieb» umgestellt werden kann, damit die Versorgungssicherheit in jedem Fall gewährleistet ist.

#### **Hinweis zur Drehzahlregelung, Synchronregelung oder Folgeregelung**

Es existieren zwei verbreitete Regelarten, um mehrere Pumpen parallel zu betreiben.

**Die Synchronregelung** sieht vor, dass alle betriebenen Pumpen jeweils auf der gleichen Frequenz laufen. Wird mehr oder weniger Förderhöhe bzw. Wasser benötigt erhöhen/senken alle Pumpen gleichzeitig die Drehzahl. Das hat zur Folge, dass sich bei allen baugleichen Pumpen der BEP (Best Efficiency Point) immer auf der gleichen Förderhöhe  $H$  und anteiligem Volumenstrom  $Q$  befindet.

**Die Folgeregelung** sieht vor, dass zuerst eine Pumpe ihre Drehzahl bis auf die Nenndrehzahl erhöht und dann bei steigendem Förderhöhen- bzw. Wasserbedarf eine zweite Pumpe auf tieferer Drehzahl zugeschaltet und Bedarfsabhängig reguliert wird. Das hat zur Folge, dass sich bei allen baugleichen Pumpen der BEP (Best Efficiency Point) nicht auf der gleichen Förderhöhe  $H$  befindet.

Für die Anwendung in der Wasserversorgung, wo eine sogenannte Druckregelung gefahren wird, hat das zur Folge, dass die Folgeregelung für den «Energie geführten Betrieb» nicht geeignet ist, da sie zu ineffizienten Betriebszuständen führt. (siehe auch Kapitel 8.3, Fall 4: «energie geführter Betrieb», Abb. 60 Betriebsbereiche im BEP-Bereich)

Für den «energie geführten Betrieb» ist eine Synchronregelung vorzusehen.

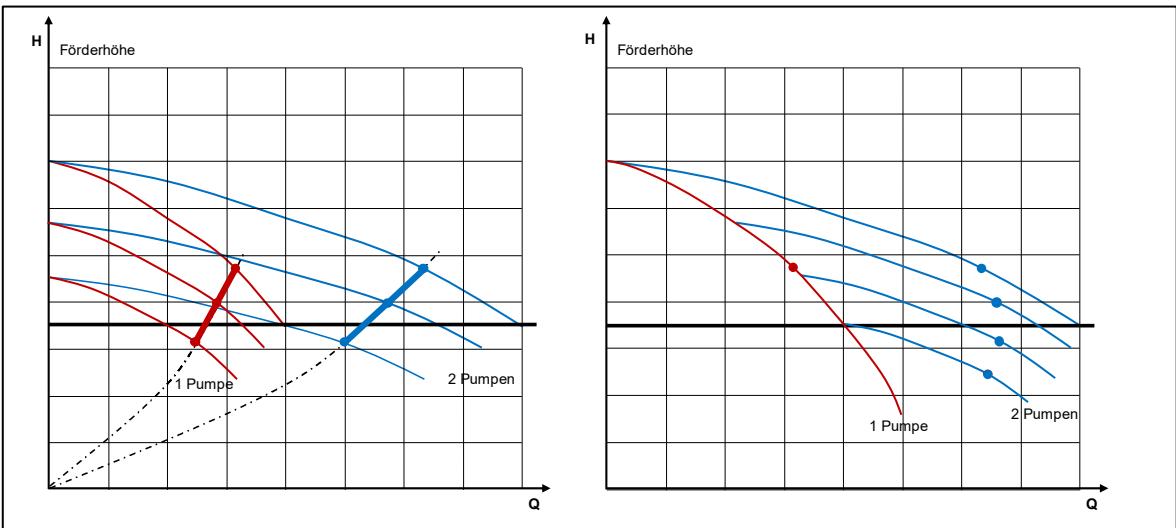


Abbildung 84 Synchronregelung (links) und Folgeregelung (rechts)

## **10 Ausschreibung**

### **10.1 Grundlagen und Ziele der Ausschreibung**

Folgende Grundlagen aus der vorhergehenden Bearbeitungsphase (Kapitel 9: Projektierung) liegen vor:

- Planungsziele und Nutzungsvereinbarung mit Projektingenieur
- Konzept des Fördersystem
- Projekt, Terminplanung und Kostenvoranschlag von Auftraggeber genehmigt
- Bewilligungen für die Ausführung

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Ausschreibungspakete festgelegt
- Ausschreibungsverfahren pro Leistungspaket definiert (Freihändig, Einladungsverfahren, öffentliche Ausschreibung)
- Vergaben erfolgt und Werkverträge abgeschlossen

Im Folgenden werden zur Erstellung der Ausschreibung relevante Aspekte beleuchtet und Empfehlungen formuliert:

### **10.2 Vorgehen zur Unternehmersubmission**

Die Wahl von qualifizierten, geeigneten Planern, Spezialisten und Unternehmern ist entscheidend für den Erfolg des Projektes. Die entsprechenden Submissionen sind daher von grosser Wichtigkeit. Es lohnt sich daher in der Regel bereits für diese Phase einen ausgewiesenen Fachmann beizuziehen.

Im Folgenden wird auf die Submission für ein Pumpensystem eingegangen.

Die Wahl und der Ablauf des Verfahrens richten sich nach den Vorgaben für das öffentliche Beschaffungswesen.

Die Eignungs- und Zuschlagskriterien sind bei der Submission vor zentraler Bedeutung. Sie müssen präzis und sachgerecht formuliert sein. Die verwendeten Kriterien müssen den Wettbewerb ermöglichen und dürfen nicht diskriminierend sein. Spätere Nachbesserungen sind nicht zulässig.

#### **10.2.1 Eignungskriterien**

Mit den Eignungskriterien werden, die für die ausgeschriebene Aufgabe geeigneten Bewerber ermittelt.

Die Eignungskriterien beziehen sich auf die Anbieter. Mit den Eignungskriterien wird festgelegt, welche Eigenschaften und Fähigkeiten die Anbieter für die Erfüllung des Auftrages mitbringen müssen. Es sind deshalb objektive Kriterien zur fachlichen, finanziellen, wirtschaftlichen, technischen und organisatorischen Leistungsfähigkeit festzulegen. Referenzobjekte und Referenzauskünfte sind zu benennen. Die Kriterienwahl muss klare «Ja»/«Nein»-Entscheide ermöglichen.

Eignungskriterien sind «Killerkriterien». Nur wenn ein Anbieter alle Eignungskriterien erfüllt, wird das Angebot weiterbearbeitet.

## 10.2.2 Zuschlagskriterien und deren Gewichtung

Die Zuschlagskriterien dienen der Ermittlung des wirtschaftlich günstigsten Angebotes, welches den Zuschlag für die ausgeschriebenen Arbeiten erhält.

Das wirtschaftlich günstigste Angebot wird anhand der Zuschlagskriterien ermittelt. Die Wahl der richtigen Zuschlagskriterien und deren Gewichtung sind für den Projekterfolg entscheiden. So sind tiefe Kosten über die gesamte Gebrauchsduer (LCC, DVGW W618), Qualität, Zweckmässigkeit, Ter-mine, Projektorganisation und Qualifikation der Schlüsselpersonen, wie auch die Analyse der Aufgabenstellung und die Angabe von Referenzen etc. in der Zuschlagsbewertung zu berücksichtigen. Ein klares Bewertungsschema mit Notenskala und Gewichtung ist fest-zulegen.

	Kriterium	Gewichtung
1	Kosten (LCC, DVGW W618, ISO 9906:2012)	30-50 %
2	Qualität (Qualitätsstufen Tab.15)	10-20 %
3	Referenzen ähnlicher Projekte	10-20 %
4	Wartung, Unterhalt und Kundendienstorganisation	10-20%
5	Projektorganisation und Qualifikation / Verfügbarkeit der Schlüsselpersonen	10-20%

**Tabelle 14 Beispiel für Zuschlagskriterien mit Prozent- Bereichen für die Gewichtung**

Die einzelnen Kriterien lassen sich beliebig in weitere Unterkriterien aufteilen. Eine Kostenanalyse ist eine Grundlage für eine vertiefte Bewertung. Wichtig ist eine nachvollziehbare, schriftliche Begründung bei der Nichteignung sowie bei Punkteabzügen bei der Zuschlagsbewertung.

## 10.2.3 Prüfkonzept

Das Prüfkonzept bildet einen integrierenden Bestandteil der Submissionsunterlagen. Dem anbietenden Unternehmen muss schon bei der Ausschreibung der Umfang der zu prüfenden Qualitätsmerkmale bekannt sein.

Im Bereich von Pumpensystemen können spezifische Prüfungen zum Beispiel sein:

- Prüfstandsabnahme der Pumpe nach der Herstellung (bei grösseren Pumpen)
  - Es gibt hierbei begleitete und unbegleitete Prüfstandsabnahmen, bei begleiteten Abnahmen ist der Kunde während der Messung auf dem Prüfstand anwesend.
- Montagekontrolle vor der Inbetriebnahme (Spannungsfreier Anschluss)
- Inbetriebnahme mit Protokollierung aller relevanter elektrischer, hydraulischer und mechanischer Parameter.

## 10.2.4 Vorbereitung Werkverträge

Bei den SIA-Werkverträgen oder dem KBOB-Werkvertrag und den zugehörigen Bestimmungen zum Vergabeverfahren, handelt es sich um Musterdokumente, die eine rationelle Vergabe fördern sollen. Sie gehören zusammen, indem in den Vergabebestimmungen auf den Werkvertrag hingewiesen wird, der Werkvertrag ist auch Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen. Mit der Verwendung der Musterverträge soll die Rechtssicherheit für die Vertragspartner erhöht werden. Geregelt werden unter anderem:

- Die rechtlichen Vorgaben (Leistungsumfang, Vertragsbestandteile, Reihenfolge und Leistungsphasen, Vertragsänderungen etc.)
- Die finanziellen Aspekte (Vergütung, Zahlungsbedingungen und -modalitäten, Teuerung, Versicherungsleistungen, Umgang mit Bestellungsänderungen etc.)
- Die Terminvorgaben zur Leistungserbringung
- Die allgemeinen Vertragsbedingungen (AGB) zum Werkvertrag

## 10.3 Ausschreibung von Kreiselpumpen

Es werden nachstehend, differenziert nach «Beschaffung einer Pumpe für ein neu zu erstellendes Pumpwerk» und «Beschaffung einer Ersatzpumpe» wichtige Faktoren dargestellt, welche jeweils zu berücksichtigen sind. Die Angaben sind weder alleingültig noch vollständig, es ist unerlässlich, dass Fachpersonen in diese Prozesse involviert sind.

### 10.3.1 Einteilung der Kreiselpumpen in Qualitätsstufen

Um einen Betriebspunkt Q/H abzudecken, können verschiedenste Qualitätsausführungen eingesetzt werden. Mit entsprechenden Konsequenzen hinsichtlich Gebrauchsduer, Wartungs-/Revisionsmöglichkeiten und der Verfügbarkeit/Betriebssicherheit.

Nachstehend wird für Schweizer Wasserversorgungen ein Ansatz aufgezeigt, wie häufig eingesetzte Pumpen in Qualitätsstufen eingeteilt und in der Ausschreibung entsprechend spezifiziert werden können.

Bezeichnung	Beschreibung
<b>Industrieausführung</b>	Kostengünstige Ausführung mit den geringsten Qualitätsanforderungen bezüglich Gebrauchsduer und Betriebssicherheit. Wartung ist nur eingeschränkt möglich und Revisionen können nicht sinnvoll durchgeführt werden.
<b>Wasserwerksausführung</b>	Hochwertige Ausführung mit hohen Qualitätsanforderungen bezüglich Gebrauchsduer, Betriebssicherheit und Wartungsmöglichkeiten. Revisionen können durchgeführt werden, sind jedoch teilweise nicht wirtschaftlich.
<b>Schwere Wasserwerksausführung</b>	Höchstwertige Ausführung mit den höchsten Qualitätsanforderungen bezüglich Gebrauchsduer, Betriebssicherheit und Wartungsmöglichkeiten. Revisionen können nach 15-25 Jahren durchgeführt werden und sind wirtschaftlich.

**Tabelle 15 Qualitätsstufen von Kreiselpumpen für Wasserversorgungen**

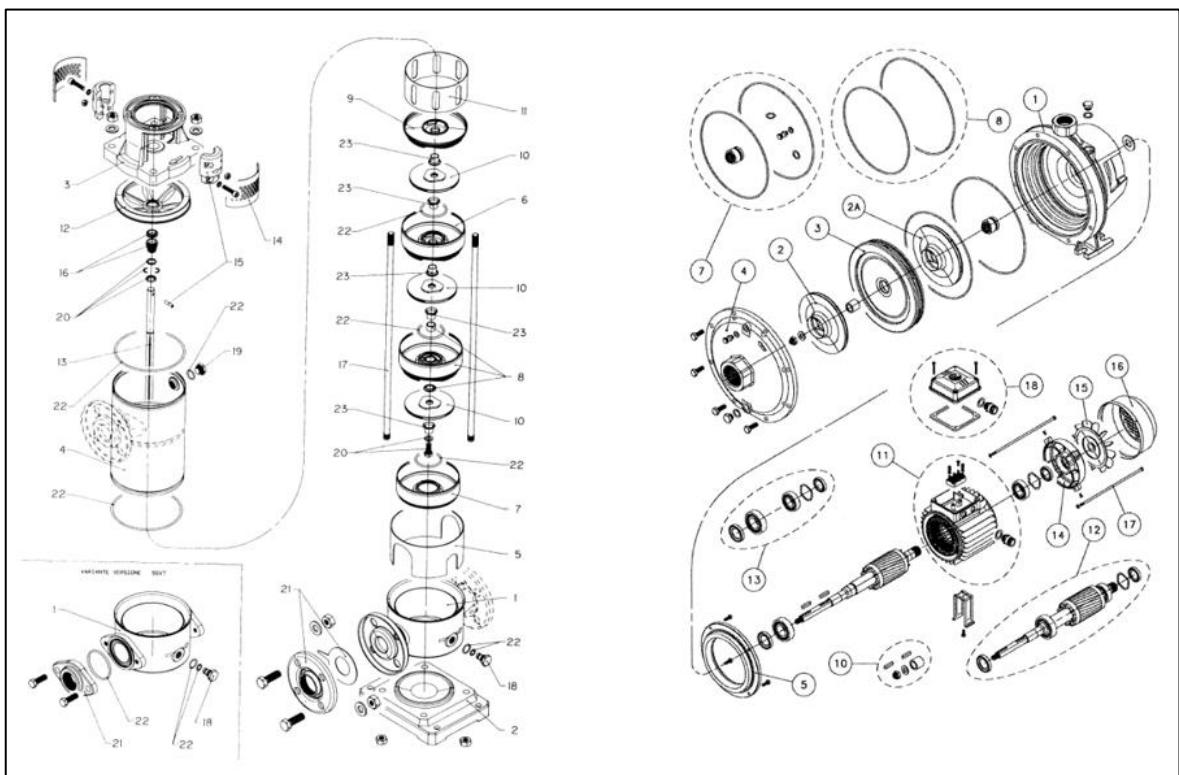
Die beschriebenen Varianten lassen sich in der Praxis nicht vollständig und scharf abgrenzen. Es ist darum zu empfehlen, dass nach dem Vorliegen verschiedener Angebote die Detailinformationen miteinander verglichen werden und wo nötig Zusatzinformationen eingeholt werden.

