

Übersicht Originaldokumente

Projekt: Schleuse Schwabenheim

Aus den Originaldokumenten wurden die für die Pumptechnik im Rahmen einer Partiellen Trockenlegung relevanten Seiten entnommen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Originaldokumente zum Projekt und zeigt auf, welche dieser Dokumente nachfolgend enthalten (e) oder nur teilweise enthalten (te) sind.

Machbarkeitsstudie (Abschlussbericht)			
Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenammerwänden			
Teildokument	Titel	e	te
Machbarkeitsstudie (Abschlussbericht)	Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenammerwänden		X

Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenkammern

Projektbericht

31.10.2014

Auftraggeber: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno
Am Fasanengarten
76131 Karlsruhe

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Nils Münzl
Dr.-Ing. Heinrich Schlick
M.Sc. Dominik Waleczko

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	- 1 -
2 Aufgabenbeschreibung	- 3 -
2.1 Schließungszeiten	- 3 -
2.2 Schleusen allgemein	- 4 -
2.3 Schleuse Schwabenheim	- 5 -
3 Systeme zur Trockenlegung von Wasserbauwerken	- 8 -
3.1 Partielle Trockenlegung und Abschottungssysteme in Schleusen	- 8 -
3.1.1 Stautafeln auf Stützböcken	- 8 -
3.1.2 Stautafeln mit Einsteckpfosten	- 9 -
3.1.3 Einteilige Notverschlüsse, Gleit- und Rolldamntafeln	- 9 -
3.1.4 Einschwimbare Abschottungssysteme	- 12 -
3.1.5 Bogenförmige Abschottungssysteme	- 16 -
3.1.6 Abschottungssysteme für Wand- und Sohlflächen	- 17 -
3.2 Partielle Trockenlegung und Abschottungssysteme in weiteren Bereichen	- 22 -
3.2.1 Kofferdämme an Unterwasserbauteilen	- 22 -
3.2.2 Hochwasserschutzwände	- 25 -
3.2.3 Klappen- und Plattensysteme	- 27 -
3.2.4 Mobildämme	- 29 -
3.2.5 Trägergerüst mit Abdichtungsplane	- 34 -
3.3 Abschließende Betrachtung der vorhandenen Systeme	- 35 -
4 Entwicklungskonzeption temporärer Wasserabschottungssysteme für Schleusen	- 38 -
4.1 Darstellung verschiedener Wasserabschottungssysteme	- 38 -
4.1.1 System 1: Einschwenkbare Damntafeln	- 38 -
4.1.2 System 2: Aufklappbare Damntafeln	- 41 -
4.1.3 System 3: Horizontal verspannbare Damntafeln	- 43 -

4.1.4	System 4: Verspannbares Doppeltor.....	- 45 -
4.1.5	System 5: Verspannbares Segmentbogentor.....	- 47 -
4.1.6	System 6: Gebogenes Schubtor	- 49 -
4.1.7	System 7: Ineinander verschiebliche Dammtafeln	- 51 -
4.1.8	System 8: Verspannbare Widerlager für Dammtafeln.....	- 53 -
4.1.9	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen.....	- 55 -
4.1.10	System 10: Dammtafeln mit Schlauchdichtung.....	- 57 -
4.1.11	System 11: Einschwimbare Dammtafeln.....	- 59 -
4.2	Bewertung Entwicklungskonzepte	- 63 -
4.2.1	Kategorie: Ausschlussmerkmale.....	- 63 -
4.2.2	Kategorie: Funktionsfähigkeit	- 64 -
4.2.3	Kategorie: Qualität.....	- 65 -
4.2.4	Kategorie: Aufwand Vorplanung.....	- 67 -
4.2.5	Kategorie: Handhabung	- 68 -
4.3	Voraussetzungen an die Schleusenammer.....	- 73 -
5	Entwässerungsvorgang Schleusenabschnitte	- 74 -
5.1	Pumpenarten allgemein	- 74 -
5.1.1	Verdrängerpumpen	- 75 -
5.1.2	Strömungspumpen	- 76 -
5.2	Pumpenhydraulik.....	- 78 -
5.2.1	Pumpenkennlinie und Förderstrom.....	- 78 -
5.2.2	Förderhöhe.....	- 79 -
5.2.3	Druckhöhenverlust h_v in geraden Rohrleitungen	- 80 -
5.2.4	Druckhöhenverlust h_v für Armaturen und Formstücke.....	- 81 -
5.2.5	Anlagenkennlinie und Betriebspunkt.....	- 82 -
5.2.6	Kavitation und NPSH-Wert	- 83 -
5.2.7	Betriebsgrenzen und Dauerhaftigkeit	- 86 -
5.2.8	Mindestwasserstand	- 86 -
5.3	Übersicht Pumpen	- 86 -
5.3.1	Auswahl Verdrängerpumpen	- 87 -

5.3.2	Auswahl Kreiselpumpen.....	- 91 -
5.4	Variantenbetrachtung Schleusenentwässerung.....	- 98 -
5.4.1	Entwässerung: große Tauchmotorpumpen und große Pumpensümpfe/-gräben	- 99 -
5.4.2	Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und kleine Pumpensümpfe/-gräben.....	- 110 -
5.4.3	Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben.....	- 118 -
5.4.4	Entwässerung: Saugpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben.....	- 129 -
5.4.5	Bewertungsmatrix.....	- 141 -
6	Bauablaufplanung der temporären partiellen Trockenlegung.....	- 143 -
6.1	Allgemeines.....	- 143 -
6.2	Randbedingungen und Festlegung der Schleusenteilabschnittslängen.....	- 143 -
6.3	Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen	- 144 -
6.3.1	Konstruktionselemente und erforderliche Gerätschaften.....	- 144 -
6.3.2	Vorarbeiten und Baustelleinrichtung	- 155 -
6.3.3	Bauablaufplanung	- 163 -
6.3.4	Systembewertung.....	- 185 -
6.3.5	Optimierungsmöglichkeiten.....	- 187 -
6.4	Einschwimbare Dammtafeln	- 189 -
6.4.1	Konstruktionselemente und erforderliche Gerätschaften.....	- 190 -
6.4.2	Vorarbeiten und Baustelleneinrichtung	- 204 -
6.4.3	Bauablaufplanung	- 207 -
6.4.4	Systembewertung.....	- 218 -
6.4.5	Optimierungsmöglichkeiten.....	- 219 -
6.5	Arbeitssicherheit.....	- 220 -
6.5.1	Baustellensicherung hinsichtlich Gefährdungen nach außen und nach innen	- 220 -
6.5.2	Baustellensicherung hinsichtlich Gefährdungen innerhalb einer Baustelle.....	- 222 -
7	Fazit.....	- 224 -
	Literatur.....	- 225 -
	Anlage	- 232 -

1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt über eines der größten Wasserstraßennetze Europas. Nach BÖDEFELD, J. U. KLOÉ, K. (2011) stehen der Binnenschifffahrt insgesamt ca. 7350 km Flüsse und Kanäle zur Verfügung. Zur nationalen und innereuropäischen Transportgüterbeförderung trägt das Binnenschiff in Deutschland einen entscheidenden Anteil bei. Aktuelle Daten hierzu liefert u. a. der Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e. V. (vgl. BDB 2013).

Die Schiffbarkeit der bundesweiten Wasserstraßen wird durch zahlreiche Wasserbauwerke, wie z. B. Schleusen, gewährleistet. RESCHKE, T. (2011, S. 7) erläutert, dass der überwiegende Teil der Schiffsschleusen in Deutschland in den kommenden Jahren aufgrund ihrer Altersstruktur von mehr als 70 Jahren einer grundlegenden Instandsetzung der Häupter, der Kammerwände und -sohlen bedürfen. Konventionelle Instandsetzungsverfahren erfordern Kammersperrungen mit einer Dauer von 1/2 - 1 Jahr. Bei Instandsetzungsarbeiten an Einkammerschleusen führt dies zu einer Unterbrechung der Schifffahrt und einer Transportverlagerung auf andere Verkehrsmittel, wie z. B. Eisenbahn und LKW.

Instandsetzungsverfahren von Einkammerschleusen, bei denen sämtliche Instandsetzungsarbeiten „unter Betrieb“, also bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs, möglich sind, werden aktuell (weiter-)entwickelt und diskutiert. Die Instandsetzungstätigkeiten sollen hierbei in nächtlichen Schifffahrtspausen mit einer Dauer von 8 – 12 Stunden realisiert werden. In der jüngeren Vergangenheit wurden bereits Instandsetzungsarbeiten unter Betrieb über Wasserspiegellage an Kammerwänden nach diesem Modell durchgeführt bzw. geplant (vgl. u. a. BAW 2009, W+S 2009).

In RESCHKE, T. (2011, S. 7) werden Randbedingungen für die Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb beschrieben:

- Sämtliche Arbeiten müssen innerhalb definierter (kurzer) Zeitfenster ausgeführt werden.
- Die Baustelle ist zeitlich parallel zum Schleusenbetrieb einzurichten - ohne Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs.
- Während der Instandsetzungsarbeiten muss ein festgelegtes Lichtraumprofil für den Schifffahrtsverkehr zur Verfügung stehen.
- Die Schifffahrt darf während der Instandsetzungsarbeiten nicht gefährdet werden.

Die folgende Gliederung zeigt das Vorgehen in dieser Arbeit. Sie hat zum Ziel, die formulierte Problemstellung, Zielsetzung und erfolgte Ausarbeitung systematisch und übersichtlich zu dokumentieren:

- Kapitel 1 führt, ausgehend von der allgemeinen Bedeutung der Binnenschifffahrt und dem Instandsetzungsbedarf von Schleusenanlagen, an die Problematik der mehrmonatigen Komplettsperre von Einkammerschleusen heran.
 - In Kapitel 2 wird die Aufgabenstellung hinsichtlich der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenanlagen bei Instandsetzungen unter Betrieb formuliert. Die zentralen Zielsetzungen der Arbeit werden definiert.
 - Kapitel 3 stellt die in dieser Arbeit benötigten allgemeinen Grundlagen und Randbedingungen der behandelten Schleusenanlagen bereit. Es wird dabei u. a. auf mögliche Schließungszeiten von Schleusenrevisionen, geometrische Abmessungen und zwingend einzuhaltende Faktoren hinsichtlich der Instandsetzung unter Betrieb und der damit verbundenen Trockenlegung eingegangen.
 - In Kapitel 4 werden, aufbauend auf einer nationalen und internationalen Literaturstudie und Marktrecherche, Wasserabschottungssysteme dargestellt, die bislang an Schleusen und in anderen Bereichen des Wasserbaus eingesetzt werden. Die verschiedenen Systeme werden bewertet und miteinander verglichen. Hierbei wird besonders auf die Übertragbarkeit der Systeme auf die temporäre partielle Trockenlegung von Schleusenanlagen eingegangen.
 - Adaptionen und Entwicklungskonzeptionen möglicher Wasserabschottungssysteme hinsichtlich einer temporären partiellen Trockenlegung sind in Kapitel 5 beschrieben. Es werden die Vor- und Nachteile u. a. des Systemaufbaus und der Funktionstauglichkeit behandelt. Anhand einer Bewertungsmatrix werden Systeme ausgewählt, die im Rahmen dieser Arbeit detaillierter untersucht werden.
 - Kapitel 6 dient der Vorstellung und Beschreibung verschiedener Pumpenarten und Entwässerungsvarianten. Auf Grundlage der gegebenen Randbedingungen einer temporären partiellen Trockenlegung und hinsichtlich eines optimierten Bauablaufs wird eine geeignete Entwässerungsvariante ausgewählt und bewertet.
 - Die Arbeit stellt in Kapitel 7 die detailliertere Untersuchung zweier ausgewählter Abschottungssysteme dar, deren Vorzüge und Probleme beurteilt werden. Es werden u. a. jeweils notwendige Konstruktionselemente, Vorarbeiten und ein möglicher Ablauf der temporären partiellen Trockenlegung dargestellt. Zusätzlich werden Hinweise zu Optimierungsmöglichkeiten der Systeme gegeben, um diese in zukünftigen Betrachtungen weiterentwickeln zu können.
-

2 Aufgabenbeschreibung

Gegenstand des vorliegenden Projektberichts ist die Erarbeitung und Gegenüberstellung von prinzipiellen Systemlösungen zur temporären Trockenlegung einzelner Teilbereiche von Schleusenkammern unter Berücksichtigung von technischen und baubetrieblichen Aspekten.

Zunächst sollen in einer nationalen und internationalen Literatur- und Marktrecherche bereits erfolgte Entwicklungen und Anwendungen zu kurzzeitigen partiellen Schleusentrockenlegungen und vergleichbaren Aufgabenstellungen hinsichtlich der Verwertbarkeit analysiert werden.

Auf dieser Basis sollen Vorschläge zu deren Adaption sowie Ideen prinzipieller Absperr- bzw. Trockenlegungssysteme erarbeitet werden. Hierbei sind die Vorgaben der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hinsichtlich zu erwartender technischer und betriebsbedingter Rahmenbedingungen, erforderlicher Systemflexibilität und gegebener Zeitrestriktionen zu beachten.

Unter dem Gesichtspunkt der baubetrieblichen Realisierbarkeit sollen (soweit möglich) mindestens zwei vielversprechende Lösungen konzeptionell entwickelt und dargestellt werden.

Die BAW erarbeitet derzeit eine bundesweite Handlungsempfehlung „Instandsetzung unter Betrieb (IUB)“ zur Schleuseninstandsetzung. Darin soll ein sog. Modulbaukasten entwickelt werden, der Randbedingungen, prinzipielle Lösungsansätze und einzusetzende Bauverfahren definiert, um die Instandsetzung von Schleusenanlagen bundesweit möglichst einheitlich und damit wirtschaftlicher zu gestalten. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen in diesen Modulbaukasten mit einfließen.

2.1 Schließungszeiten

Die partielle Trockenlegung und die Instandsetzungsarbeiten der Schleusenbauwerke sind unter Betrieb zu realisieren. Es sind dabei klar definierte Zeitfenster (vgl. ANH 2014 und BAW 2014) zu berücksichtigen, in denen die Schleusen für den Schifffahrtsverkehr kurzzeitig gesperrt sind.

Für die Umsetzung von Instandsetzungsmaßnahmen steht arbeitstäglich ein Zeitfenster von 12 Stunden zur Verfügung. Die erforderlichen Zeiten für das Installieren und Entfernen eines Abschottungssystems in der Schleuse sowie für das Trockenlegen und Fluten des Arbeitsabschnitts sind hierin bereits enthalten und sollen höchstens 4 Stunden betragen.

Für bestimmte Arbeitssituationen können im Einzelfall längere Sperrzeiten angesetzt werden, die mit den Wasserschifffahrtsämtern bzw. der Bundesanstalt für Wasserbau abgestimmt sein müssen. Im Rahmen des Pilotprojekts „Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Schwabenheim“

kann die genannte Schleuse maximal zweimal pro Quartal, jedoch maximal 12 mal im Zeitraum von drei Jahren, für insgesamt jeweils 60 Stunden oder für 4 – 6 Wochen pro Jahr gesperrt werden.

2.2 Schleusen allgemein

In ANH (2014) und BAW (2014) werden geometrische und technische Randbedingungen definiert, die bei der partiellen Trockenlegung von Schleusenabschnitten und Instandsetzungsarbeiten unter Betrieb zu berücksichtigen sind:

Der Wasserstand innerhalb der Schleuse befindet sich zu Beginn der partiellen Trockenlegung auf Unterwasserstand (UW). Das Schleusentor am Oberhaupt sowie sonstige Füll- und Entleerungsvorrichtungen sind abgesperrt. Die temporären Abschottungssysteme innerhalb der Schleuse müssen auch bei schwankenden Wasserständen einsetzbar sein. Es sind die Grenzstauhöhen von 2,00 m (Niedrigwasserstand, NW) bzw. 5,00 m (Hochwasserstand, HW) zu betrachten. Der planmäßige Unterwasserstand beträgt ca. 3,50 m (Mittelwasserstand, MW).

Die Länge des trocken zu legenden Arbeitsbereichs in der Schleuse ist möglichst flexibel zu halten, da aufgrund von unterschiedlichen Bauverfahren unterschiedlich lange Arbeitsabschnitte erforderlich sein können. Die Breite der Schleusenammer soll mit einem Durchschnittswert von 12,50 m angenommen werden. Eine Lösung der Abschottungssysteme mit variabler Breite von +/- 2,00 m sollte optional möglich sein, um den Einsatz auch in Schleusen mit abweichenden Breiten zu gewährleisten. Während der Bauzeit muss außerhalb der Schifffahrtssperren eine Lichtraumprofilbreite von mindestens 11,80 m vorgehalten werden. Das vertikale Lichtraumprofil ist nach Möglichkeit nicht einzuschränken. Insbesondere Einkragungen auf der Kammersohle können beim Befahren und Ausfahren der Schiffe aus der Schleusenammer zu Kollisionen mit den Schiffsrümpfen führen.

Konstruktionsbedingte Eingriffe in die Schleusenammerwände und –sohle (z. B. Abstützungen, Verankerungen etc.) und Anforderungen an den Beton sind zu minimieren und bei der Systemgestaltung der Abschottungssysteme zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind Hilfskonstruktionen vor Schiffsanprall zu schützen.

Hinsichtlich des Ein- und Ausbavorgangs der Abschottungssysteme sollen mindestens eine einschwimmbare (z. B. mithilfe eines Pontons o. ä.) und eine einhebbare Variante (z. B. Dammtafeln o. ä.) ausgearbeitet werden.

Der trockengelegte Schleusenammerbereich muss als Arbeitsraum für die Instandsetzungsarbeiten nutzbar sein (z. B. hinsichtlich des Lichtraumprofils, der Arbeitssicherheit, der benötigten Arbeitsgeräte etc.). Dies ist bei der Konzipierung der partiellen Trockenlegung zu berücksichtigen.

2.3 Schleuse Schwabenheim

Die Schleusenanlage Schwabenheim ist eine Kanalstaustufe des Neckars auf der Höhe von Heidelberg-Wieblingen. Sie besteht aus zwei nebeneinanderliegenden Schleusenkammern aus den Jahren 1925 (linke Kammer, vgl. WSV 2011) bzw. 1955 (rechte Kammer, vgl. WSV 2011). Aufgrund ihrer Altersstruktur ist eine umfangreiche Grundinstandsetzung beider Kammern in den kommenden Jahren geplant. Dies schließt u. a. die Erneuerung der Ober- und Unterhäupter, den Austausch der Schleusentore und die Instandsetzung der Kammerwände und –sohle mit ein (vgl. BAW/ANH 2014, S. 39ff.). Insbesondere bei letztgenannten Arbeiten ist eine Instandsetzung unter Betrieb geplant. In diesem Zusammenhang sollen unter Leitung der BAW und des Amts für Neckarausbau Heidelberg (ANH) Teile des oben genannten Baukastens, wie z. B. die partielle temporäre Trockenlegung, an dieser sog. Musterschleuse in einem Pilotprojekt angewendet werden. Die Durchführung des Pilotprojekts beschränkt sich dabei allein auf die linke Kammer, während parallel die rechte Kammer der Schifffahrt zur Verfügung steht.

Nach WSV (2011) und WSV (2013b) besitzt die linke Schleusenkammer ein liches Profil von ca. 109,00 m Länge und ca. 12,00 m Breite (vgl. Abb. 1 und Abb. 2). Kammerwände und –sohle sind in Massivbauweise errichtet. Die Hubhöhe beträgt ca. 8,70 m. Die Flutung und Entleerung der Schleusenkammer erfolgt über Torumläufe bzw. Toröffnungen.

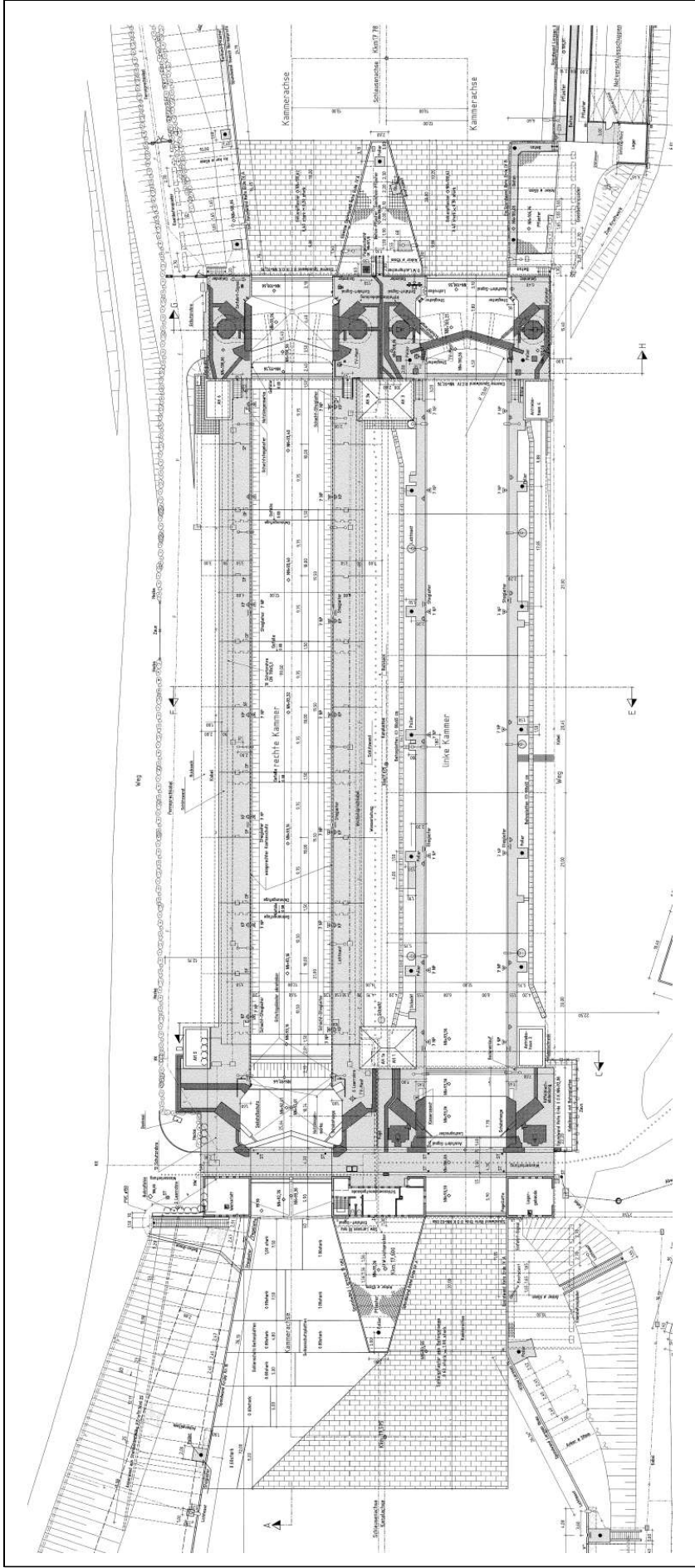


Abb. 1: Grundriss der Schleusenanlage Schwabenheim (aus ANH 2008)

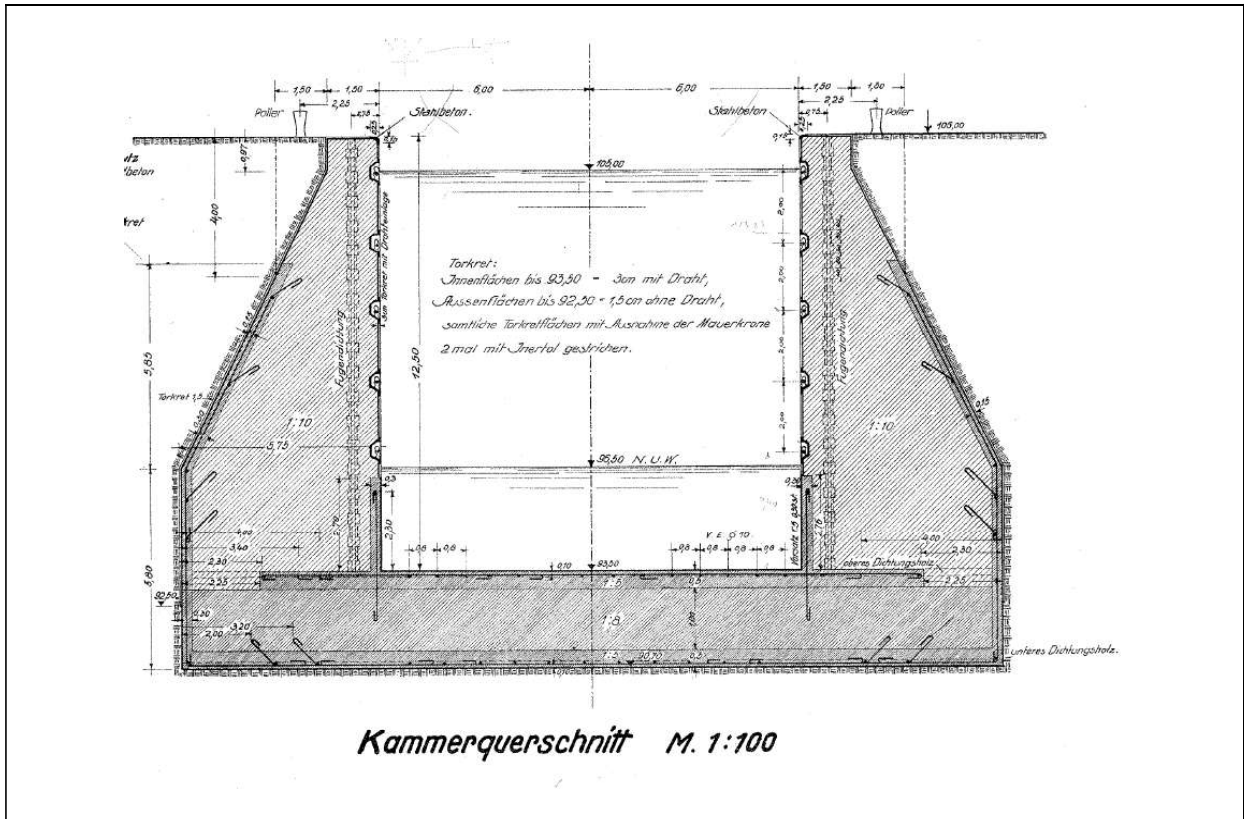


Abb. 2: Querschnitt der linken Schleusenammer Schwabenheim (aus ANH 1931)

5 Entwässerungsvorgang Schleusenabschnitte

5.1 Pumpenarten allgemein

Pumpen können flüssige bis breiartige Stoffe, einschließlich Flüssigkeits-Feststoff-Gemische, fördern. Diese unterschiedlichen zu fördernden Medien, sowie die verschiedenen Einsatzgebiete dieser Maschinen, haben eine Vielzahl an Funktionsprinzipien und Bauformen hervorgebracht. Gemäß ihrem Funktionsprinzip können die Pumpen in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden (vgl. SCHULZ, H. U. FUCHSLOCHER, E. 1977, S. 6–7 und WARDECKI, N. 1983, S. 7):

- Verdrängerpumpen: Pumpvorgang durch andauernde Volumenänderung, selbstansaugend (vgl. Kap. 5.1.1)
- Strömungspumpen: Pumpvorgang durch Beschleunigung der Förderflüssigkeit mittels einer oder mehrerer Schaufeln, i. d. R. nicht selbstansaugend (vgl. Kap. 5.1.2)

Eine Übersichtsdarstellung der vorgenommenen Pumpeneinteilung zeigt Abb. 45.

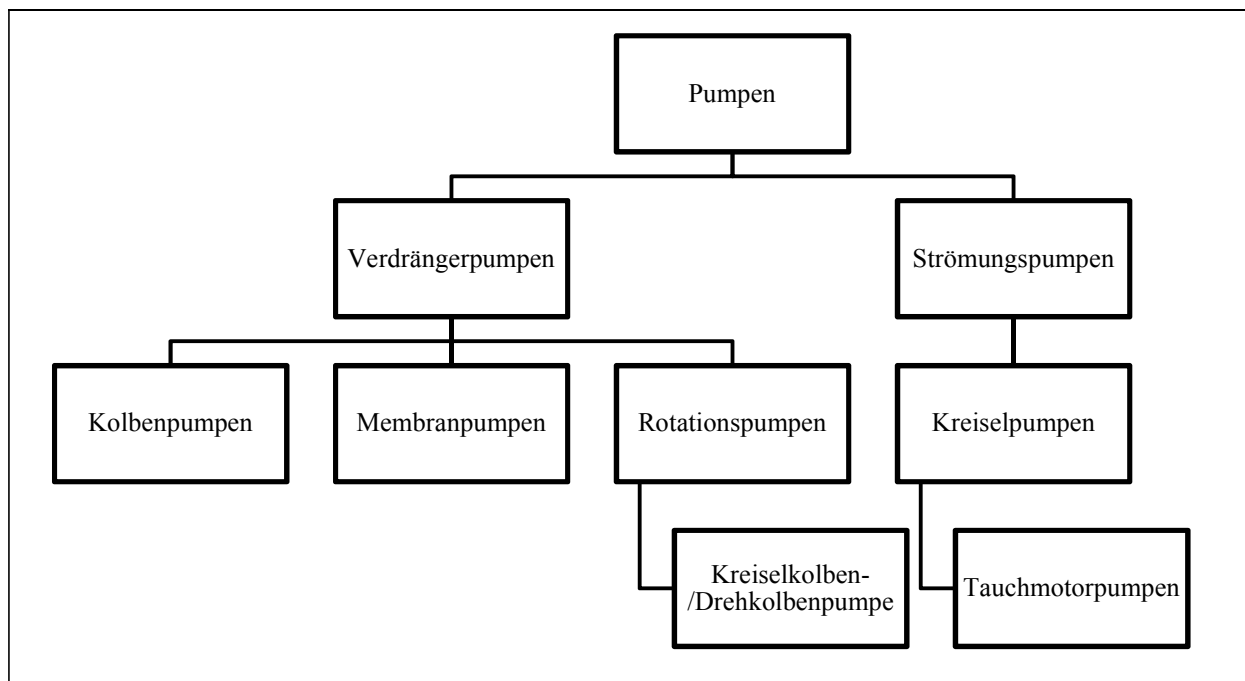


Abb. 45: Einteilung verschiedener Pumpenarten

5.1.1 Verdrängerpumpen

Eine weitere Unterteilung der Verdrängerpumpen erfolgt nach WARDECKI, N. (1983, S. 7ff.) in die Gruppen:

Kolbenpumpen

Die Volumenänderung bzw. die Druckerhöhung wird durch das Pendeln eines Kolbens in einem Zylindergehäuse erzielt. Der Einsatz einer solchen Pumpe ist mit einem relativ hohen Verschleiß verbunden und ist nur bei niedrigen Fördervolumina und bei reiner Flüssigkeit ohne Feststoffgehalt möglich. Aus diesen Gründen scheint die Kolbenpumpe für den vorliegenden Einsatz nicht empfehlenswert und wird nicht weiter betrachtet.