#### Industrieausführung

(Geltungsbereich: Bauformen ND-P, HD-P)

## Konstruktive Merkmale:

- Kostengünstige Ausführung, Materialien: meist punktgeschweißte Edelstahlbleche, Laufräder teilweise in Noryl (Kunststoff)
- Aufstellungsart: meist vertikal
- Axialschubausgleich: über die axiale Lagerung
- Nenndrehzahl: meist 2900 min-1
- Wellenabdichtung: Gleitringdichtung Hartkohle/Hartmetall mit EPDM-Elementen
- Lagerung: Druckseitig häufig Zugriff auf das Motorlager, sauseitig häufig Medium geschmiertes Gleitlager
- Wartung: nur eingeschränkt möglich
- Revision: nicht möglich/wirtschaftlich (Austausch des kompletten Aggregats)
- Gebrauchsduer: 15 Jahre



**Abbildung 85 Industrieausführung**

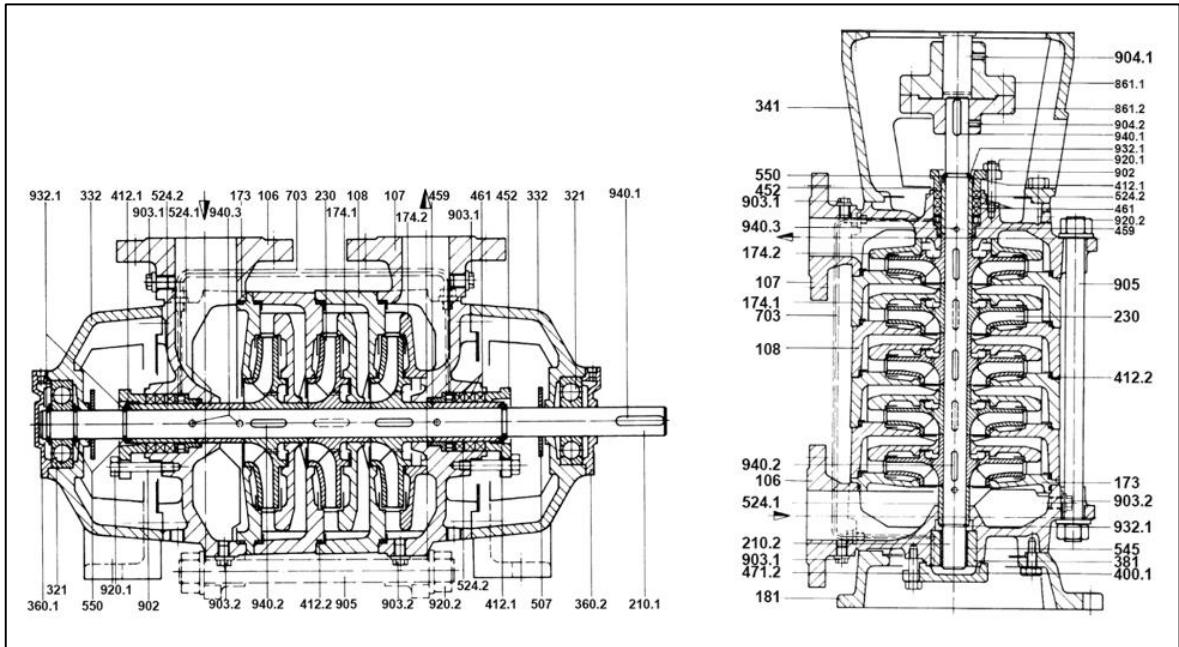
## Wasserwerksausführung

(Geltungsbereich: Bauformen ND-P, HD-P, BLWP)

## Konstruktive Merkmale:

- Hochwertige Ausführung, Materialien: Gehäuseteile meist Grauguss/Sphäroguss, Laufräder und Leitapparate Grauguss
- Aufstellungsart: häufig vertikal
- Axialschubausgleich: Ausgleichsbohrungen im Laufrad, falls erforderlich
- Drehzahl: meist 2900 min-1

- Wellenabdichtung. Gleitringdichtungen, Hartkohle/Hartmetall mit EPDM-Elementen (BLWP: Stopfbüchspackung)
- Lagerung vertikal: Druckseitig häufig Zugriff auf das Motorlager, saugseitig teilweise Medium geschmierte Gleitlager
- Wartung: möglich
- Gebrauchsdauer: 20-25 Jahre (Revision eingeschränkt möglich)



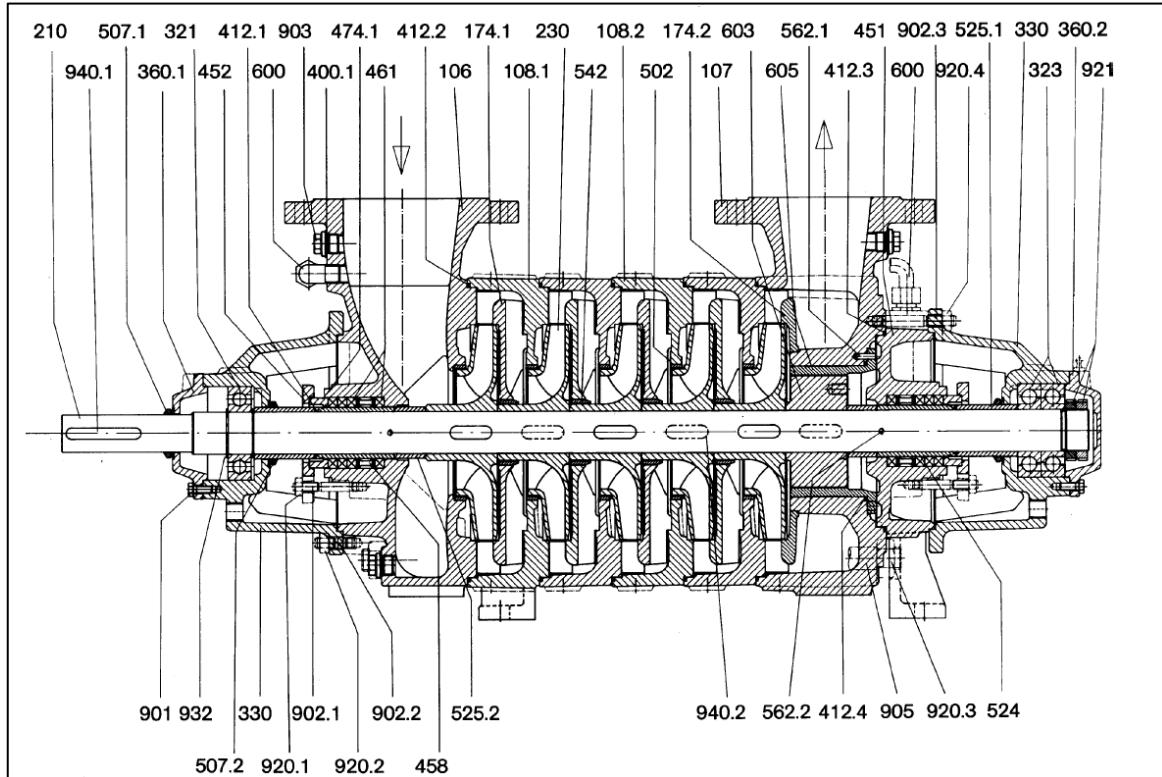
**Abbildung 86 Wasserwerksausführung**

### Schwere Wasserwerksausführung

(Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, BLWP)

Konstruktive Merkmale:

- Höchstwertige Ausführung (Materialien: Gehäuseteile: meist Grauguss/Sphäroguss/Edelstahlguss; Laufräder: Bronze, Stahlguss)
- Aufstellungsart: meist horizontal
- Axialschubausgleich: mit Entlastungskolben/-scheibe, falls erforderlich
- Drehzahl: maximal 1450 min<sup>-1</sup>
- Wellenabdichtung: Gleitringdichtung Hartmetall/Hartkohle mit EPDM oder FKM Elementen (BLWP: Stopfbüchspackung)
- Lagerung: nachschmierbare Wälzlager, teilweise ölgeschmierte Lagerung
- Wartung: sehr gut möglich
- Gebrauchsdauer: 30-35 Jahre (mehrfache Revisionen möglich)



**Abbildung 87 Schweres Wasserwerksausführung**

### 10.3.2 Ausnahme Unterwassermotorpumpen (UWP)

Die Unterwassermotorpumpe muss bei der Einteilung in die vorgängig genannten Qualitätsstufen als Ausnahme betrachtet werden.

Unter anderem, da die Bauform eine der weltweit am häufigsten abgesetzten Pumpen darstellt, ist der Preisdruck unter den Herstellern entsprechend hoch, was sich in der Gebrauchsduer äussert.

Die Schwachstelle dieser Pumpen liegt heute im Antrieb (Motor). Dieser führt in den meisten Fällen zum Ausfall des Aggregats durch einen Kurzschluss.

Zusammen mit den hohen Aufwendungen und damit verbundenen Kosten zum Aus- und Wiedereinbau der Pumpen in den Grundwasserbrunnen und den Lohnkosten in der Schweiz, lohnt sich sicher bis zu einer Leistung von 75 kW eine Reparatur nicht.

Die Gebrauchsduer heutiger Ausführungen liegt bei 10-20 Jahren.

### 10.4 Beschaffung einer Ersatzpumpe

Der Ersatz einer Pumpe und eines Antriebs bieten eine «einmalige» Gelegenheit zur Optimierung des hydraulischen Gesamtsystems.

Einen, unüberlegten, «1:1 Ersatz» durchzuführen ist keine zielführende Lösung

Es ist empfehlenswert den Ersatz des Pumpsystems bereits zu planen, solange dieses noch in Betrieb ist. Im Zuge eines ungeplanten Ausfalles entstehen mit hoher Wahrscheinlichkeit suboptimale Lösungen, welche häufig auch mit viel höheren Kosten verbunden sind.

Nachfolgend wird ein mögliches Vorgehen in vier Schritten aufgezeigt:

#### 10.4.1 Aufnahme und Messung der aktuellen Anlageparameter

Volumenstrom  $Q$ , Förderhöhe  $H_{mano}$  und Strom-/Leistungsaufnahme  $I/P$  beschreiben den «aktuellen Betriebspunkt» der Pumpe, deren Ersatz geplant werden soll.

Die manuelle Messung dieser Parameter, sofern sie vom Leitsystem nicht permanent aufgezeichnet werden, sollen in diesem Zustand durchgeführt werden, in welchem die Pumpe ihren vorgesehenen Betrieb leistet. Sind mehrere Betriebszustände möglich, sind alle aufzuzeichnen.

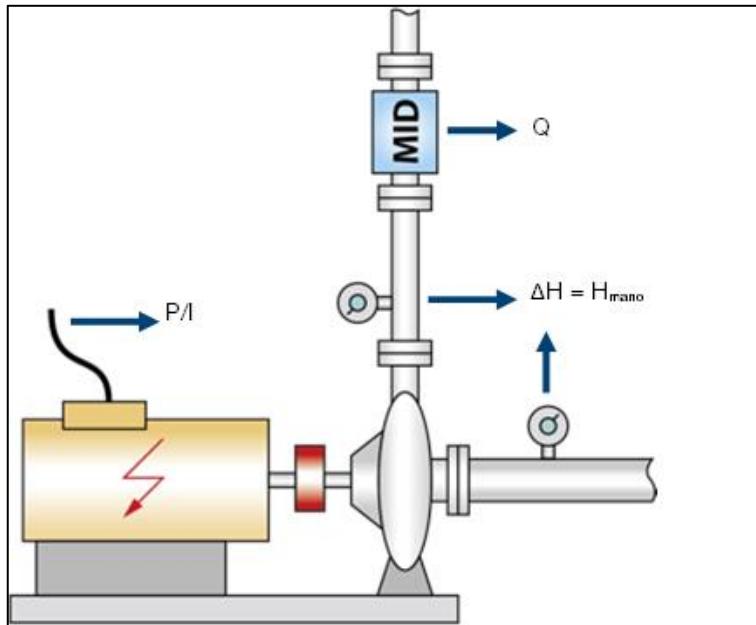


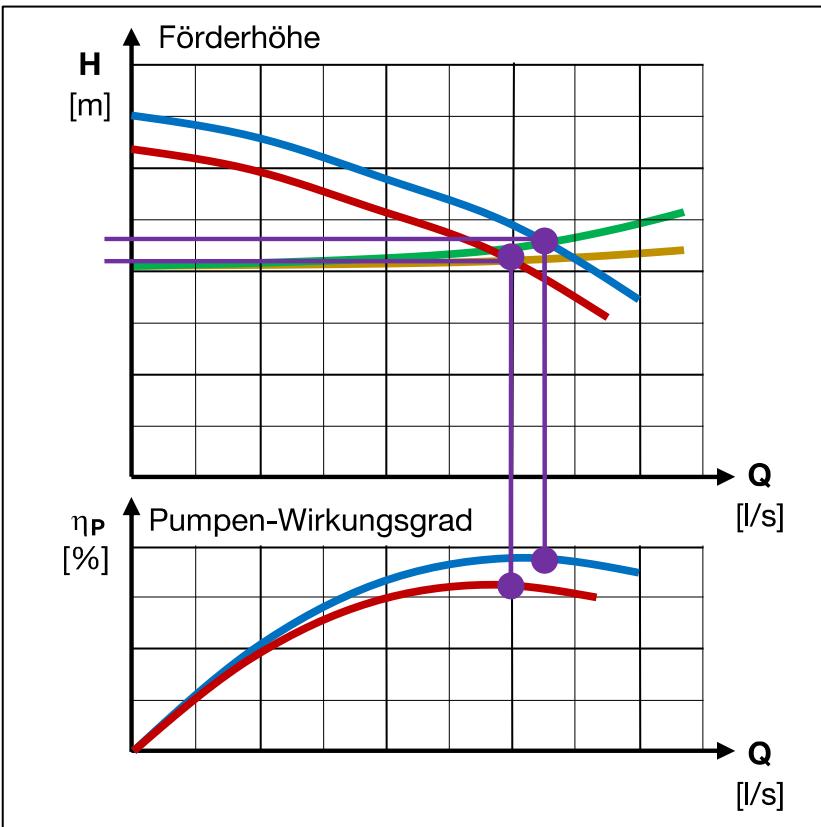
Abbildung 88 Aufnahme und Messung der aktuellen Anlageparameter

#### 10.4.2 Vergleich mit den «damaligen Auslegungsdaten» der Pumpen

Wenn eine Pumpe im Idealfall mehrere Jahrzehnte in einer Wasserversorgung in Betrieb ist, stellt man bei der Messung der Anlageparameter immer Abweichungen fest. Gründe hierfür können sein:

- Die Pumpenhydraulik ist einem Verschleiss unterlegen. Die  $Q/H$ -Kennlinie sinkt nach links ab (statisch oder dynamisch je nach Ursache), die Wirkungsgrad-Kennlinie damit ebenfalls. (Abb. 90 – blaue Linie und rote Linie)
- Das hydraulische Netz hat sich verändert. In vielen Fällen ist das Versorgungsgebiet in den letzten Jahrzehnten «gewachsen». Leitungen wurden durch grössere ersetzt und es haben sich neue Vermaschungen ergeben. Dadurch sinkt der Reibungsverlust  $H_r$ . (Abb. 90 – grüne Linie und gelbe Linie)

In vielen Fällen findet eine Kombination beider Effekte statt.



**Abbildung 89 Vergleich mit den «damaligen Auslegungsdaten» der Pumpe**

Die «damaligen Auslegungsdaten» stimmen nie mit dem «aktuellen Betriebspunkt» überein.

#### 10.4.3 Entscheidungsgrundlagen für die Beschaffung der Ersatzpumpe festlegen

- Die Betriebspunkte für die Ersatzpumpe werden anhand der Bewertung der Messergebnisse geprüft und festgelegt.
- Es werden Angebote für mögliche Ersatzpumpen oder eine Revision der bestehenden Pumpe eingeholt und auf ihre Eignung geprüft.
- Falls die aktuelle Pumpe in einem deutlich ineffizienten Betriebspunkt läuft, wird der Pumpenersatz direkt umgesetzt. Ansonsten dienen die Unterlagen als Vorbereitung für eine kurze Reaktionszeit beim Ausfall der Pumpe.

Bei Pumpwerken, in welchem die Pumpen auch parallel laufen können, ist es zwingend erforderlich die Q/H-Kennlinienform der potenziellen Ersatzpumpe mit den Kennlinien der bestehenden Pumpen abzulegen, um sicherzustellen, dass keine unzulässigen Betriebszustände auftreten.

#### 10.4.4 Erneute Messung der Anlageparameter und Verifizierung des Ersatzes

Nach dem Einbau der Ersatzpumpe empfiehlt sich die Messung der Betriebsparameter zu wiederholen, um sicherzustellen, dass die Ersatzpumpe im geplanten Einsatzbereich läuft.

## **11 Realisierung und Inbetriebsetzung**

### **11.1 Grundlagen und Ziele der Realisierung und Inbetriebsetzung**

Folgende Grundlagen aus der vorhergehenden Bearbeitungsphase (Kapitel 10: Ausschreibung) liegen vor:

- Ausschreibungspakete festgelegt
- Ausschreibungsverfahren pro Leistungspaket definiert (Freihändig, Einladungsverfahren, öffentliche Ausschreibung)
- Vergaben erfolgt und Werkverträge abgeschlossen

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Pumpwerk gemäss Pflichtenheft erstellt
- Leistungstests durchgeführt
- Pumpenanlage gereinigt, desinfiziert und freigegeben
- Pumpenanlage ins Versorgungsnetz eingebunden
- Inbetriebsetzung erfolgt
- Pumpenanlage durch Betreiber / Bauherrschaft übernommen

Im Folgenden werden zur Realisierung und Inbetriebsetzung relevante Aspekte beleuchtet und Empfehlungen formuliert:

### **11.2 Montage und Inbetriebsetzung einer Kreiselpumpe**

Im Zuge der Montage und Inbetriebsetzung einer Kreiselpumpe ist es wichtig, die Betriebsanleitung des Herstellers genau zu lesen und zu befolgen.

Die Montage und der elektrische Anschluss wird üblicherweise von Fachfirmen durchgeführt, oder wo gesetzliche zulässig, zumindest überwacht. Es werden darum nachfolgend nur einzelne Punkte hervorgehoben, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

#### **11.2.1 Nach der Montage zu kontrollieren**

##### **Ausrichtungskontrolle des Pumpenaggregats**

Nach der Montage des Pumpenaggregats (Grundrahmen, Antrieb und Pumpe) ist die Ausrichtung zu kontrollieren und gegebenenfalls anzupassen, bevor die saug- und druckseitigen Rohrleitungen installiert werden.

Axial beträgt die dabei zulässige Abweichung 1mm pro 1m, diese Messung hat mit einer Maschinenwasserwaage zu erfolgen. Der Grundrahmen darf dabei noch nicht eingegossen sein, sondern steht «frei» (auf Kontermuttern und starker U-Scheibe, auf den Klebeankern aufliegen, mit Muttern von oben befestigt).



Abbildung 90 Pumpenaggregat auf Klebeanker vormontiert

### Spanungsfreier Anschluss an die Saug- und Druckleitung

Es ist wichtig, dass keine Kräfte (statisch und dynamisch) von den Rohrleitungen auf die Pumpenstützen eingeleitet werden.

Dies wird durch das Lösen der Rohrleitung und entsprechende Beobachtung der Stutzenbewegung (idealerweise mit Messuhren) festgestellt.



Abbildung 91 Nicht zulässige Klaffung und Parallelversatz von Anschlussflanschen

### Kontrolle der Rohrleitungsabstützung

Es ist sicherzustellen, dass sowohl alle statischen wie auch dynamischen Kräfte (im Betrieb, wenn Wasser durch die Leitungen fliesst) durch die Rohrleitungsabstützungen aufgenommen wird.

### Ausgiessen des Fundaments

Bis Unterkante Grundrahmen/Grundplatte, idealerweise mit einigen Eisenstäben, zur Bewehrung und Sicherstellung der Verbindung, welche in zuvor gebohrte Löcher gesteckt werden.



Abbildung 92 Schalung zum Ausgiessen des Fundaments

### Ausgiessen des Grundrahmens

Die Betriebsanleitung gibt darüber Auskunft, ob auch der Grundrahmen mit dem Fundament ausgegossen werden muss. Es gibt verwindungssteife Konstruktionen, welche nicht ausgegossen werden müssen.

### Ausrichten des Antriebsstranges an der Kupplung

Das Ausrichten des Antriebsstranges an der Kupplung sollte idealweise mit Messuhren oder Laser erfolgen.

Falls erforderlich muss der Antrieb in der Höhe und Ausrichtung korrigiert werden. Die Restungenaugigkeit sollte 0.03 mm, bezogen auf einen Messkreis von 200 mm nicht überschreiten.

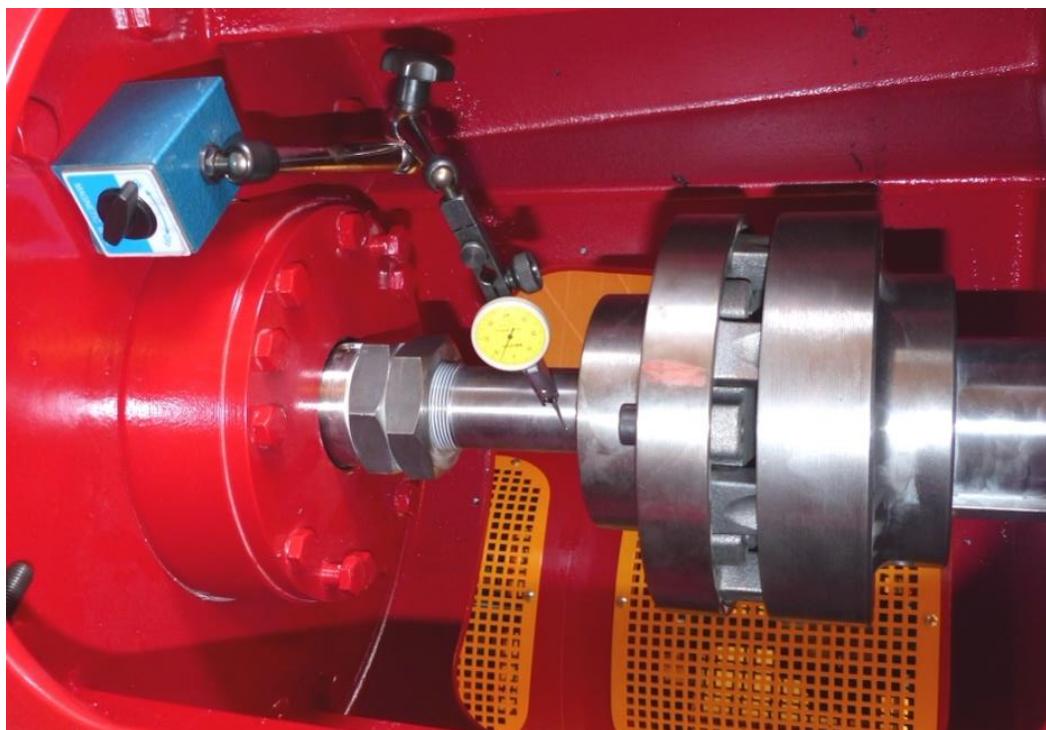


Abbildung 93 Ausrichten des Antriebsstranges an der Kupplung mit einer Messuhr

## Anschluss aller Hilfsleitungen

Allfällige Hilfsleitungen sind korrekt an die Pumpe und andere Komponenten angeschlossen. (Sperrungen, Spülleitungen, Entlastungsleitungen, Kühlleitungen)

### 11.2.2 Auffüllen und Entlüften der Pumpe

- Bei Pumpen mit Zulaufdruck, wird der saugseitige Schieber ganz leicht geöffnet. Die Entlüftungsöffnungen (idealerweise an höchstliegender Stelle an der Pumpe) werden geöffnet und die Luft entweicht.
- Bei Pumpen im Saugbetrieb (mit Rückflussverhinderer als Bodenventil), muss mittels Fülltrichter in der Auffüll-/Entlüftungsöffnung die Pumpe und die Saugleitung komplett gefüllt und entlüftet werden.

Falls um den druckseitigen Rückflussverhinderer eine Bypass-Leitung installiert wurde, wird diese zum Befüllen verwendet. Falls eine Vakuumanlage vorhanden ist, kann der Entlüftungsvorgang mit Hilfe derselben analog zu «Pumpen mit Zulaufdruck» durchgeführt werden.

Der Rotor der Pumpe muss dabei mehrfach von Hand gedreht werden, damit die Luft auch aus den Kanälen des Laufrades entweichen kann.

- Bei Unterwassermotorpumpen (UWP) muss die Druckleitung ab der Pumpe bis zum obenliegenden Rückflussverhinderer gefüllt und entlüftet werden. Entweder über eine speziell dafür vorgesehene Befüll-/Entlüftungsöffnung oberhalb des Brunnenkopfes, oder über die Bypass-Leitung um den Rückflussverhinderer bei geöffnetem Entlüftungspunkt.

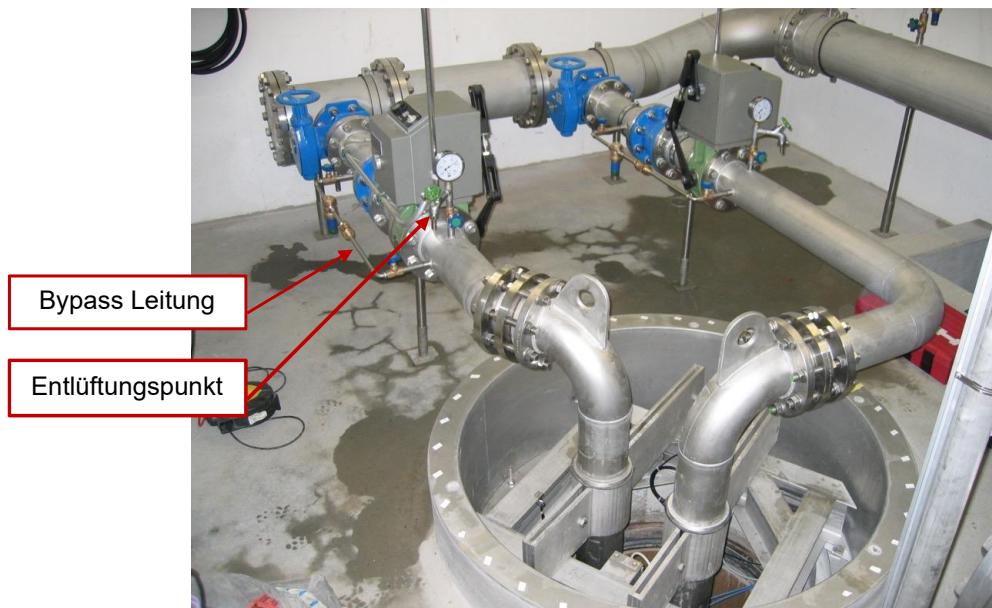


Abbildung 94 Bypass-Leitung um den Rückflussverhinderer bei einer Unterwassermotorpumpe (UWP)

### 11.2.3 Drehrichtungskontrolle

Folgende Verfahren für die Drehrichtungskontrolle sind bekannt und werden angewendet:

- Drehrichtungskontrolle mit Drehfeldmessung: Diese wird durch den Elektriker an der Anschlussstelle am Antrieb durchgeführt. Anschlussfehler im Antrieb, welche zu einer falschen Drehrichtung führen, können damit nicht erkannt werden.
- Drehrichtungskontrolle am «ausgekuppelten Antrieb»: Bei trocken aufgestellten Pumpen, welche über eine Kupplung mit Ausbaustück, oder eine dreiteilige Kupplung verfügen, kann der Rotor des Antriebs, von dem die Pumpe getrennt werden. Ein kurzes Anschalten zeigt, ob der Antrieb in die korrekte Richtung dreht (Drehrichtungspfeile auf der Pumpe beachten). Dies ist die sicherste Variante einer Drehrichtungskontrolle. Bei Bohrlochwellenpumpen (BLWP) ist diese Art der Drehrichtungskontrolle dringend zu empfehlen.
- Drehrichtungskontrolle mit laufender Pumpe (gekuppelt am Antrieb): Die Pumpe wird kurz gestartet (für Sekunden), gegen druckseitig geschlossenen Schieber. Bei «trocken» aufgestellten Pumpen ist die Drehrichtung optisch erkennbar. Für Unterwassermotorpumpen erkennt man am druckseitigen Manometer, über der Druck dem Wert von  $Q=0$  auf der Kennlinie entspricht und beurteilt so die Drehrichtung.

Eine Drehrichtungskontrolle an laufender Pumpe, darf erst nach dem Befüllen und Entlüften durchgeführt werden. Die Gleitringdichtung der Pumpe kann bereits bei kürzestem Trockenlauf irreparabel beschädigt werden.

Eine Kreiselpumpe fördert in vielen Fällen auch Wasser, wenn sie in die falsche Richtung dreht.

Eine falsche Drehrichtung, auch kurzzeitig, kann gewisse Pumpentypen (UWP, gewisse BLWP) beschädigen.

Nach Abschluss der Drehrichtungskontrolle ist die Pumpe bereit in Betrieb genommen zu werden.

#### **11.2.4 Bereitstellen des übrigen Fördersystems**

Neben der Pumpe selbst muss auch das System in welches die Pumpe fördert, für die Inbetriebnahme bereitgestellt werden.

##### **Auffüllen der Druckleitung**

Ist die Druckleitung, nach dem Rückflussverhinderer druckseitig von der Pumpe, ebenfalls neu erstellt und damit leer (möglich bei reinen Transportleitungen) ist zwingend zu berücksichtigen, dass die Pumpe, wenn sie zur Befüllung dieser leeren Leitung eingesetzt wird, nicht in einem unzulässigen Betriebsbereich arbeitet ( $Q/H$ -Kennlinie).

Die Pumpe hätte zu Beginn auf der Druckseite keinen Gegendruck, weil sowohl  $H_{geo}$  als auch  $H_v$  null wäre, da die Leitung leer ist. Gemäß Abbildung 92 würde sich der Betriebspunkt zu Beginn komplett ausserhalb des Einsatzbereiches rechts auf der Kennlinie befinden. Dieser Betriebszustand ist zwingend zu vermeiden, da er zu Sachschäden führen kann!

Korrekt erweise muss ein druckseitig vorhandener Schieber beim Start der Pumpe komplett geschlossen sein und anschliessend ganz langsam geöffnet werden, so dass sicher gestellt werden kann, dass sich die Pumpe immer innerhalb des Einsatzbereichs bewegt.



Abbildung 95 Inbetriebnahme einer Pumpe in eine «leere» Druckleitung

### Spülen des Systembestandteils, um die Hygiene sicherzustellen

Je nach hygienischem Zustand und Anforderungen wird zum Beispiel nach dem Einbau einer Unterwassermotorpumpe (UWP) der Grundwasserbrunnen vor der erneuten Freigabe für das Netz gespült. Bei diesem Spülbetrieb ist analog zum obenstehend beschriebenen Thema sicherzustellen, dass die Pumpe, welche in den Verwurf fördert, so gedrosselt wird, dass deren Betriebspunkt innerhalb des Einsatzbereichs auf der Q/H-Kennlinie liegt.

Um diesbezüglichen Fehlern und Schäden daraus vorzubeugen wird empfohlen in der Verwurfsleitung einen Reibungswiderstand  $H_v$ , zum Beispiel in Form einer Blende, zu installieren, so dass die Pumpe auch nicht durch Fehlmanipulation in einem unzulässigen Betriebsbereich laufen kann beim Spülvorgang.

### Druckschlagdämpfungsanlage betriebsbereit

Vor der effektiven Inbetriebnahme des Pumpsystems ist sicherzustellen, dass eine allfällige vorhandene Druckschlagdämpfungsanlage (Membrandruckbehälter oder Druckwindkessel) betriebsbereit ist.

### Armaturen und Messinstrumente betriebsbereit

Es ist sicherzustellen, dass alle Schieber und Klappen die korrekte Stellung aufweisen, so wie es der geplante Pumpenbetrieb vorsieht.

#### 11.2.5 Inbetriebnahme und deren Protokollierung

Ein wichtiger Bestandteil der Inbetriebnahme ist die Protokollierung der wichtigen Messwerte und Zustände.

Folgende Messwerte, Zustände und Informationen sind mindestens festzuhalten:

- Datum und Zeit (Zeit um den Netzzustand nachzuvollziehen)
- Pumpentyp und Serialnummer (Rückverfolgbarkeit über die Serialnummer)
- Volumenstrom  $Q$  (im vorgesehenen Betriebsfall)
- Förderhöhe  $H_{mano}$  (im vorgesehenen Betriebsfall)

- Strom I und Spannung U, wenn möglich  $\cos \phi$  (auf allen 3 Phasen)
- Druck gegen geschlossenen Schieber  $H_{max}$  (so kurzzeitig wie möglich)

Wenn ein Frequenzumformer (FU) vorhanden ist, so ist eine Messung der Daten bei 50 Hz durchzuführen.