Membranpumpen

Die Volumenänderung bzw. Druckerhöhung wird durch das Oszillieren einer Membran in einem abgeschlossenen Raum erzielt. Der Einsatz einer solchen Pumpe ist nur bei relativ niedrigen Fördervolumen möglich, dennoch ist eine Membranpumpe äußerst unempfindlich gegen Dauerbeanspruchung und Feststoffe. Aufgrund der trocken selbstansaugenden Pumpentechnik wird die Membranpumpe für den vorliegenden Einsatz in die weiteren Überlegungen mit einbezogen. Die Arbeitsweise einer Membranpumpe ist in Abb. 46 dargestellt.

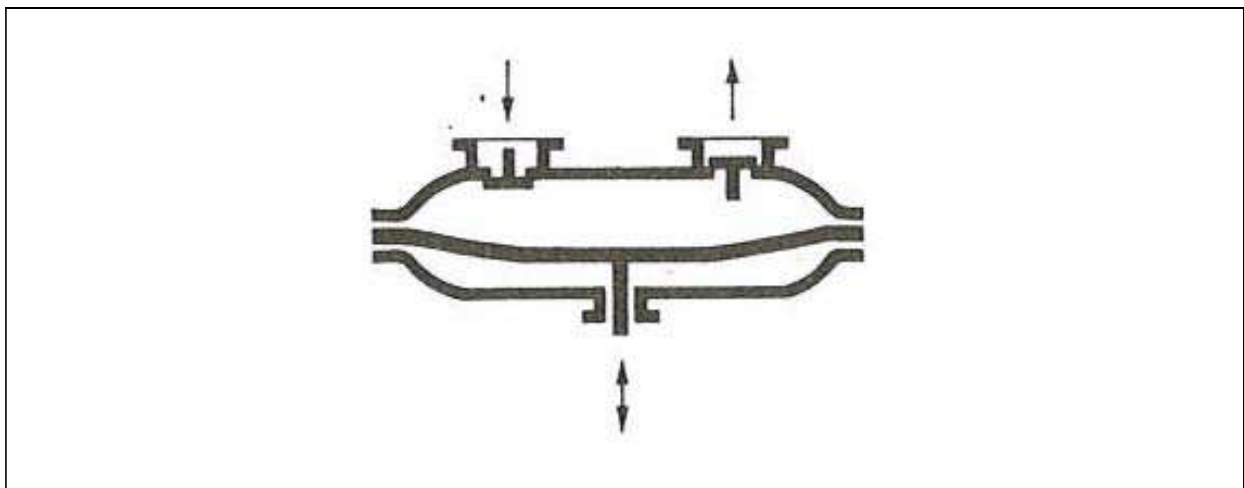


Abb. 46: Vereinfachte Darstellung der Arbeitsweise einer Membranpumpe (nach PRAGER ET AL. 1987, S. 13)

Rotationspumpen

Der Arbeitsraum wird kontinuierlich durch die zirkulierenden Kolben von der Saug- zur Druckseite bewegt. Eine bekannte Pumpenart in der Wasserwirtschaft ist die Kreiselkolben- bzw.

Drehkolbenpumpe. Zahlreiche (Hochwasserschutz-) Saugpumpen arbeiten nach diesem Prinzip. Abb. 47 zeigt die Funktionsweise und die Kolbendarstellung.

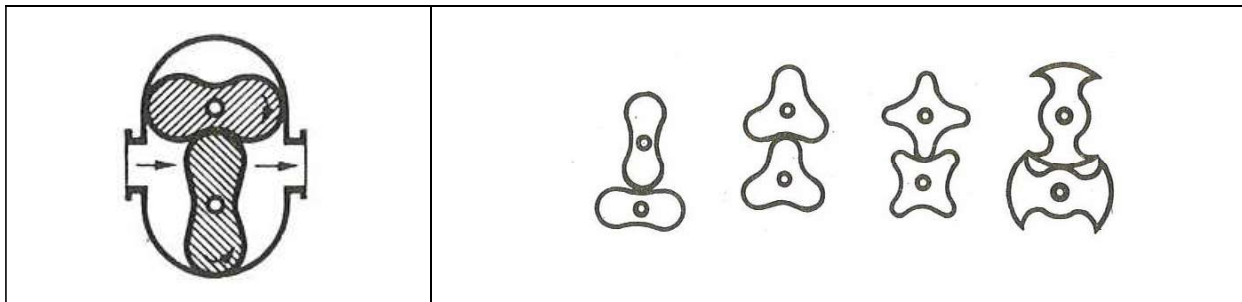


Abb. 47: Darstellung der Funktionsweise einer Kreiskolbenpumpe (links) und mögliche Kolbenformen (rechts) (nach PRAGER ET AL. 1987, S. 15f.)

Nach HEROLD (2014) und SCHULZ, H. U. FUCHSLOCHER, E. (1977, S. 429ff.) kann mittels Drehkolbenpumpen ein großes Spektrum an Fördermedien transportiert werden. Gute und zuverlässige Trockenlaufeigenschaften und niedriger Verschleiß zeichnen diese Pumpen aus. Aufgrund anspruchsvoller Getriebe und mechanischer Eigenschaften sind die Anschaffungskosten allerdings höher als bei anderen Pumpenarten (z. B. Kreiselpumpen). Diese Pumpenart wird in den weiteren Überlegungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten mit einbezogen.

5.1.2 Strömungspumpen

Das Fördermedium wird durch das Laufrad beschleunigt. Die sich einstellende Fliehkraft auf die Flüssigkeit erzeugt einen Druckunterschied, der das Fördermedium weiterleitet (s. Abb. 48).

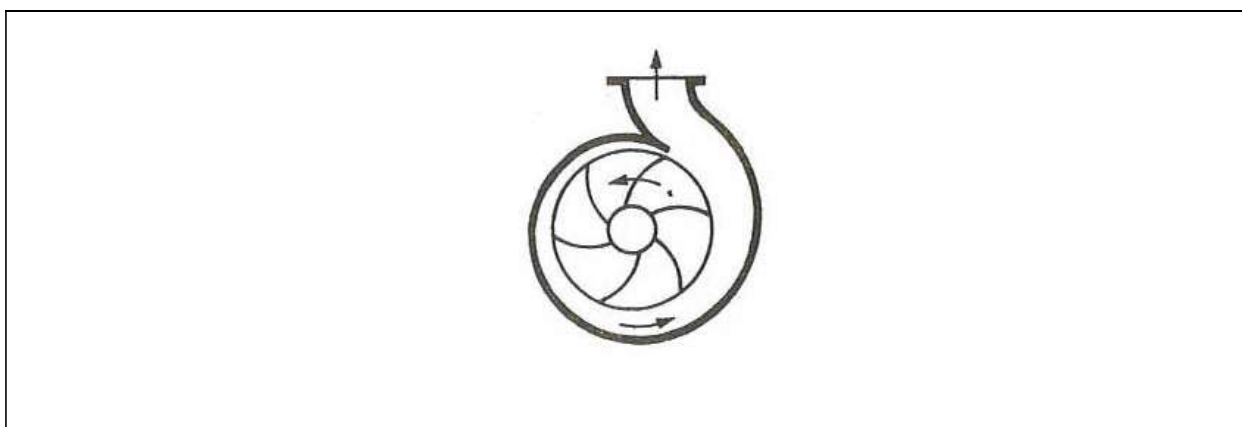


Abb. 48: Darstellung der Funktionsweise einer Kreiselpumpe (nach PRAGER ET AL. 1987, S. 17)

Die gebräuchlichsten Strömungspumpen sind die sog. Kreiselpumpen, die in zahlreichen verschiedenen Ausführungen eingesetzt werden können. Insbesondere Tauchmotorpumpen sind die in der Bauwirtschaft am häufigsten eingesetzten Kreiselpumpen (s. Abb. 49).

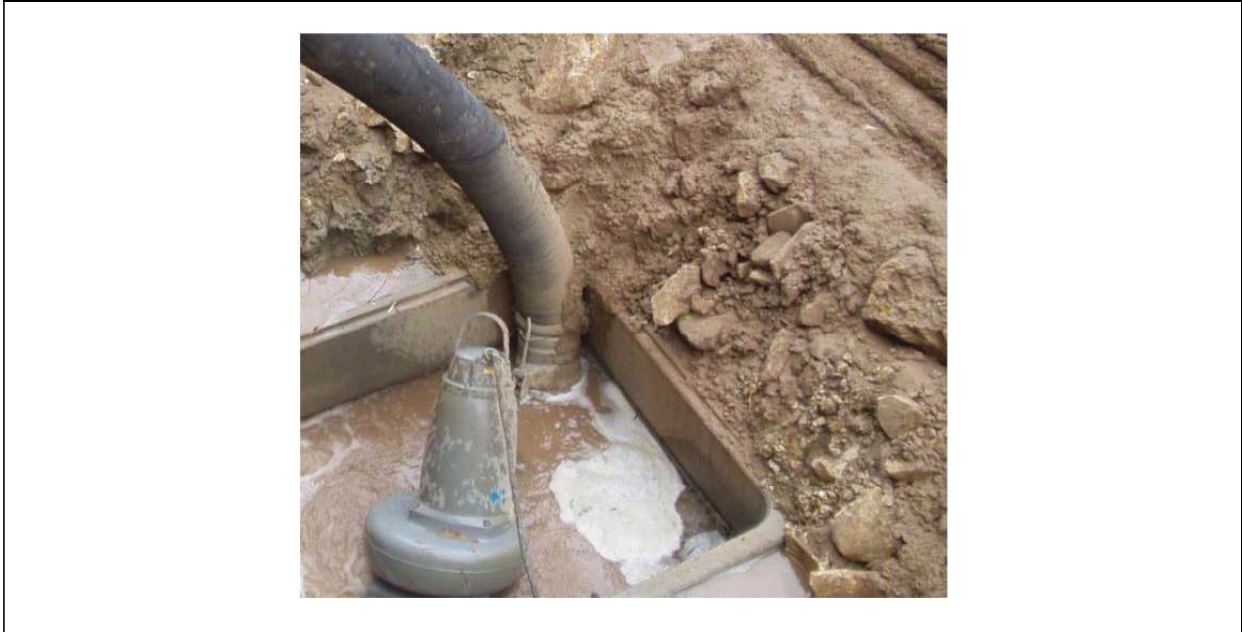


Abb. 49: Fotografie einer Tauchmotorpumpe in einem Pumpensumpf auf einer Baustelle (nach FLYGT 2014e, S. 1)

WARDECKI, N. (1983, S. 7ff.) unterscheidet in Axial-, Halbaxial- und Radialpumpen. Diese Einteilung erklärt lediglich die Strömungsführung der Flüssigkeit innerhalb der Pumpe. Auf eine nähere Erläuterung der Funktionsprinzipien wird an dieser Stelle nicht eingegangen, sondern auf die Fachliteratur verwiesen (vgl. z. B. WARDECKI, N., S. 17ff. oder PRAGER ET AL. 1987, S. 17f.). Kreiselpumpen im Allgemeinen und Tauchmotorpumpen im Speziellen zeichnen sich in Anlehnung an WARDECKI, N. (1983, S. 20f.) durch eine kontinuierliche Förderung, ein breites Spektrum an Förderhöhen und Fördervolumina, eine große Bandbreite an Fördermedien, einen geringen Platzbedarf, ein niedriges Gewicht, Robustheit, Zuverlässigkeit und vergleichsweise niedrige Anschaffungs- und Unterhaltungskosten aus. Diese Pumpenart wird in den weiteren Überlegungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten ebenfalls mit einbezogen.

5.2 Pumpenhydraulik

5.2.1 Pumpenkennlinie und Förderstrom

Das nutzbare Volumen, das eine Pumpe pro Zeiteinheit durch den Druckstutzen fördern kann, wird als Förderstrom Q (auch Volumenstrom genannt, Angabe in l/s oder m^3/h) bezeichnet. Bei der Dimensionierung von Pumpensystemen ist der Förderstrom, neben der Förderhöhe h_F (s. Kap. 5.2.2), der wesentliche Parameter. Beide Kenngrößen hängen voneinander ab und sind in der sog. Pumpenkennlinie (auch Q-H-Diagramm oder Förderhöhenkennlinie genannt) übereinander aufgetragen. Jede Pumpe besitzt einen eigenen kennzeichnenden Q-H-Kurvenverlauf, der das Betriebsverhalten charakterisiert (vgl. FREIMANN, R. 2012, S. 104). Im Allgemeinen steigt der Förderstrom bei abnehmender Förderhöhe (s. Abb. 50).

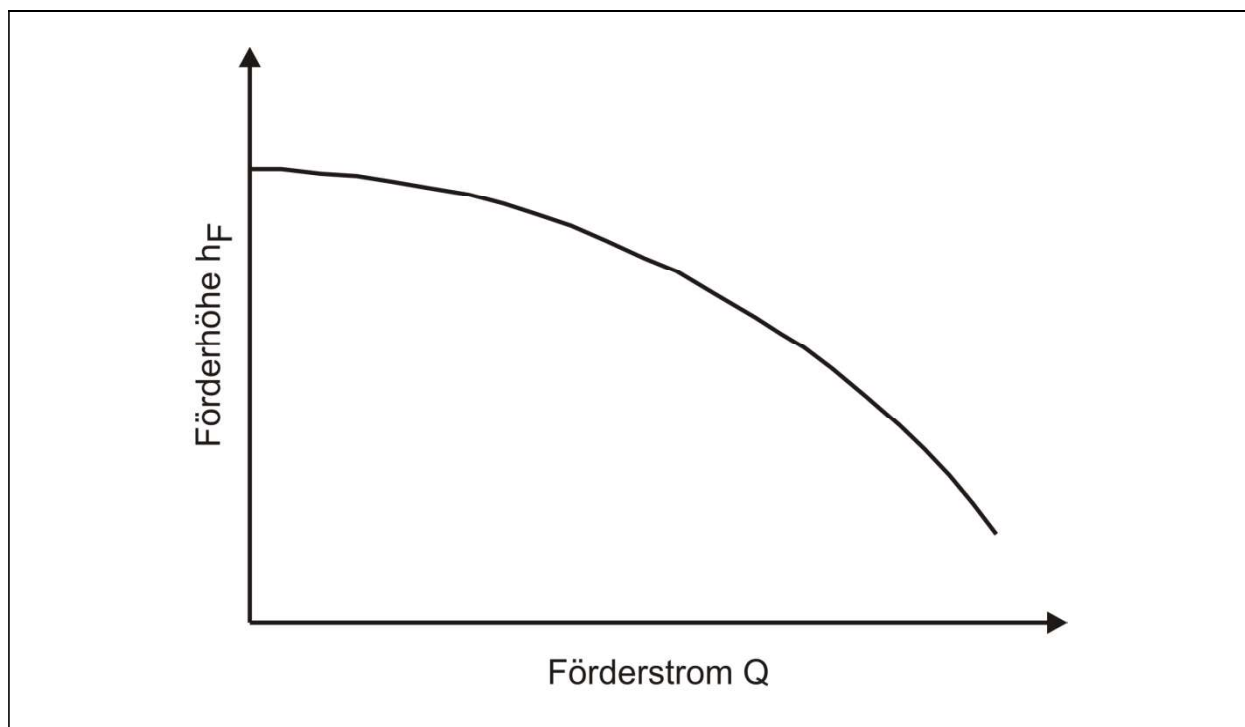


Abb. 50: Allgemeine Darstellung einer Pumpenkennlinie

Weitere spezifische Pumpengrößen, wie der Leistungsbedarf P , der Wirkungsgrad η und die erforderliche Haltedruckhöhe NPSH_{erf} (s. Kap. 5.2.6), hängen ebenfalls vom Förderstrom ab. Entsprechende Angaben und Informationen können den Datenblättern der Pumpenhersteller (z. B. Xylem, KSB, Mast etc.) entnommen werden.

5.2.2 Förderhöhe

Die von der Pumpe auf das Fördermedium übertragene nutzbare mechanische Arbeit, bezogen auf die Gewichtskraft, wird als Förderhöhe h_F [m] bezeichnet. Nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten setzt sich die Förderhöhe aus folgenden Anteilen zusammen (vgl. z. B. KSB 2005, S. 16ff.):

h_{geo}	geodätische Förderhöhe (s. Abb. 51): Höhenunterschied zwischen saug- und druckseitigem Flüssigkeitsspiegel
$h_{\text{stat}} = (p_a - p_e)/(\rho \cdot g)$	Druckhöhendifferenz: Differenz der über dem saug- und druckseitigen Flüssigkeitsspiegel liegenden Druckhöhen bei mindestens einem geschlossenen Behälter
$h_{\text{Geschw}} = (v_a^2 - v_e^2)/(2g)$	Geschwindigkeitshöhendifferenz: Differenz der Geschwindigkeiten in den Behältern
$\sum h_v$	Druckhöhenverluste (s. Abb. 51): Summe der Strömungswiderstände in Rohrleitungen, Armaturen, Formstücken etc. in den Saug- und Druckleitungen der Pumpe, sowie Ein- und Auslaufverluste (vgl. Kap. 5.2.3 und 5.2.4)

$$h_F = h_{\text{geo}} + h_{\text{stat}} + h_{\text{Geschw}} + \sum h_v \quad [\text{m}] \quad (1)$$

Nach KSB (2005, S. 18) kann in der Praxis die Geschwindigkeitshöhendifferenz h_{Geschw} vernachlässigt werden. Für die vorliegende Anwendung bei zwei offenen Behältern (Schleusensegment, Unterwasser) ergibt die Druckhöhendifferenz $h_{\text{stat}} = 0$. Damit vereinfacht sich die Formel (1) für die Gesamtförderhöhe zu:

$$h_F = h_{\text{geo}} + \sum h_v \quad [\text{m}] \quad (2)$$

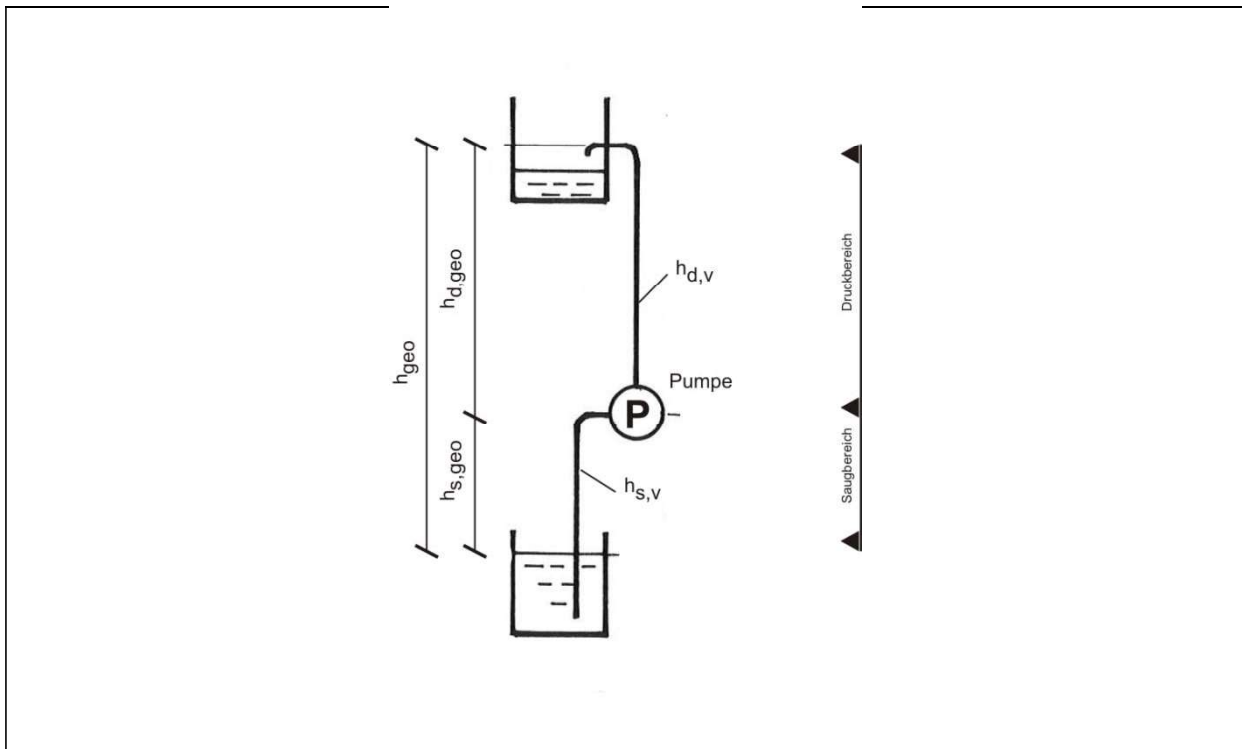


Abb. 51: Darstellung der verschiedenen Anteile der Gesamtförderhöhe (in Anlehnung an OSTERMANN, K. 1991, S. 35)

5.2.3 Druckhöhenverlust h_v in geraden Rohrleitungen

Der Druckhöhenverlust einer Rohrströmung in einem geraden Rohr wird durch die Reibung des Fördermediums entlang der Rohroberfläche und innerer Verluste verursacht. Es gilt nach FREIMANN, R. (2012, S. 75):

$$h_v = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

mit:

- λ Rohrreibungsbeiwert [-] in Abhängigkeit der Reynoldszahl
- L Rohrlänge [m]
- d Rohrinne Durchmesser [m]
- v Durchflussgeschwindigkeit [m/s] ($= 4Q/\pi d^2$)
- g Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$

Auf eine detaillierte Erläuterung und Berechnungsführung wird in diesem Bericht nicht eingegangen. An dieser Stelle sei auf die Fachliteratur und Praxishandbücher verwiesen (vgl. z. B. FREIMANN, R. 2012, S. 75ff. oder KSB 2005, S. 18ff.). In den Pumpenhandbüchern einiger Hersteller werden darüber hinaus zum praktischen Gebrauch Nomogramme der Druckhöhenverluste in Abhängigkeit des Volumenstroms Q und dem Innenrohrdurchmesser d für 100 m gerader Rohrleitung angegeben (s. Abb. 52). Eine überschlägige Berechnung der Verlusthöhen in geraden Rohrleitungen erfolgt für den konkreten Anwendungsfall der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten in Kap. 5.4.

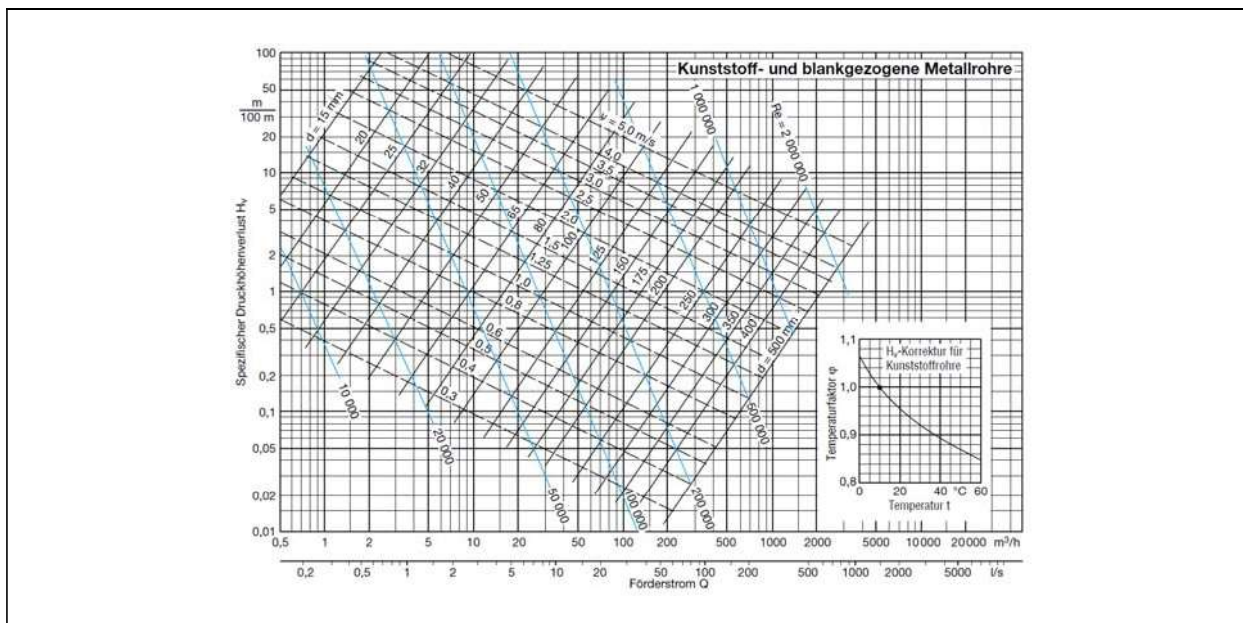


Abb. 52: Druckhöhenverlust h_v für hydraulisch glatte Rohre, $k = 0$ (nach KSB 2005, S. 21)

5.2.4 Druckhöhenverlust h_v für Armaturen und Formstücke

Der Druckhöhenverlust bedingt durch Armaturen und Formstücke wird durch folgenden Ansatz beschrieben (vgl. FREIMANN, R. 2012, S. 82):

$$h_v = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (4)$$

mit:

- ζ Verlustbeiwert [-]
- v Durchflussgeschwindigkeit [m/s] ($= 4Q/\pi d^2$)
- g Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$

Einzelne Verlustbeiwerte ζ für Armaturen und Formstücke können der Fachliteratur und den Praxishandbüchern (vgl. z. B. FREIMANN, R. 2012, S. 83ff., KSB 2005, S. 22ff. oder GRUNDFOS 2004, S. 141f.) entnommen werden. Auf eine detaillierte Erläuterung und Berechnungsführung wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Eine überschlägige Berechnung der Verlusthöhen für Armaturen und Formstücke erfolgt für den konkreten Anwendungsfall der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten in Kap. 5.4.

5.2.5 Anlagenkennlinie und Betriebspunkt

Die Wirkung einer Pumpe muss immer in Verbindung mit der angeschlossenen Rohrleitungsanlage betrachtet werden. Unterschiedliche Förderströme Q erzeugen verschiedene Druckhöhenverluste h_v . Diese Abhängigkeit ist in der sog. Anlagenkennlinie dargestellt (s. Abb. 53).

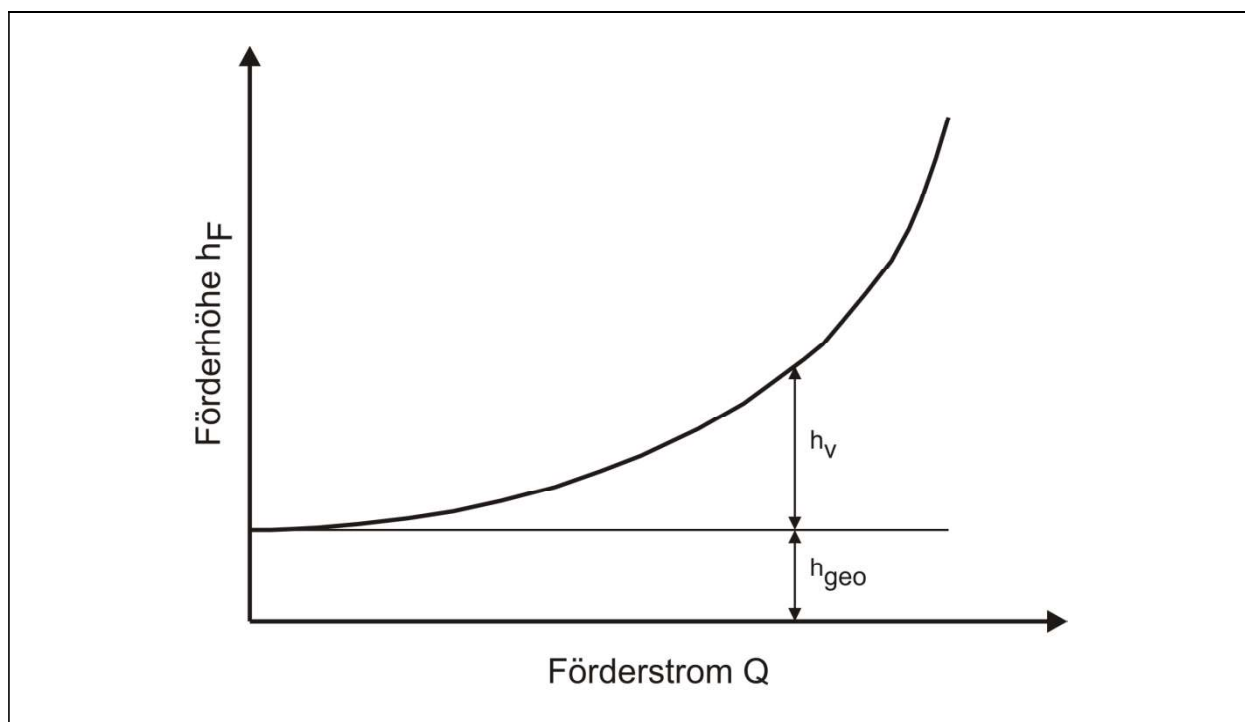


Abb. 53: Allgemeine Darstellung einer Anlagenkennlinie

Werden die Pumpen- und die Anlagenkennlinie in ein und demselben Diagramm dargestellt, ergibt sich ein Schnittpunkt beider Kurven: der sog. Betriebspunkt der Pumpenanlage (vgl. Abb. 54). Dieser definiert die sich einstellende Förderhöhe und den entsprechend anliegenden Förderstrom. Bei der Auswahl der Pumpe sollte darauf geachtet werden, dass der Betriebspunkt nach Möglichkeit in der

Nähe des optimalen Förderstroms Q_{opt} (maximaler Wirkungsgrad) liegt. Verschleiß und Energieverbrauch sind hier am geringsten.

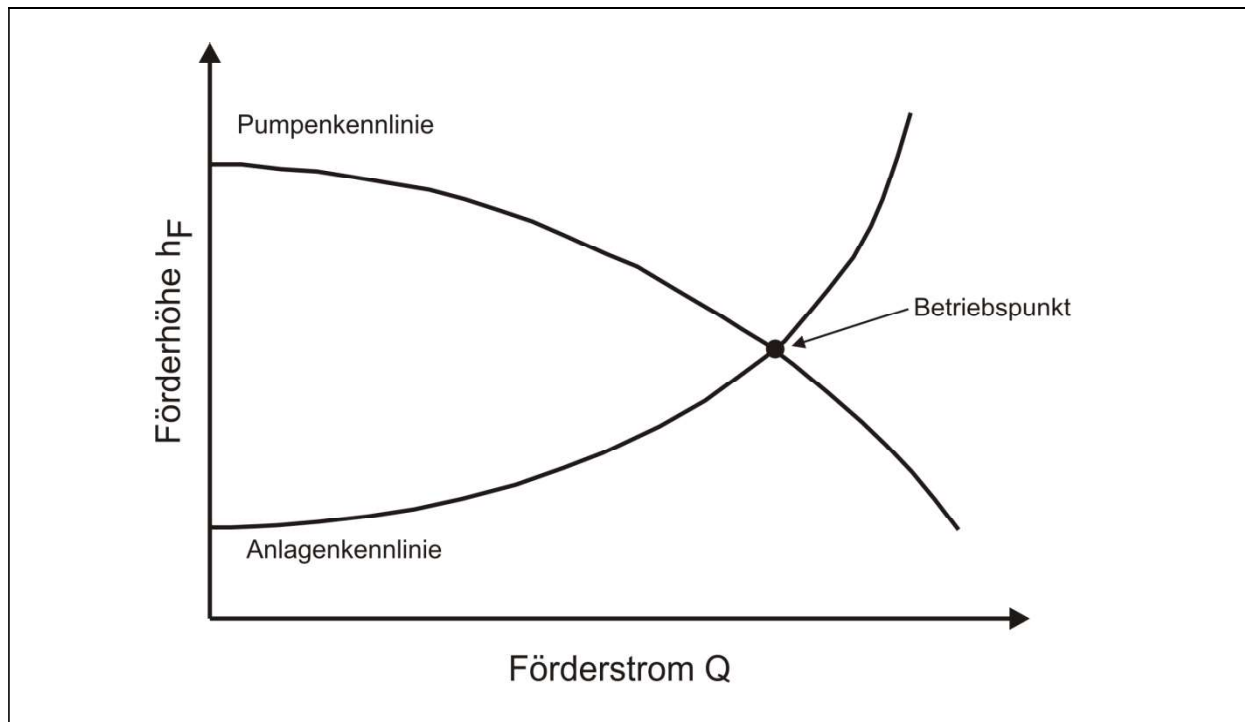


Abb. 54: Allgemeine Darstellung des Betriebspunkts einer Pumpe bzw. Anlage

5.2.6 Kavitation und NPSH-Wert

Der störungs- und kavitationsfreie Pumpenbetrieb muss durch einen Mindestdruck im Zulauf der Pumpe gewährleistet werden (vgl. FREIMANN, R. 2012, S. 109f. und KSB 2011, S. 8f.). Dieser wird durch den sog. NPSH-Wert (Net Positive Suction Head oder auch Haltedruckhöhe genannt) beschrieben. Es ist zwischen der Haltedruckhöhe der Pumpe $NPSH_{erf}$ und der Gesamtanlage $NPSH_{vorh}$ zu unterscheiden.

Der $NPSH_{erf}$ -Wert der Pumpe wird vom Hersteller durch Prüfverfahren für jede Pumpe in Abhängigkeit des Förderstroms Q ermittelt.

Alle Parameter, wie Dichte, Temperatur, Dampfdruck des Fördermediums, geodätische Höhe des Zulaufwasserspiegels etc., die den Druck am Zulauf der Pumpe beeinflussen, werden in dem Wert $NPSH_{vorh}$ erfasst (vgl. FREIMANN, R. 2012, S. 109). Wird die Haltedruckhöhe der Pumpe nicht durch die Haltedruckhöhe der Anlage erreicht, so kann am Pumpenlaufrad und -gehäuse Flüssigkeit verdampfen. In der Folge implodieren die entstehenden kleinen Blasen und führen zu Verschleiß und Zerstörung der Pumpenkomponenten. Dieser Vorgang wird als Kavitation bezeichnet.

Abb. 55 zeigt die verschiedenen Höhen und Drücke für die Fälle Saug- und Zulaufbetrieb, die entsprechenden $NPSH_{\text{vorh}}$ -Werte werden in Anlehnung an KSB (2005, S. 43f.) berechnet zu:

Saugbetrieb:

$$NPSH_{\text{vorh}} = \frac{p_e + p_b - p_D}{\rho \cdot g} + \frac{v_e^2}{2g} - h_{v,s} - h_{s \text{ geo}} \pm s' \quad [\text{m}] \quad (5)$$

Zulaufbetrieb:

$$NPSH_{\text{vorh}} = \frac{p_e + p_b - p_D}{\rho \cdot g} + \frac{v_e^2}{2g} - h_{v,s} + h_{s \text{ geo}} \pm s' \quad [\text{m}] \quad (6)$$

mit:

- p_e Überdruck im Saugbehälter $[\text{N}/\text{m}^2]$
- p_b Luftdruck $[\text{N}/\text{m}^2]$
- p_D Verdampfungsdruck $[\text{N}/\text{m}^2]$
- ρ Dichte $[\text{kg}/\text{m}^3]$
- g Erdbeschleunigung $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$
- v_e Strömungsgeschwindigkeit im Saugbehälter $[\text{m}/\text{s}]$
- $h_{v,s}$ Verlusthöhe in der Saugleitung $[\text{m}]$
- $h_{s \text{ geo}}$ Höhendifferenz zwischen Flüssigkeitsspiegel im Saugbehälter und Mitte Pumpensaugstutzen $[\text{m}]$
- $h_{z \text{ geo}}$ Höhendifferenz zwischen Flüssigkeitsspiegel im Zulaufbehälter und Mitte Pumpensaugstutzen $[\text{m}]$
- s' Höhendifferenz zwischen Mitte Pumpensaugstutzen und Mitte Laufradeintritt $[\text{m}]$

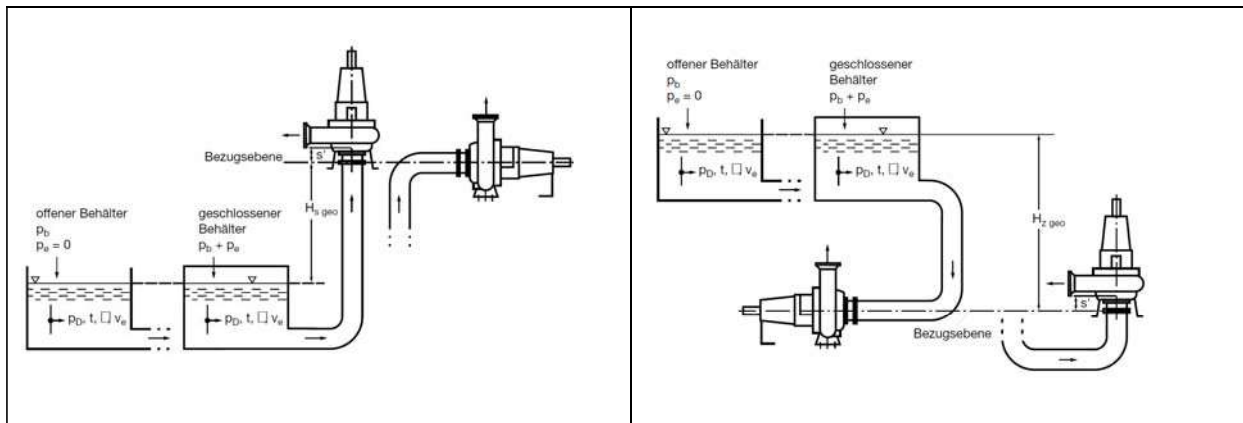


Abb. 55: Darstellung der verschiedenen Höhen und Drücke zur Ermittlung von $NPSH_{vorh}$ bei Saugbetrieb (links) und Zulaufbetrieb (rechts) (Quelle: KSB 2005, S. 43f.)

Für ein offenes System in Meereshöhe gilt für die Praxis in Anlehnung an KSB (2005, S. 44) die folgende Vereinfachung:

Saugbetrieb:

$$NPSH_{vorh} = 10 - h_{v,s} - h_{s,geo} \pm s' \quad [m] \quad (7)$$

Zulaufbetrieb:

$$NPSH_{vorh} = 10 - h_{v,s} + h_{z,geo} \pm s' \quad [m] \quad (8)$$

Für einen störungs- und kavitationsfreien Pumpenbetrieb muss folgende Beziehung erfüllt sein (vgl. FREIMANN, R. 2012, S. 109):

$$NPSH_{vorh} \geq NPSH_{erf} + 0,5 \text{ m}$$

Der Wert 0,5 m dient hierbei als Sicherheitszuschlag.

An dieser Stelle wird auf eine detaillierte Erläuterung und Berechnungsführung nicht eingegangen. Es sei auf einschlägige Fachliteratur (z. B. SCHULZ, H. U. FUCHSLOCHER, E. 1977, S. 154ff. oder PRAGER ET AL. 1987, S. 42ff.) verwiesen. Eine überschlägige Beurteilung des störungs- und kavitationsfreien Pumpenbetriebs erfolgt für den konkreten Anwendungsfall der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten in Kap. 5.4.

5.2.7 Betriebsgrenzen und Dauerhaftigkeit

Von den Pumpenherstellern werden in der Regel in den technischen Datenblättern oder in den Pumpenkennlinien empfohlene Betriebsgrenzen (Q_{\min} und Q_{\max}) angegeben. Der Betriebspunkt sollte zwingend innerhalb dieser Grenzen liegen, damit die Pumpe hydraulisch, mechanisch und betriebsbedingt optimal fördern kann und eine lange Wirkungsdauer gegeben ist (vgl. KSB 2011, S. 16f.).

5.2.8 Mindestwasserstand

Insbesondere bei Tauchmotorpumpen ist ein Mindestwasserstand der Pumpen zu beachten. Andernfalls kann es zu hydraulischen Problemen, zu erhöhter Kavitation und sogar zu einem Förderabbriss in der Pumpe kommen. In diesem Zusammenhang ist auch auf ausreichende Zuströmbedingungen des Fördermediums zu achten.

5.3 Übersicht Pumpen

Am Markt existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Verdränger- und Strömungspumpenmodellen, die auf die verschiedensten Randbedingungen abgestimmt sind. Nach intensiver Recherche und enger Abstimmung mit Herstellern wurde im Hinblick auf die Rahmenbedingungen einer Schleusenentwässerung und vergleichbarer Anwendungen eine Vorauswahl an geeignet erscheinenden Pumpenmodellen getroffen. Der Fokus wurde bei der Auswahl auf die folgenden vier Hauptkriterien gelegt:

- Großer Förderstrom
- Einsatzflexibilität
- Zuverlässigkeit und Widerstandsfähigkeit bei kontinuierlichem Arbeitseinsatz
- Wirtschaftlichkeit

Im Folgenden werden Übersichten dieser Verdränger- (s. Kap. 5.1.1) und Strömungspumpen (s. Kap. 5.1.2) dargestellt.

5.3.1 Auswahl Verdrängerpumpen

Tab. 15 fasst die relevanten Pumpenmodelle unter Beachtung der oben genannten Hauptkriterien und dem Funktionsprinzip der trockenen Selbstansaugung zusammen. Zum Vergleich wurde die Förderleistung bei einer Förderhöhe h_A von 6,5 m herangezogen. Diese Förderhöhe liegt, je nach Ausführung des Abschott- und Pumpengesamtsystems, in der Größenordnung der maximal zu erwartenden Gesamtförderhöhe für diese trocken ansaugenden Drehkolben- bzw. Membranpumpen.

Daneben werden weitere wichtige Eigenschaften, wie z. B. Mindestwasserhöhe, Abmessungen, Kosten etc. verglichen.

Tab. 15: Übersicht geeigneter Verdrängerpumpenmodelle

Hersteller	Typ	Q bei $h_A = 6,5 \text{ m}$ [m ³ /h]	Mindestwasser- stand [cm]	Abmessungen $h_P \times b_P \times l_P$ [cm]	Gewicht [kg]	Einzelpreis inkl. MwSt. [€]
Börger¹⁾	XL 5300	1300 -	k. A.	ca. 90 x 53 x 127	1.344	98.500
	(Drehkolbenpumpe)	1800				
Selwood²⁾	S150	100	k. A.	235 x 152 x 174	1.760	35.000
	(Membranpumpe)					
Selwood³⁾	D150	260	k. A.	240 x 158 x 180	k. A.	40.000
	(Membranpumpe)					

¹⁾ nach BÖRGER (2014a): Dieses Pumpenmodell wird mit einem Elektro- oder Dieselmotor betrieben. Dieser ist in den Abmessungen und dem Einzelgewicht noch nicht berücksichtigt; ²⁾ nach SELWOOD (2013a), ³⁾ nach SELWOOD (2013b)

Tab. 15 zeigt deutlich die Überlegenheit der Drehkolbenpumpe gegenüber den Membranpumpen hinsichtlich der Förderleistungsfähigkeit. Auch die Bewertung des Preis-Leistungs-Verhältnisses fällt für das Pumpenmodell Börger XL 5300 positiv aus. Der Vorteil der geringeren Wartungsintensität von Membranpumpen gegenüber Drehkolbenpumpen ist durch die heutige Verwendung moderner Materialien und Baukonzeption nahezu egalisiert. Die Mobilität beider Pumpensysteme ist aufgrund ihrer Konstruktion und Abmessungen eingeschränkt. Dennoch lassen sich die Systeme auf fahrbare Hilfsgeräte, wie z. B. Auflieger oder auch Pontons, installieren. Hierdurch ist eine deutliche Steigerung der Einsatzflexibilität zu erreichen. Vergleichbare Pumpentypen des aufgeführten Drehkolbenmodells werden in der Praxis vielfach bei Aufgaben im Hochwasserschutz des Technischen Hilfswerks (THW) oder der Feuerwehren eingesetzt. Aus den oben genannten Gründen wird im Folgenden die Drehkolbenpumpe Börger XL 5300 näher betrachtet und vorgestellt. Die aufgeführten Membranpumpen werden aufgrund ihres relativ geringen Fördervolumens als ungeeignet für die gestellte Aufgabe eingestuft.

Börger XL 5300

Dieses Modell einer trocken selbstansaugenden Drehkolbenpumpe (s. Abb. 56) ist aufgrund ihres Konstruktionsprinzips zuverlässig und robust. Auch bei hohen Volumenströmen wird ein vibrationsarmes Fördern erreicht. Jede Pumpe kann kundenindividuell gebaut werden und ist nach Auskunft der Fa. Börger durch Vorratslagerung der meisten Einzelkomponenten schnell verfügbar.

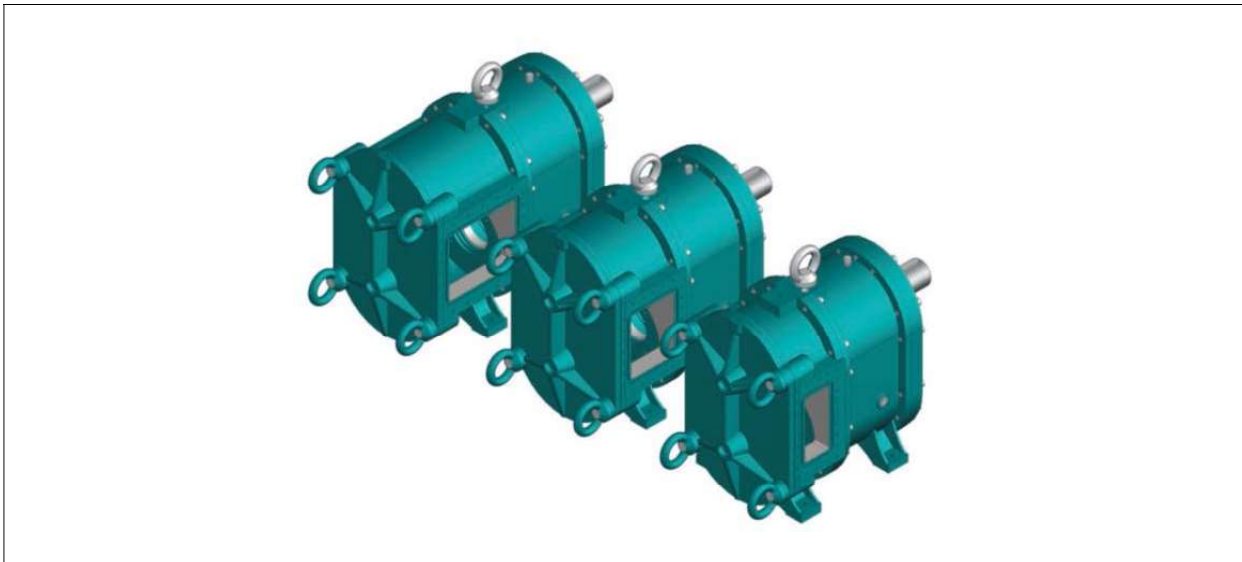


Abb. 56: Darstellung der XL-Pumpenbaureihe der Fa. Börger (nach BÖRGER 2014c)

Technische Daten der Pumpe können der Tab. 16 entnommen werden. Exakte Maßangaben des angesprochenen Pumpentyps lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht vor. Nach Angabe der Fa. Börger sind die Abmessungen jedoch ähnlich denen des Pumpentyps XL 3530 (vgl. Abb. 57). Aufschluss über den sich einstellenden Förderstrom bei einer definierten Gesamtförderhöhe gibt die Kennlinie in Abb. 58.

Tab. 16: Technische Daten der Pumpenanlage: Pumpe Börger XL 5300, Kraftstoffbehälter und Motor (nach BÖRGER 2014b)

Börger XL 5300					
Perkins Dieselmotor		Pumpe		Pumpenanlage	
Bruttoleistung [kW]	110	Druckanschluss	DN 500	Höhe h_{PA} [cm]	215
Drehzahl [1/min]	2200	Sauganschluss	DN 500	Breite b_{PA} [cm]	136
Max. Drehzahl Pumpenwelle [1/min]	560	Schwimmersteuerung	inkl	Länge l_{PA} [cm]	368
Variable Drehzahleinstellung	Inkl.	Betriebsart	kont.	Gewicht [kg]	4.500
Kraftstoffbehälter					
Tankinhalt [l]	210				

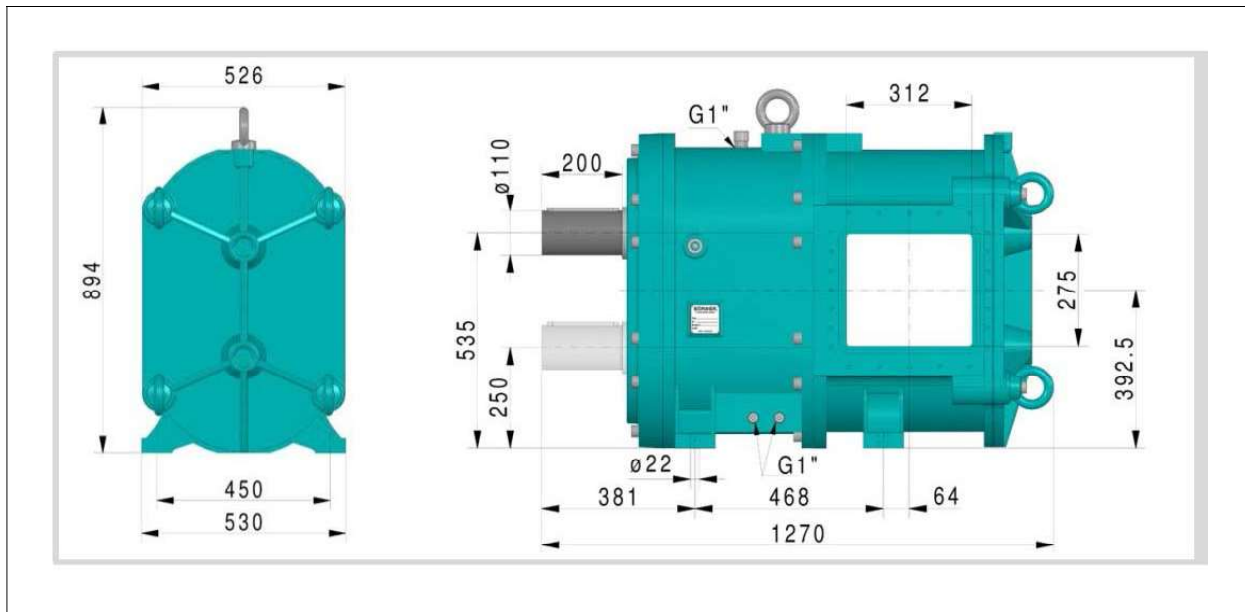


Abb. 57: Abmessungen des Pumpentyps XL 3530. Diese sind denen der Pumpenanlage Börger XL 5300 ähnlich (nach BÖRGER 2014d)

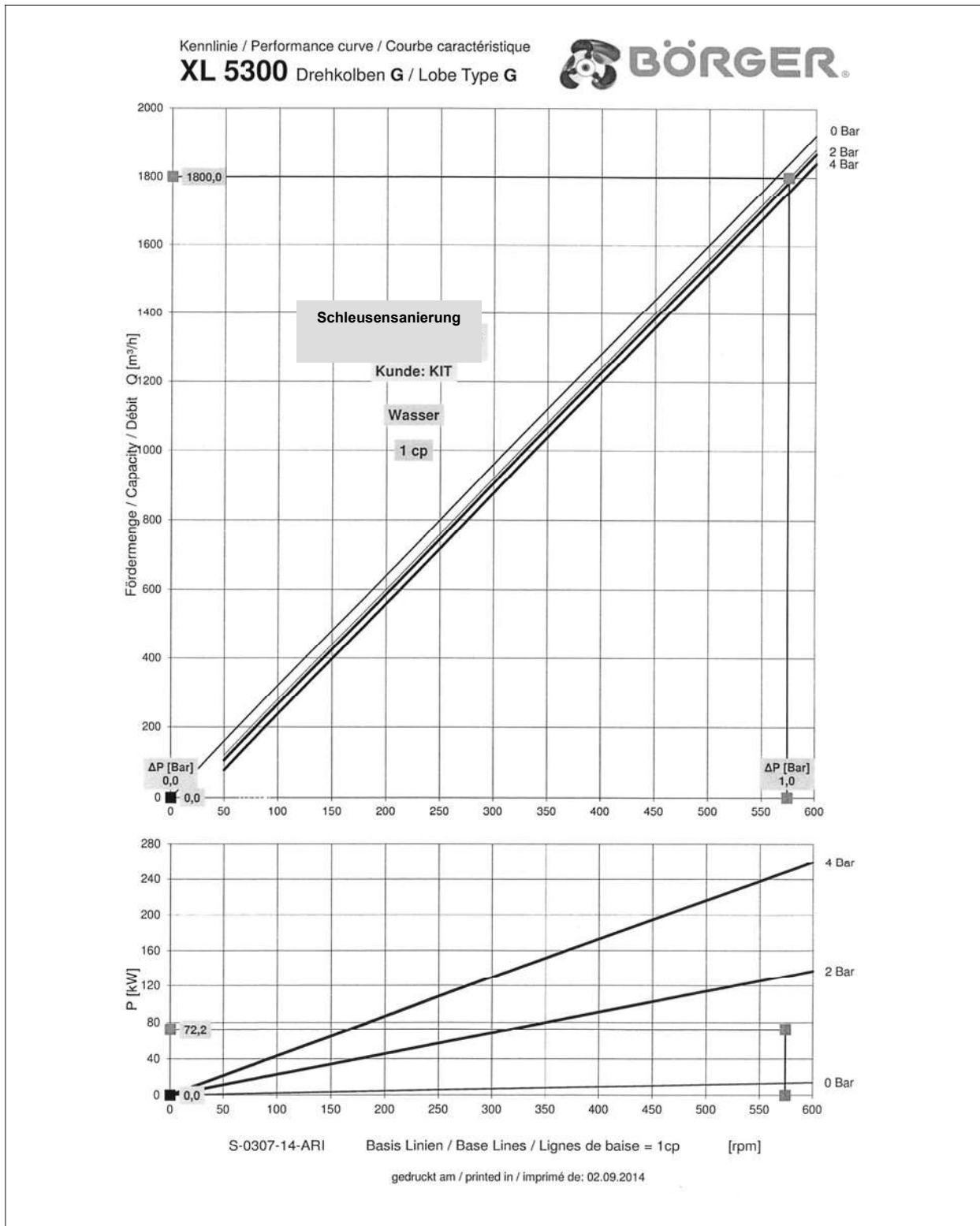


Abb. 58: Darstellung der Kennlinie der Pumpe Börger XL 5300 (nach BÖRGER 2014a)

5.3.2 Auswahl Kreiselpumpen

In Tab. 17 werden die möglichen Pumpenmodelle unter Berücksichtigung der oben genannten Hauptkriterien in einer Übersicht zusammengestellt. Zum Vergleich wurde die Förderleistung bei einer Förderhöhe h_A von 10 m herangezogen. Diese Förderhöhe liegt, je nach Ausführung des Abschott- und Pumpengesamtsystems, in der Größenordnung der maximal zu erwartenden Gesamtförderhöhe.

Daneben werden weitere wichtige Eigenschaften, wie z. B. Mindestwasserhöhe, Abmessungen, Kosten etc. verglichen. Zusätzliches Gewicht und weitere Kosten für Zubehör sind in den Tabellenwerten nicht berücksichtigt.

Tab. 17: Übersicht geeigneter Kreiselpumpenmodelle mit großem Förderstrom

Hersteller	Typ	Q bei $h_A = 10 \text{ m}$ [m ³ /h]	Mindestwasser- stand [cm]	Abmessungen h_p x \varnothing_p [cm]	Gewicht [kg]	Einzelpreis inkl. MwSt. [€]
KSB ¹⁾	Amarex KRT K 250-401	925	60	112-201 x 90-99	676 - 1818	30000
KSB ²⁾	Amarex KRT K 200-401	525	75	119-208 x 84-99	544 - 1674	k. A.
KSB ³⁾	Amarex KRT K 150-315	220	46	89-115 x 64-66	257 - 356	k. A.
Xylem ⁴⁾	Flygt 3301	1500	64	171 x 133	1110	23000
Xylem ⁵⁾	Flygt Bibo 2201	504	k. A.	130 x 50	280	k. A.
Grundfos ⁶⁾	DW.150.110.3	210	k. A.	82 x 41	110	k. A.
Linn ⁷⁾	G825R4C3-X112AA2	1044	149	241 x 132	1350	65000
Söndgerath ⁸⁾	ASP 8220 L	336	k. A.	133 x 58	410	15000
Wilo ⁹⁾	EMU 25.32D	550	43	136 x 71	324	k. A.

^{1) bis 3)} nach KSB (2013) und KSB (2014), ⁴⁾ nach FLYGT (2014e), ⁵⁾ nach FLYGT (2012), ⁶⁾ nach GRUNDFOS (2014), ⁷⁾ nach LINN (2014), ⁸⁾ nach SPT (2014), ⁹⁾ nach WILO (2011, S. 277ff.)

Die Übersicht in Tab. 17 zeigt, dass geeignete Kreiselpumpen mit großem Förderstrom auf dem Markt existieren, um die Aufgabe der Schleusenentwässerung in der vorgegebenen Zeit zu bewerkstelligen. Alle aufgeführten Pumpen können in der sogenannten transportablen Nassaufstellung verwendet werden. Dies bedeutet, dass sie mittels Hebezeug o. ä. umgesetzt und im Gegensatz zu den Verdrängerpumpen unter Wasser betrieben werden können. Die Pumpen sind demnach hinsichtlich der Einsatzflexibilität alle positiv zu bewerten. Betrachtet man neben den Kriterien *Großer Förderstrom* und *Einsatzflexibilität* auch die Faktoren der *Zuverlässigkeit* und *Widerstandsfähigkeit* und der *Wirtschaftlichkeit* erscheint die Kreiselpumpe Flygt 3301 der Firma Xylem am vielversprechendsten. Das Ergebnis wird durch Rückmeldungen aus der Praxis bestätigt (z. B. THW, WSA). Aus den oben genannten Gründen wird im Folgenden dieses Pumpenmodell näher untersucht.

Xylem Flygt 3301

Diese transportable Abwasserpumpe (s. Abb. 59) ist für eine lange Lebensdauer und hohe Betriebssicherheit konzipiert, z. B. durch die Verwendung langlebiger Lager und Dichtungen. Sie erreicht sehr hohe Gesamtwirkungsgrade für zahlreiche Einsatzmöglichkeiten durch die Verwendung spezieller Laufradkomponenten.



Abb. 59: Darstellung der Pumpe Xylem Flygt 3301 in transportabler Nassaufstellung = NS (nach FLYGT 2014c, S. 8)

Technische Daten der Pumpe können der Tab. 18 entnommen werden. Die Abmessungen sind in Abb. 60 eingetragen. Aufschluss über den sich einstellenden Förderstrom bei einer definierten Gesamtförderhöhe gibt die Kennlinie in Abb. 61.