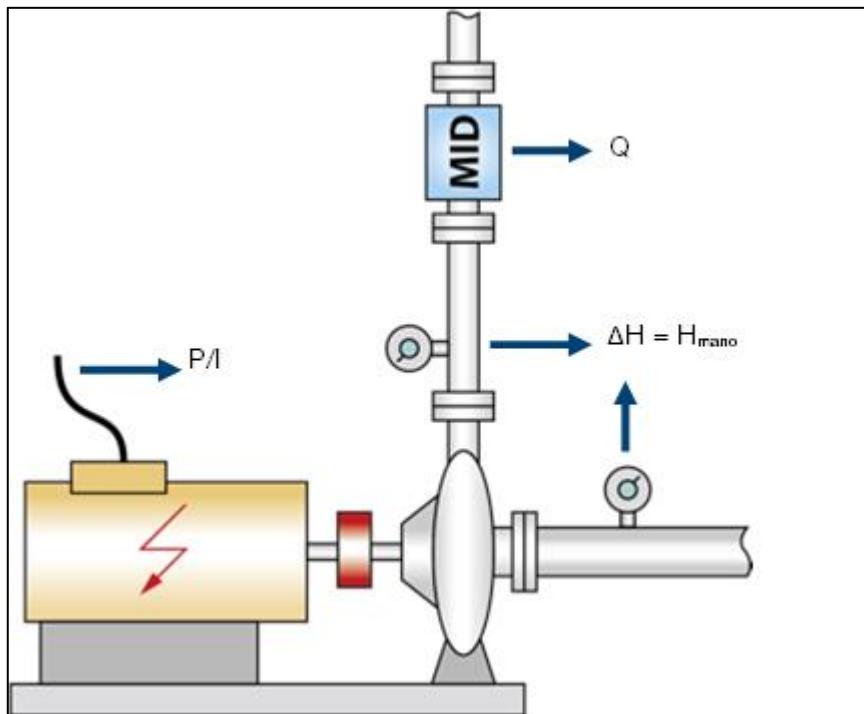


Abbildung 96 Aufnahme und Messung der aktuellen Anlageparameter

Die Überprüfung des Gesamtsystems (ab elektrischer Einspeisung, bis zu den hydraulischen Parametern) ist diesem Zuge ebenfalls vorzunehmen.

## **12 Betrieb und Überwachung**

### **12.1 Grundlagen und Ziele von Betrieb und Überwachung**

Folgende Grundlagen aus der vorhergehenden Bearbeitungsphase (Kapitel 11: Realisierung und Inbetriebsetzung) liegen vor:

- Pumpwerk gemäss Projektpflichtenheft erstellt
- Leistungstests durchgeführt
- Pumpenanlage gereinigt, desinfiziert und freigegeben
- Pumpenanlage ins Versorgungsnetz eingebunden
- Inbetriebsetzung erfolgt
- Pumpenanlage durch Betreiber / Bauherrschaft übernommen

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Sicherer und qualitätskonformer, wirtschaftlicher Betrieb
- In- und Ausserbetriebsnahmen geregelt und dokumentiert
- Betriebstauglichkeit der Anlage erhalten

Im Folgenden werden zu Betrieb und Überwachung (Wartung und Inspektion) relevante Aspekte beleuchtet und Empfehlungen formuliert:

### **12.2 Ein- und Ausschaltvorgänge im Normalbetrieb**

Der Ein- und Ausschaltvorgang einer Kreiselpumpe muss einerseits auf die hydraulische Situation (Druckschlag) und andererseits auf die elektrische Situation (Anlaufstrom) ausgelegt werden.

#### **12.2.1 Hydraulische Situation**

Um möglichst wenig Druckschwankungen im hydraulischen Netz zu verursachen ist es gebräuchlich sogenannte Drosselklappen, auch Anfahrklappen genannt, einzusetzen.

Funktion:

Unmittelbar nach dem Pumpenstart beginnt die Klappe langsam zu öffnen und beschleunigt so auch die Wassersäule im System langsam. Der Abschaltvorgang funktioniert umgekehrt analog.

Die Betriebszeit der Pumpe «gegen geschlossenen Schieber» ( $Q=0$ ) ist so kurz wie möglich zu halten (ein paar wenige Sekunden), ansonsten wird die Pumpe auf Dauer beschädigt.

Im Nullspannungsfall (Stromausfall) bei laufender Pumpe schützt die Drosselklappe das System nicht vor einem unzulässigen Druckschlag.

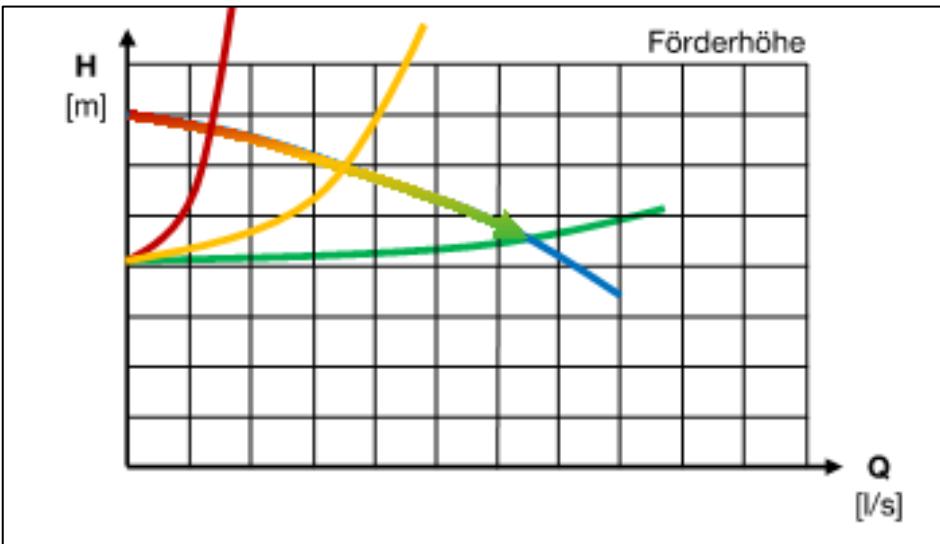


Abbildung 97 Pumpenstart mit Drosselklappe auf der Q/H-Kennlinie dargestellt

Die Klappe erzeugt beim Öffnungs- und Schliessvorgang einen zusätzlichen Reibungsverlust  $H_v$ , welche den Betriebspunkt der Pumpe verändert.

Grundsätzlich ist eine Klappe kein Regelorgan. Sie wird vor allem wegen dem günstigen Anschaffungspreis, zum Beispiel im Vergleich zu einem Ringkolbenventil, eingesetzt. Die bei jedem Start- und Stoppvorgang auftretende Kavitation und der damit verbundene Verschleiss wird akzeptiert.

Wenn ein hydraulisches System bezüglich Druckschlag optimal ausgelegt und mit einem entsprechend grossen Druckschlagbehälter ausgerüstet ist, so dass die zulässige Amplitude der Druckschwankung (Schutzziel) nicht überschritten wird, kann grundsätzlich auf den Einsatz einer Drosselklappe verzichtet werden.



Abbildung 98 Beispiele von eingesetzten Drosselklappen

Auch ein Frequenzumformer (FU) kann anstelle einer Drosselklappe zum «sanften» Starten und Stoppen einer Kreiselpumpe eingesetzt werden.

Es darf nie ein Frequenzumformer (FU) nur für diese Funktion allein eingesetzt werden. (Siehe auch Kapitel 5.7 und 9.2)

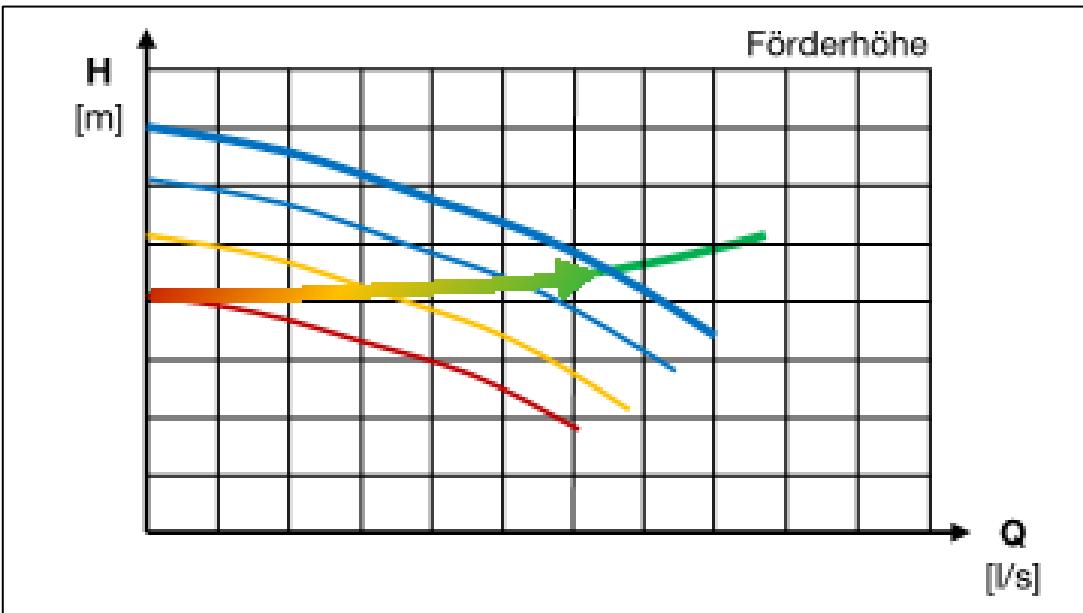


Abbildung 99 Pumpenstart mit Frequenzumformer auf der Q/H-Kennlinie dargestellt

Beim Start mit Frequenzumformer wird zuerst mit einer schnellen Rampe die Minimal-drehzahl angefahren, bei welcher sich die Pumpenkennlinie ganz links mit der System-kennlinie schneidet. Dieser Betriebszustand im Zusammenhang mit Frequenzumformern wird als Förderbeginn bezeichnet. Dann fährt der Frequenzumformer langsam auf die Nenndrehzahl, wobei der Volumenstrom  $Q$ , der Systemkennlinie folgend, kontinuierlich zunimmt.

### 12.2.2 Elektrische Situation

Der Einschaltvorgang hat nicht nur aus hydraulischer Sicht eine zu berücksichtigende Relevanz, auch aus elektrischer Sicht bedarf es zwingend einer detaillierten Planung.

Um den Anlaufstrom  $I_A$  zu begrenzen sind entsprechend geeignete Startvorrichtungen einzusetzen. (Siehe dazu Kapitel 9.2)

### 12.3 Periodischer Zwangslauf

Jede in einer Wasserversorgung installierte Kreiselpumpe muss periodisch in Betrieb genommen werden. Im Idealfall sind die Pumpen in der Betriebsweise/Betriebskonzept so eingebunden, dass sie mindestens alle 72 Stunden zum Einsatz gelangen. Wenn dies nicht umgesetzt werden kann ist zwingend ein «periodischer Zwangslauf» vorzusehen.

Begründung:

- Aus hygienischer Sicht, um Stagnation des Wassers zu vermeiden.
- Aus mechanischer Sicht ist es wichtig die Kreiselpumpe und den Antrieb regelmäßig zu betreiben, um einem «festsitzen» in der Pumpenhydraulik vorzubeugen, die Gleit- und Wälzlager zu bewegen und auch für die langfristige Funktion der Wellenabdichtung (Gleitringdichtung oder Stopfbüchspackung).
- Zur Sicherstellung der Verfügbarkeit und damit der Betriebssicherheit.

Pumpen, die nicht bereits im Betriebskonzept eingebunden sind, müssen mindestens einmal wöchentlich für einige Minuten in Betrieb genommen werden. Dabei ist sicherzustellen, dass die Förderung in das Leitungsnetz erfolgt und nicht gegen einen geschlossenen Schieber.

Die Lagerung von Ersatzpumpen, die nicht als Redundanz bereits im Pumpwerk installiert sind, ist kein geeignetes Mittel zur Erhöhung der Betriebssicherheit und sollte vermieden werden. Der Grund: Rotierende Maschinen müssen aus konstruktiven Gründen regelmäßig betrieben werden. Andernfalls entstehen Schadstellen an Bauteilen wie Lagerungen, Gleitringdichtungen und Spaltspielen, die zu einem kurzfristigen Ausfall führen können.

## 12.4 Inspektion und Wartung an Pumpsystemen

### 12.4.1 Die Hauptkomponenten eines Pumpsystems

Zur klaren Zuordnung der Inspektions- und Wartungsarbeiten wird das Pumpsystem in Hauptkomponenten aufgeteilt. Die Darstellung in Form einer einstufigen Niederdruckpumpe ND-P gilt stellvertretend für alle beschriebenen Bauformen.

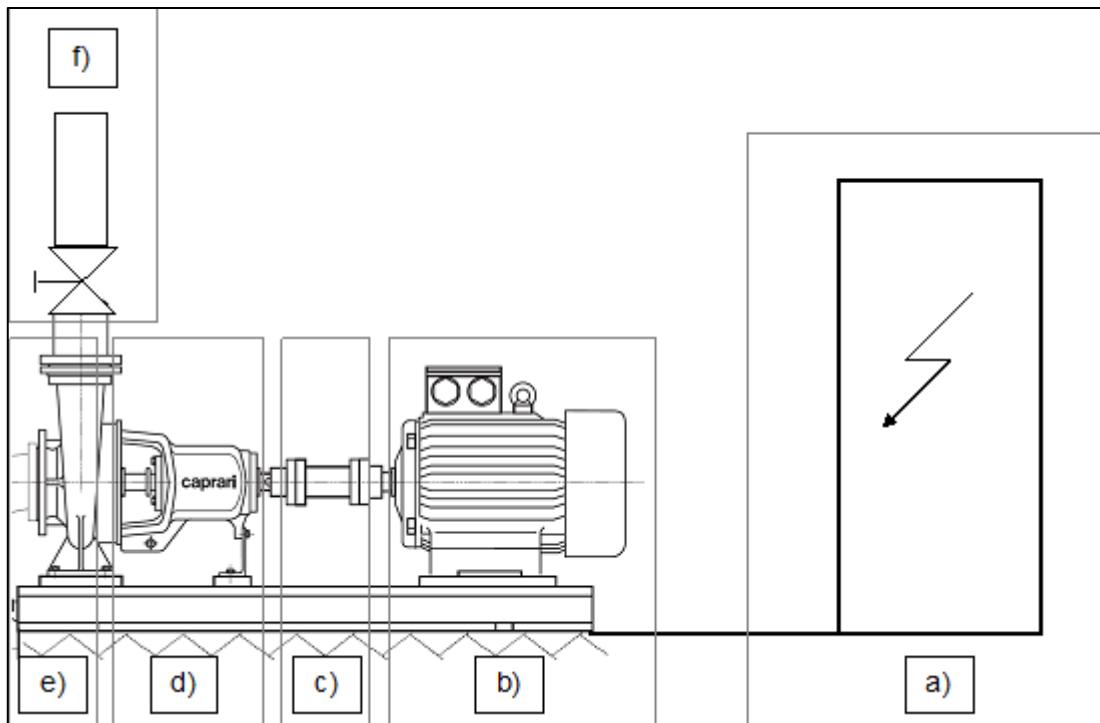


Abbildung 100 Hauptkomponenten eines Pumpsystems

Legende:

- a) Pumpensteuerung
- b) Antrieb
- c) Transmission vom Antrieb zur Pumpe (Kupplung)
- d) Pumpenlagerung und Wellenabdichtung
- e) Hydraulischer Teil der Pumpe
- f) Rohrleitungssystem im Pumpwerk (mit Armaturen, Aktoren und Sensoren)

### 12.4.2 Umfang der Inspektions- und Wartungsarbeiten

Der sinnvolle Inspektions- und Wartungsumfang an einem Pumpsystem richtet sich vor allem nach den entsprechenden Kenntnissen der direkt damit beauftragten Personen aus. Daher wird nachfolgend der Umfang der möglichen Tätigkeiten in verschiedene Stufen eingeteilt. Alle Inspektions- und Wartungsarbeiten, welche nicht durch die direkt damit be-

traute Person durchgeführt werden können, müssen zur Sicherstellung der Betriebssicherheit und Energieeffizienz und der langfristigen Werterhaltung durch eine Fachfirma durchgeführt werden.

Die Einteilung erfolgt in:

1. Mindestumfang der Inspektions- und Wartungsarbeiten
2. Normaler/empfohlener Umfang der Inspektions- und Wartungsarbeiten
3. Erweiterter Umfang der Inspektions- und Wartungsarbeiten

Im Folgenden werden die Inspektions- und Wartungsarbeiten entsprechend der Hauptkomponenten und den jeweiligen Umfangsstufen dargestellt und beschrieben.

### a) Pumpensteuerung

Direkt an der Pumpensteuerung, oder alternativ im Leitsystem, sollten alle wichtigen Messgrößen des Antriebs ersichtlich sein. Die Tätigkeiten im Bereich der Pumpensteuerung beschränken sich ausschliesslich auf die Inspektion, da für die Wartung an der Steuerung entsprechende Zulassungen erforderlich sind.

	<b>Mindestumfang</b>	<b>Empfohlener Umfang</b>	<b>Erweiterter Umfang</b>
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
Ableseungen am Steuerschrank (Leitsystem) <b>W</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strom (A) im Betrieb auf allen Phasen</li> <li>- Spannung (V) im Betrieb zwischen Phasen und gegen Erde</li> <li>- Betriebsstunden (h) der Pumpe</li> </ul>		
Ableseung/Messung am/im Steuerschrank <b>Q</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leistungsfaktor (<math>\cos\phi</math>) im Betrieb</li> <li>- Frequenz (Hz) des Netzes im Betrieb</li> </ul>
<b>Wartungsarbeiten</b>			
Startvorrichtung <b>A</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterhaltsarbeiten an der Startvorrichtung des Antriebs, um deren einwandfreie Funktion sicherzustellen</li> </ul>

Periodizität: **W** = wöchentlich, **M**=monatlich, **Q**=quartalsweise, **J**=jährlich, **A**=abhängig

Tabelle 16 Inspektions- und Wartungsarbeiten an der Pumpensteuerung

### b) Antrieb – Asynchron Drehstrommotor

Der Schmierung der Wälzlager ist ein hohes Gewicht beizumessen. Häufig werden heute bei kleineren Antrieben sog. «lebensdauerfettgeschmierte» Wälzlager eingesetzt, die nicht nachgeschmiert werden müssen. Nach Erreichen der vorgegebenen Betriebsdauer (ca.

20'000 bis 30'000 Betriebsstunden oder nach 10 Jahren) müssen diese Lager ersetzt werden, um einen ungeplanten Ausfall und Folgeschäden zu verhindern.

Bei «nachschrubbaren» Wälzlagern sind die vorgeschriebenen Nachschmier-Intervalle und Fettmengen unbedingt einzuhalten. Ebenfalls muss das «richtige» Fett eingesetzt werden und sichergestellt werden, dass keinesfalls unverträgliche Fettsorten (z.B. Lithiumbasis und Bariumbasis) miteinander gemischt werden.

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Wartungsarbeiten</b>			
Lebensdauerfettgeschmierte Wälzlager <b>A</b>			- Ersatz der Wälzläger nach dem Erreichen der Betriebsdauer
Nachschrubbare Wälzlager <b>A</b>	- Periodische Schmierung der Wälzlager gemäss Betriebsanleitung des Herstellers		- Ersatz der Wälzläger nach dem Erreichen der vorgegebenen Gebrauchsduer

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig  
Tabelle 17 Wartungsarbeiten am Antrieb

Der Wicklungs-Isolationswiderstand ist, im Trend gemessen, eine sehr aussagekräftige Messgröße, um den Zustand der Wicklungsisolation eines Antriebs zu beurteilen. Um eine konforme Messung durchzuführen, ist der Antrieb, beim Betrieb mit einem Softstarter und Frequenzumformer, vor der Messung elektrisch davon zu trennen. Darum ist für diese Messung eine sog. Anschlussbewilligung erforderlich.

Bei Messwerten über 2MOhm ist der Antrieb uneingeschränkt betriebsfähig, bei der Unterschreitung von 1MOhm sollte ein Ersatz des Antriebes vorgesehen werden. Die Prüfspannung soll dabei 500 VDC betragen.

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
Wicklungsisolations <b>J</b>			- Messung der Isolation zwischen den Phasen und gegen Erde
Vibrationen am Antrieb <b>W</b>	- Manuelle Prüfung des Antriebs		
Vibrationen am Antrieb <b>A</b>			- Schwingungsmessung um die Zulässigkeit und Ursache zu beurteilen

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig  
Tabelle 18 Inspektionsarbeiten am Antrieb

#### «Nass» aufgestellte Antriebe von Unterwassermotorpumpen (UWP)

Gegenüber den «trocken» aufgestellten Antrieben, sind die «nass» aufgestellten Antriebe für Unterwassermotorpumpen so konzipiert, dass sie «wartungsfrei» arbeiten. Diese Antriebe werden bis zum Ausfall betrieben. Am Markt sind sog. «wiederwickelbare» Antriebe erhältlich, diese könnten nach einem Kurzschluss neugewickelt werden. Aus wirtschaftlicher Sicht (Gesamtkostenbetrachtung) müssen bei einen Pumpenersatz jedoch Antriebe, sicher kleiner 75 kW, entsorgt und komplett ersetzt werden.

Zur Erhöhung der Betriebssicherheit werden diese Antriebe mit einer Temperaturüberwachung des Typs PT100 ausgerüstet, welche die Ermittlung der aktuellen Motortemperatur zulässt. Damit kann ein sich abzeichnender Ausfall erkannt werden und bereits frühzeitiger Massnahmen getroffen werden.

Bedingt durch Induktion der Versorgungskabel im Grundwasserbrunnen entlang der Steigleitung ist zwingend darauf zu achten, dass das Signalkabel des PT100 Sensors davon nicht beeinflusst wird, da ansonsten das Signal unbrauchbar wird. Beim Betrieb mit einem Frequenzumformer tritt dieser Effekt verstärkt auf.

### c) Transmission vom Antrieb zur Pumpe (Kupplung)

Im Bereich der «starren» Kupplungen (gesteckt oder verschraubte Verbindung des Antriebs mit der Pumpe) fallen keine speziellen Inspektions- und Wartungsarbeiten an. Bei Unterwassermotorpumpen (UWP) werden solche Kupplungen eingesetzt (NEMA-Norm bis 8 Zoll, darüber Herstellernorm).

Im Bereich der «elastischen» Kupplungen, wie sie bei «trocken» aufgestellten Pumpen (horizontal und vertikal; ND-P, HD-P und BLWP) häufig eingesetzt werden, sollten die nachfolgend in der Tabelle aufgeführten Inspektions- und Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

Diese Kupplungen weisen als «Puffer» in den gängigen Bauformen Gummielemente auf, welche den zulässigen Versatz und die Klaffung kompensieren. Die Ausrichtung einer Pumpe zum Antrieb ist eine grundlegende Voraussetzung für eine lange, störungsfreie Gebrauchsduer. Wenn eine zu grosse Abweichung in der Kupplung besteht, reiben sich die Gummielemente in der Kupplung und erzeugen Wärme und in vielen Fällen Abrieb. Die Kontrolle der Ausrichtung sieht daher vor, optisch sicherzustellen, dass kein Gummi-Abrieb unterhalb der Kupplung vorhanden ist und dass die Kupplung nach dem längeren Betrieb der Pumpe nicht übermäßig warm/heiss wird, berühren sollte möglich sein.



Abbildung 101 «elastische» Nocken- und Bolzenkupplung

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
Versatz oder Klapfung an der Kupplung <b>Q</b>	- Ist Gummiabrieb vorhanden oder wird die Kupplung übermäßig warm?		
Versatz oder Klapfung an der Kupplung <b>A</b>			- Falls zutreffend, Ausrichtung Antrieb/Pumpe korrigieren.

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig

Tabelle 19 Inspektionsarbeiten an der «elastischen» Kupplung

#### d) Pumpenlagerung und Wellenabdichtung

##### Pumpenlagerung

Die Lagerungen von Kreiselpumpen werden unterteilt in:

1. Lagerung mit lebensdauerfettgeschmierten Wälzlagern (Fett)
2. Lagerung mit nachschmierbaren Wälzlagern (Fett)
3. Lagerung mit Wälzlagern – Schmierung durch ein Ölbad
4. Lagerung mit Gleitlager – Schmierung durch ein Ölbad
5. Lagerung mit Gleitlager – Schmierung durch das Fördermedium (Wasser)
6. Lagerung mit (Mitchell-)Segmentlagerung im Ölbad
7. Lagerung mit (Mitchell-)Segmentlagerung im Fördermedium (Wasser)

Analog zum Antrieb ist die Lagerung einer Kreiselpumpe ein zentrales Element, welches in vielen Bauformen sowohl einer Inspektion als auch einer Wartung bedarf. Die Wasserversorgung sollte für das Thema Schmierstoffe von Wälzlagern ein strukturiertes Konzept erarbeiten, welches sicherstellt, dass einerseits rechtzeitig und andererseits an allen erforderlichen Stellen mit dem richtigen Schmierstoff nachgeschmiert wird.

##### 1. Lagerung mit lebensdauerfettgeschmierten Wälzlagern (Fett) (Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, BLWP)

Diese Variante der Lagerung wird heute sehr häufig bei kleineren «trocken» aufgestellten Pumpen (bis ca. 30 kW) eingesetzt. Diese Lagerung ist «wartungsfrei».

Nach Erreichen der vorgegebenen Betriebsdauer (ca. 20'000 bis 30'000 Betriebsstunden oder nach 10 Jahren) müssen diese Lager ersetzt werden, um einen ungeplanten Ausfall und Folgeschäden zu verhindern.

##### 2. Lagerung mit nachschmierbaren Wälzlagern (Fett) (Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, BLWP)

Diese Variante der Lagerung wird bei qualitativ höherwertigen und grösseren «trocken» aufgestellten Pumpen (ab ca. 30 kW) eingesetzt. Periodisch muss die entsprechende Menge Fett, der richtigen Typs über die Schmierstelle (meist Schmiernippel) in den Lagerraum gedrückt werden. Das alte bzw. überschüssige Fett sollte bei diesem Vorgang der Nachschmierung aufgefangen und entfernt werden. Wird ein Lager «überfettet» (zu viel Fett im Lagerraum) so erwärmt sich das Lager bei der ersten Inbetriebnahme der Pumpe unter Umständen stark. Bei entsprechend hochwertig konstruierten Pumpe wird überschüssiges

Fett automatisch aus dem Lagerraum gedrückt, idealerweise durch speziell dafür vorgesehene Kanäle, ansonsten durch die Lagerabdichtung an der Welle.

Bei «nachschrubbaren» Wälzlagern sind die vorgeschriebenen Nachschmier-Intervalle und Fettmengen unbedingt einzuhalten. Ebenfalls muss das «richtige» Fett eingesetzt werden und sichergestellt werden, dass keinesfalls unverträgliche Fettsorten (z.B. Lithiumbasis und Bariumbasis) miteinander gemischt werden.

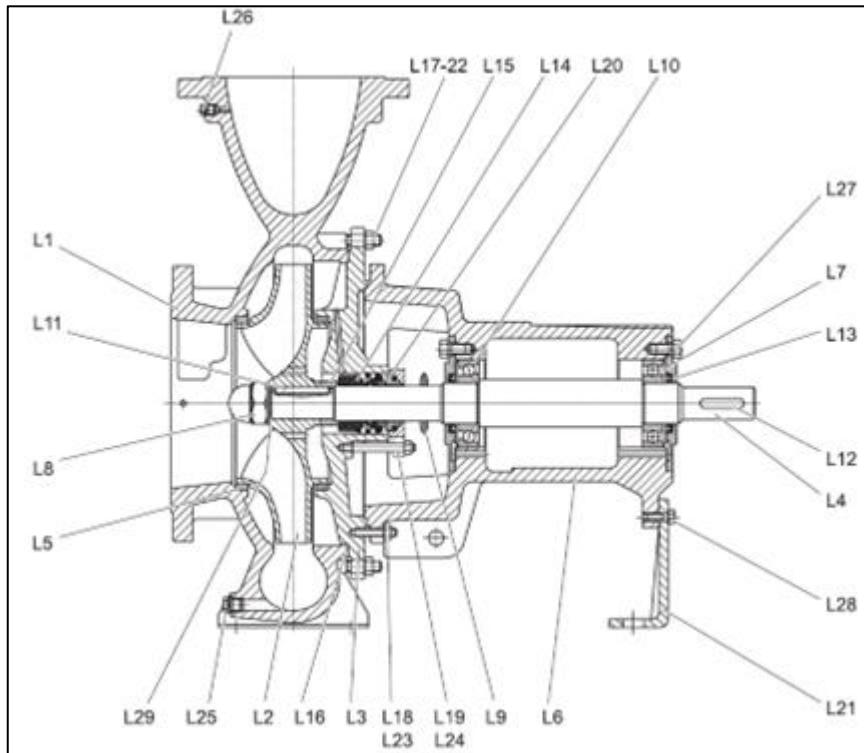


Abbildung 102 Lagerungsvariante 1. und 2. am Beispiel einer einstufigen Niederdruckpumpe ND-P

### 3. Lagerung mit Wälzlagern – Schmierung durch ein Ölbad (Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, BLWP)

Diese Art der Lagerung wird heute, aufgrund der Trinkwasserhygiene, nicht mehr häufig eingesetzt. Die Wälzlagerung im Ölbad laufend ist qualitativ jedoch höherwertiger als die fettgeschmierte Lagerung (1. und 2.).

Bei Kreiselpumpen mit dieser Art der Lagerung ist sowohl der Ölstand (Füllmenge) als auch der periodische Ölwechsel in die Inspektions- und Wartungsarbeiten aufzunehmen.

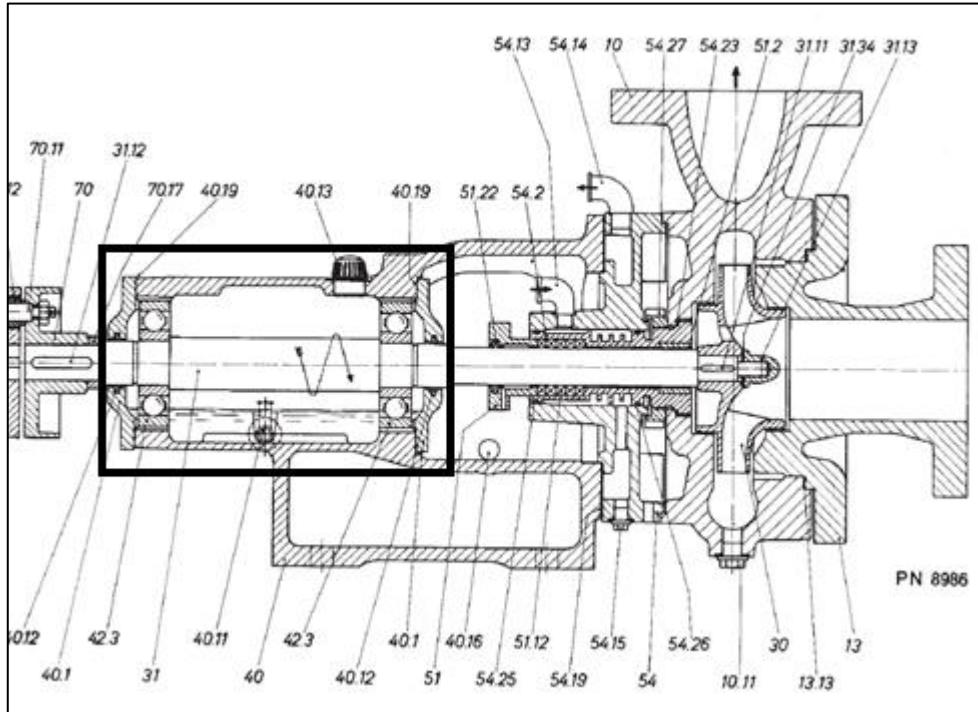


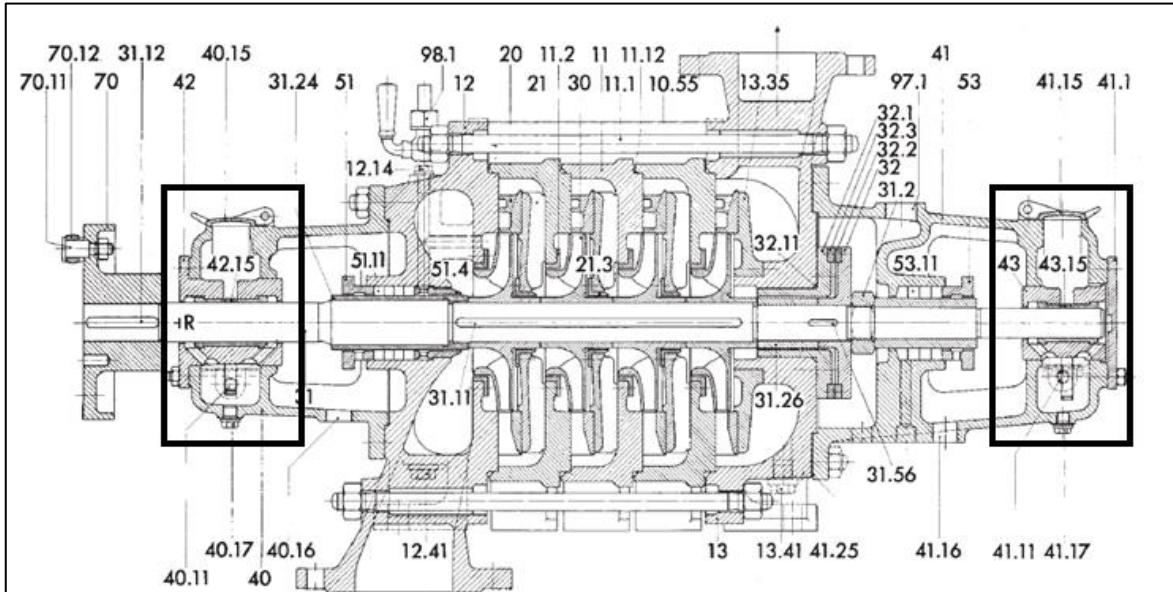
Abbildung 103 Lagerungsvariante 3. am Beispiel einer einstufigen Niederdruckpumpe ND-P

#### 4. Lagerung mit Gleitlager – Schmierung durch ein Ölbad (Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, BLWP)

Diese Art der Lagerung wird heute, aufgrund der Trinkwasserhygiene, nicht mehr häufig eingesetzt. Die Gleitlager im Ölbad sind qualitativ jedoch deutlich höherwertiger als die fettgeschmierten und ölgeschmierten Wälzläger (1., 2. und 3.).