Tab. 18: Technische Daten der Xylem Flygt 3301 (nach FLYGT 2013, S. 4 und FLYGT 2014e, S. 5)

Xylem Flygt 3301, transportable Nassaufstellung					
Spannung [V]	400	Laufrad	N620	Höhe h_p [cm]	171
Nennlsg. [kW]	55	Druckstufe	LT	Durchmesser \varnothing_p [cm]	200
Nennstrom [A]	113	Druckanschl.	DN 250	Gewicht [kg]	1110

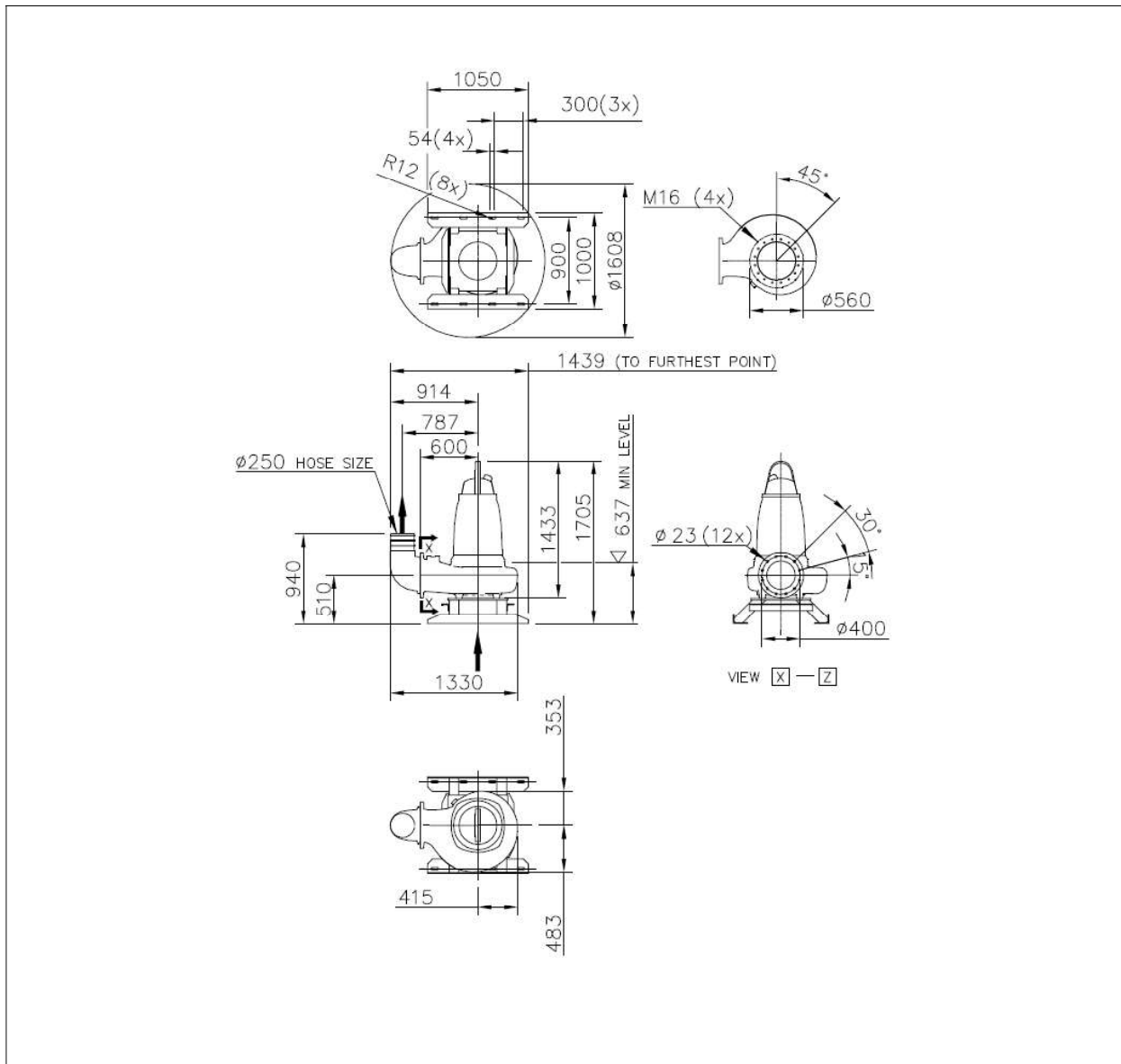


Abb. 60: Abmessungen der Pumpe Xylem Flygt 3301 (nach FLYGT 2014d)

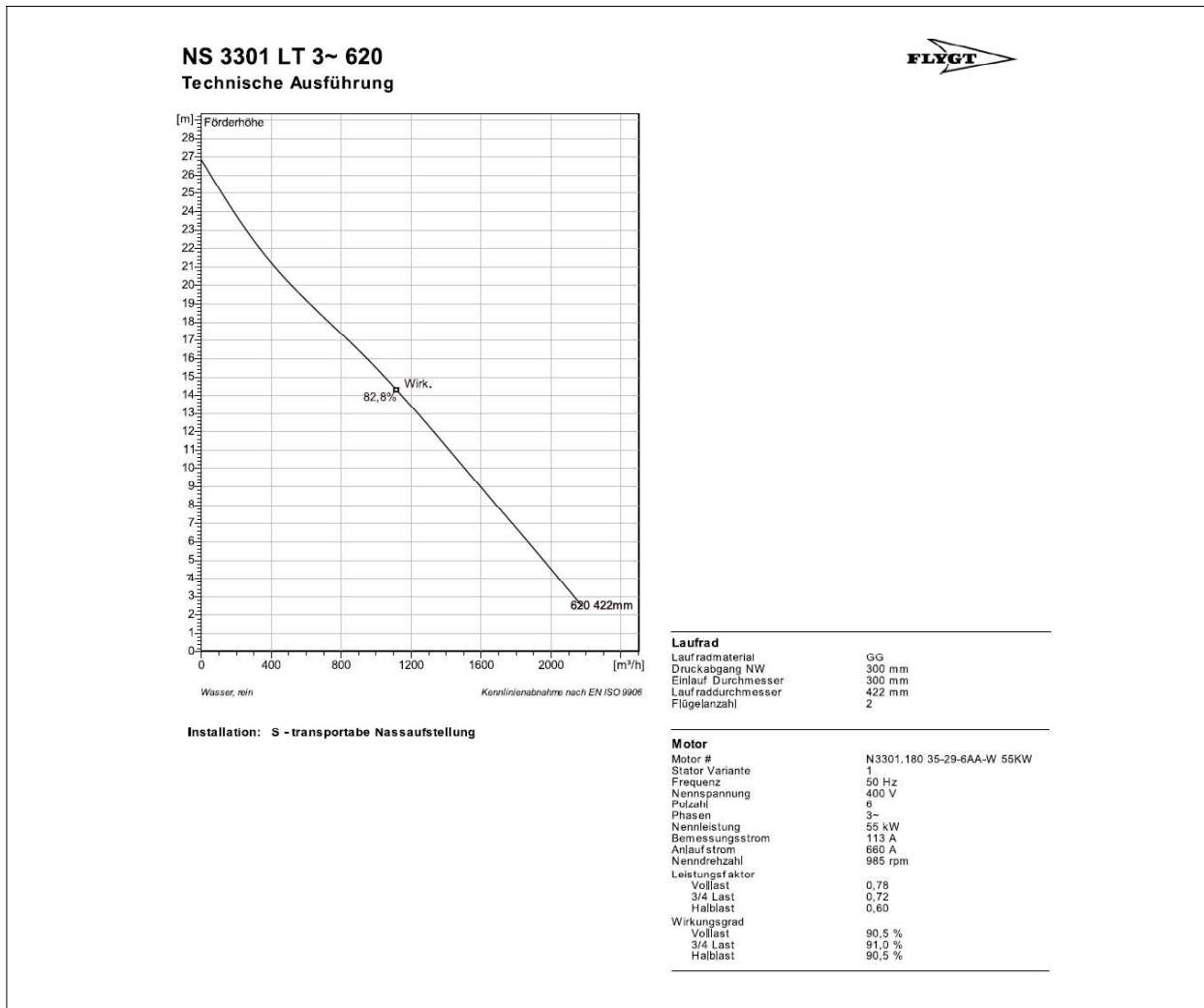


Abb. 61: Darstellung der Kennlinie der Pumpe Xylem Flygt 3301 (nach FLYGT 2014a)

Aus Tab. 17 ist ersichtlich, dass leistungsstarke Kreiselpumpen in Bezug auf den Förderstrom hohe Mindestwasserstände zum Fördern benötigen. Für die Trockenlegung der Schleusensegmente sind aus diesem Grund entweder ausreichend tiefe Pumpensümpfe in der Schleusensohle zu realisieren oder ab Erreichen des Mindestwasserstands ist ein Umstieg auf kleinere Pumpen notwendig. Aus diesem Grund sind in Tab. 19 weitere Kreiselpumpenmodelle ($Q \leq 100 \text{ m}^3/\text{h}$) kleinerer Bauart mit geringeren Mindestwasserständen aufgelistet. Diese besitzen teilweise die Möglichkeit einer Flachabsaugung.

Tab. 19: Übersicht geeigneter Kreiselpumpenmodelle mit kleinem Mindestwasserstand

Hersteller	Typ	Q bei $h_A = 10 \text{ m}$ [m ³ /h]	Mindestwasser- stand [cm]	Abmessungen h_P x \varnothing_P [cm]	Gewicht [kg]	Einzelpreis inkl. MwSt. [€]
KSB ¹⁾	Amarex KRT K 80-251	95	33	72-83 x 48	141 - 228	k. A.
Xylem ²⁾	Flight Bibo 3, 2640	104	k. A.	76 x 29	51	5000
Mast ³⁾	T 20	91	7,5 ⁹⁾	57 x 44	45	2700
Mast ⁴⁾	T 15-1	91	7,5 ⁹⁾	57 x 44	42	2800
Mast ⁵⁾	T 16	63	7,5 ⁹⁾	57 x 44	42	2400
Mast ⁶⁾	TP 8 – 1 N	57	7,5 ⁹⁾	56 x 38	40	2200
Chiemsee ⁷⁾	Chiemsee A	45,9	< 1	44 x 40/50	53	4000
Chiemsee ⁷⁾	Chiemsee B	40,8	< 1	44 x 40/50	53	4000
Chiemsee ⁸⁾	Mini-Chiemsee B 1400	39,6	< 1	34 x 28/45	29	2500

¹⁾ nach KSB (2013) und KSB (2014), ²⁾ nach FLYGT (2014b), ³⁾ nach MAST (2014d) und MAST (2014a), ⁴⁾ nach MAST (2014e) und MAST (2014a), ⁵⁾ MAST (2014c) und MAST (2014a), ⁶⁾ nach MAST (2014b) und MAST (2014a), ⁷⁾ nach CHIEMSEE (2014b), ⁸⁾ nach CHIEMSEE (2014a), ⁹⁾ Flachsaugmanschetten lieferbar oder vom Werk für die Flachsaugung anpassbar; Reduzierung des Volumenstroms

Die aufgeführten Pumpen der Hersteller KSB und Xylem ermöglichen zwar den größten Volumenstrom, allerdings benötigen diese Pumpen einen Mindestwasserstand von ca. 30 cm. Dies ist bei der vorliegenden Aufgabe der ‚vollständigen‘ Trockenlegung nicht zu tolerieren. Die Mast-Tauchmotorpumpen sind mit sog. Flachsaugmanschetten lieferbar oder können vom Werk individuell für die Flachabsaugung angepasst werden. Nach Angabe des Herstellers reduziert sich dabei der Volumenstrom um ca. 20 %. Die Pumpe Mast T 20 überzeugt gegenüber den anderen Modellen der Firma Mast und denen der Firma Chiemsee durch einen verhältnismäßig hohen Förderstrom. Im Folgenden wird dieses Pumpenmodell näher vorgestellt, während die übrigen Pumpenvarianten nicht weiter betrachtet werden.

Mast T 20

Die transportablen Tauchpumpen der Reihe T (s. Abb. 62) der Firma Mast sind für den strapazierfähigen Einsatz bei Schmutzwasser o. ä. ausgelegt. Laufräder, Pumpen- und Motorgehäuse sind aus robusten Gussteilen gefertigt. Die Leistung ist für eine geringe Stromaufnahme konzipiert, so dass auch bei limitierter Stromversorgung zuverlässig gearbeitet werden kann. Mast Tauchpumpen können im Schlüfzbetrieb eingesetzt werden. Das Absaugen des Fördermediums bis auf wenige Zentimeter ist bei dem Modell T 20 mit einer Flachsaugmanschette möglich.



Abb. 62: Darstellung der Pumpe Mast T 20 (Quelle: MAST 2014a, S. 1)

Technische Daten der Pumpe können der Tab. 20 entnommen werden. Die Abmessungen sind in Abb. 63 eingetragen. Aufschluss über den sich einstellenden Förderstrom bei einer definierten Gesamtförderhöhe gibt die Kennlinie in Abb. 64.

Tab. 20: Technische Daten der Mast T 20 (nach MAST 2014a)

Mast T 20					
Spannung [V]	400	Eintaucht. [m]	max. 20	Höhe h_p [cm]	57
Nennlsg. [kW]	5,3	Druckausgang	drehbar	Durchmesser \varnothing_P [cm]	44
Nennstrom [A]	9,3	Druckanschl.	Storz A	Gewicht [kg]	45

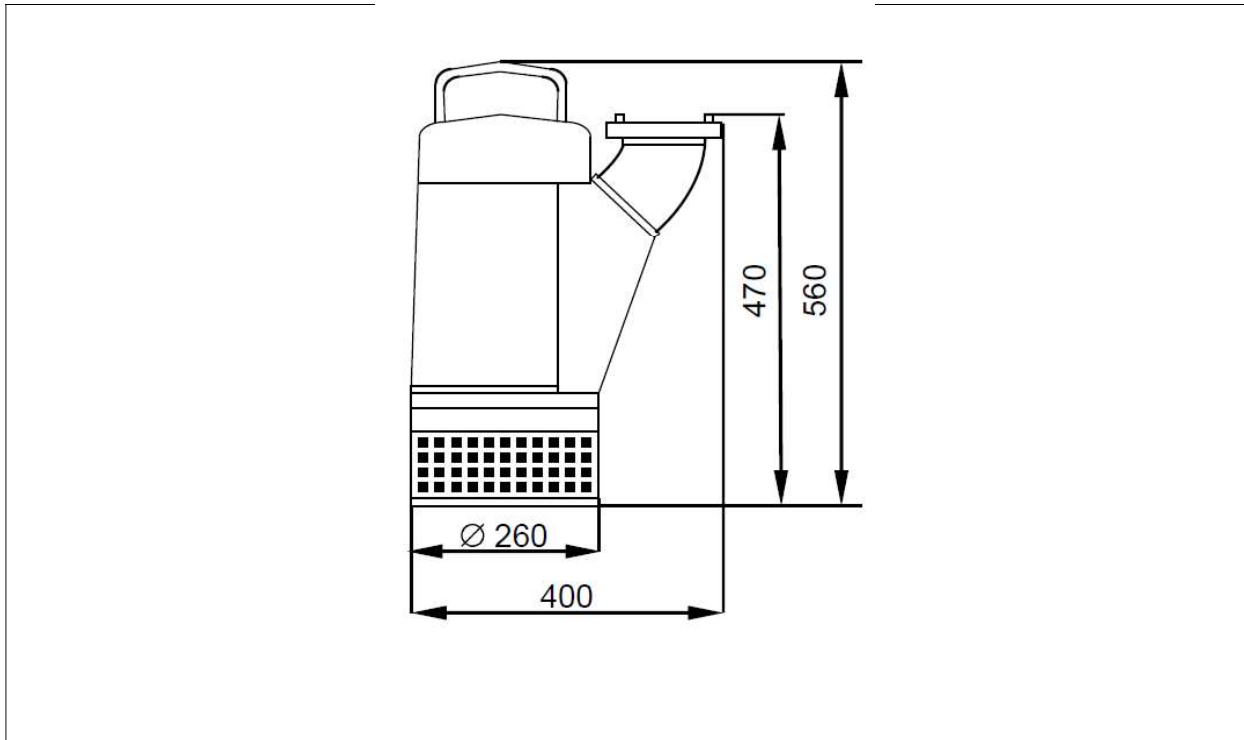


Abb. 63: Abmessungen der Pumpe Mast T 20 (nach MAST 2014a)

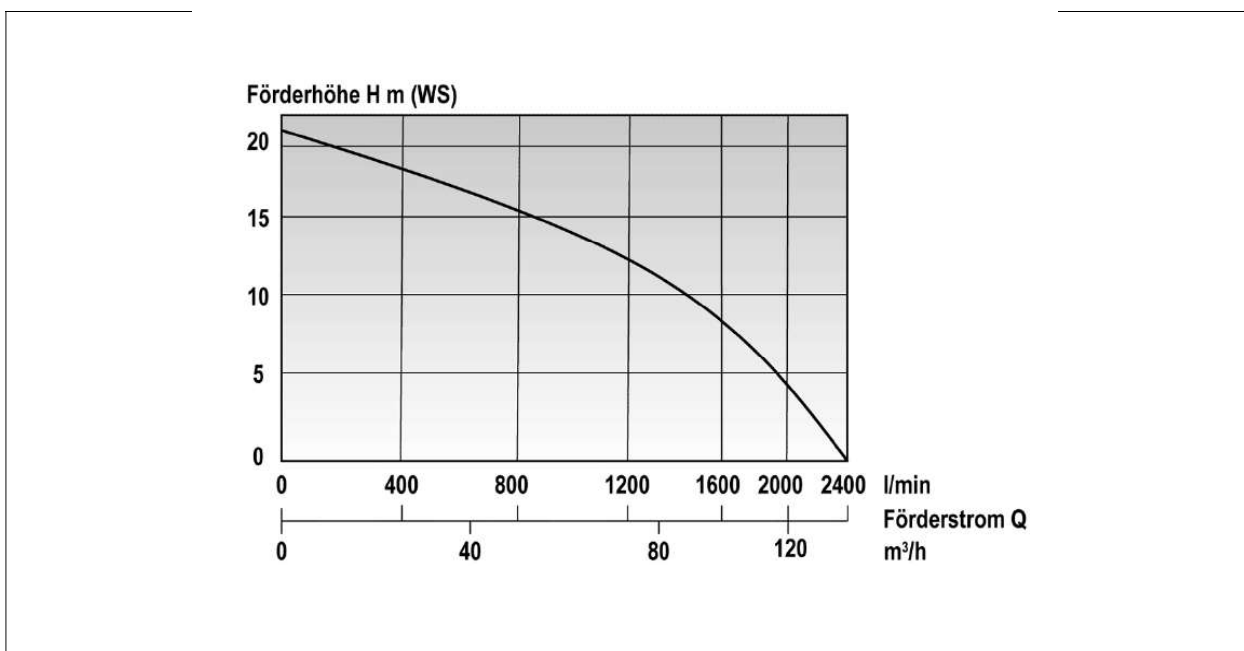


Abb. 64: Darstellung der Kennlinie der Pumpe Mast T 20 (nach MAST 2014d)

5.4 Variantenbetrachtung Schleusenentwässerung

Ein wesentlicher Bestandteil der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusen ist die Entwässerung der Schleusensegmente. Dabei sind signifikante Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die im Folgenden aufgelistet sind:

- ‚Vollständige‘ Entwässerung: In den Schleusensegmenten, die nach dem Entwässern als Arbeitsraum für die umfangreichen Instandsetzungsmaßnahmen zur Verfügung stehen sollen, darf möglichst kein wesentliches Restwasser verbleiben. Bewehrungs-, Schalungs- und Betonierarbeiten, insbesondere der Sohle, sollen ‚im Trockenen‘ durchgeführt werden. Es ist jedoch festzuhalten, dass eine Schleusenentwässerung im Rahmen einer temporären partiellen Trockenlegung und dem dafür vorgesehen Zeitrahmen von insgesamt 4 Stunden keine absolute Trockenheit der Wand- und Sohloberflächen möglich ist und Oberflächenfeuchtigkeiten und Restwassermengen von wenigen Zentimetern zu akzeptieren sind. In diesem Bericht wird der Begriff ‚vollständig‘ im Zusammenhang mit der Trockenlegung daher in Anführungszeichen gesetzt, um Missverständnissen vorzubeugen. Der Verbleib von Wasserrückständen in dem trocken zu legenden Schleusensegment kann durch die Verwendung von Saugfahrzeugen abgemindert werden.
 - Entwässerung binnen kurzer Zeitspannen: Der Entwässerungsvorgang der Schleusensegmente muss, ebenso wie das Einbringen der Abschottungssysteme, in einem möglichst kurzen Zeitraum erfolgen. Die Zeitspanne des Entwässerungsvorgangs ist Teil des maximal zur Verfügung stehenden Zeitfensters der gesamten partiellen Trockenlegung der Schleusensegmente von insgesamt 4 Stunden.
 - Entwässerung nach Unterwasser: Es erscheint sinnvoll, die Wasservolumina der trocken zu legenden Schleusensegmente nach Unterwasser zu fördern, um das Wasser mit Hilfe des natürlichen Flussstromes abzuführen. Ein Abpumpen nach Oberwasser würde die Gefahr der Überströmung des Abschottungssystems in den Arbeitsraum erhöhen. Eine deutliche Vergrößerung der vertikalen Abmessungen der Abschottungssysteme wären die Folge.
 - Ablaufoptimierung: Der Entwässerungsvorgang ist eventuell mit baustellenvorbereitenden Maßnahmen und mit Einhebe- oder Einschwimmvorgängen der Pumpen und des Zubehörs verbunden. Dieser Ablauf ist zeitlich, wirtschaftlich und hinsichtlich eines reibungsfreien Baustellenbetriebs zu optimieren.
 - Variable Segmentlänge: Die trocken zu legenden Schleusensegmente, in denen die Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden sollen, sollen in der Länge möglichst variabel gehalten werden. In den folgenden Variantenbetrachtungen werden deshalb verschiedene sinnvolle Segmentlängen (20 m, 35 m, 50 m und 100 m) betrachtet und hinsichtlich ihrer Machbarkeit bewertet.
-

Zur ‚vollständigen‘ Entwässerung der zu betrachtenden Schleusensegmente kommen verschiedene Pumpsysteme und -verfahren in Frage. Die nachfolgenden Kapitel sollen einen Überblick über verschiedene sinnvoll erscheinende Entwässerungsvorgänge geben.

5.4.1 Entwässerung: große Tauchmotorpumpen und große Pumpensümpfe/-gräben

Beschreibung Entwässerungsvorgang:

Tauchmotorpumpen, wie sie in Kap. 5.1.2 beschrieben sind, können aufgrund ihrer großen Bandbreite an Einsatzgebieten und ihrer Leistungsfähigkeit wassergefüllte Behälter, Baugruben etc. effektiv und in sehr kurzen Zeiträumen entwässern. Entscheidend ist, dass diese Pumpenarten je nach Baugröße und proportional zu ihrer Förderleistung einen ausreichend hohen Mindestwasserstand benötigen. Um das Kriterium der ‚vollständigen‘ Entwässerung zu erfüllen, kann dies nur über das Anlegen eines Pumpensumpfes oder eines Pumpengrabens erfolgen. In diesen wird das anfallende Wasser gesammelt und mittels eingestellter Pumpen herausgepumpt.

Es erscheint sinnvoll einen der Pumpengröße angepassten Pumpensumpf nahe der UW-Abschottung vorzusehen, so dass die Schlauch- bzw. Rohrlängen möglichst kurz und damit die hydraulischen Rohrreibungsverluste gering gehalten werden können. Für die Anordnung mehrerer Pumpen in der Schleuse zur Steigerung der Förderleistung könnte alternativ auch ein sog. Pumpengraben über die gesamte Breite angelegt werden, statische Zulässigkeit vorausgesetzt. Die Pumpen können in diesen nebeneinander eingestellt werden. Die in Kap. 5.3.2 ausgewählte Pumpe Xylem Flygt 3301 benötigt einen Mindestwasserstand von mindestens 64 cm. Die Tiefe des Pumpensumpfs sollte inklusive Sicherheitszuschlag aus diesem Grund ca. 70 cm betragen. Bei der Berücksichtigung einer Instandsetzung der Kammersohle mit Abtragung und Neubetonage, wie sie z. B. in der Pilotschleuse Schwabenheim vorgesehen ist, muss die Tiefe des Sohlabtrags (hier ca. 50 cm) zusätzlich eingeplant werden. Um einen ausreichenden Wasserzulauf zu generieren und pumpenschädigende Wasserverwirbelungen zu vermeiden, ist nach Herstellerangaben eine ausreichende Breite des Pumpensumpfs/-grabens vorzusehen. Der Abstand der Pumpen untereinander und von den Pumpensumpfwänden sollte nach Angaben von Xylem mind. 70 – 80 cm betragen. In Abb. 65 ist solch ein möglicher Pumpensumpf dargestellt. Die Abmessungen und Angaben beziehen sich auf die Größe der Pumpe Xylem Flygt 3301 und die üblichen Schleusenabmessungen.

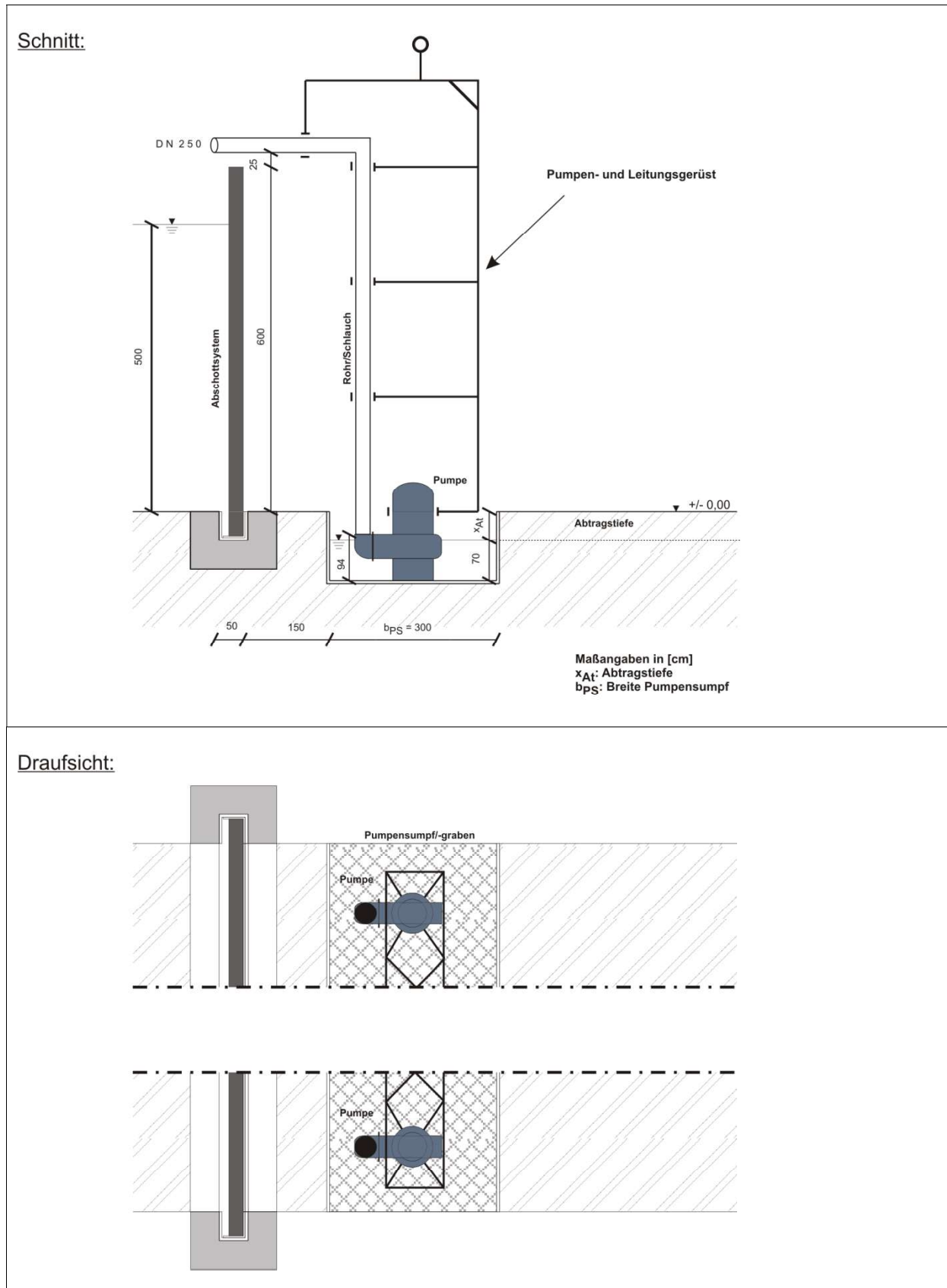


Abb. 65: Schnitt (oben) und Draufsicht (unten) eines Pumpengrabens in einem Schleusensegment für die Tauchmotorpumpe Xylem Flygt 3301

Entsprechend der Schleusensegmentgröße und des geplanten Instandsetzungsablaufs ist es zweckmäßig parallel zu den Kammerwänden Wassergräben mit der Tiefe des geplanten Sohlabtrags auszuheben oder zu fräsen, die das Wasser dem Pumpensumpf/-graben zuleiten. Die Längsneigung sollte nach SCHNELL, W. (1991, S. 27) mindestens 0,5 – 1 % betragen. Hierdurch werden Wasseransammlungen in Bereichen mit abgetragener Sohle vermieden. Um die Randbedingungen einer Instandsetzung bzw. einer temporären partiellen Trockenlegung unter Betrieb einzuhalten, sind im Vorfeld der Instandsetzungsmaßnahmen dementsprechend ein Pumpensumpf/-graben und mögliche Zulaufgräben in einer mehrtägigen planmäßigen Schleusensperrung der Schleuse anzulegen.

Die Auftriebssicherheit der Schleusensole ist nicht notwendigerweise gegeben. Aus diesem Grund müssen die Wassergräben bei Bedarf mit stabileren Materialien gesichert werden. Dies kann z. B. durch aussteifende Stahlwannensegmente erfolgen.

Die Pumpen- und Zulaufgräben sind sog. temporäre Hilfsbauwerke, die sich innerhalb des Arbeits- und Instandsetzungsbereichs befinden. Es ist zu beachten, dass diese während des Baufortschritts an der Kammersohle kontinuierlich „bergab“ zurückgebaut werden müssen. Dies geschieht im Zuge der Neubetonage der Kammersohle (vgl. hierzu Abb. 66).

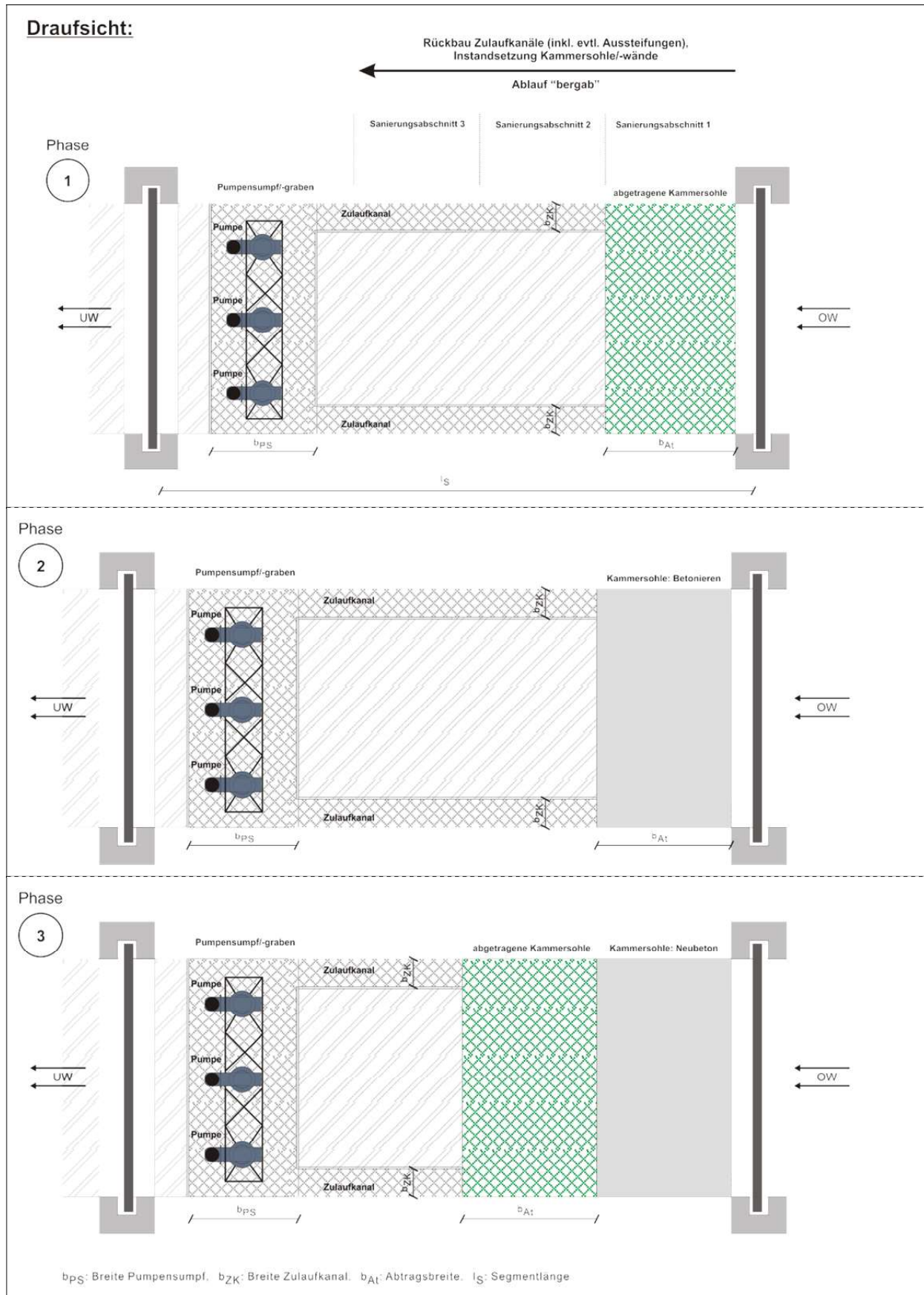


Abb. 66: Grafische Darstellung des Bauablaufs hinsichtlich des Rückbaus der temporären Zulauf- und Pumpengräben

Insbesondere beim Einsatz mehrerer Tauchpumpen ist es zweckmäßig, ein einhebbares Traggerüst vorzusehen, an dem die Pumpen und die Druckrohre oder –schläuche befestigt werden können. Dadurch wird zeitintensives und aufwendiges Ein- und Ausheben jeder einzelnen Pumpe vermieden. Das Traggestell kann in einem Arbeitsschritt von einem Kran in das trocken zu legende Schleusensegment bzw. in den Pumpensumpf eingehoben werden. Für den prinzipiellen Aufbau eines solchen Pumpen- und Leitungsgerüsts vgl. Abb. 65.