Ein im Lagergehäuse eingebrachter Schleuderring sorgt dafür, dass das Gleitlager immer mit der richtigen Menge Öl versorgt wird. Diese Art der Lagerung kann keine axialen Kräfte aufnehmen, daher verfügen Pumpen mit beidseitiger Gleitlagerung über einen kompletten hydraulischen Axialschubausgleich, welcher meistens in Form einer Entlastungsscheibe ausgeführt wird. Diese, sehr hochwertigen Bauformen von Kreiselpumpen werden heute in dieser Form nicht mehr hergestellt.

Bei Kreiselpumpen mit dieser Art der Lagerung ist sowohl der Ölstand (Füllmenge) als auch der periodische Ölwechsel in die Inspektions- und Wartungsarbeiten aufzunehmen.



**Abbildung 104 Lagerungsvariante 4. am Beispiel einer mehrstufigen Hochdruckpumpe HD-P**

## **5. Lagerung mit Gleitlager – Schmierung durch das Fördermedium (Wasser)** (Geltungsbereich: Bauformen: HD-P, UWP, BLWP)

Diese Art der Lagerung wird vor allem bei vertikal «trocken» aufgestellten Hochdruck-pumpen HD-P eingesetzt. Aus konstruktiven Gründen wird das Lager, welches sich unten auf der Saugseite befindet als Gleitlager ausgeführt, welches durch das Fördermedium (Wasser) geschmiert wird.

Diese Variante kommt ebenso bei horizontal «trocken» aufgestellten Hochdruckpumpen HD-P zum Einsatz, welche mit einem axialen Eintritt (Saugstutzen) ausgerüstet sind.

Diese Art der Lagerung ist wartungsfrei und als Verschleissteil zu betrachten, dessen Gebrauchszeit sehr stark mit der Reinheit des Fördermediums zusammenhängt. Grundsätzlich ist Wasser qualitativ als Schmierstoff in keiner Weise mit Öl vergleichbar.

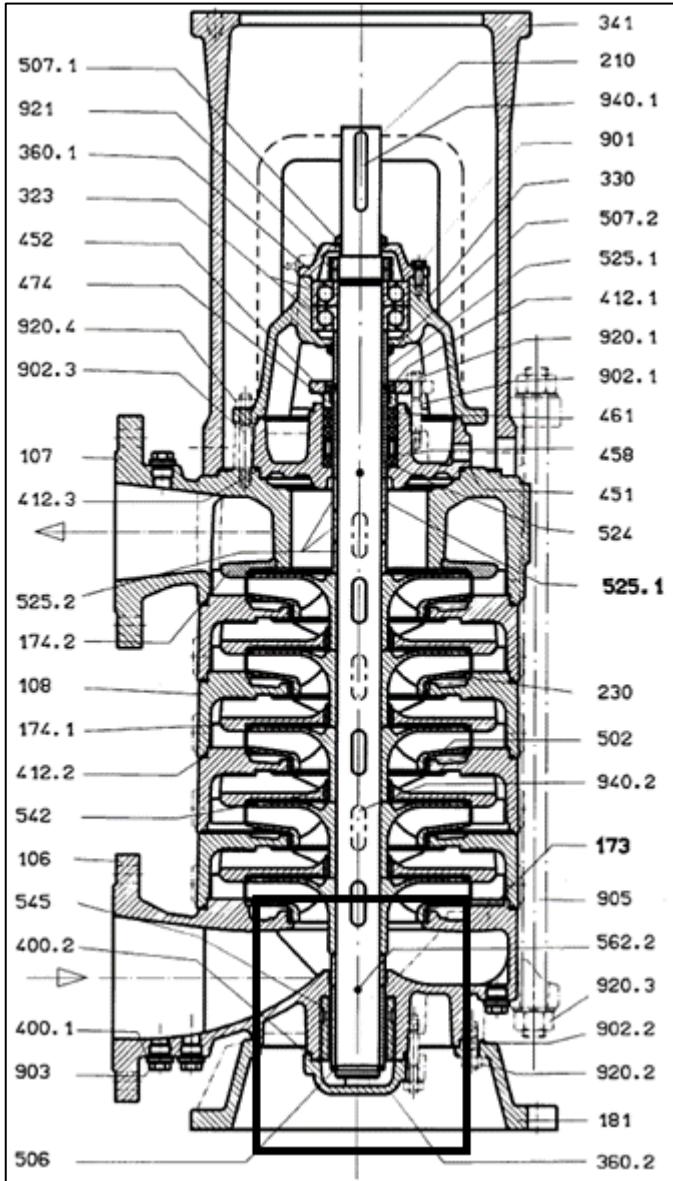


Abbildung 105 Lagerungsvariante 5. am Beispiel einer mehrstufigen vertikalen Hochdruckpumpe HD-P

## 6. Lagerung mit (Mitchell-)Segmentlagerung im Ölbad (Geltungsbereich: Bauformen BLWP)

Diese Lagerung ist fast ausschliesslich bei alten, schweren Ausführungen der Bohrlochwellenpumpen anzutreffen und wird heute, aufgrund der Trinkwasserhygiene, nicht mehr eingesetzt. Das Segmentlager im Ölbad laufend ist eine der technischen hochwertigsten Lagerbauarten (für Axiallager), welche in den Schweizer Trinkwasserversorgungen eingesetzt wurde.

Die Lagerung besteht aus einem rotierenden Lagerring und gegenseitig statisch angeordneten Kippsegmenten. Die Segmente sind so bearbeitet, dass sie im Betrieb einen Ölfilm zwischen sich und dem Lagerring aufbauen. Um eine Erwärmung des Öls zu vermeiden, sind diese Lagerungen mit einer Kühlung (Kühlschlange) ausgerüstet, welche von Trinkwasser durchströmt wird. Darum ist die Start- und Stopzeit sehr kurz zu wählen! (siehe auch Kapitel 9.2 «Elektrische Startvorrichtung (Anlassverfahren)»)

Wichtig dabei ist der stetige Wasserfluss zur Kühlung und dass das Kühlwasser nach dem Durchströmen der Kühlschlange auf keinen Fall in den Trinkwasserkreislauf (z.B. Trinkwasserbrunnen) zurückgeführt wird, sondern als Schmutzwasser behandelt wird.

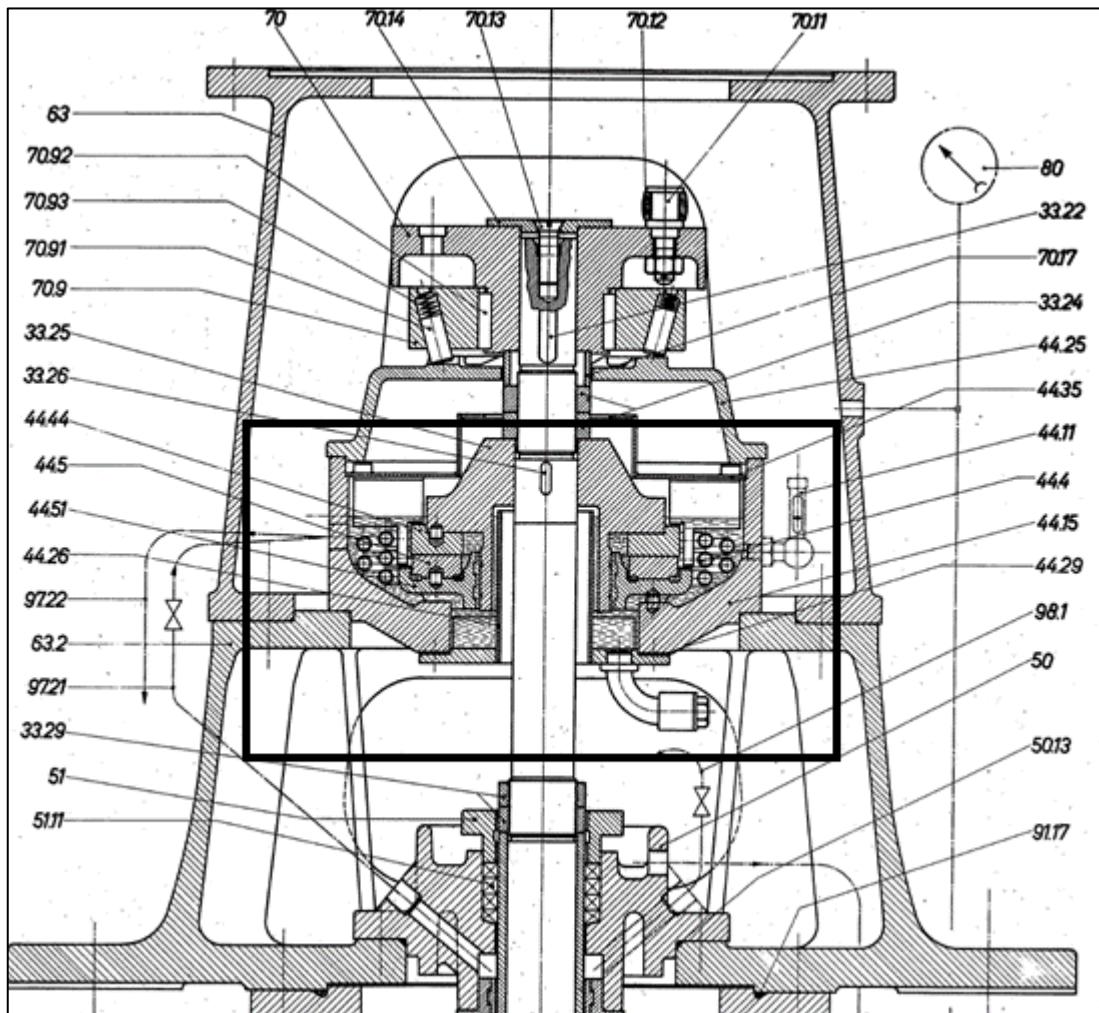
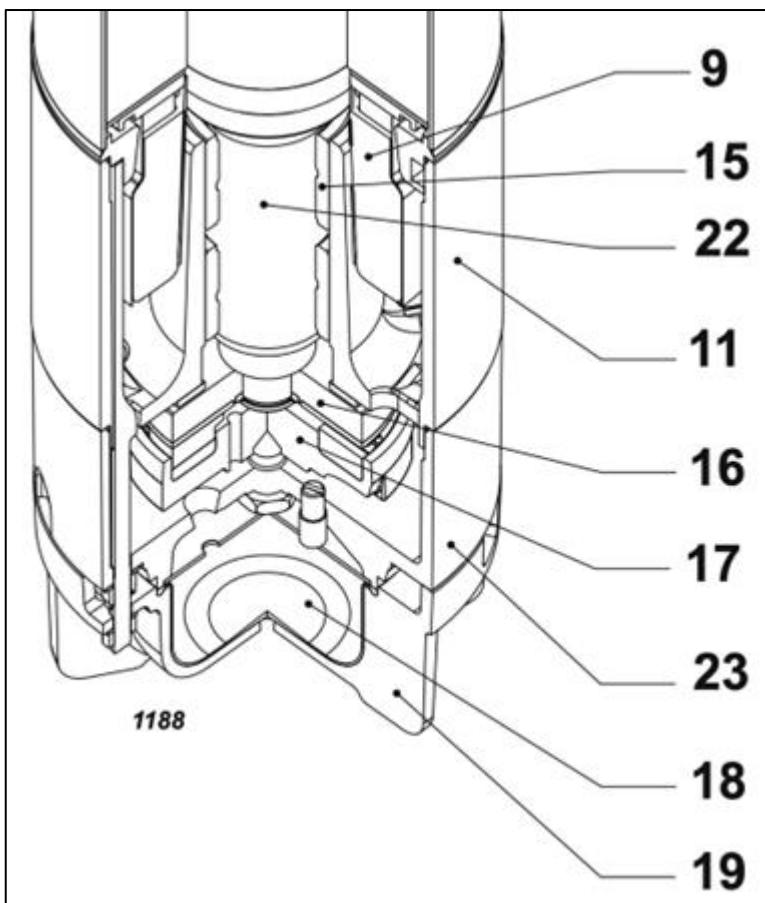


Abbildung 106 Lagerungsvariante 6. am Beispiel einer alten, schweren Bohrlochwellenpumpe (BLWP)

## 7. Lagerung mit (Mitchell-)Segmentlagerung im Fördermedium (Wasser) (Geltungsbereich: Bauformen UWP)

Diese Art der Lagerung wird bei Unterwassermotorpumpen eingesetzt, um die Axialkräfte des Antriebs und der Pumpe aufzunehmen. Der Motor muss für den Einsatz in Trinkwasserversorgungen aus Hygienegründen mit Trinkwasser gefüllt sein (einmalige Füllung vor dem Einbau der Pumpe). Das Wasser im Motor hat die Funktionen die Wärmeentwicklung an den Motormantel und damit das vorbeifließende Trinkwasser zu leiten und den Schmierfilm für das Segmentlager zu bilden. Vom Prinzip her arbeitet diese Lagerungsvariante identisch zu Variante 6. Darum ist die Start- und Stopzeit sehr kurz zu wählen! (siehe auch Kapitel 9.2 «Elektrische Startvorrichtung (Anlassverfahren)»)

Eine Inspektion bzw. Wartung ist aufgrund der Einbaulage im Brunnen, oder auch selten im Druckmantel «trocken» aufgestellt nicht möglich. Falls das Lager einen zunehmenden Verschleiss aufweist, verschiebt sich der gesamte Rotor (Antrieb und Pumpe) vertikal nach unten. Spätestens wenn die Laufräder in den Gehäuselementen eine Berührung aufweisen, steigt dadurch verursacht die Stromaufnahme massiv an. Siehe Abb. 104 Bauteile Pos. 16 und Pos. 17.



**Abbildung 107 Lagerungsvariante 7. am Beispiel einer Unterwassermotorpumpe (UWP)**

Für die vorstehend beschriebenen Lagerungsvarianten können folgende Tätigkeiten für die Inspektion festgelegt werden:

	<b>Mindestumfang</b>	<b>Empfohlener Umfang</b>	<b>Erweiterter Umfang</b>
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
<b>Lagerung 1.</b> Lebensdauerfett- geschmierte Wälzlager <b>W</b>	- Manuelle Prüfung der Temperatur im Bereich der Lage- rung im Betrieb der Pumpe	- Manuelle Prüfung der Vibratoren am Lagergehäuse (plötzlicher Anstieg=!)	
<b>Lagerung 2.</b> Nachschmierbare Wälzlager (Fett) <b>W</b>	- Manuelle Prüfung der Temperatur im Bereich der Lage- rung im Betrieb der Pumpe	- Manuelle Prüfung der Vibratoren am Lagergehäuse (plötzlicher Anstieg=!)	
<b>Lagerung 3.</b> Ölgeschmierte Wälzlager <b>W</b>	- Prüfung des Öl- stands im Lager- gehäuse (statisch) und Temperatur im Bereich der Lage- rung (im Betrieb)	- Manuelle Prüfung der Vibratoren am Lagergehäuse (plötzlicher Anstieg=!)	