Berechnungen:

Im Folgenden werden für die beschriebene Variante nacheinander die Gesamtförderhöhe, der zu erreichende Förderstrom des Pumpensystems und die Zeitdauer des Entwässerungsvorgangs bestimmt. Zusätzlich wird die vorhandene Haltedruckhöhe des Systems überprüft und die Gefahr der Kavitation bewertet. Die notwendigen geometrischen Abmessungen können Abb. 65 entnommen werden oder sind im Text angegeben.

1. Bestimmung der Gesamtförderhöhe h_F nach Gl. (2):

a) Geodätische Höhe:

$$h_{\text{geo}} = 6,50 + 0,25 = 6,75 \text{ m}$$

b) Druckhöhenverlust in geraden Rohr-/Schlauchleitungen nach Gl. (3):

$$h_v = 0,01 \cdot \frac{9,81}{0,26} \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 1,17 \text{ m}$$

mit den folgenden Parametern:

- Leitungslänge:
 $L = (1,20 - 0,94) + 6,75 + 0,8 + 2 = 9,81 \text{ m}$
- Rohrinne Durchmesser nach KSB (2005, S. 20):
 $d_i = 0,26 \text{ m}$ (für Xylem Flygt 3301: Druckstutzen DN 250)
- Durchflussgeschwindigkeit:
 $v = 4Q/(\pi d_i^2) = 4 \cdot 0,42/(\pi \cdot 0,26^2) = 7,8 \text{ m/s}$

- Reynoldszahl:

$$Re = v \cdot d_i / \nu = 7,8 \cdot 0,26 / (1,0 \cdot 10^{-6}) = 2,0 \cdot 10^6$$

- Rohrreibungsbeiwert (Annahme: hydraulisch glatte Rohre/Schläuche):

Nach Gleichung (13) in KSB (2005, S. 19) kann der Rohrreibungsbeiwert für hydraulisch glatte Rohre wie folgt berechnet werden:

$$\lambda = \frac{0,309}{\left(\lg \frac{Re}{7}\right)^2} = 0,010$$

- c) Druckhöhenverlust für Armaturen nach Gl. (4):

In der Rohrleitung ist ein Rückschlagventil (optional) und ein Rohrbogen (90°) vorgesehen. Die Druckhöhenverluste für Armaturen und Formstücke entfallen bei Schlauchleitungen.

$$h_v = 0,4 \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 1,24 \text{ m}$$

mit dem Parameter:

- Verlustbeiwert Rückschlagventil nach KSB (2005, S. 23):

$$\zeta = 0,4$$

- d) Druckhöhenverlust für Formstücke nach Gl. (4):

In der Rohrleitung ist ein Rohrbogen (90°) vorgesehen. Die Druckhöhenverluste für Formstücke entfallen bei Schlauchleitungen

$$h_v = 0,14 \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,43 \text{ m}$$

mit dem Parameter:

- Verlustbeiwert Rohrbogen (90°, Oberfläche glatt, mind. $R \geq 2 d_i$) nach KSB (2005, S. 24):

$$\zeta = 0,14$$

- e) Gesamtförderhöhe:

$$h_F = 6,75 + 1,17 + 1,24 + 0,43 = 9,59 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

2. Bestimmung der Förderleistung:

Mit der Gesamtförderhöhe h_F lässt sich aus der Kennlinie (s. Abb. 67) der Förderstrom Q (herstellerseitige Angabe) ermitteln:

$$Q = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$$

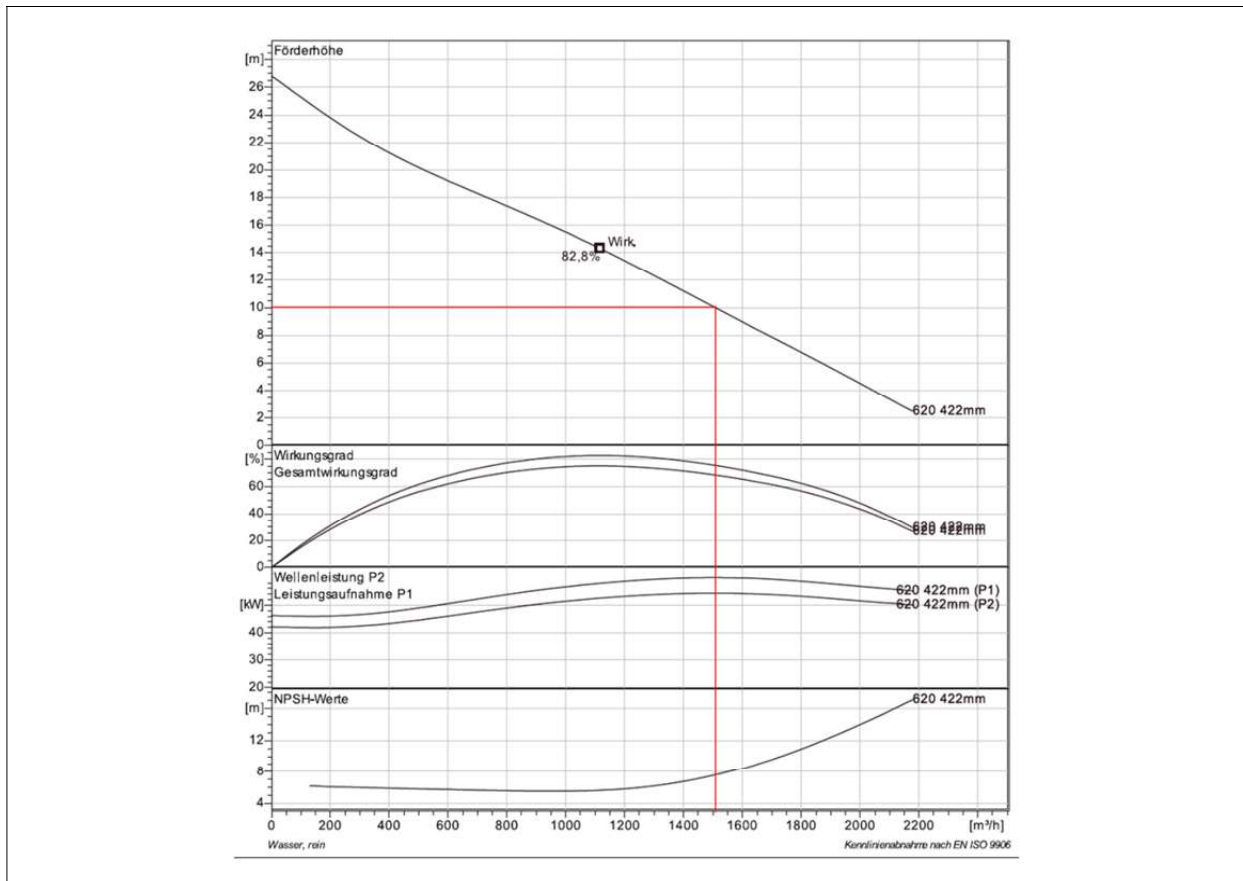


Abb. 67: Kennlinie der Pumpe Xylem Flygt 3301 (Quelle: nach FLYGT 2014a)

3. Überprüfung der Anlagendruckhöhe nach Gl. (8):

$$NPSH_{\text{vorh}} = 10 - 0 \pm 0 = 10 \text{ m}$$

Gemäß Abb. 67 beträgt die erforderliche Anlagendruckhöhe zuzüglich des Sicherheitszuschlags von 0,50 m:

$$NPSH_{\text{erf}} = 7,5 + 0,5 = 8,0 \text{ m}$$

Damit gilt:

$$NPSH_{\text{vorh}} = 10 \text{ m} > 8,0 \text{ m} = NPSH_{\text{erf}}$$

Die vorhandene Haltedruckhöhe ist (inklusive Sicherheitszuschlag) größer als die vom Hersteller empfohlene Mindestgröße. Eine rechnerische Kavitationsgefahr im angestrebten Betriebspunkt besteht somit nicht. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass nach Herstellerangaben beim Anfahrvorgang von großen Tauchmotorpumpen Kavitation nie ausgeschlossen werden kann. Das Kavitationsrisiko kann mithilfe eines zusätzlich eingebauten Frequenzumrichters (FU) reduziert werden.

4. Zeitspanne T_p für Entwässerungsvorgang:

Allgemein berechnet sich die Zeitspanne T_p des Entwässerungsvorgangs nach folgender Beziehung:

$$T_p = \frac{V_S}{N_P \cdot Q_P}$$

mit:

- V_S Wasservolumen innerhalb des trocken-zulegenden Schleusensegmentes
- N_P Anzahl der eingesetzten Pumpen gleichen Typs
- Q_P Förderstrom des ausgewählten Pumpentyps

Im Folgenden wird für die vorliegende Aufgabe unter Berücksichtigung der ausgewählten Pumpe(n) und des beschriebenen Entwässerungsvorgangs der jeweiligen wassergefüllten Teilvolumina eine allgemeingültige Formel hinsichtlich der Zeitspanne T_p aufgestellt (für eine Wasserhöhe von 5,0 m):

$$T_p = \underbrace{\frac{l_S \cdot 12,5 \cdot 5,0}{N_P \cdot Q_P}}_{\text{Regelquerschnitt}} + \underbrace{2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 5,0}{N_P \cdot Q_P}}_{\text{abgetragene Kammerwand}} + \underbrace{\frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot (12,5 + 2 \cdot x_{At})}{N_P \cdot Q_P}}_{\text{abgetragene Kammersohle}} + \underbrace{2 \frac{b_{ZK} \cdot (l_S - 1,0 - 1,5 - b_{At} - b_{PS}) \cdot x_{At}}{N_P \cdot Q_P}}_{\text{Zulaufkanäle}} + \underbrace{\frac{b_{PS} \cdot 12,5 \cdot x_{At}}{N_P \cdot Q_P}}_{\text{Pumpensumpf}} \quad [s] \quad (9)$$

Dabei werden folgende Parameter zunächst als Variablen gesetzt:

- l_S Länge des trocken-zulegenden Schleusensegments
- x_{At} Abtragtiefe an Kammerwänden und -sohle
- b_{At} Abtragsbreite: Breite der abgetragenen Wand-/Sohllamellen
- b_{PS} Breite Pumpensumpf/-graben (sofern relevant und vorhanden)
- b_{ZK} Breite der Zulaufkanäle zu Pumpensumpf/-graben (sofern relevant und vorhanden)

Konkrete Zahlenwerte für T_P liefert Tab. 21. Hierbei wurde von dem realistischen Fall ausgegangen, dass der Abtrag des Altmaterials im Querschnitt U-förmig erfolgt, d. h. sowohl die Kammersohle als auch beide Kammerwände müssen abgetragen sein, bevor mit dem Betoniervorgang begonnen wird. Es wird weiter angenommen, dass die Instandsetzung der Kammerwände und –sohle streifenförmig erfolgt. So muss eine U-Lamelle erst vollständig betoniert sein, bevor mit dem Abbruchvorgang der daran anschließenden nächsten U-Lamelle fortgefahren wird.

Für die Auswertung werden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Abtragsbreite b_{At} : 15 m (Annahme, vgl. Abb. 66)
- Abtragtiefe x_{At} : 0,50 m (Annahme: durchschnittlicher Wert der Abtragtiefe vergleichbarer Schleusenprojekte)
- Breite Zulaufkanäle b_{ZK} : 0,75 m (Annahme)
- Breite Pumpensumpf/-graben b_{PS} : 3 m (vgl. Abb. 65)
- Anzahl der Pumpen N_P : 1, 2, ..., 4
- Schleusensegmentlänge l_s : 20 m, 35 m, 50 m, 100 m (entspricht der üblichen Schleusenlänge von ca. 1/5, 1/3, 1/2 und 1)

Tab. 21: Übersicht der Zeiträume für den Entwässerungsvorgang hinsichtlich verschiedener Schleusensegmentlängen und Pumpenanzahl (Variante 1)

Entwässerungsvorgang Variante 1			
<u>eingesetzte Pumpen:</u>			
Q_P [m^3/h]	1500	<i>Xylem Flygt 3301</i>	
l_s [m]	V_S [m^3]	N_P [-]	T_P [min]
20	1445,0	1	58
	1445,0	2	29
35	2393,4	1	96
	2393,4	2	48
	2393,4	3	32
50	3342,1	1	134
	3342,1	2	67
	3342,1	3	45
	3342,1	4	33
100	6504,6	1	260
	6504,6	2	130
	6504,6	3	87
	6504,6	4	65

Erforderliche Gerätschaften:

- Ausreichende Beleuchtung (bei Nachtbetrieb der Baustelle)
- Kran mit ausreichender Tragfähigkeit und Ausladung
- eine oder mehrere Pumpen des gewählten Typs
- Druckrohre/-schläuche geeigneter Größe
- Traggerüst für Pumpen und Druckrohre/-schläuche
- Elektroanschluss mit ausreichender Leistungsfähigkeit

Bauablauf:Vorbereitende Maßnahmen:

- Lagerplatz einrichten mit Reinigungsmöglichkeit für Pumpen und Rohr-/Schlauchsystem
- Anlegen von Pumpensümpfen/-gräben und Zulaufkanälen unter Beachtung der Schleusensegmentlänge (z. B. in mehrtägiger Schifffahrtssperre oder mittels Abtrag unter Wasser)
- Sicherung der Pumpensümpfe/-gräben und Zulaufkanäle (u. a. gegen Auftrieb) je nach Material und Beschaffenheit der Kammersohle durch z. B. Stahlwannen o. ä. (z. B. in mehrtägiger Schifffahrtssperre und vollständiger Schleusentrockenlegung)
- Konstruktion eines Traggerüsts für Pumpen und Rohr-/Schlauchleitungen
- Sicherstellung einer ausreichenden Elektrizitätsversorgung vor Ort

Entwässerungsvorgang:

- Einheben (mittels Hebezeug) und Ausrichten (händisch und mittels Hebezeug) des Pumpensystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Pumpen, Rohr-/Schlauchleitungen, Elektrizitätsleitungen) in Pumpensumpf/-graben
- Anschluss Elektrizität

Vor- und Nachteile ‚Entwässerung: große Tauchmotorpumpen und große Pumpensümpfe/-gräben‘:

Im Folgenden werden die wichtigsten und entscheidenden Vor- und Nachteile dieses Pumpverfahrens aufgeführt. Eine Gegenüberstellung aller betrachteten Pumpverfahren wird in Kap. 5.4.5 anhand einer Bewertungsmatrix veranschaulicht.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Relativ kurze Entwässerungszeiten (auch bei großen Schleusensegmentlängen möglich)• Flexibilität hinsichtlich des Förderstroms durch Zuschalten/Abschalten von Pumpen• ‚Vollständige‘ Trockenlegung mit Restwassermengen• Robuste, wartungsarme Pumpen• Akzeptable Investitionskosten	<ul style="list-style-type: none">• Rückbau Pumpengräben: für spätere Instandsetzungsarbeiten ist Einsatz dieser Entwässerungsvariante nicht mehr gegeben• Aufwendige Vorarbeiten: z. B. Anlegen von großen Pumpensümpfen/-gräben und Zulaufkanälen (mit evtl. Sicherungsmaßnahmen)• Umfangreiche Vorarbeiten innerhalb der Schleuse machen evtl. eine mehrtägige Schleusensperrung notwendig.• Große Abmessungen der Pumpensümpfe/-gräben (statisch bedenklich je nach vorhandenem Sohlmaterial)• Vorgabe einer Instandsetzungsrichtung hinsichtlich der Funktionstüchtigkeit der Zulaufkanäle• Hohe Trockenlaufempfindlichkeit der Pumpen: Kavitation und Abreißen des Förderstroms• Kavitationsgefahr beim Anfahren der Pumpen kaum vermeidbar (evtl. Abschwächung durch Einsatz eines FU-Reglers)• Fördermedium ohne nennenswerte Feststoffanteile bei diesem Pumpentyp• Relativ hohes Gewicht des Pumpengesamtsystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Pumpen, Rohr-/Schlauchleitungen)• Genaue Einstellung und Ausrichtung des Pumpengesamtsystems in Pumpensumpf/-graben bei gefülltem Schleusensegment schwierig

5.4.2 Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und kleine Pumpensümpfe/-gräben

Beschreibung Entwässerungsvorgang:

In Kap. 5.4.1 ist der Entwässerungsvorgang eines Schleusensegments unter alleiniger Verwendung von großen Tauchmotorpumpen beschrieben. Es bleibt festzuhalten, dass für diese Variante ein in den Abmessungen großer Pumpensumpf-/graben angelegt werden muss und für den unter Umständen aufwendige Vorarbeiten und sohlsichernde Maßnahmen notwendig sein können. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel eine Alternative vorgestellt, bei der der Einsatz von leistungsstärkeren und leistungsschwächeren Tauchmotorpumpen (mit geringen Mindestwasserständen) kombiniert wird.

Auf das Anlegen eines Pumpensumpfs/-grabens kann auch bei dieser Variante nicht verzichtet werden, aber die relativ großen Abmessungen des im vorigen Kapitel beschriebenen Pumpensumpfs/-grabens können reduziert werden. Die gewählten Pumpen des Typs Xylem Flygt 3301 werden auf der Sohlebene aufgestellt und fördern ausschließlich die Wassermenge zwischen den Wasserständen + 5 m bis + 0,7 m (Mindestwasserstand der Pumpe). Die Restwassermenge kann durch leistungsschwächere Tauchmotorpumpen des in Kap. 5.3.2 beschriebenen Typs Mast T 20 abgepumpt werden. Diese benötigen einen Mindestwasserstand von ca. 7,5 cm und können in einem dafür vorgesehenen Pumpengraben mit der Größe von ca. 1 m Breite und ca. 10 – 15 cm Tiefe aufgestellt werden. Abb. 65 gilt entsprechend der veränderten Abmessungen des Pumpengrabens. Es sei an dieser Stelle ebenfalls darauf hingewiesen, dass die Tiefe des geplanten Sohlabtrages berücksichtigt werden muss, sodass sich z. B. für die Pilotschleuse Schwabenheim eine Gesamttiefe des Pumpensumpfs von ca. 60 – 65 cm (50 cm Sohlabtrag, 10 – 15 cm reguläre Pumpensumpftiefe) ergibt.

Die Sicherstellung eines ausreichenden Wasserzulaufs in die Pumpensümpfe/-gräben durch Zulaufrippen und die Vermeidung eines möglichen Sohlauftriebs durch den Einbau von z. B. Stahlwannensegmenten ist analog zu Kap. 5.4.1 zu berücksichtigen. Ebenfalls sind die Pumpen- und Zulaufgräben wie beschrieben „bergab“ zurückzubauen.

Der Einsatz eines Einhebetraggerüsts kann für die leistungsstarken Pumpen Xylem Flygt 3301 ebenso wie für die leistungsschwächeren Pumpen Mast T 20 geplant werden und ähnlich zu der in Kap. 5.4.1 beschriebenen Konstruktion ausgeführt sein.

Berechnungen:

Im Folgenden wird für die beschriebene Variante nacheinander die Gesamtförderhöhe, der zu erreichende Förderstrom des Pumpensystems und die Zeitdauer des Entwässerungsvorgangs bestimmt.

Zusätzlich wird die vorhandene Haltedruckhöhe des Systems überprüft und die Gefahr der Kavitation bewertet. Die notwendigen geometrischen Abmessungen können sinngemäß Abb. 65 entnommen werden oder sind im Text angegeben. Die Tauchmotorpumpen Xylem Flygt 3301 und Mast T 20 werden in den Formeln mit Indizes differenziert. Es gilt zu beachten:

Xylem Flygt 3301: Index „1“

Mast T 20: Index „2“

1. Bestimmung der Gesamtförderhöhe h_F nach Gl. (2):

a) Geodätische Höhe:

$$h_{\text{geo}1,2} = 6,50 + 0,25 = 6,75 \text{ m}$$

b) Druckhöhenverlust in geraden Rohr-/Schlauchleitungen nach Gl. (3):

$$h_{v,1} = 0,01 \cdot \frac{9,81}{0,26} \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 1,17 \text{ m}$$

$$h_{v,2} = 0,01 \cdot \frac{9,3}{0,11} \cdot \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,31 \text{ m}$$

mit den folgenden Parametern:

- Leitungslänge:

$$L_1 = 6,75 - 0,94 + 4 = 9,81 \text{ m}$$

$$L_2 = (0,65 - 0,47) + 6,75 + 0,37 + 2 = 9,3 \text{ m}$$

- Rohrinne Durchmesser nach KSB (2005, S. 20):

$$d_{i,1} = 0,26 \text{ m (für Xylem Flygt 3301: Druckstutzen DN 250)}$$

$$d_{i,2} = 0,11 \text{ m (für Mast T 20: Druckstutzen Storz A)}$$

- Durchflussgeschwindigkeit:

$$v_1 = 4Q/(\pi d_i^2) = 4 \cdot 0,42 / (\pi \cdot 0,26^2) = 7,8 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 4Q/(\pi d_i^2) = 4 \cdot 0,03 / (\pi \cdot 0,11^2) = 2,7 \text{ m/s}$$

- Reynoldszahl:

$$Re_1 = v \cdot d_i / \nu = 7,8 \cdot 0,26 / (1,0 \cdot 10^{-6}) = 2,0 \cdot 10^6$$

$$Re_2 = v \cdot d_i / \nu = 2,7 \cdot 0,11 / (1,0 \cdot 10^{-6}) = 0,3 \cdot 10^6$$

- Rohrreibungsbeiwert (Annahme: hydraulisch glatte Rohre/Schläuche):

Nach Gleichung (13) in KSB (2005, S. 19) kann der Rohrreibungsbeiwert für hydraulisch glatte Rohre wie folgt berechnet werden:

$$\lambda_1 = \frac{0,309}{\left(\lg \frac{Re}{7}\right)^2} = 0,010$$

$$\lambda_2 = \frac{0,309}{\left(\lg \frac{Re}{7}\right)^2} = 0,014$$

- c) Druckhöhenverlust für Armaturen nach Gl. (4):

In der Rohrleitung ist ein Rückschlagventil (optional) und ein Rohrbogen (90°) vorgesehen. Die Druckhöhenverluste für Armaturen und Formstücke entfallen bei Schlauchleitungen.

$$h_{v,1} = 0,4 \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 1,24 \text{ m}$$

$$h_{v,2} = 0,4 \cdot \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,15 \text{ m}$$

mit dem Parameter:

- Verlustbeiwert Rückschlagventil nach KSB (2005, S. 23):

$$\zeta_{1,2} = 0,4$$

- d) Druckhöhenverlust für Formstücke nach Gl. (4):

In der Rohrleitung ist ein Rohrbogen (90°) vorgesehen. Die Druckhöhenverluste für Formstücke entfallen bei Schlauchleitungen

$$h_{v,1} = 0,14 \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,43 \text{ m}$$

$$h_{v,2} = 0,14 \cdot \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

mit dem Parameter:

- Verlustbeiwert Rohrbogen (90°, Oberfläche glatt, mind. $R \geq 2 d_i$) nach KSB (2005, S. 24):

$$\zeta_{1,2} = 0,14$$

e) Gesamtförderhöhe:

$$h_{F,1} = 6,75 + 1,17 + 1,24 + 0,43 = 9,59 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

$$h_{F,2} = 6,75 + 0,31 + 0,15 + 0,05 = 7,26 \text{ m} \approx 7,5 \text{ m}$$

2. Bestimmung der Förderleistung:

Die Förderleistung der Pumpe Xylem Flygt 3301 lässt sich analog zur Variante 1 aus Abb. 67 ermitteln.

$$Q_1 = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Mit der Gesamtförderhöhe $h_{F,2}$ der Pumpe Mast T 20 lässt sich aus der Kennlinie (s. Abb. 68) die Förderleistung Q ermitteln:

$$Q_2 = 102 \text{ m}^3/\text{h}$$

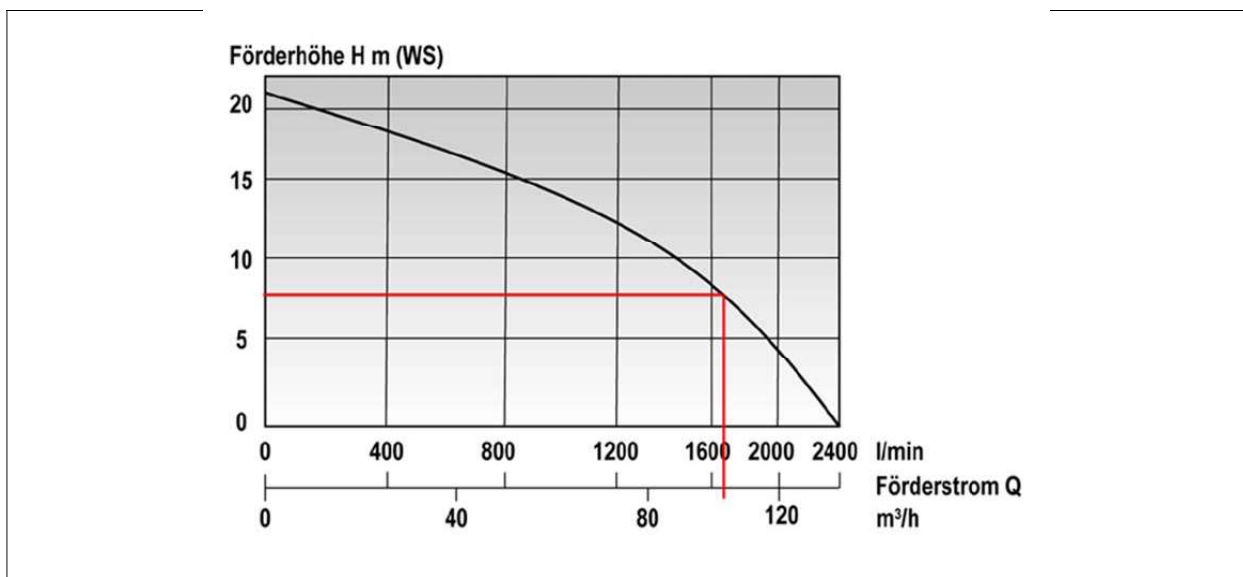


Abb. 68: Kennlinie der Pumpe Mast T 20 (Quelle: nach MAST 2014d)

3. Überprüfung der Anlagendruckhöhe nach Gl. (8):

NPSH_{vorh,1}: Überprüfung analog zu Variante 1

NPSH_{vorh,2}: Nach Angabe des Herstellers ist eine Überprüfung nicht notwendig, da die Pumpe auch im Flachsaugbetrieb eingesetzt werden kann. Kavitation kann jedoch nie, insbesondere bei Anfahrvorgängen, vermieden werden.

4. Zeitspanne T_p für Entwässerungsvorgang:

Allgemein berechnet sich die Zeitspanne T_p des Entwässerungsvorgangs nach folgender Beziehung:

$$T_p = \frac{V_S}{N_P \cdot Q_P}$$

mit:

- V_S Wasservolumen innerhalb des trockenliegenden Schleusensegments
 N_P Anzahl der eingesetzten Pumpen gleichen Typs
 Q_P Förderstrom des ausgewählten Pumpentyps

Es wird angenommen, dass beide Pumpentypen gleichzeitig laufen und die Pumpen des Typs Xylem Flygt 3301 bei einem Mindestwasserstand von 0,7 m abgeschaltet werden. Im Folgenden wird für die vorliegende Aufgabe unter Berücksichtigung der ausgewählten Pumpen und des beschriebenen Entwässerungsvorgangs der jeweiligen wassergefüllten Teilvolumina eine allgemeingültige Formel hinsichtlich der Zeitspanne T_p aufgestellt (für eine Wasserhöhe von 5,0 m):

$$\begin{aligned}
 T_p = & \frac{l_S \cdot 12,5 \cdot 4,3}{\underbrace{N_{P,1} \cdot Q_{P,1} + N_{P,2} \cdot Q_{P,2}}_{\text{Regelquerschnitt}}} + \frac{l_S \cdot 12,5 \cdot 0,7}{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}} \\
 & + 2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 4,3}{\underbrace{N_{P,1} \cdot Q_{P,1} + N_{P,2} \cdot Q_{P,2}}_{\text{abgetragene Kammerwand}}} + 2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 0,7}{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}} \\
 & + \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot (12,5 + 2 \cdot x_{At})}{\underbrace{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}}_{\text{abgetragene Kammersohle}}} + 2 \frac{b_{ZK} \cdot (l_S - 1,0 - 1,5 - b_{At}) \cdot x_{At}}{\underbrace{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}}_{\text{Zulaufkanäle}}} \\
 & + \frac{b_{PS} \cdot 12,5 \cdot x_{At}}{\underbrace{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}}_{\text{Pumpensumpf}}}
 \end{aligned} \quad [s] \quad (10)$$

Dabei werden folgende Parameter zunächst als Variablen gesetzt:

- l_S Länge des trockenliegenden Schleusensegments
 x_{At} Abtragtiefe an Kammerwänden und -sohle
 b_{At} Abtragsbreite der abgetragenen Wand-/Sohllamellen
 b_{PS} Breite Pumpensumpf/-graben (sofern relevant und vorhanden)
 b_{ZK} Breite der Zulaufkanäle zu Pumpensumpf/-graben (sofern relevant und vorhanden)

Konkrete Zahlenwerte für T_P liefert Tab. 22. Hierbei wurde von dem realistischen Fall ausgegangen, dass der Abtrag des Altmaterials im Querschnitt U-förmig erfolgt, d. h. sowohl die Kammersohle als auch beide Kammerwände müssen abgetragen sein, bevor mit dem Betoniervorgang begonnen wird. Es wird weiter angenommen, dass die Instandsetzung der Kammerwände und –sohle streifenförmig erfolgt, respektive eine U-Lamelle muss erst vollständig betoniert sein, bevor mit dem Abfräsvorgang der daran anschließenden nächsten U-Lamelle fortgefahren wird.