<b>Lagerung 4.</b> Ölgeschmierte Gleitlager <b>W</b>	- Prüfung des Ölstands im Lagergehäuse (statisch) und Temperatur im Bereich der Lagerung (im Betrieb)	- Manuelle Prüfung der Vibrationen am Lagergehäuse (plötzlicher Anstieg=!=)	
<b>Lagerung 5.</b> Fördermedium geschmierte Gleitlager <b>W</b>	Keine Inspektionsarbeiten möglich!		
<b>Lagerung 6.</b> Segmentlager im Ölbad laufend <b>W</b>	- Manuelle Prüfung der Temperatur im Bereich der Lagerung im Betrieb der Pumpe	- Manuelle Prüfung der Vibrationen am Lagergehäuse (plötzlicher Anstieg=!=)	
<b>Lagerung 7.</b> Segmentlager im Fördermedium laufend <b>W</b>	Keine Inspektionsarbeiten möglich!		
Für alle Lagerungsvarianten <b>W</b>			- Schwingungsmessung um die Zulässigkeit und Ursache zu beurteilen

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig  
**Tabelle 20** Inspektionsarbeiten an der Pumpenlagerung

Für die vorstehend beschriebenen Lagerungsvarianten können folgende Tätigkeiten für die Wartung festgelegt werden:

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Wartungsarbeiten</b>			
<b>Lagerung 1.</b> Lebensdauerfettgeschmierte Wälzlager <b>A</b>			- Ersatz der Wälzläger nach Erreichen der vorgegebenen Gebrauchsduer
<b>Lagerung 2.</b> Nachschmierbare Wälzläger (Fett) <b>A</b>	- Periodische Nachschmierung gemäss Betriebsanleitung	- Ersatz des kompletten Fettes gemäss Betriebsanleitung (Durchfetten)	- Ersatz der Wälzläger nach Erreichen der vorgegebenen Gebrauchsduer
<b>Lagerung 3.</b> Ölgeschmierte Wälzläger <b>A</b>	- Periodisches Nachfüllen von Öl (in Abhängigkeit des Ölstands)	- Ölwechsel nach der vorgegebenen Betriebsdauer	- Ersatz der Wälzläger nach Erreichen der vorgegebenen Gebrauchsduer
<b>Lagerung 4.</b> Ölgeschmierte Gleitlager	- Periodisches Nachfüllen von Öl	- Ölwechsel nach der vorgegebenen Betriebsdauer	- Ersatz der Gleitläger nach Erreichen

<b>A</b>	(in Abhängigkeit des Ölstands)		der vorgegebenen Gebrauchsduer
<b>Lagerung 5.</b> Fördermedium geschmierte Gleitlager <b>A</b>			- Ersatz der Gleitlager nach Erreichen der vorgegebenen Gebrauchsduer
<b>Lagerung 6.</b> Segmentlager im Ölbad laufend <b>A</b>	- Periodisches Nachfüllen von Öl (in Abhängigkeit des Ölstands)	- Ölwechsel nach der vorgegebenen Betriebsdauer	
<b>Lagerung 7.</b> Segmentlager im Fördermedium laufend <b>A</b>	Keine Wartungsarbeiten möglich!		

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig  
Tabelle 21 Wartungsarbeiten an der Pumpenlagerung

### Wellenabdichtung

Bei den in Schweizer Wasserversorgungen eingesetzten Kreiselpumpen gelangen vorwiegend zwei Wellenabdichtungssysteme zum Einsatz. Die Wellenabdichtung hat zu verhindern, dass, unter erhöhtem Druck stehendes, Fördermedium entlang der rotierenden Welle aus dem Pumpengehäuse austreten kann.

#### 1. Stopfbüchspackung (Geltungsbereich: Bauformen ND-P, HD-P, BLWP)

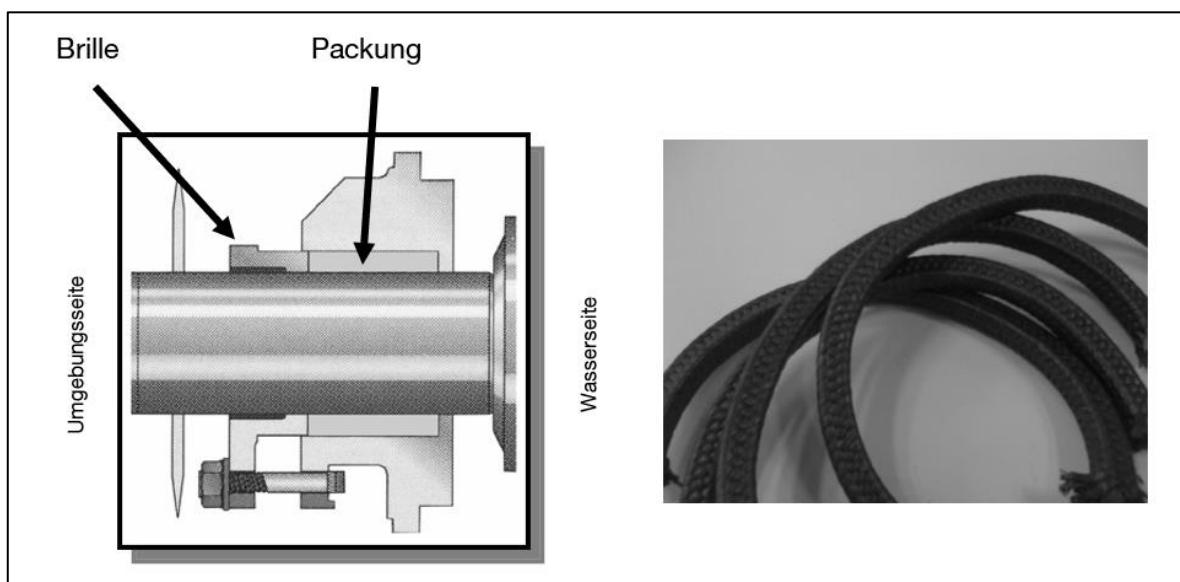


Abbildung 108 Stopfbüchsenpackung

Das bewährte Abdichtungssystem «Stopfbüchspackung» basiert darauf, dass eine Packung in einem geschlossenen Raum durch Krafteinwirkung der Stopfbüchsbrille gleichzeitig an die Gehäusewand und auf die Welle gepresst wird. Dadurch entsteht die Dichtwirkung. Diese Art der Abdichtung ist auf eine minimale, kontinuierliche Leckage angewiesen, um die Schmierung und damit auch Kühlung zwischen Welle und Stopfbüchspackung sicherzustellen. Da die Pumpenwelle bzw. die Wellenschutzhülse einem gewissen

Verschleiss unterliegt, steigt die Menge des Leckagewassers stetig an. Die Wartung besteht darum darin das Leckagewasser durch periodisches Nachziehen der Stopfbüchbrille wieder auf die gewünschte, minimal erforderliche Menge zu reduzieren.

Wenn die Abdichtung nachgezogen wurde, muss die Pumpe beaufsichtig während mehreren Minuten betrieben werden. Das dabei ablaufende «Einpendeln» der Leckage kann auch zur Folge haben, dass keine Leckage mehr austritt und damit die Packung ohne sofortige Intervention «festbacken/vulkanisieren» würde und damit komplett zu ersetzen wäre. (Trockenlauf zerstört die Abdichtung)

Der Vorgang des Nachziehens kann mehrere Male wiederholt werden, bis der Verschleiss (Einlaufspuren) an der Pumpenwelle bzw. der Wellenschutzhülse so gross ist, dass keine ausreichende Dichtwirkung mehr erreicht werden kann. In diesem Fall muss die Pumpe revidiert werden und dabei die Wellenschutzhülse ersetzt bzw. die Pumpenwelle ersetzt oder aufgearbeitet werden.

Hochwertige Pumpen mit Stopfbüchspackung sind darum unter anderem am Vorhandensein einer Wellenschutzhülse im Packungsbereich erkennbar.

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch, welche Menge an Leckage an einer Stopfbüchspackung im optimal eingestellten Fall vorliegen sollte.

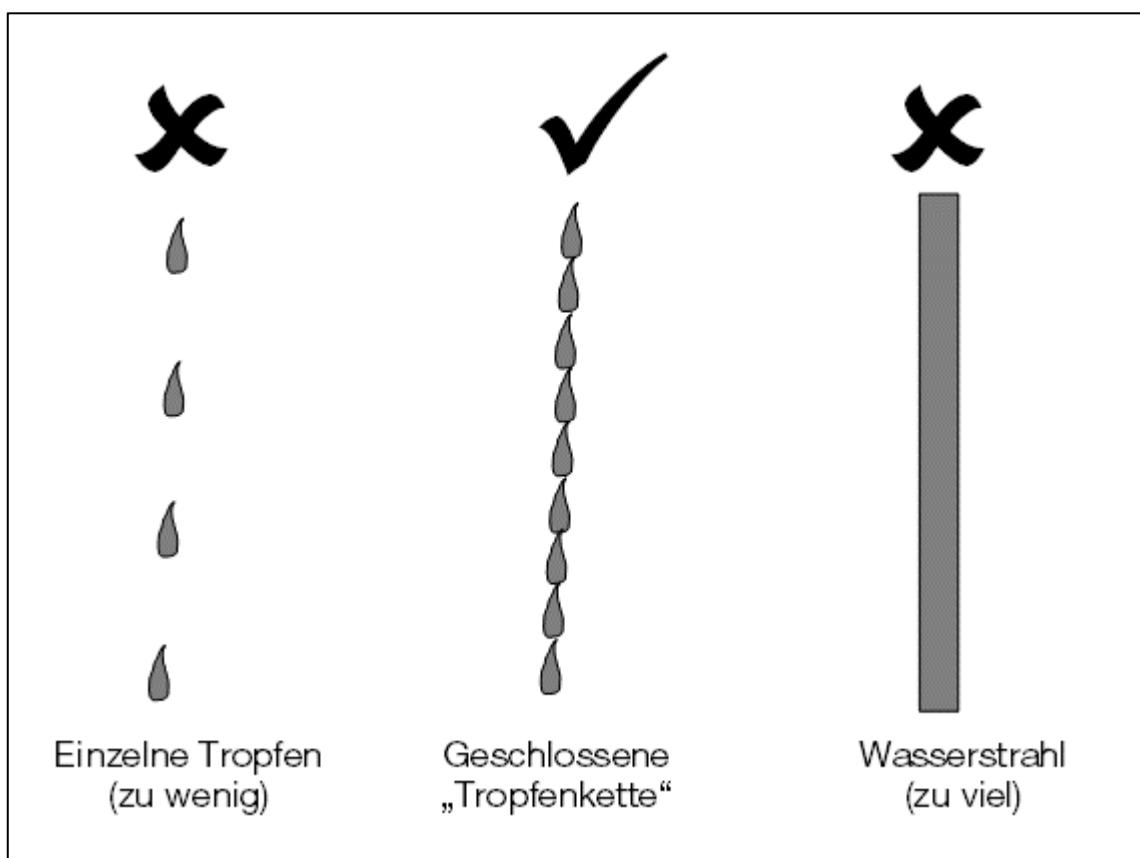


Abbildung 109 Die Leckage an einer Stopfbüchspackung

Folgende Inspektions- und Wartungsarbeiten müssen an einer Stopfbüchspackung vorgenommen werden:

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
Leckage <b>W</b>	- Kontrolle der Leckage an der Packung (im Betrieb)		
<b>Wartungsarbeiten</b>			
Leckage <b>A</b>		- Bei zu hoher Leckage die Stopfbüchsbrille leicht nachziehen, bis die Leckage wieder optimal vorliegt	- Prüfung und Ersatz der Stopfbüchspackung (wenn erforderlich inklusive Ersatz der Welle/Wellenschutzhülse)

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig

Tabelle 22 Inspektions- und Wartungsarbeiten an der Stopfbüchspackung

## 2. Gleitringdichtung

(Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, UWP)

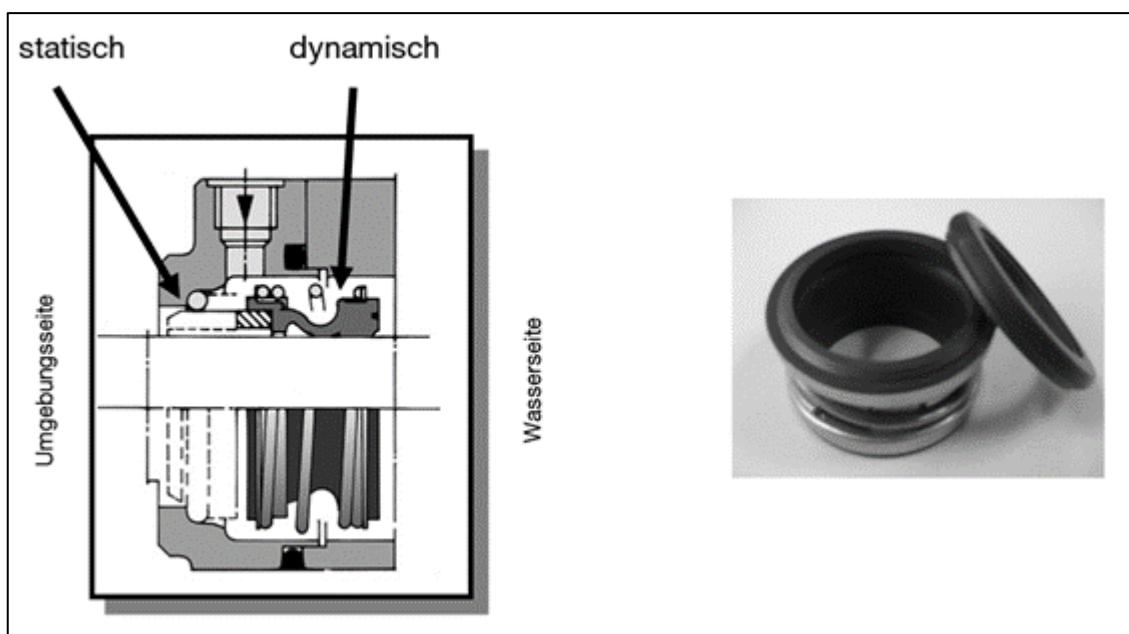


Abbildung 110 Gleitringdichtung

Die Gleitringdichtung wird seit einigen Jahrzehnten bei Kreiselpumpen eingesetzt. Viele Kreiselpumpen werden in der Standardausführung mit Gleitringdichtung angeboten oder sind sogar nur in dieser Ausführung erhältlich.

Das Dichtungsprinzip basiert darauf, dass eine statische Dichtscheibe gegen eine rotierende Dichtscheibe läuft, mit axialer Federkraft angepresst. Die sich berührenden Oberflächen dieser beiden Scheiben müssen eine sehr glatte Oberfläche (geläppt) aufweisen. Das Fördermedium bildet einen feinen Schmierfilm zwischen den Flächen. Daher ist auch diese Dichtung, in einfacher Ausführung, zwingend auf Fördermedium an der Dichtung angewiesen.

Ein Trockenlauf zerstört diese Dichtung, eine Ersatz vor Ort ist, vor allem bei grösseren Pumpen, nicht möglich. Daher gilt die Gleitringdichtung als Verschleissteil.

In der Wasserversorgung werden heute vorwiegend folgende Materialpaarungen der Gleitringe und Nebendichtungselemente eingesetzt: (Aufzählung nicht abschliessend)

**Normale Ausführung:** Gleitringdichtung Hartkohle/Hartmetall mit EPDM-Elementen

**Spezielle Ausführungen:** Gleitringdichtung Hartmetall/Hartmetall mit FKM-Elementen

Der Einsatz widerstandsfähiger Ausführungen ist dann zu empfehlen, wenn z.B. in Rohwasserfassungen vor der Aufbereitung gewisse mineralische Bestandteile im Fördermedium vorhanden sein können. Nachteilig sind Hartmetall/Hartmetall Paarungen noch viel empfindlicher gegen Trockenlauf.