Für die Auswertung werden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Abtragsbreite b_{At} : 15 m (Annahme, vgl. Abb. 66)
- Abtragtiefe x_{At} : 0,50 m (Annahme: durchschnittlicher Wert der Abtragtiefe vergleichbarer Schleusenprojekte)
- Breite Zulaufkanäle b_{ZK} : 0,75 m (Annahme)
- Breite Pumpensumpf/-graben b_{PS} : 1 m (vgl. Abb. 65 sinngemäß)
- Anzahl der Pumpen N_P : 1, 2, ..., 4
- Schleusensegmentlänge l_S : 20 m, 35 m, 50 m, 100 m (entspricht der üblichen Schleusenlänge von ca. 1/5, 1/3, 1/2 und 1)

Tab. 22: Übersicht der Zeiträume für den Entwässerungsvorgang hinsichtlich verschiedener Schleusensegmentlängen und Pumpenanzahl (Variante 2)

Entwässerungsvorgang Variante 2				
<u>eingesetzte Pumpen:</u>				
Q_{P1} [m ³ /h]	1500	<i>Xylem Flygt 3301</i>		
Q_{P2} [m ³ /h]	102	<i>Mast T 20</i>		
l_S [m]	V_S [m ³]	N_{P1} [-]	N_{P2} [-]	T_P [min]
20	1433,6	1	4	79
	1433,6	2	4	63
	1433,6	2	6	48
	1433,6	2	8	40
	1433,6	3	8	34
35	2382,4	2	6	75
	2382,4	3	8	54
	2382,4	4	8	49
50	3331,1	3	8	74
	3331,1	4	8	67
100	6493,6	4	8	125

Erforderliche Gerätschaften:

- Ausreichende Beleuchtung (bei Nachtbetrieb der Baustelle)
- Kran mit ausreichender Tragfähigkeit und Ausladung
- eine oder mehrere Pumpen des gewählten Typs
- Traggerüst für Pumpen und Druckrohre/-schläuche
- Elektroanschluss mit ausreichender Leistungsfähigkeit

Bauablauf:Vorbereitende Maßnahmen:

- Lagerplatz einrichten mit Reinigungsmöglichkeit für Pumpen und Rohr-/Schlauchsystem
- Anlegen von Pumpensümpfen/-gräben und Zulaufkanälen unter Beachtung der Schleusensegmentlänge (z. B. in mehrtägiger Schifffahrtssperre oder mittels Abtrag unter Wasser)
- Sicherung der Pumpensümpfe/-gräben und Zulaufkanäle (u. a. gegen Auftrieb) je nach Material und Beschaffenheit der Kammersohle durch z. B. Stahlwannen o. ä. (in mehrtägiger Schifffahrtssperre und vollständiger Schleusentrockenlegung)
- Konstruktion eines Traggerüsts für Pumpen und Rohr-/Schlauchleitungen
- Sicherstellung einer ausreichenden Elektrizitätsversorgung vor Ort

Entwässerungsvorgang:

- Einheben und Ausrichten des Pumpensystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Pumpen, Rohr-/Schlauchleitungen, Elektrizitätsleitungen) in Pumpensumpf/-graben
- Anschluss Elektrizität

Vor- und Nachteile ‚Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und kleine Pumpensümpfe/-gräben‘:

Im Folgenden werden die wichtigsten und entscheidenden Vor- und Nachteile dieses Pumpverfahrens aufgeführt. Eine Gegenüberstellung aller betrachteten Pumpverfahren wird in Kap. 5.4.5 anhand einer Bewertungsmatrix veranschaulicht.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Akzeptable Entwässerungszeiten (auch bei mittleren Schleusensegmentlängen möglich)• In den Abmessungen kleinere Pumpensümpfe/-gräben und Zulaufkanäle im Vergleich zu Variante 1• ‚Vollständige‘ Trockenlegung möglich• Flexibilität hinsichtlich des Förderstroms durch Zuschalten/Abschalten von Pumpen• Robuste, wartungsarme Pumpen• Akzeptable Investitionskosten	<ul style="list-style-type: none">• Rückbau Pumpengräben: für spätere Instandhaltungsarbeiten ist Einsatz dieser Entwässerungsvariante nicht mehr gegeben• Aufwendige Vorarbeiten: z. B. Anlegen von Pumpensümpfen/-gräben und Zulaufkanälen (mit evtl. Sicherungsmaßnahmen)• Umfangreiche Vorarbeiten innerhalb der Schleuse machen evtl. mehrtägige Schleusensperrung notwendig.• Vorgabe einer Sanierungsrichtung hinsichtlich der Funktionstüchtigkeit der Zulaufkanäle• Hohe Trockenlaufempfindlichkeit der Pumpen: Kavitationsgefahr, Abreißen des Förderstroms• Kavitationsgefahr beim Anfahren der leistungsstärkeren Pumpen kaum vermeidbar (evtl. Abschwächung durch Einsatz eines FU-Reglers)• Fördermedium ohne nennenswerte Feststoffanteile bei diesem Pumpentyp• Relativ hohes Gewicht des Pumpengesamtsystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Pumpen, Rohr-/Schlauchleitungen)• Genaue Einstellung und Ausrichtung des Pumpengesamtsystems in Pumpensumpf/-gräben bei gefülltem Schleusensegment schwierig

5.4.3 Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben

Beschreibung Entwässerungsvorgang:

Die ‚vollständige‘ Trockenlegung eines Schleusensegments kann auch ohne Erstellung eines Pumpensumpfs/-grabens erfolgen. Hierzu sind Tauchmotorpumpen notwendig, die über eine Flachsaugfunktion verfügen oder für die Flachsaugzubehör verfügbar ist, wie dies z. B. bei dem Pumpentyp Mast T 20 der Fall ist.

Aufgrund des relativ geringen Volumenstroms der Mast T 20 und der daraus resultierenden erhöhten Entwässerungszeit erscheint es wiederum sinnvoll, die Wassermenge zwischen den Wasserständen + 5 m bis + 0,7 m (Mindestwasserstand der Pumpe) mittels der Xylem Flygt 3301 abzupumpen. Die Aufstellung erfolgt analog Kap. 5.4.2.

Die Abführung der Restwassermenge erfolgt anschließend durch Tauchmotorpumpen mit Flachsaugung. Die oben genannte Tauchmotorpumpe des Typs Mast T 20 kann mit einer sog. Flachsaugmanschette ausgerüstet werden. Dabei wird diese von unten gleichmäßig über das Schutzsieb gezogen und entsprechend der Restwasserhöhe ausgerichtet. Es ist zu beachten, dass die Pumpe so lange absaugt, wie die Sieböffnung unterhalb des Wasserspiegels ist (s. Abb. 69).

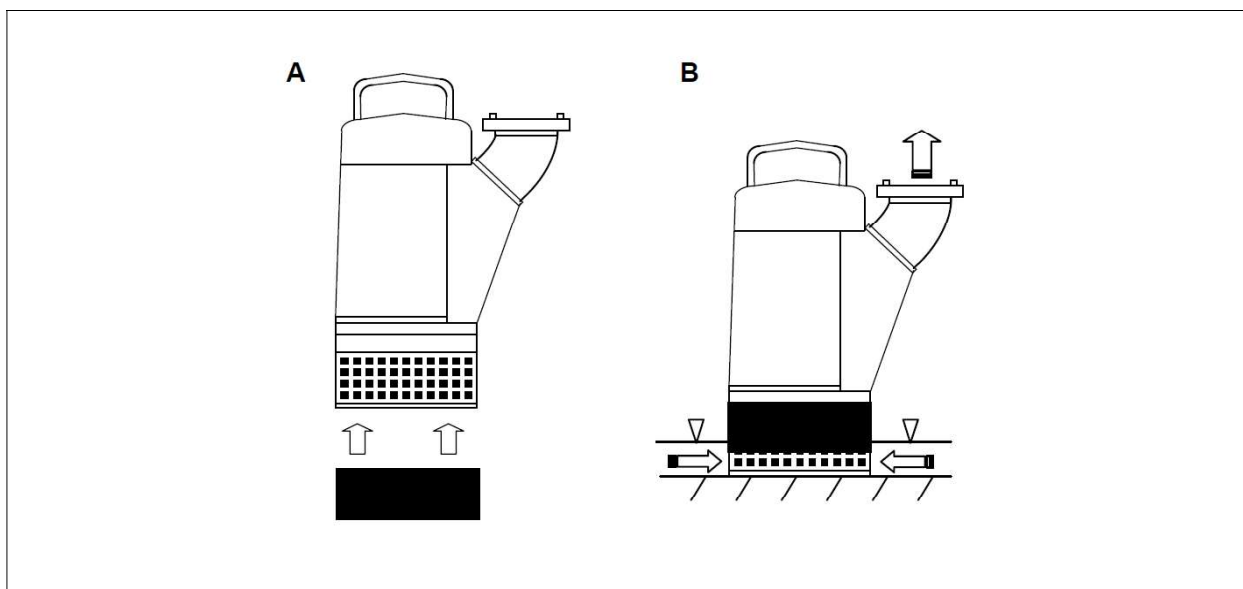


Abb. 69: Anbringen einer Flachsaugmanschette an dem Pumpentyp Mast T 20 (nach MAST 2014a, S. 9)

Alternativ können nach Angabe der Fa. Mast auch über ein im Leitapparat eingebautes sog. Flachsugsieb niedrige Wasserstände abgepumpt werden. Hierbei muss das Standardschutzsieb

abgenommen werden (s. Abb. 70). Dies ist aber im Vorfeld einer Bestellung mit der Firma abzustimmen und wird nur auf Anfrage produziert. Nach Auskunft der Fa. Mast verringert sich bei Flachsaugbetrieb der von der Pumpe förderbare Volumenstrom um ca. 20 %.

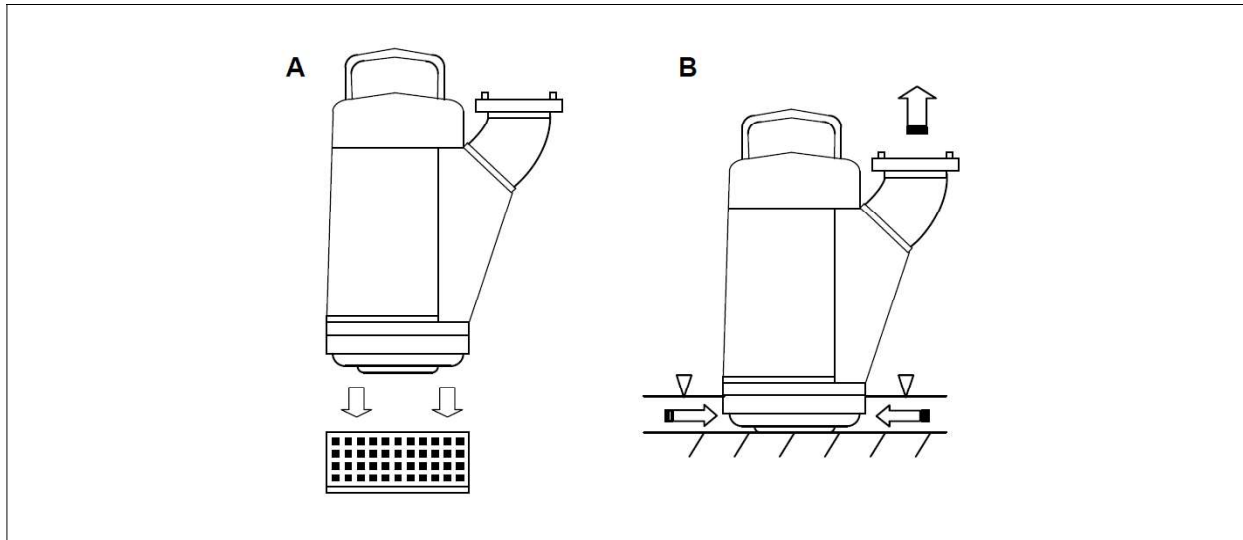


Abb. 70: Flachsaugbetrieb mittels eingebautem Flachsugsieb (nach MAST 2014a, S. 10)

Es wird darauf hingewiesen, dass in den trockenliegenden Schleusenabschnitten trotz Abpumpen mittels Flachsaugung immer ein Restwasserfilm von ca. 3 – 5 cm verbleibt. Kann dieser Wasserstand für die geplanten Instandsetzungsmaßnahmen an den Kammerwänden und -sohlen als nicht tolerierbar eingestuft werden, sind weitere Maßnahmen erforderlich, um das Wasser aufzunehmen.

Zur Aufnahme von relativ geringen Bodenwassermengen erscheint der Einsatz von sog. Saugfahrzeugen (s. Abb. 71) ein vielversprechendes Instrument. Diese Nutzfahrzeuge können flüssige oder feste Materialien mittels Vakuumpumpe absaugen. Das abzusaugende Medium wird dabei mit dem Luftstrom mitgerissen. Um ein Abreißen des Luftstroms zu verhindern, ist der Einsatz unterhalb der Wasserspiegelhöhe ausgeschlossen. Der Saugschlauch innerhalb des Schleusenabschnittes ist daher unbedingt immer von geschultem Personal zu führen. Das abgesaugte Wasser wird in einem fahrzeuginternen Behälter gesammelt.



Abb. 71: Darstellung eines Saugfahrzeuges, hier: RSP ESE 32 (nach RSP 2014a)

Die Saugfahrzeuge sind heute vielfältig im Einsatz (z. B. in der innerstädtischen Kanalreinigung, der Beseitigung von Kanalrohrbrüchen etc.) und werden von diversen Firmen hergestellt. Die Fa. Reschwitzer Saugbagger Produktions GmbH (RSP) z. B. stellt verschiedene Baugrößen und Ausführungsvarianten, aber auch Sonderanfertigungen, her. In Tab. 23 sind fahrzeugtypische Daten des Modells ESE 32 angegeben, das nach Rücksprache mit der Fa. RSP für die Aufgabe geeignet ist. Zusätzlich kann das Modell mit einer zusätzlichen Schmutzwasserpumpe (Option G50) ausgestattet werden (s. Abb. 72). Nach RSP (2014b) kann diese Pumpe (Antrieb über Fahrzeughydraulik) Wasser aus dem Sammelbehälter abpumpen. Hiermit könnte ein Entleeren des Saugfahrzeugs während der Trockenlegungsperiode vermieden werden. Herstellerseitig wird der Förderstrom mit 1200 l/min angegeben.

Tab. 23: Technische Daten des Saugfahrzeugs RSP ESE 32 (Quelle: nach RSP 2014a)

Saugfahrzeug RSP ESE 32			
Basisdaten		Saugaufbau	
Motorisierung	230 kW/312 PS mit NMV	max. Luftvolumenstrom	43.000 m ³ /h
Fahrzeugbreite	2.500 mm	Max. Unterdruck	47.000 Pa
Maximalgewicht	32.000 kg	Behälterentleerung	seitliches Kippen oder Schmutzwasserpumpe ¹⁾
Gelenkschlauchträger		Druckluftsystem	3,0 m ³ /min, 7 bar
Schwenkbereich	180°	Saugtiefe	50 m
Reichweite	6.100 mm	Saugentfernung	150 m
Saugschlauch	Ø 250 mm	Volumenstrom	Medium ca. 1,75 m ³ /min ²⁾ (hier: Wasser)

¹⁾ nach RSP (2014b), ²⁾ nach schriftlicher Auskunft der Fa. RSP GmbH

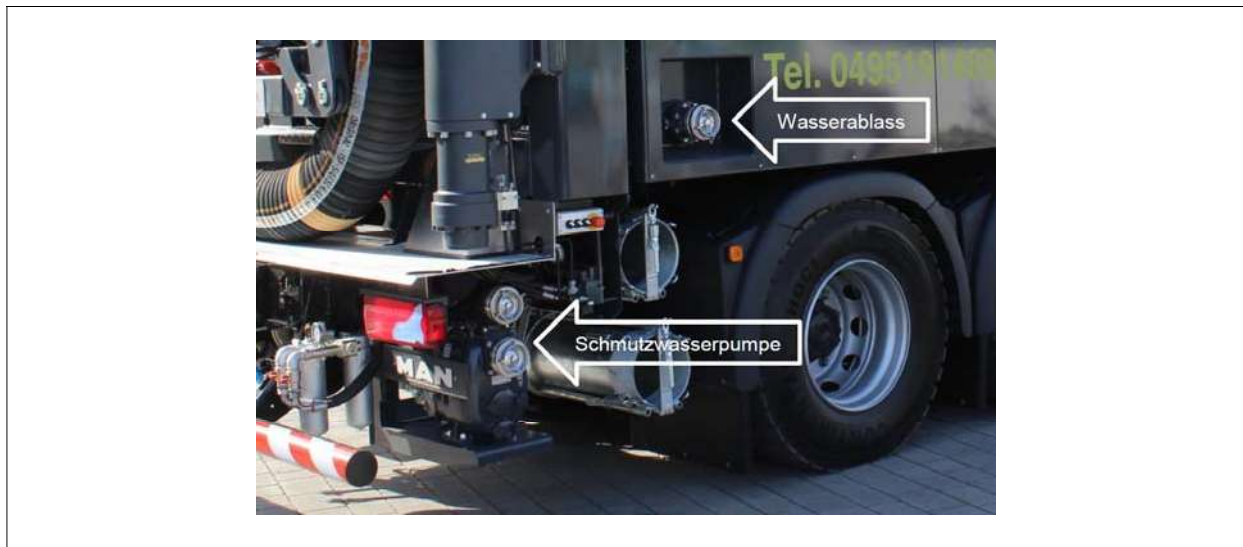


Abb. 72: Darstellung der am Fahrzeug integrierten Schmutzwasserpumpe zur Entleerung des Sammel tanks (nach RSP 2014b)

Das Saugfahrzeug kann aufgrund seiner Mobilität bei jedem Entwässerungsvorgang auf der Schleusenplanie parallel zu dem betreffenden Schleusensegment geparkt und gesichert werden. Nach dem Einsatz der Tauchmotorpumpen kann der Saugschlauch mittels des Gelenkschlauchträgers und einer Seilwinde in das Schleusensegment herabgelassen werden. Es ist der Einsatz mindestens eines geschulten Arbeiters zur Führung des Saugschlauchs in dem Schleusensegment vorzusehen.

Berechnungen:

Im Folgenden wird für die beschriebene Variante nacheinander die Gesamtförderhöhe, der zu erreichende Förderstrom des Pumpensystems und die Zeitdauer des Entwässerungsvorgangs bestimmt. Zusätzlich wird die vorhandene Haltedruckhöhe des Systems überprüft und die Gefahr der Kavitation bewertet. Die notwendigen geometrischen Abmessungen des Abschottungssystems können Abb. 65 entnommen werden. Weitere Werte sind an entsprechender Stelle im Text angegeben. Die Tauchmotorpumpen Xylem Flygt 3301, Mast T 20 und das Saugfahrzeug werden in den Formeln mit Indizes differenziert. Es gilt zu beachten:

Xylem Flygt 3301: Index „1“

Mast T 20: Index „2“

Saugfahrzeug: Index „3“

1. Bestimmung der Gesamtförderhöhe h_F nach Gl. (2):a) Geodätische Höhe:

$$h_{\text{geo}1,2} = 6,50 + 0,25 = 6,75 \text{ m}$$

b) Druckhöhenverlust in geraden Rohr-/Schlauchleitungen nach Gl. (3):

$$h_{v,1} = 0,01 \cdot \frac{9,81}{0,26} \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 1,17 \text{ m}$$

$$h_{v,2} = 0,01 \cdot \frac{8,65}{0,11} \cdot \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,29 \text{ m}$$

mit den folgenden Parametern:

- Leitungslänge:

$$L_1 = 6,75 - 0,94 + 4 = 9,81 \text{ m}$$

$$L_2 = 6,75 - 0,47 + 0,37 + 2 = 8,65 \text{ m}$$

- Rohrrinnendurchmesser nach KSB (2005, S. 20):

$$d_{i,1} = 0,26 \text{ m (für Xylem Flygt 3301: Druckstutzen DN 250)}$$

$$d_{i,2} = 0,11 \text{ m (für Mast T 20: Druckstutzen Storz A)}$$

- Durchflussgeschwindigkeit:

$$v_1 = 4Q/(\pi d_i^2) = 4 \cdot 0,42 / (\pi \cdot 0,26^2) = 7,8 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 4Q/(\pi d_i^2) = 4 \cdot 0,03 / (\pi \cdot 0,11^2) = 2,7 \text{ m/s}$$

- Reynoldszahl:

$$Re_1 = v \cdot d_i / \nu = 7,8 \cdot 0,26 / (1,0 \cdot 10^{-6}) = 2,0 \cdot 10^6$$

$$Re_2 = v \cdot d_i / \nu = 2,7 \cdot 0,11 / (1,0 \cdot 10^{-6}) = 0,3 \cdot 10^6$$

- Rohrreibungsbeiwert (Annahme: hydraulisch glatte Rohre/Schläuche):

Nach Gleichung (13) in KSB (2005, S. 19) kann der Rohrreibungsbeiwert für hydraulisch glatte Rohre wie folgt berechnet werden:

$$\lambda_1 = \frac{0,309}{\left(\lg \frac{Re}{7}\right)^2} = 0,010$$

$$\lambda_2 = \frac{0,309}{\left(\lg \frac{Re}{7}\right)^2} = 0,014$$

c) Druckhöhenverlust für Armaturen nach Gl. (4):

In der Rohrleitung ist ein Rückschlagventil (optional) und ein Rohrbogen (90°) vorgesehen. Die Druckhöhenverluste für Armaturen und Formstücke entfallen bei Schlauchleitungen.

$$h_{v,1} = 0,4 \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 1,24 \text{ m}$$

$$h_{v,2} = 0,4 \cdot \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,15 \text{ m}$$

mit dem Parameter:

- Verlustbeiwert Rückschlagventil nach KSB (2005, S. 23):

$$\zeta_{1,2} = 0,4$$

d) Druckhöhenverlust für Formstücke nach Gl. (4):

In der Rohrleitung ist ein Rohrbogen (90°) vorgesehen. Die Druckhöhenverluste für Formstücke entfallen bei Schlauchleitungen

$$h_{v,1} = 0,14 \cdot \frac{7,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,43 \text{ m}$$

$$h_{v,2} = 0,14 \cdot \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

mit dem Parameter:

- Verlustbeiwert Rohrbogen (90°, Oberfläche glatt, mind. $R \geq 2 d_i$) nach KSB (2005, S. 24):

$$\zeta_{1,2} = 0,14$$

e) Gesamtförderhöhe:

$$h_{F,1} = 6,75 + 1,17 + 1,24 + 0,43 = 9,59 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

$$h_{F,2} = 6,75 + 0,29 + 0,15 + 0,05 = 7,24 \text{ m} \approx 7,5 \text{ m}$$

2. Bestimmung der Förderleistung:

Die Förderleistung der Pumpe Xylem Flygt 3301 lässt sich analog zur Variante 1 aus Abb. 67 ermitteln.

$$Q_1 = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Mit der Gesamtförderhöhe $h_{F,2}$ der Pumpe Mast T 20 lässt sich analog zur Variante 2 aus Abb. 68 die Förderleistung Q ermitteln. Es ist zu beachten, dass diese um 20 % reduziert wird, sofern die Pumpe mit der Funktion Flachsaugung ausgestattet wird.

$$Q_2 = 0,8 \cdot 102 = \underline{81,6 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Nach Herstellerangaben wird die Förderleistung eines Saugfahrzeugs für das Medium Flusswasser mit folgendem Wert angesetzt:

$$Q_3 = 1,75 \text{ m}^3/\text{min} = \underline{105 \text{ m}^3/\text{h}}$$

3. Überprüfung der Anlagendruckhöhe nach Gl. (8):

$NPSH_{\text{vorh},1}$: Überprüfung analog zu Variante 1

$NPSH_{\text{vorh},2}$: Nach Angabe des Herstellers ist eine Überprüfung nicht notwendig, da die Pumpe auch im Flachsaugbetrieb eingesetzt werden kann.

$NPSH_{\text{vorh},3}$: Nach Angabe des Herstellers ist eine Überprüfung nicht notwendig, da die Saugfahrzeuge auf Saugbetrieb mittels Vakuumpumpe ausgelegt sind.

4. Zeitspanne T_p für Entwässerungsvorgang:

Allgemein berechnet sich die Zeitspanne T_p des Entwässerungsvorgangs nach folgender Beziehung:

$$T_p = \frac{V_S}{N_P \cdot Q_P}$$

mit:

V_S Wasservolumen innerhalb des trocken-zulegenden Schleusensegments

N_P Anzahl der eingesetzten Pumpen gleichen Typs

Q_P Förderstrom des ausgewählten Pumpentyps

Es wird angenommen, dass beide Typen der Tauchmotorpumpen gleichzeitig laufen und die Pumpen des Typs Xylem Flygt 3301 bei einem Mindestwasserstand von 0,7 m abgeschaltet werden. Im Folgenden wird für die vorliegende Aufgabe unter Berücksichtigung der ausgewählten Pumpe(n) und des beschriebenen Entwässerungsvorgangs der jeweiligen wassergefüllten Teilvolumina eine allgemeingültige Formel hinsichtlich der Zeitspanne T_p aufgestellt (für eine Wasserhöhe von 5,0 m):

$$\begin{aligned}
 T_p = & \frac{l_s \cdot 12,5 \cdot 4,3}{N_{P,1} \cdot Q_{P,1} + N_{P,2} \cdot Q_{P,2}} + \frac{l_s \cdot 12,5 \cdot 0,67}{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}} + \frac{l_s \cdot 12,5 \cdot 0,03}{N_{P,3} \cdot Q_{P,3}} \\
 & \text{Regelquerschnitt} \\
 & + 2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 4,3}{N_{P,1} \cdot Q_{P,1} + N_{P,2} \cdot Q_{P,2}} + 2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 0,67}{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}} + 2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 0,03}{N_{P,3} \cdot Q_{P,3}} \quad [s] \quad (11) \\
 & \text{abgetragene Kammerwand} \\
 & + \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot (12,5 + 2 \cdot x_{At})}{N_{P,3} \cdot Q_{P,3}} \\
 & \text{abgetragene Kammersohle}
 \end{aligned}$$

Dabei werden folgende Parameter zunächst als Variablen gesetzt:

l_s	Länge des trocken zulegenden Schleusensegments
x_{At}	Abtragstiefe an Kammerwänden und –sohle
b_{At}	Abtragsbreite: Breite der abgetragenen Wand-/Sohllamellen
b_{PS}	Breite Pumpensumpf/-graben (sofern relevant und vorhanden)
b_{ZK}	Breite der Zulaufkanäle zu Pumpensumpf/-graben (sofern relevant und vorhanden)

Konkrete Zahlenwerte für T_p liefert Tab. 24. Hierbei wurde von dem realistischen Fall ausgegangen, dass der Abtrag des Altmaterials im Querschnitt U-förmig erfolgt, d. h. sowohl die Kammersohle als auch beide Kammerwände müssen abgetragen sein, bevor mit dem Betoniervorgang begonnen wird. Es wird weiter angenommen, dass die Instandsetzung der Kammerwände und –sohle streifenförmig erfolgt, respektive eine U-Lamelle muss erst vollständig betoniert sein, bevor mit dem Abfräsvorgang der daran anschließenden nächsten U-Lamelle fortgefahren wird.

Für die Auswertung werden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Abtragsbreite b_{At} : 15 m (Annahme, vgl. Abb. 66)
- Abtragtiefe x_{At} : 0,50 m (Annahme: durchschnittlicher Wert der Abtragtiefe vergleichbarer Schleusenprojekte)
- Anzahl der Pumpen N_{P1} : 1, 2, ..., 4
- Anzahl der Pumpen N_{P2} : 1, 2, ..., 5
- Anzahl der Pumpen N_{P3} : 1
- Schleusensegmentlänge l_s : 20 m, 35 m, 50 m, 100 m (entspricht der üblichen Schleusenlänge von ca. 1/5, 1/3, 1/2 und 1)

Tab. 24: Übersicht der Zeiträume für den Entwässerungsvorgang hinsichtlich verschiedener Schleusensegmentlängen und Pumpenanzahl (Variante 3)

Entwässerungsvorgang Variante 3					
<u>eingesetzte Pumpen:</u>					
Q_{P1} [m ³ /h]	1500	<i>Xylem Flygt 3301</i>			
Q_{P2} [m ³ /h]	81,6	<i>Mast T 20</i>			
Q_{P3} [m ³ /h]	105	<i>Saugfahrzeug (z. B. ESE 32)</i>			
l_s [m]	V_s [m ³]	N_{P1} [-]	N_{P2} [-]	N_{P3} [-]	T_p [min]
20	1426,3	1	4	1	132
	1426,3	2	4	1	116
	1426,3	2	6	1	104
	1426,3	2	8	1	97
	1426,3	3	8	1	92
35	2363,8	3	8	1	116
	2363,8	4	8	1	111
50	3301,3	4	8	1	133
100	6426,3	4	8	1	207

Erforderliche Gerätschaften:

- Ausreichende Beleuchtung (bei Nachtbetrieb der Baustelle)
- Kran mit ausreichender Tragfähigkeit und Ausladung
- eine oder mehrere Pumpen des gewählten Typs
- Traggerüst für Pumpen und Druckrohre/-schläuche
- Saugfahrzeug des gewählten Typs
- Elektroanschluss mit ausreichender Leistungsfähigkeit

Bauablauf:Vorbereitende Maßnahmen:

- Lagerplatz einrichten mit Reinigungsmöglichkeit für Pumpen und Rohr-/Schlauchsystem
- Entwicklung und Erprobung eines Traggerüsts für Pumpen und Rohr-/Schlauchleitungen
- Sicherstellung einer ausreichenden Elektrizitätsversorgung vor Ort
- Befahrbarkeit der Schleusenplanie hinsichtlich des Saugfahrzeugs prüfen/herstellen
- Positionierung des Saugfahrzeugs auf Höhe des zu entwässernden Schleusensegments

Entwässerungsvorgang:

- Einheben (mittels Hebezeug) und Ausrichten (händisch und mittels Hebezeug) des Pumpensystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Pumpen, Rohr-/Schlauchleitungen, Elektrizitätsleitungen)
 - Anschluss Elektrizität
 - Für Restwasserentleerung: Positionierung von geschultem Personal (mind. 1 Person) in dem zu entwässernden Schleusensegment hinsichtlich Führung des Saugschlauchs des Saugfahrzeugs
 - Für Restwasserentleerung: Einschwenken des Saugschlauchs des Saugfahrzeugs
-

Vor- und Nachteile ‚Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben‘:

Im Folgenden werden die wichtigsten Vor- und Nachteile dieses Pumpverfahrens aufgeführt. Eine Gegenüberstellung aller betrachteter Pumpverfahren wird in Kap. 5.4.5 anhand einer Bewertungsmatrix veranschaulicht.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Vorarbeiten innerhalb der Schleuse notwendig (z. B. Anlegen von Pumpensümpfen/-gräben und Zulaufkanäle) • ‚Vollständige‘ Trockenlegung möglich • Flexibilität hinsichtlich des Förderstroms durch Zuschalten/Abschalten von Pumpen • Robuste, wartungsarme Pumpen • Entwässerungsvariante für spätere Instandhaltungsarbeiten verwendbar • Flexible Sanierungsrichtung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Entwässerungszeiten (auch bei kleinen Schleusensegmentlängen) • Ausfallrisiko hinsichtlich der Restwasserentleerung erhöht durch Verwendung nur eines Saugfahrzeugs • Hohe Trockenlaufempfindlichkeit der Tauchpumpen: Kavitationsgefahr, Abreißen des Förderstroms • Kavitationsgefahr beim Anfahren der leistungsstärkeren Tauchpumpen kaum vermeidbar (evtl. Abschwächung durch Einsatz eines FU-Reglers) • Fördermedium ohne nennenswerte Feststoffanteile dieses Pumpentyps • Relativ hohes Gewicht des Pumpengesamtsystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Pumpen, Rohr-/Schlauchleitungen) • Zusätzliches Absaugen des Restwassers mit Saugfahrzeug • Koordination Bauablauf anspruchsvoll aufgrund Verwendung mehrerer Pumpensysteme • Höherer Personaleinsatz

5.4.4 Entwässerung: Saugpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben

Beschreibung Entwässerung:

In den vorangehenden Kapiteln wurden Entwässerungsvarianten vorgestellt, bei denen Tauchmotorpumpen eingesetzt werden. Neben den Schwierigkeiten, die es hinsichtlich des Mindestwasserstands der Kreiselpumpen und dem Anlegen und Rückbau von Pumpensümpfen/-gräben zu beachten gilt, zeichnet sich der Ein- und Ausbebevorgang der Pumpen als zusätzliche Problematik in Bezug auf den Zeitfaktor und den störungsfreien Bauablauf ab. Diesbezüglich wird in diesem Kapitel die Option von trocken selbstansaugenden Pumpen dargestellt.