Folgende Inspektions- und Wartungsarbeiten müssen an einer Gleitringdichtung vorgenommen werden:

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
Leckage <b>W</b>	- Kontrolle der Leckage an der Gleitringdichtung (im Betrieb)		
<b>Wartungsarbeiten</b>			
Leckage <b>A</b>	Keine Wartungsarbeiten möglich! <b>Bei auftretender Leckage (grösser als einige Tropfen pro Minute) ist die Dichtung (als Verschleissteil) zu ersetzen.</b>		

Periodizität: W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig  
Tabelle 23 Inspektions- und Wartungsarbeiten an der Gleitringdichtung

Differenzierungsmerkmale für Stopfbüchspackungen oder Gleitringdichtungen

- Stopfbüchspackungen dichten radial, Gleitringdichtungen dichten axial
- Kleinere Standardpumpen werden heute klassisch nur mit Gleitringdichtung ausgeführt.
- Unterwassermotorpumpen werden heute ausschliesslich mit Gleitringdichtung ausgeführt.
- Bohrlochwellenpumpen werden ausschliesslich mit Stopfbüchspackungen ausgeführt.
- Ohne Rücksprache mit dem Hersteller/Lieferant werden heute in den meisten Fällen Kreiselpumpen mit Gleitringdichtungen angeboten.
- Beide Abdichtungsvarianten sind ohne spezielle Vorkehrungen (Sperrwasser, doppelt wirkende Ausführung, ...) stark Trockenlauf gefährdet.
- Die Gleitringdichtung gilt als Verschleissteil, dass bei auftretender Leckage entsprechend ersetzt werden muss.
- Die Stopfbüchspackung kann einige Male nachgestellt werden, bevor sie ersetzt bzw. die Pumpe revidiert werden muss.

### e) Hydraulischer Teil der Pumpe

(Geltungsbereich: Bauformen: ND-P, HD-P, UWP, BLWP)

Der sogenannte «hydraulische Teil» bildet die eigentliche Kreiselpumpe und besteht mas-  
sgeblich aus dem Laufrad und dem dazugehörigen Pumpengehäuse. Bei mehrstufigen  
Pumpen entsprechend mehrfach in der Pumpe auf der gemeinsamen Pumpenwelle an-  
geordnet.



Abbildung 111 Der hydraulische Teil einer Bohrlochwellenpumpe vor und nach der Revision

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Inspektionsarbeiten</b> (für «trocken» aufgestellte Pumpenhydrauliken)			
Leckage <b>W</b>	- Kontrolle, ob an ei- ner Gehäusedich- tung Wasser aus tritt.	- Manuelle Prüfung der Vibrationen am Lagergehäuse  (plötzlicher Anstieg=!)	
Vibrationen <b>W</b>		- Manuelle Prüfung der Vibrationen am Pumpengehäuse  (plötzlicher Anstieg=!)	
Vibrationen <b>A</b>			- Schwingungsmes- sung um die Zu- läs- sigkeit und Ursa- che zu be- urteilen

Geräusche * <b>W</b>		- Akustische Feststellung ob durch die Hydraulik unzulässige Geräusche (z.B. Kavitation) verursacht werden.	
-------------------------	--	---	--

Periodizität: **W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig**

Tabelle 24 Inspektionsarbeiten am hydraulischen Teil

Geräusche: Bei dieser Feststellung muss zwischen «normalen» Strömungsgeräuschen und der potenziell schädigenden Kavitation unterschieden werden. Hierzu sind folgende Unterscheidungsmerkmale zu berücksichtigen:

- Leichte Kavitation: wie, wenn Sand/Kieselsteine gefördert würden.
- Mittlere Kavitation: wie, wenn 1cm grosse Steine gefördert würden.
- Starke Kavitation: wie, wenn faustgroße Steine gefördert würden.

Im Fall von mittlerer und starker Kavitation ist umgehen zu reagieren. Die Pumpe ist ausser Betrieb zu nehmen und es ist die Ursache zu eruieren.

#### f) Rohrleitungssystem im Pumpwerk (mit Armaturen, Aktoren und Sensoren)

Neben der Pumpe selbst und der Steuerung sind weitere Bestandteile eines Pumpsystems ebenfalls in den Inspektions- und Wartungsplan einzubinden. Ablesungen an Messinstrumenten und Kontrollen von Absperrgangenen und Rückflussverhinderern tragen massgeblich zu einer erfolgreichen Inspektions- und Wartungsstrategie bei.

Die wichtigste Inspektionsaufgabe dabei bildet das Festhalten der hydraulischen Parameter. Der Differenzdruck (Förderhöhe  $H_{mano}$ ) und der Volumenstrom bilden den Betriebspunkt der Pumpe ab, welche wie bereits vorstehend erläutert viele Rückschlüsse auf den Pumpen- und Systemzustand zulässt.

	Mindestumfang	Empfohlener Umfang	Erweiterter Umfang
<b>Inspektionsarbeiten</b>			
Volumenstrom Q <b>W</b>		- Direkt am Durchflussmesser (MID) ablesen.	
Förderhöhe/ Druck $H_s$ (saugseitig) <b>W</b>		- Direkt am Manometer auf der Saugseite der Pumpe ablesen	
Förderhöhe/ Druck $H_d$ (druckseitig) <b>W</b>		- Direkt am Manometer auf der Druckseite der Pumpe ablesen	
Armaturen <b>W</b>		- Alle Armaturen (Schieber, Klappen, Rückflussverhinderer) auf die richtige Stellung und Gängigkeit prüfen.	

Periodizität: **W = wöchentlich, M=monatlich, Q=quartalsweise, J=jährlich, A=abhängig**

**Tabelle 25 Inspektionsarbeiten, Messung der hydraulischen Parameter**

## **13 Rehabilitation, Instandhaltung (Werterhalt)**

### **13.1 Grundlagen und Ziele von Rehabilitation / Instandhaltung**

Folgende Grundlagen aus der vorhergehenden Bearbeitungsphase (Kapitel 12: Betrieb und Überwachung) liegen vor:

- Sicherer und qualitätskonformer, wirtschaftlicher Betrieb
- In- und Ausserbetriebsnahmen geregelt und dokumentiert
- Betriebstauglichkeit der Anlage erhalten

Die folgenden Ziele sollen in dieser Projektphase erreicht werden:

- Zustandsanalyse durchführen
- Mängel beurteilt und Massnahmen zu deren Behebung festlegen
- Sanierungsverfahren festlegen

Im Folgenden werden zu Rehabilitation / Instandhaltung (Instandsetzung) relevante Aspekte beleuchtet und Empfehlungen formuliert:

### **13.2 Instandhaltung an Kreiselpumpen**

Der Begriff Instandhaltung in folgende Bereiche unterteilt:

- Wartung: Bewahrung des Soll-Zustandes (siehe Kap.12)
- Inspektion: Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes (siehe Kap.12)
- Instandsetzung: Wiederherstellung des Soll-Zustandes
- Verbesserung: Massnahmen zur Steigerung der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Instandhaltbarkeit

Nur durch strukturierte und konsequente Anwendung dieser Themenbereiche kann die Gebrauchsduer maximiert und die Betriebssicherheit sichergestellt werden. In diesem Zusammenhang steht auch das Thema Energieeffizienz. Die korrekte, regelmässige Inspektion an Pumpen überwacht auch die Effizienz des Aggregats.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Bereiche «Wartung» und «Inspektion». Dies, da die anderen Bereiche (Instandsetzung und Verbesserung) normalerweise durch Fachfirmen durchgeführt werden.

Wartung und Inspektion an einer Kreiselpumpe sind durch den Betreiber durchzuführen, um einerseits die Betriebssicherheit, die Werterhaltung und andererseits auch die ursprünglich installierte Energieeffizienz sicherzustellen.

### **13.3 Instandhaltungsstrategien an Kreiselpumpen**

Jede Wasserversorgung soll sich im Bezug auf die eingesetzten Pumpensysteme für eine Instandhaltungsstrategie entscheiden und diese in den Prozessen entsprechend einbinden.

- Korrektive Instandhaltung beschreibt, ausschliesslich auf den Ausfall einer Pumpe zu reagieren und sonst keinerlei Aktivitäten im Bereich Inspektion und Wartung zu betreiben. Diese Art der Instandhaltungsstrategie darf nicht zur Anwendung gelangen, da die Verfügbarkeit und Betriebssicherheit damit nicht gewährleistet ist.
- Präventive Instandhaltung – Vorausbestimmt: Damit werden in Abhängigkeit der Zeit oder Betriebsstunden Inspektion und Wartung durchgeführt.
- Präventive Instandhaltung – Zustandsorientiert: Damit werden in Abhängigkeit des effektiven Zustandes Inspektion und Wartung durchgeführt. Die dafür erforderlichen Messgrößen müssen dabei definiert, periodisch erfasst, laufend ausgewertet und gegebenenfalls eskaliert werden.

Umso hochwertiger Inspektion und Wartung durchgeführt werden, desto geringer fallen die Gesamtkosten aus.

### **13.4 Instandsetzung, Reparatur und Revision an Pumpensystemen**

#### **13.4.1 Grundsätzliches zur Instandsetzung, Reparatur und Revision**

Nach einer gewissen Betriebszeit bzw. bei Erreichen eines definierten Verschleisszustandes muss eine Kreiselpumpe einerseits zur Werterhaltung und andererseits zur Sicherstellung der Betriebssicherheit entweder instandgesetzt (revidiert), oder ersetzt werden.

Der Begriff «Revision» welcher definitionsgemäss die Wiederherstellung des Soll-Zustandes umfassen sollte bietet einen sehr grossen Interpretationsspielraum. Auch die Differenzierung zu einer «Reparatur» ist wichtig.

- Eine Reparatur wird durchgeführt, um einen vorliegenden Mangel oder Schaden zu beheben. Dies kann z.B. der Ersatz einer defekten Wellenabdichtung sein. Dabei wird ausschliesslich die betroffene Komponente ersetzt, oder aufgearbeitet. Die Werterhaltung und die Betriebssicherheit sind damit nicht vollumfänglich gewährleistet.
- Die Revision beschreibt den Vorgang, dass eine Pumpe komplett zerlegt und aufgearbeitet bzw. mit Ersatzmaterial ausgerüstet wird. Da der Umfang einer Revision im Detail sehr unterschiedlich ausfallen kann, sind bei der Vergabe solcher Tätigkeiten die Angebote der Fachfirmen genau zu prüfen und zu vergleichen. Die dabei umfangreichste Ausführung ist eine sogenannte «Neuwertrevision». Dabei wird die Pumpe technisch in einen neuwertigen Zustand versetzt, zur Werterhaltung und Sicherstellung der Betriebssicherheit. Der Pumpenwirkungsgrad entspricht dann auch wieder mindestens dem ursprünglichen Zustand zum Zeitpunkt der Erstmontage der Pumpe, zur Sicherstellung der Energieeffizienz.

Eine Revision kann, sinnvollerweise, nicht an allen Qualitätsstufen von Pumpen durchgeführt werden (siehe Kapitel 10.4 Ausschreibung/Beschaffung von Kreiselpumpen). Die Pumpen der Qualitätsstufe «schwere Wasserwerksausführung» sind uneingeschränkt für eine «Neuwertrevision» geeignet. Die «Wasserwerksausführung» eingeschränkt und die «Industrieausführung» nicht.

Wie vorstehend erwähnt ändert sich innerhalb der Betriebszeit, bis eine Revision durchgeführt wird (15-25 Jahre) das hydraulische System der Wasserversorgung und damit

auch die Systemkennlinie. Im Zuge der Revision kann, falls erforderlich, die Pumpenhydraulik entsprechend angepasst werden, um wieder optimal auf das aktuell hydraulische System der Wasserversorgung, abgestimmt (energieeffizient) eingesetzt werden zu können.

### 13.4.2 Die «Neuwertrevision»

Folgende Tätigkeitsschritte sollten bei einer solchen Revision beinhaltet sein:

1. Komplettes zerlegen der Pumpe
2. Erfassung des Abnutzungszustandes, um den konkreten Revisionsumfang festzulegen
3. Grobe Reinigung der Teile und abdecken der bearbeiteten Partien an den Bauteilen (Pumpengehäuse, Laufräder, Lagergehäuse, Transmissionsrohre, Motoruntersätze, etc.)
4. Sandstrahlen oder Glasperlstrahlen der Bauteile
5. Die relevanten, bearbeiteten Partien auf Masshaltigkeit prüfen
6. Verschlissene Partien an Laufrädern, Wellen und Gehäusebauteilen auf Originalmass bringen. Mittels Aufmetallsierung, Auf/Ausbüchsen, Reprofilierung, etc.
7. Pumpen- und Transmissionswellen in die zulässige Rundlauftoleranz bringen/ausrichten
8. Alle Verschleissteile ersetzen (Lager, Büchsen, Dichtungen, Verbindungselemente, ...)
9. Alle wasserführenden Teile (in der Pumpe) mit einem Trinkwasseranstrich lackieren
10. Remontage der Pumpe
11. Prüfstandsmessung (empfiehlt sich, wenn möglich, nach Abschluss einer Revision. Neben dem Funktionstest wird dabei auch die Kennlinie erfasst und die Energieeffizienz beurteilt)
12. Lackierung der Pumpe (außen)

Da erst nach dem Zerlegen der Pumpe der Abnutzungszustand und der damit verbundene Aufwand zur Instandsetzung ersichtlich wird, handelt es sich bei seriösen Angeboten von Fachfirmen im Vorfeld um Richtangebote, welche auf Erfahrungswerten basieren.

## 13.5 Arbeitssicherheit

Bei allen Arbeiten an Kreiselpumpen und deren Antrieb ist zwingend hohes Gewicht auf die Arbeitssicherheit zu legen und alle dazu existierenden gesetzlichen und betrieblichen Vorgaben einzuhalten!

- Keine Manipulationen / Arbeiten an drehenden, sich bewegenden Teilen durchführen
- Vor jeglichen Manipulationen / Arbeiten an einer Kreiselpumpe bzw. deren Antrieb muss die elektrische Stromzufuhr fachgerecht getrennt werden

## **14 Rückbau**

Die folgenden grundlegenden Vorgaben für den Rückbau von Pumpenanlagen in der Trinkwasserversorgung sind zu berücksichtigen:

### **14.1 Planung und Vorbereitung**

- Bestandsaufnahme: Dokumentation der bestehenden Pumpenanlage und ihrer Komponenten.
- Gefährdungsbeurteilung: Analyse möglicher Risiken für die Trinkwasserqualität und die Umgebung.
- Genehmigungen: Einholen aller notwendigen behördlichen Genehmigungen.

### **14.2 Technische Massnahmen**

- Abschaltung und Entleerung: Sicherstellen, dass die Pumpe ordnungsgemäß abgeschaltet und das System entleert ist.
- Demontage: Fachgerechte Demontage der Pumpe und aller zugehörigen Komponenten.
- Vermeidung von Kontamination: Massnahmen zur Vermeidung von Verunreinigungen des Trinkwassers während des Rückbaus.

### **14.3 Entsorgung und Recycling**

- Materialtrennung: Trennung der verschiedenen Materialien (Metalle, Kunststoffe, etc.) zur fachgerechten Entsorgung.
- Umweltgerechte Entsorgung: Sicherstellen, dass alle Materialien umweltgerecht entsorgt oder recycelt werden.

### **14.4 Dokumentation und Nachkontrolle**

- Rückbaudokumentation: Erstellen einer detaillierten Dokumentation des Rückbauprozesses.
- Qualitätskontrolle: Durchführung von Kontrollen zur Sicherstellung, dass keine Rückstände oder Verunreinigungen im Trinkwassersystem verbleiben.
- Abschlussbericht: Erstellung eines Abschlussberichts, der alle durchgeführten Maßnahmen und Kontrollergebnisse zusammenfasst.

## **15 Dokumentation**

Vor der Inbetriebnahme haben die beauftragten Unternehmer dem Betreiber alle zum Betrieb notwendigen Dokumente vollständig und in ausreichender Stückzahl zu übergeben.

Zur Dokumentation gehören folgende Unterlagen:

- Lageplan
- Baupläne mit Grundriss und verschiedenen Gebäudeschnitten
- Aufstellungspläne
- Rohrleitungspläne
- Pumpenkennlinie, Datenblatt der Pumpe und Massbild der Pumpe
- R+I-Fließbilder
- Schaltpläne
- sämtliche Hersteller-Betriebsanleitungen aller Einzelkomponenten
- CE-Kennzeichnungen und Zusammenstellungen der Konformitätserklärungen
- Instandhaltungsanleitungen
- Betriebsbeschreibung
- Beschreibung des Steuerungsprogramms

## **16 Schlussbestimmungen**

### **Anpassung an den technischen Fortschritt**

Der Vorstand des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) kann die vorliegende Richtlinie dann ändern lassen, wenn der technische Fortschritt dies erfordert. Er kann jederzeit Änderungen anbringen, die keine grundsätzlichen Fragen berühren oder im Widerspruch mit den europäischen Normen stehen.

### **Inkraftsetzung**

Die vorliegende Richtlinie wurde vom Vorstand am ..... verabschiedet und auf den ... in Kraft gesetzt.