Wie bereits angedeutet, kann die Mobilität der in Kap. 5.3.1 gewählten Drehkolbenpumpe Börger XL 5300 durch die Montage auf einem fahrbaren Hilfsfahrzeug erhöht werden. In der vorliegenden Situation erscheint es sinnvoll, die Möglichkeit einer Pumpeninstallation auf einem Ponton zu erörtern. Das Gesamtpumpensystem aus einzelnen Pumpen und Ponton kann aus dem unteren Vorhafen an das UW-Abschottungssystem herangeschwommen und dort an den Kammerwänden vertäut oder über absenkbare Pontonstützen gesichert werden. Die abzupumpende Wassermenge wird über ein Rohr- oder Schlauchsystem und das außerhalb des trocken zulegenden Schleusensegments liegende Pumpensystem nach UW gefördert. Die Leitungen werden dabei über die Oberkante des Abschottungssystems geführt.

Physikalische Gesetzmäßigkeiten begrenzen die theoretisch maximal erreichbare Saughöhe auf ca. 10 m bei optimalen Luftdruck- und Temperaturbedingungen des Mediums. In der Praxis wird diese maximale Saughöhe durch Leitungsreibung, Art des Mediums und Temperatur stark reduziert und liegt bei maximal ca. 7,00 – 7,50 m. Aus diesem Grund ist bei der Planung und Ausführung die Höhe des Abschottungssystems besonders zu berücksichtigen. Diese Höhe sollte möglichst gering gewählt werden. In den folgenden Überlegungen wird die maximale Abschotthöhe mit $h_{\text{Abschott}} = 5,20$ m angesetzt. Dieser Wert erscheint ausreichend, um den Unterwasserstand von 5,00 m bei Hochwasserbedingungen weiterhin zu berücksichtigen.

Nach Angaben der Fa. Börger kann die Pumpe mit mehreren Saugleitungen bei gleichzeitig kleineren Rohrdurchmessern von DN 300 oder mit einer Saugleitung bei gleichzeitig großem Rohrdurchmesser von DN 500 ausgestattet und betrieben werden. Unterschiede in Bezug auf den Förderstrom sind nicht gegeben. Aus diesem Grund wird im folgenden Text und den aufgeführten Abbildungen das Pumpensystem mit nur einer Saugrohrleitung (DN 500) benannt und dargestellt. Verschleiß und hohem Wartungsaufwand kann durch die Verwendung eines Edelstahlrohres vorgebeugt werden.

Die Saugrohrleitung kann an einer speziell zu entwickelnden Tragkonstruktion, ähnlich dem Pumpen- und Rohrtraggerüst aus den Kap. 5.4.1 bis 5.4.3, aus z. B. Stahlfachwerk befestigt werden. Diese

Haltekonstruktion kann mittels Hebezeug nahe des unterwasserseitigen Abschottungssystems platziert werden.

Alternativ wird vorgeschlagen, das Saugrohr direkt an dem Abschottungssystem, z. B. mit speziellen Rohrschellen, fest zu installieren. Dies bietet den Vorteil, dass das Kombinationsbauteil aus Abschottung und Leitungshalterung in einem Arbeitsgang eingehoben/ingeschwommen und gesichert werden kann. Die Saugrohrleitung kann mittels eines Schlauchmittelstücks direkt an den Saugpumpen angeschlossen werden. Ein Fangflansch am Saugrohr erleichtert den Anschluss. In Abb. 73 ist das Gesamtsystem aus Saugpumpe(n) und Ponton dargestellt. Es erscheint zweckmäßig drei Saugrohre unterschiedlicher Höhe je Pumpe an dem Abschottungssystem zu installieren, um schwankenden Wasserständen Rechnung zu tragen. Die Saugrohre könnten entsprechend ihrer Höhe durch das Abschottungssystem geführt werden und bei Nichtverwendung mit entsprechenden Rohrverschlüssen geschlossen werden. Je nach Wasserstand könnte z. B. zwischen den Anschlusshöhen 5,25 m (HW-Stand, s. Abb. 73), 3,25 m (MW-Stand) oder 2,25 m (NW-Stand) gewählt werden.

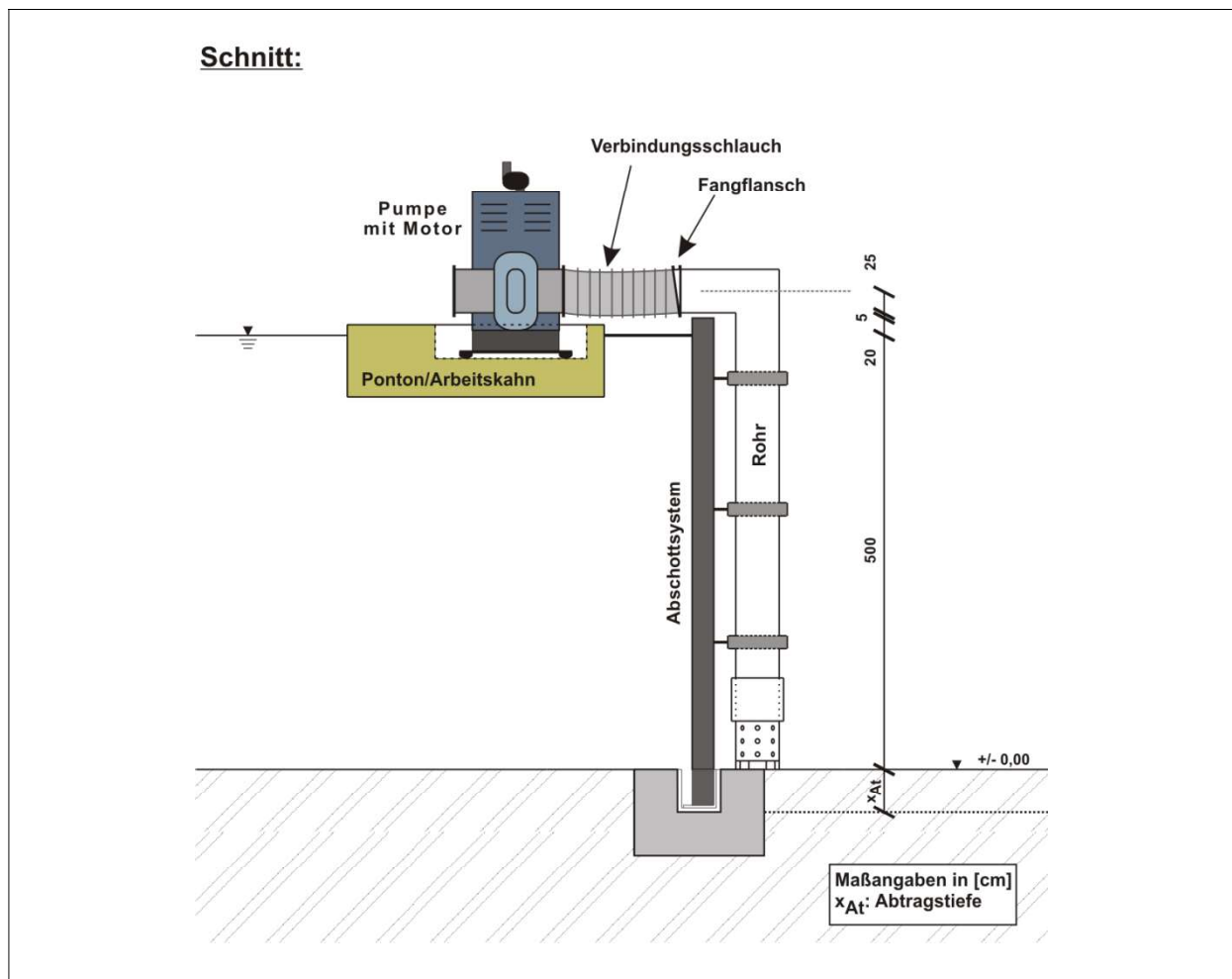


Abb. 73: Schnitt eines Pumpensystems auf einem Ponton (Saugpumpe Börger XL 5300)

Nach Auskunft der Fa. Börger besteht die Möglichkeit das bodennahe Ende der Saugrohrleitung mit einer sog. Sauglanze auszustatten. Dies ermöglicht die Aufnahme zusätzlicher Restwassermengen, die der Rohrleitung aufgrund von Unebenheiten in der Sohle o. ä. nicht unmittelbar zugehen. Der perforierte Saugkorb (unbedeckter Zustand) kann ab einer Restwasserhöhe von ca. 10 cm mittels eines verschieblichen über dem Saugrohr liegenden Blindrohres (Edelstahl) verschlossen werden. Das Restwasser wird über die Bodenöffnungen der Sauglanze abgeführt. Das Blindrohr kann mittels eines Bajonettverschlusses über dem Saugkorb einfach arretiert oder geöffnet werden, sodass ein unbeabsichtigtes Übergleiten über den Saugkorb vermieden wird. Diese Sauglanzen können von der Fa. Börger ggf. angefertigt und als Zubehör geliefert werden (s. Abb. 74).

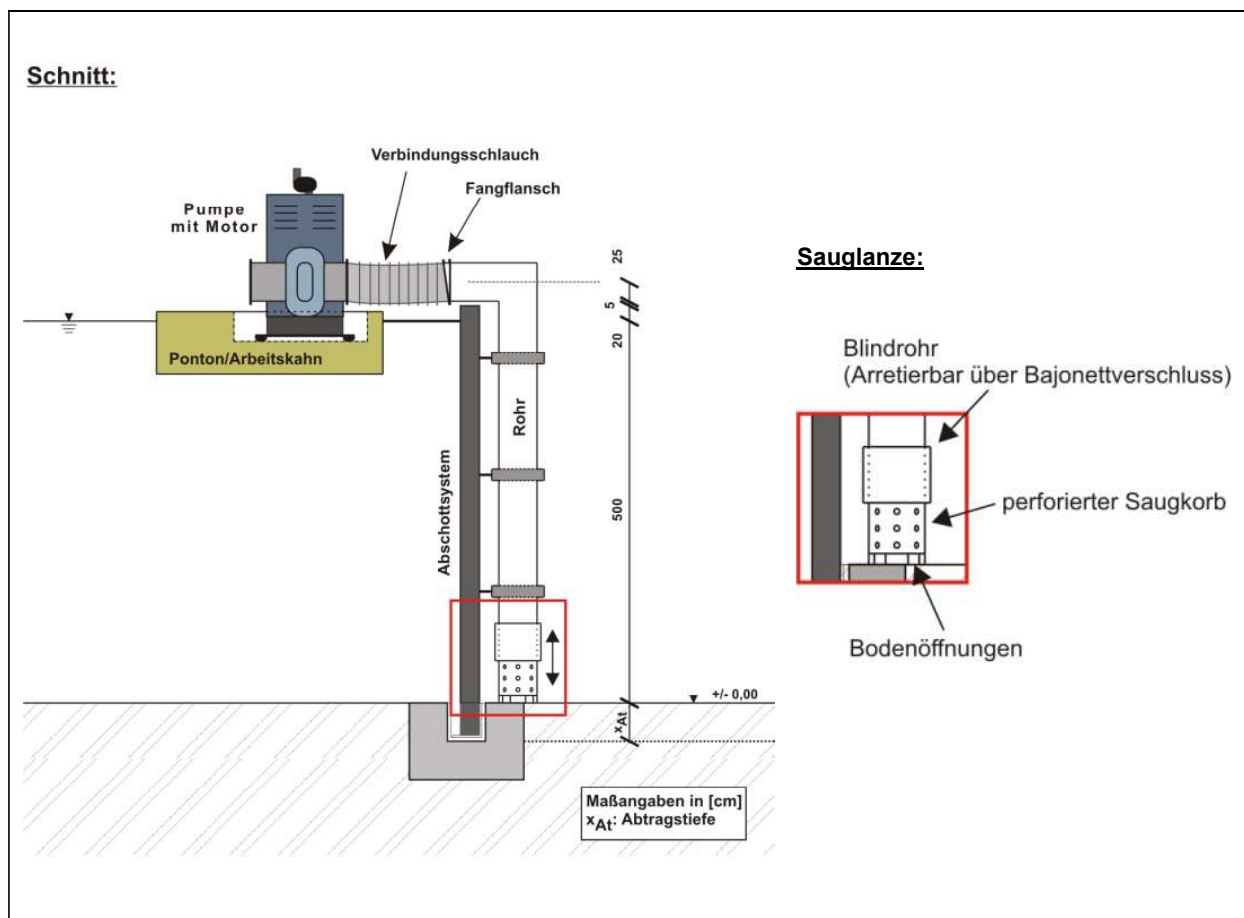


Abb. 74: Darstellung der am Rohrfuß installierten Sauglanze (in Anlehnung an BÖRGER 2014a)

Es ist zu beachten, dass aufgrund des Instandsetzungsablaufs Teile der Kammersohle abgetragen werden und demzufolge auf einem tieferen Niveau liegen. Das sich in diesen Abtragsbändern sammelnde Wasser kann den Saugpumpen nicht zugeführt werden, dennoch müssen diese für Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten ebenfalls ‚vollständig‘ trockengelegt werden. Es wird für die Aufnahme dieser begrenzten Wassermenge der Einsatz von Saugfahrzeugen analog Kap. 5.4.3

empfohlen. Aufwendige Abtrags- oder Fräsarbeiten für Pumpensümpfe/-gräben und Zulaufkanäle o. ä. erscheinen für die Variante nicht zweckmäßig und durchführbar.

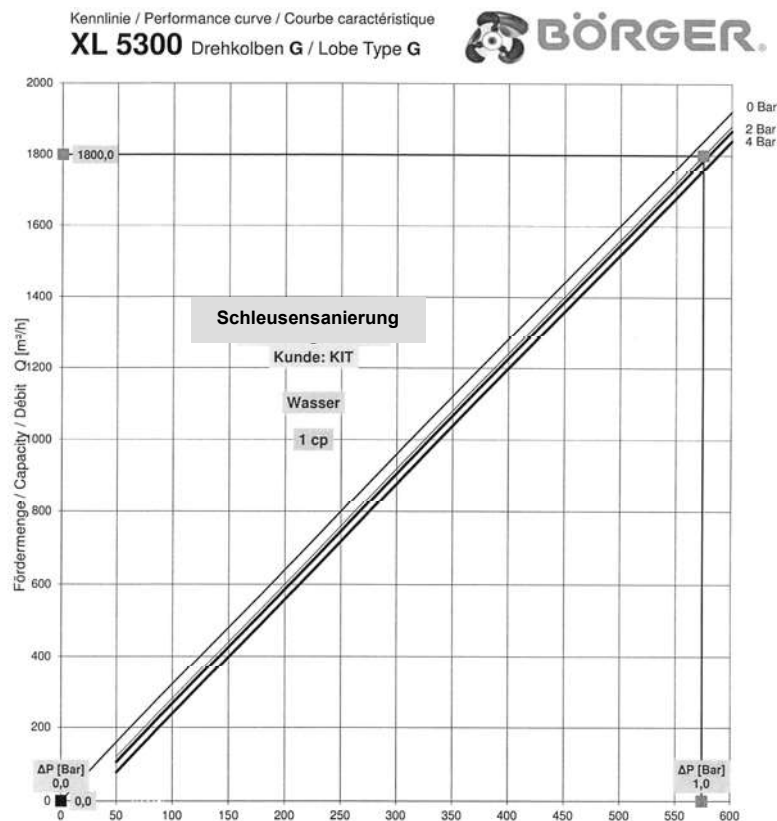
Berechnungen:

Die technische und betriebsbedingte Auslegung der Pumpe XL 5300 wurde von der Firma Börger in enger Zusammenarbeit mit den Autoren erarbeitet. Die Eigenschaften des Pumpensystems (z. B. Material, Bauartspezifikationen, Motorauslegung, Kavitationsminimierung etc.) und der erreichbare Förderstrom konnten so speziell für die vorliegenden Randbedingungen und die Baustellensituation einer temporären partiellen Schleusentrockenlegung ausgelegt und optimiert werden. Die geodätische Höhe für die Drehkolbenpumpe Börger XL 5300 (Index „1“) ergibt sich nach Abb. 73 zu:

$$h_{\text{geo}1} = 5,20 + 0,05 + 0,25 = 5,50 \text{ m}$$

1. Bestimmung der Gesamtförderhöhe h_F und der Förderleistung; Überprüfung der Kavitationsgefahr und sonstige technische und betriebsbedingte Optimierungen

Die Resultate der firmeneigenen Pumpenauslegungssoftware der Fa. Börger sind im Folgenden dargestellt (BÖRGER 2014a).



XL 5300	Tri-gew./scr. MIP	G
Typ / Type	NBR / EPDM	Rotor

Antriebsauslegung	Sicherheit
Drive interpretation	Safety

Min	Normal	Max
[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]
0,0	1800,0	0,0
ΔP [Bar]	ΔP [Bar]	ΔP [Bar]
0,0	1,0	0,0
0,0	1,0	0,0
Fluid	Visk. [cp]	Roh [g/cm³]
Wasser	1	1,00
NPSH-a	10,0	Meter
Projekt	Schleusensarnier	Project
Kunde	Kunde: KIT	Customer

KW	HP	Code	Norm. S [%]	Max. S [%]
0,55	0,75	A5		
0,75	1,00	A7		
1,1	1,5	00		
1,5	2,0	01		
2,2	3,0	02		
3,0	4,0	03		
4,0	5,5	04		
5,5	7,5	05		
7,5	10,0	07		
9,2	12,5	09		
11,0	15,0	11		
15,0	20,0	15		
18,5	25,0	18		

Allowed differential pressure / Pression différentielle admissible		
zul. Differenzdruck	Reserve Norm.	Reserve Max.
2,0	1,0	2,0
[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]
0,0	1839,9	0,0
[L/min]	[L/min]	[L/min]
0	30.666	0
[E-Pot. - kw]	[E-Pot. - kw]	[E-Pot. - kw]
0,0	50,0	0,0

22	30	22	
30	40	30	
37	50	37	-49
45	60	45	-38
55	75	55	-24
75	100	75	4
90	120	90	25
110	150	X1	52
132	180	X3	83
160	220	X6	122
200	270	Y0	177

Kenndaten Pumpe / Parametrics of pump / Paramètres de pompe		
[U/min] / [rpm]	[U/min] / [rpm]	[U/min] / [rpm]
0	574	0
[kW]	[kW]	[kW]
0,0	72,2	0,0
[Nm]	[Nm]	[Nm]
#DIV/0!	1.201	#DIV/0!

Verschiebung Kundendaten in Kennlinie
Shift Diagramm Customer Data **0,0**

NPSH + Saughöhe / NPSH + Suction Head / NPSH + Hauteur d'aspiration		
NPSHr [m]	NPSHr [m]	NPSHr [m]
0,0	5,7	0,0
Saugh. [m]	Saugh. [m]	Saugh. [m]
10,0	4,3	10,0

Viskosität - Beispiele		[cp]
Viscosity - Samples / Viscosité - Exemples		
Benzol	<i>Benzol</i>	0,6
Wasser	<i>Water (20 °C)</i>	1
Kaffesahn.	<i>Coffee Cream</i>	10
Olivenöl	<i>Olive Oil</i>	85
dünnfl. Öl	<i>Light Oil</i>	150
dickfl. Öl	<i>Heavy Oil</i>	600
Glycerin	<i>Glycerine</i>	1.480
Shampoo	<i>Shampoo</i>	3.000
Glukose	<i>Glucose</i>	5.000
Honig	<i>Honey</i>	10.000
Butter	<i>Butter</i>	30.000

Wirkungsgrade / Efficiencys / Rendements		
[Mech.-WG]	[Mech.-WG]	[Mech.-WG]
#DIV/0!	81,4%	#DIV/0!
[Hydraul.-WG]	[Hydraul.-WG]	[Hydraul.-WG]
#DIV/0!	85,0%	#DIV/0!
[Ges.-WG]	[Ges.-WG]	[Ges.-WG]
#DIV/0!	69,3%	#DIV/0!

Datenblatt angelegt für: Calculation made for: Données techniques établies pour:	
Kunde: Customer / Client	Kunde: KIT
Projekt: Project / Projet	Schleusensarnierung
Sachbearb.: Responsible / Employé compétent	
Bemerkungen: Remarks / Remarques	010914
Auftragsnummer: Order No. / Numéro de commande	
gewählt. Antrieb: Drive + Supplier / Motorisation retenue	
Drehzahl / G.St.: chosen RPM + Gear / RPM + Mécanisme choisi	
 Version - S-0307-14 - A. Riers	
Programm nur zur internen Nutzung / for internal use only / Utilisation interne uniquement !	

Korrekturen ## Correction			
100%	RS / VK	150	280

Rückströmungskorrektur # Backflow Correction			
105%	104%	Bereich/Range	1,00
<input type="checkbox"/> Vario	<input type="checkbox"/> FPM (FKM)	0,8 - 1,2	1,00

Drehzahlkorrektur ## RPM Correction			
Pumpendrehzahl mit Wasser ## RPM - Water based			
0	574	0	[U/min # RPM]
Drehzahlkorrektur Fluid ## RPM correction Fluid			
0	0	0	[U/min # RPM]
Korrigierte Drehzahl ## RPM corrected			
0	574	0	[U/min # RPM]

Viskositätskorrektur der zul. Höchstdrehzahl			
Viscosity Correction of maximum allowed RPM			
500	max. Wasser ## max. Water		1,00
500	max. mit Fluid ## max with Fluid		1,00
Auslegungsdrehzahl ## Design rpm			
0	574	0	[U/min # RPM]
Drehzahlreserve ## RPM Reserve			
500	-74	500	[U/min # RPM]

Korrekt. kW - Viskosität		Korrektur kW - Wasser	
1,00	Correction	Correction	1,00
1,00	kW viscos.	kW Water	1,00
Motorleistung mit Wasser ## Power Consum. - Water			
0,0	72,2	0,0	[kW]
Zusatzleistung ## Additional Power Consumption			
0,0	0,0	0,0	[kW]
Gesamtleistung ## Total Power Consumption			
0,0	72,2	0,0	[kW]

NPSH + Saughöhe ## NPSH + suction head			
Saughöhe	NPSH-a	NPSH-r	1,00
		Kalib./Calib.	1,00
<input type="checkbox"/> Ja / Yes	<input type="checkbox"/> Ja / Yes		

Belastungsanalyse-1 # Load Analysis-1			
160,0	[kW] - Zul. Leistung ## Max. allow. Power		
Mechanische Reserve ## Mechanical Reserve			
160,0	87,8	160,0	[kW]
Auslastungsgrad - Leistung ## Work Load - Power			
0%	45%	0%	[%]

Belastungsanalyse-2 # Load Analysis-2			
2,0	[Bar] - Höchstdruck # Max. Pressure		
3056	[Nm] - zul. Drehm. # Max. allow. Torque		
Effektive Druckbelastung ## Effective Pressure			
#DIV/0!	0,8	#DIV/0!	[Bar]
Druck Reserve ## Pressure Reserve			
#DIV/0!	1,2	#DIV/0!	[Bar]
Auslastungsgrad - Druck ## Work Load - Pressure			
#DIV/0!	15%	#DIV/0!	[%]

Achtung / Attention / Attention	
Zulässiger Differenzdruck / max. differential pressure 2 Bar < 500 rpm	
Höhere Differenzdrücke nur nach technischer Klärung Higher Pressures need technical clearance	
Select - P-max < 7 Bar ## ATEX Select < 6 Bar	

Drehkolbengrundteile:		
Rotor Bodys:		FDA

EN-GJS-400	x	-
Bronze - 2.1052	-	-
1.7225	-	-
1.4404 (A4) - 316L	x	x

Gummilieferant:	
Rubber Supplier:	KL

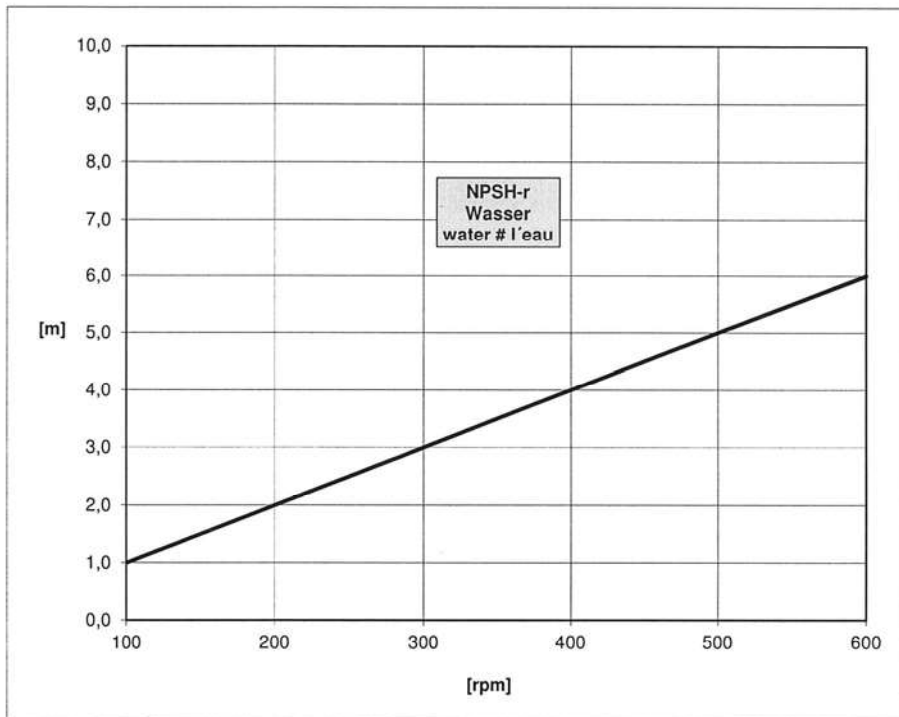
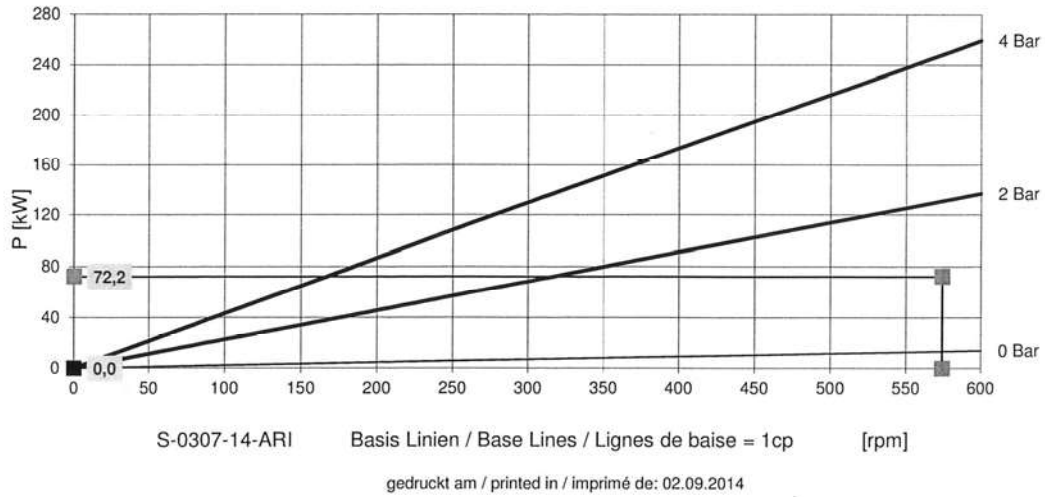
Dichtleisten		
Lobe Tips	GJS-400 (Kern/Core)	FDA
NR-SBR	-	-
NBR	x	-
HNBR	-	-
EPDM	x	x
EPDM-Weiß/White	-	-
FPM-FKM	x	-
FPM-FKM -Weiß	-	-
CSM	-	-
Chloropren (CR)	-	-
Polyurethan (AU)	-	-
1.7225	-	-

Dichtleisten		
Lobe Tips	1.4470 (Kern/Core)	FDA
NR-SBR	-	-
NBR	-	-
HNBR	-	-
EPDM	-	-
EPDM-Weiß/White	-	-
FPM-FKM	-	-
FPM-FKM -Weiß	-	-
CSM	-	-
Chloropren (CR)	-	-
Polyurethan (AU)	-	-
1.4470 (G) = 1.4462 (S) = ASTM A890		

1.4404 (A4) - 316L	-	-
--------------------	---	---

Verbindlich ist immer
der niedrigste Wert !!

Mandatory is always the
lowest value !!



Zulässige Höchstdrehzahlen für viskose Fördergüter:
 Allowed maximum rounds per minute with viscose products:
 Fréquence de rotation admissible avec les fluides visqueux:

[rpm]	Prod.	[cp]	[g/cm ³]	[NPSH-a]
500	Wasser	1	1,00	10,0

Q	0,0	1800,0	0,0	[m ³ /h]
ΔP	0,0	1,0	0,0	[Bar]

Design	0	574	0	[rpm]
Reserve	500	-74	500	[rpm]

Abb. 75 zeigt den optimalen Förderstrom der Pumpe XL 5300 in Abhängigkeit von der Höhe des Wasserspiegels in dem trocken zu legenden Schleusensegment. Die lineare Abnahme des Förderstroms von 1800 m³/h bei einer Wasserspiegelhöhe von 1,5 m auf ca. 1300 m³/h bei einer fiktiven Wasserspiegelhöhe von 0 m garantiert die Minimierung der Kavitationsgefahr. Die veränderliche Größe des Förderstroms kann mithilfe einer pumpeninternen Drehzahlsteuerung ermöglicht und in der Pumpensoftware als Programm hinterlegt werden. Die exakten Wasserspiegelhöhen in der Schleuse liefert eine mit der Pumpenautomatik verbundene Drucksonde, die in dem Schleusensegment ausgelegt werden kann.

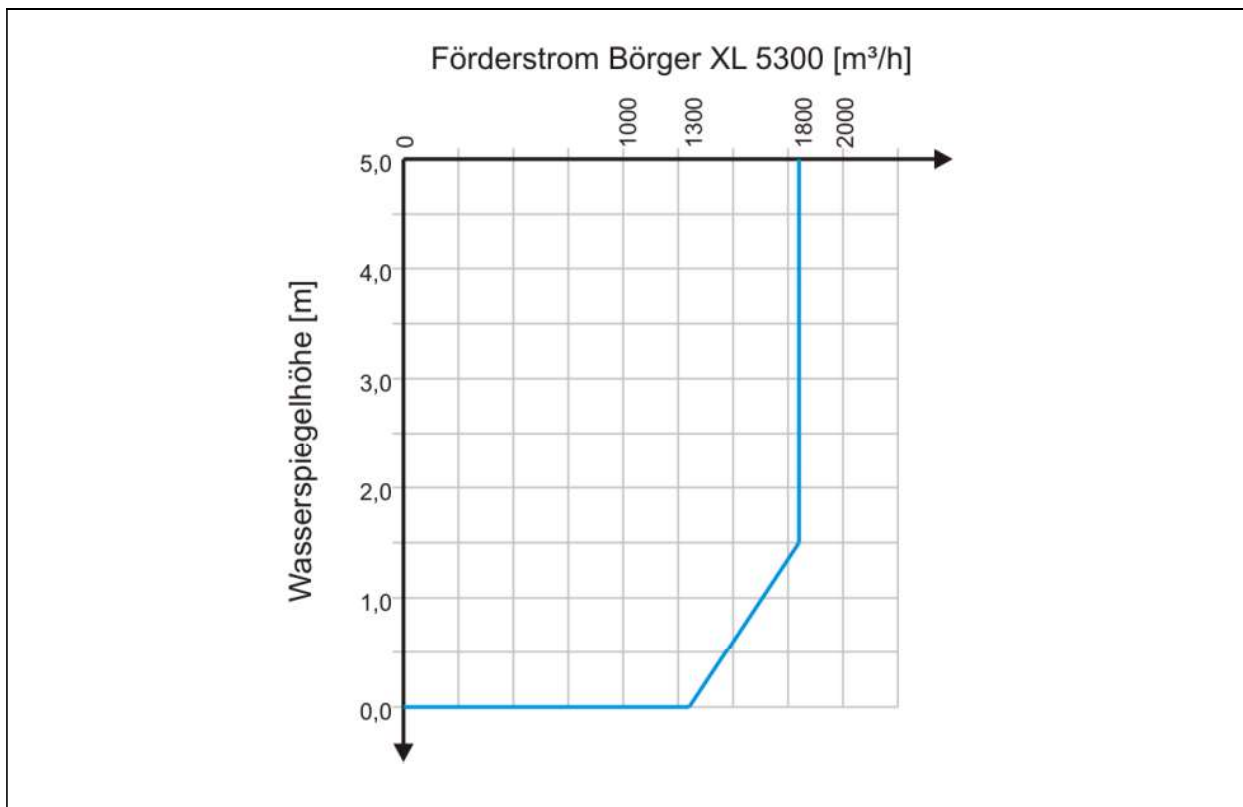


Abb. 75: Wasserspiegelabhängiger Förderstrom der Pumpe BÖRGER XL 5300 (in Anlehnung an BÖRGER 2014a)

2. Zeitraum T_p für Entwässerungsvorgang:

Börger XL 5300: Index „1“

Saugfahrzeug: Index „2“

Allgemein berechnet sich die Zeitspanne T_p des Entwässerungsvorgangs nach folgender Beziehung:

$$T_p = \frac{V_s}{N_p \cdot Q_p}$$

mit:

- V_S Wasservolumen innerhalb des trockenliegenden Schleusensegments
 N_P Anzahl der eingesetzten Pumpen gleichen Typs
 Q_P Förderstrom des ausgewählten Pumpentyps

Im Folgenden wird für die vorliegende Aufgabe unter Berücksichtigung der ausgewählten Pumpe(n) und des beschriebenen Entwässerungsvorgangs mit den jeweiligen wassergefüllten Teilvolumina eine allgemeingültige Formel hinsichtlich der Zeitspanne T_P aufgestellt (für eine Wasserhöhe von 5,0 m):

$$T_P = \underbrace{\frac{l_S \cdot 12,5 \cdot 5,0}{N_{P,1} \cdot Q_{P,1}}}_{\text{Regelquerschnitt}} + \underbrace{2 \frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot 5,0}{N_{P,1} \cdot Q_{P,1}}}_{\text{abgetragene Kammerwand}} + \underbrace{\frac{b_{At} \cdot x_{At} \cdot (12,5 + 2 \cdot x_{At})}{N_{P,2} \cdot Q_{P,2}}}_{\text{abgetragene Kammersohle}} \quad [s] \quad (12)$$

Dabei werden folgende Parameter zunächst als Variablen gesetzt:

- l_S Länge des trockenliegenden Schleusensegments
 x_{At} Abtragtiefe an Kammerwänden und –sohle
 b_{At} Abtragsbreite der abgetragenen Wand-/Sohllamellen

Konkrete Zahlenwerte für T_P liefert Tab. 25. Hierbei wurde von dem ungünstigen Fall ausgegangen, dass der Abtrag des Altmaterials im Querschnitt U-förmig erfolgt, d. h. sowohl die Kammersohle als auch beide Kammerwände müssen abgetragen sein, bevor mit dem Betoniervorgang begonnen wird. Es wird weiter angenommen, dass die Instandsetzung der Kammerwände und –sohle streifenförmig erfolgt, respektive eine U-Lamelle muss erst vollständig betoniert sein, bevor mit dem Abtragsvorgang der daran anschließenden nächsten U-Lamelle fortgefahren wird.

Für die Auswertung werden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Abtragsbreite b_{At} : 5 m und 15 m (Annahme)
- Abtragtiefe x_{At} : 0,50 m (Annahme: durchschnittlicher Wert der Abtragtiefe vergleichbarer Schleusenprojekte)
- Anzahl der Pumpen N_{P1} : 1, 2, 3
- Anzahl der Pumpen N_{P2} : 1, 2
- Schleusensegmentlänge l_S : 20 m, 35 m, 50 m, 100 m (entspricht der üblichen Schleusenlänge von ca. 1/5, 1/3, 1/2 und 1)

Tab. 25: Übersicht der Zeiträume für den Entwässerungsvorgang hinsichtlich verschiedener Schleusensegmentlängen und Pumpenanzahl (Variante 4)

Entwässerungsvorgang Variante 4							
<u>eingesetzte Pumpen:</u>							
Q_{P1} [m ³ /h]	1300 - 1800	<i>Börger XL 5300</i>					
Q_{P2} [m ³ /h]	105	<i>Saugfahrzeug (z. B. ESE 32)</i>					
l_s [m]	V_s [m ³]	b_{At} [m]	N_{P1} [-]	N_{P2} [-]	T_{P1}^* [min]	T_{P2} [min]	$T_{P,ges}^*$ [min]
20	1308,8	5,0	1	1	46	19	65
	1426,3	15,0	1	1	48	58	106
	1308,8	5,0	2	1	23	19	42
	1426,3	15,0	2	1	24	58	82
	1308,8	5,0	3	1	15	19	35
	1426,3	15,0	3	1	16	58	74
35	2246,3	5,0	1	1	80	19	99
	2363,8	15,0	1	1	82	58	139
	2363,8	15,0	1	2	82	29	111
	2246,3	5,0	2	1	40	19	59
	2363,8	15,0	2	1	41	58	99
	2363,8	15,0	2	2	41	29	70
	2246,3	5,0	3	1	27	19	46
	2363,8	15,0	3	1	27	58	85
	2363,8	15,0	3	2	27	29	56
	50	3183,8	5,0	3	1	38	19
3301,3		15,0	3	1	38	58	96
100	6308,8	5,0	3	1	75	19	95
	6426,3	15,0	3	1	76	58	134

* Die Berechnung wurde aufgrund des wasserspiegelabhängigen Förderstroms von Q_{P1} auf der sicheren Seite angenähert.

Erforderliche Gerätschaften:

- Ausreichende Beleuchtung (bei Nachtbetrieb der Baustelle)
- Ponton mit installiertem Pumpensystem
- Eine oder mehrere Pumpen des gewählten Typs
- Treibstofftank für Pumpenmotoren auf der Baustelle
- Kran mit ausreichender Tragfähigkeit und Ausladung für Ein- und Ausheben des Rohr-/Schlauchträgergerüsts (falls Trägergerüst nicht in Abschottungssystem integriert)
- Trägergerüst für und Druckrohre/-schläuche (evtl. in Abschottungssystem integriert)
- Saugfahrzeug des gewählten Typs

Bauablauf:Vorbereitende Maßnahmen:

- Entwicklung und Erprobung eines Traggerüsts für Rohr-/Schlauchleitungen
- Sicherstellung einer ausreichenden Treibstoffversorgung der Pumpenmotoren vor Ort
- Anlegeplatz für Ponton mit installierten Pumpen im unteren Vorhafen vorhalten
- Befahrbarkeit der Schleusenplanie hinsichtlich des Saugfahrzeugs prüfen/herstellen
- Positionierung des Saugfahrzeugs auf Höhe des zu entwässernden Schleusensegments

Entwässerungsvorgang:

- Einschwimmen Ponton mit Pumpensystem aus unterem Vorhafen an die unterwasserseitige Abschottung
 - Vertäuung Ponton oder Sicherung mittels Pontonstützen
 - Fall A: Traggerüst Rohr-/Schlauchleitungen nicht in Abschottungssystem integriert:
 - Einheben (mittels Hebezeug) und Ausrichten (händisch und mittels Hebezeug) des Rohr-/Schlauchsystems (Kombinationsbauteil aus Traggerüst, Rohr-/Schlauchleitungen)
 - Anschluss Rohr-/Schlauchleitungen an Saugpumpen
 - Fall B: Traggerüst Rohr-/Schlauchleitungen in Abschottungssystem integriert:
 - Anschluss Rohr-/Schlauchleitungen an Saugpumpen
 - Für Restwasserentleerung: Positionierung von geschultem Personal (mind. 1 Person) in dem zu entwässernden Schleusensegment hinsichtlich Führung des Saugschlauchs des Saugfahrzeugs
 - Für Restwasserentleerung: Einschwenken des Saugschlauch des Saugfahrzeugs
-

Vor- und Nachteile ‚Entwässerung: Saugpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben‘:

Im Folgenden werden die wichtigsten und entscheidenden Vor- und Nachteile dieses Pumpverfahrens aufgeführt. Eine Gegenüberstellung aller betrachteter Pumpverfahren wird in Kap. 5.4.5 anhand einer Bewertungsmatrix veranschaulicht.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Akzeptable Entwässerungszeiten für kurze und mittlere trockenliegende Schleusensegmente • Keine Vorarbeiten innerhalb der Schleuse notwendig (z. B. Anlegen von Pumpensümpfen/-gräben und Zulaufkanälen) • Zuverlässiger Dauerbetrieb der Saugpumpen • ‚Vollständige‘ Trockenlegung möglich • Flexibilität hinsichtlich des Förderstroms durch Motorregelung der Pumpen • Robuste, wartungsarme Pumpen • Entwässerungsvariante für spätere Instandhaltungsarbeiten verwendbar • Flexible Sanierungsrichtung möglich • Kavitationsgefahr beim Anfahren der Saugpumpen durch niedrige Höhe der Abschottungssysteme vermeidbar • Fördermedium mit erheblichem Feststoffanteil möglich • Einfache Koordination des Entwässerungsablaufs durch Ein- und Ausschwimmen des Pumpenpontons 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfallrisiko hinsichtlich der Restwasserentleerung erhöht durch Verwendung nur eines Saugfahrzeugs • Ausfallrisiko der Entwässerung vorhanden: Verwendung einer begrenzten Anzahl an Saugpumpen • Zusätzliches Absaugen des Restwassers mit Saugfahrzeug • Höherer Personaleinsatz • Mittlere Investitionskosten

5.4.5 Bewertungsmatrix

In den vorangegangenen Kapiteln wurden folgende Entwässerungsverfahren vorgestellt mit denen Schleusensegmente für Instandsetzungsarbeiten ‚vollständig‘ trocken gelegt werden können:

- Variante 1: Entwässerung: große Tauchmotorpumpen und große Pumpensümpfe/-gräben
- Variante 2: Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und kleine Pumpensümpfe/-gräben
- Variante 3: Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben
- Variante 4: Entwässerung: Saugpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben

Aufgrund der gezogenen Erkenntnisse sind nicht alle Verfahren für eine partielle Trockenlegung geeignet. Im Folgenden werden alle vorgestellten Entwässerungsvarianten mithilfe der Bewertungsmatrix in Tab. 26 miteinander verglichen und einander gegenüber gestellt.

Aufgrund der Ergebnisse der Bewertungsmatrix und der Beschreibungen der einzelnen Entwässerungsvarianten in den Kap. 5.4.1 bis 5.4.4 erscheint die Variante 4 am geeignetsten und wird als Vorzugsversion ausgewählt. Im Gegensatz zu den Varianten 1 und 2 sind keine umfangreichen Vorarbeiten notwendig, das Pumpensystem ist für spätere Schleusentrockenlegungen verwendbar. Hinsichtlich eines optimierten zeitlichen Ablaufs und der kurzen zur Verfügung stehenden Gesamtdauer der temporären partiellen Trockenlegung bietet ein einschwimmbares Pumpensystem klare Vorteile. Die Trockenlegung von Segmenten bis zu einer mittleren Segmentlänge können mittels Variante 4 in einem akzeptablen Zeitrahmen realisiert werden. Weitere Vorteile der angesprochenen Variante bieten der einfache Aufbau des Gesamtsystems und die Flexibilität des Entwässerungsablaufs. Variante 3 kann ausgeschlossen werden, kurzzeitige Schleusenentwässerungen sind hierbei nicht umzusetzen.

Tab. 26: Bewertungsmatrix der verschiedenen Entwässerungsvarianten

Bewertungskriterien	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Entwässerungsdauer				
Kleine Segmentlängen (20 m und 35 m)	+	+	-	+
Mittlere Segmentlängen (50 m)	+	0	-	0
Große Segmentlängen (100 m)	+	-	-	-
Vorarbeiten				
Vorarbeiten Kammer (evtl. mit mehrtägiger Schleusensperrung)	-	-	+	+
Entwicklung Hilfsmittel	0	0	0	0
Entwässerungsvorgang				
Hilfsmittel Installation	-	-	-	+
Komplexität Installation	-	-	0	+
Komplexität Entwässerungsablauf	-	-	0	+
Flexibilität hinsichtl. Instandsetzungsrichtung	-	-	+	+
Pumpensystem				
Gewicht/Abmessungen	0	0	0	0
Spektrum Fördermedien	0	0	0	+
Flexibilität Förderstrom	+	+	+	+
Kavitationsgefahr	0	0	0	0
Wartung	+	+	+	+
Für spätere Instandsetzungsarbeiten geeignet	-	-	+	+
Investitionskosten	+	+	0	0

7 Fazit

Ziel dieses Projekts war die Erarbeitung und Gegenüberstellung prinzipieller Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusen unter Betrieb. Verschiedene Entwässerungsvarianten und Abschottungssysteme wurden nach ihrer Einsatztauglichkeit und ihrer Machbarkeit sowie hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht.

Die Studie zeigte, dass die Variante ‚Einschwimbare Dammtafeln‘ aufgrund ihres zeitlichen Aufwands und weiterer derzeit ungelöster technischer Problemstellungen nicht für die temporäre partielle Trockenlegung von Schleusen empfohlen werden kann.

Unter den vorgegebenen Randbedingungen hat sich das System ‚Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen‘ als die vorteilhafteste Variante herausgestellt. Die unter den getroffenen Annahmen und Abschätzungen berechnete Gesamtdauer des Bauablaufs verbleibt knapp unterhalb der geforderten Maximaldauer von 4 Stunden.

Der Einsatz der ‚Einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen‘ erfordert jedoch einen sehr hohen technischen und koordinativen Aufwand. Außerdem sind im Vorfeld die trocken zu legenden Schleusenabschnittslängen festzulegen. Diese können während der Bautätigkeiten nicht mehr ohne längere Schleusensperrung verändert werden. Zusätzlich ist der Einbau der Führungsschienen sowohl in die Bestandskammerwände und –sohle, als auch in die neuen Vorsatzschalen, mit beträchtlichem Arbeitsaufwand verbunden.

Es wird vorgeschlagen die Realisierbarkeit des Verfahrens ‚Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen‘ anhand des Pilotprojekts „Schleuse Schwabenheim“ zu verifizieren und die Zuverlässigkeit nachzuweisen.

Literatur

- ANH (1931). Neckarbauamt: Schleuse Schwabenheim: Schnitte und Einzelheiten. Dokumentname: 'DEST2031 Schnitte und Einzelheiten linke Kammer.pdf', Heidelberg.
- ANH (2008). Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest; Wasser- und Schifffahrtsamt Heidelberg: Schiffsschleusenanlage Schwabenheim: Übersichtsplan Doppelschleuse (Bestandszeichnung). Dokumentname: 'DEST2035 Übersicht Schleuse.pdf', Heidelberg.
- ANH (2014). Amt für Neckar Ausbau Heidelberg, Bundesanstalt für Wasserbau. Reschke (BAW); Westendarp (BAW); Sandtel (ANH); Steuernagel (ANH): Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Schwabenheim. Ergänzung der Planungsgrundlagen für die Instandsetzung der linken Kammer unter Betrieb (IuB), Heidelberg/Karlsruhe.
- B&G (2014): Informationen zu (Arbeits-)Pontons. Becker & Grieshaber GmbH, Ludwigshafen. mündlich.
- BAUER (2013): Firmenunterlagen Fa. Bauer Spezialtiefbau GmbH. Prospekt: Der BAUER Anker, Schrobensehause.
- BAUER, H. (2007): Baubetrieb. 3., vollständig neu bearbeitete Aufl. Springer, Berlin.
- BAUV (1929): Zentralblatt der Bauverwaltung (49. Jahrgang, Nummer 10): u. a. Notverschlüsse bei Wehren. Regierungsbaurat Dr.-Ing. Emil Burkhardt (Stuttgart), Berlin.
- BAW (2009). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Instandsetzung unter Betrieb mit schnell erhärtenden Instandsetzungssystemen - Probeinstandsetzung Schleuse Feudenheim (interner Bericht: A39510310038), Karlsruhe.
- BAW (2014). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb (IuB). Aufgabenstellung für die Erarbeitung prinzipieller Lösungen zur partiellen Trockenlegung von Schleusenkammern, Karlsruhe.
- BAW/ANH (2014). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Amt für Neckar Ausbau Heidelberg (ANH). Sandtel (ANH); Reschke (BAW); Steuernagel (ANH); Westendarp (BAW): Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb. Präsentation: Projektvorstellung, Karlsruhe/Heidelberg.
- BDB (2013). Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e. V. (BDB): Daten & Fakten 2012/2013. Statistische Daten rund um die Binnenschifffahrt, Duisburg.
- BEHRENS, S. (2006): Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen: Schleusen, Wehre, Schiffshebewerke. Grundinstandsetzung der Seeschleuse Wilhelmshaven. In: PIANC (Hrsg.): Tagungsband. 31st PIANC International Navigation Congress 2006. Estoril (Portugal). World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC). 2006. S. 120–126.
-

- http://pianc.vzb.baw.de/publikationen/deutsche_kongressberichte/pdfs/2006-22.pdf (Zugriff am 11.07.2014).
- BG (2009). Jenner, T. VEREINIGUNG DER METALL-BERUFGENOSSENSCHAFTEN, MASCHINENBAU- UND METALL-BERUFGENOSSENSCHAFT, HÜTTEN- UND WALZWERKS-BERUFGENOSSENSCHAFT u. BERUFGENOSSENSCHAFT METALL NORD SÜD (Hrsg.): BG-Information: Anschläger. BGI 556.
- BG BAU (1974). Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: Unfallverhütungsvorschrift: Krane. BGV D6 (Fassung vom 1. April 2001), Berlin.
- BG BAU (1979). BERUFGENOSSENSCHAFT DER BAUWIRTSCHAFT (Hrsg.): Unfallverhütungsvorschrift: Taucherarbeiten - Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. BGV C 23 (In der Fassung vom 1. Januar 2012, mit Durchführungsanweisungen vom Januar 2012), Berlin.
- BG BAU (1980). Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: Unfallverhütungsvorschrift: Winden, Hub- und Zuggeräte. BGV D8 (Fassung vom 1. April 1996), Berlin.
- BG BAU (1988). BAU-BERUFGENOSSENSCHAFT (Hrsg.): Merkblatt für Seile und Ketten als Anschlagmittel im Baubetrieb. BGI 876 (April 1988), Berlin.
- BLOCHMANN, G. ET AL. (2012): Wirtschaftliche und sichere Baustelleneinrichtung. 3. überarb. Aufl., Red.-Stand: 31.03.12. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.
- BÖDEFELD, J. U. KLOÉ, K. (2011): Instandhaltung im Lebenszyklus eines Bauwerks. In: BAW (Hrsg.): Tagungsband. BAW-Kolloquium: Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken. Karlsruhe. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). 2011. S. 1–6. vzb.baw.de/publikationen.php?file=kolloquien/1/Tagungsband_Instandhaltung_Verkehrswasserbauten_25_26_Okt_2011.pdf (Zugriff am 07.10.2014).
- BÖRGER (2014a). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Pumpe XL 5300: Daten und Ergebnisse der firmeninternen Pumpenauslegungssoftware, Systemskizzen der Fa. Börger, Borken-Weseke.
- BÖRGER (2014b). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Angebot: Pumpe XL 5300, Borken-Weseke.
- BÖRGER (2014c). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Prospekt: Drehkolbenpumpen, Borken-Weseke.
- BÖRGER (2014d). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Abmessungen: XL-Baureihe, Borken-Weseke.
- BÖTTCHER, P. D. U. NEUENHAGEN, H. (1997): Baustelleneinrichtung. Betriebliche Organisation, Geräte, Kosten, Checklisten. Bauverlag, Wiesbaden.
-

- BRENNAN (2013): Dam Construction And Repair: Dam Cofferdam Construction And Installation. J.F. Brennan Co., Inc., La Crosse (Wisconsin, USA). <http://www.jfbrennan.com/marine-construction/cofferdam-construction/> (Zugriff am 23.07.2014).
- CHIEMSEE (2014a). SHG SPECHTENHAUSER HOCHWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZ GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. SHG Spechtenhauser Hochwasser- und Gewässerschutz GmbH. Datenblatt: Mini-Chiemsee Mobile Spezialpumpe, Waal.
- CHIEMSEE (2014b). SHG SPECHTENHAUSER HOCHWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZ GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. SHG Spechtenhauser Hochwasser- und Gewässerschutz GmbH. Datenblatt: Chiemsee Mobile Spezialpumpe, Waal.
- COREIRM (2013): Cofferdam Projects. Core-IRM Pte Ltd, Singapore. <http://www.core-irm.com/2013/840/cofferdam-projects/> (Zugriff am 23.07.2014).
- DGUV (2010). DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG (Hrsg.): Information: Sicherheit beim Betreiben von Wasserkraftwerken. BGI/GUV-I 8684, Berlin.
- DIN 19704-2: Stahlwasserbauten - Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung (05.1998).
- DIN 19712: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (01.2013).
- EICHINGER (2012): Firmenunterlagen Fa. Florian Eichinger GmbH. Kran-Zubehör: Arbeitsbühnen & Rettungskörbe, Mühlhausen. <http://www.betonsilos.eu/index.php?aid=342> (Zugriff am 03.09.2014).
- FLYGT (2012): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Flygt Baureihe 2000 Bibo Schmutzwasserpumpen, Langenhagen.
- FLYGT (2013): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Mietpreisliste 2013: Transportable Pumpen und Zubehör, Langenhagen.
- FLYGT (2014a): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: NS 3301 LT 3~ 620 - Technische Ausführung, Kennlinie. Datenblatt, Langenhagen.
- FLYGT (2014b): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Die Flygt Schmutzwasserpumpen der Baureihe 2600, Langenhagen.
- FLYGT (2014c): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Flygt N-Baureihe - Selbstreinigende Pumpen mit anhaltend hoher Effizienz, Langenhagen.
- FLYGT (2014d): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Abmessungen: Dimensional drwg NS 3301. Datenblatt, Langenhagen.
- FLYGT (2014e): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Baureihe 3000 - Midrange Abwasserpumpen: Effektiv und Effizient, Langenhagen.
-

- FREIMANN, R. (2012): Hydraulik für Bauingenieure. Grundlagen und Anwendungen. 2., aktualisierte Aufl. Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl., München.
- GOOGLE (2014): Luftbild: Schleuse Schwabenheim. Google Inc., Mountain View (Kalifornien, USA). <https://www.google.de/maps/@49.4435944,8.6327953,202m/data=!3m1!1e3> (Zugriff am 03.09.2014).
- GRUNDFOS (2004): Firmenunterlagen Fa. GRUNDFOS GmbH. Pumpenhandbuch, Erkrath.
- GRUNDFOS (2014): Firmenunterlagen Fa. GRUNDFOS GmbH. Datenblatt: Pumpe DW.150.110.A3 50 Hz, Erkrath.
- GUV (1991). BUNDESVERBAND DER UNFALLKASSEN (Hrsg.): Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz. Hochziehbare Personenaufnahmemittel (Aktualisierte Fassung März 2005), München.
- HEINLEIN, K. U. WAGNER, R. (2012): Einsatz von technischen Textilien für den mobilen Hochwasserschutz. In: Bautechnik 89, H. 7. S. 471–477.
- HEROLD (2014): Vorteile und Nachteile von Drehkolbenpumpen im Vergleich zu anderen Pumpentypen. Herold & Co. GmbH, Gefrees. <http://www.herold-gefrees.de/de/drehkolbenpumpe/vorteilenachteile> (Zugriff am 04.08.2014).
- HWSA (2014): Firmenunterlagen Fa. Hochwasserschutz Agentur (HwsA). Prospekt: Mobiler Damm für Hochwasserschutz und Wasserbau, Frankfurt am Main.
- IBS (2008): Firmenunterlagen Fa. IBS Planungs-, Vertriebsgesellschaft mbH. Prospekt: Objektschutz, Thierhaupten.
- IBS (2014): Mobile Wände als Hochwasserschutzsysteme. IBS Planungs-, Vertriebsgesellschaft mbH, Thierhaupten. <http://www.hochwasserschutz.de/produktbereiche/hochwasserschutz/mobile-waende.html> (Zugriff am 25.07.2014).
- KLEWA (2014): Informationen zu Dammtafeln als Abschottsysteme. Klewa-Wasserbautechnik, Bielefeld. mündlich/schriftlich (02.09.2014).
- KSB (2005). KSB Aktiengesellschaft: Auslegung von Kreiselpumpen. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage, Frankenthal (Pfalz).
- KSB (2011): Firmenunterlagen Fa. KSB Aktiengesellschaft. Planungshinweise KRT. KSB Know-how, Band 7, Frankenthal (Pfalz).
- KSB (2013): Firmenunterlagen Fa. KSB Aktiengesellschaft. Tauchmotorpumpe - Amarex KRT 50 Hz: Kennlinienheft, Frankenthal (Pfalz).
-

- KSB (2014): Firmenunterlagen Fa. KSB Aktiengesellschaft. Aufstellungsplan-Heft: Amarex KRT, Frankenthal (Pfalz).
- LIEBHERR (2014). LIEBHERR-WERK BIBERACH GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Liebherr. Datenblatt: Turmdrehkran 3150 HC 60, Biberach an der Riss.
- LINN (2014): Firmenunterlagen Fa. Linn-Pumpen GmbH. Datenblatt: Pumpe G825R4C3-X112AA2, Schalksmühle.
- MACDONELL, W. U. MORCH, S. (2010): San Vicente Low Level Outlet Cofferdam. In: GerwickNews, H. 29. S. 1–5.
- MAST (2014a): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchmotorpumpen 400 V - T 12, T 16, T 20, TP 8-1, TP 15-1, Aichwald.
- MAST (2014b): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe TP 8 - 1 N, Aichwald.
- MAST (2014c): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe T 16, Aichwald.
- MAST (2014d): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe T 20, Aichwald.
- MAST (2014e): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe TP 15-1, Aichwald.
- MIM (2014): MIM-VERGUSSANKER: Was bedeutet Vergussanker? MIM Marine- und Industrie-Montage GmbH, Hamburg. <http://mim-hamburg.de/vergussanker/was-bedeutet-vergussanker> (Zugriff am 30.09.2014).
- MOBILDEICH (2014): Firmenunterlagen Fa. Mobildeich GmbH. Mobildeich: Das weltweit sicherste Schlauchsystem für den mobilen Hochwasserschutz, Hamburg.
- MUHR (2014): Firmenunterlagen Fa. Gesellschaft für Planung, Maschinen- und Mühlenbau - Erhard Muhr mbH. Referenzen: Stahlwasserbau - Absperrorgane, Brannenburg.
- OSTERMANN, K. (1991): Pumpentechnik in der Wasserversorgung. Mit 10 Tabellen und Anhang. 2., überarb. und erw. Aufl. R. Müller, Köln.
- PENTA OCEAN (2014): Technologies and Innovation. NDR (Neo-Dry Repair) Method. Penta-Ocean Construction Co., LTD., Tokio (Japan). <http://www.penta-ocean.co.jp/english/business/civil/ndr.html> (Zugriff am 25.07.2014).
- PORTADAM (2011): Firmenunterlagen Fa. Portadam, Inc. Diversion And Cofferdam Structures, Williamstown (New Jersey, USA).
- PRAGER ET AL. (1987): Technisches Handbuch Pumpen. 7., durchgesehene Aufl. Verlag Technik, Berlin.
-

- REITTHALER (2014): Produkte. Hermann Reitthaler GmbH, Siegsdorf. <http://www.hochwasserschutz-reitthaler.de/produkte/> (Zugriff am 25.07.2014).
- RESCHKE, T. (2011): Instandsetzung unter Betrieb mit einem schnell erhärtenden Spritzbeton - Probemaßnahme Schleuse Feudenheim. In: BAW-Mitteilungen, 93 2011. S. 7–28.
- RITSCHER (2014): Information zu Einschwimmvorgang Ponton. ARNOLD RITSCHER GMBH, Hamburg. mündlich.
- RSP (2014a): Firmenunterlagen Fa. Reschwitzer Saugbagger Produktions GmbH. Datenblatt: Saugfahrzeug ESE 32 - Der Starke, Saalfeld.
- RSP (2014b): Firmenunterlagen Fa. Reschwitzer Saugbagger Produktions GmbH. Datenblatt: Option G50 - Schmutzwasserpumpe, Saalfeld.
- SCHNELL, W. (1991): Verfahrenstechnik der Grundwasserhaltung. B.G. Teubner, Stuttgart.
- SCHULZ, H. U. FUCHSLOCHER, E. (1977): Die Pumpen. Arbeitsweise, Berechnung, Konstruktion. 13. neubearb. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, New York.
- SELWOOD (2013a): Firmenunterlagen Fa. Selwood Limited. Datenblatt: Pumpe Selwood S159, Hampshire (Großbritannien).
- SELWOOD (2013b): Firmenunterlagen Fa. Selwood Limited. Datenblatt: Pumpe Selwood D150, Hampshire (Großbritannien).
- SEMPERIT (2014): Informationen zu Gummiabdichtungen bei Abschottsystemen. Semperit Deggendorf GmbH. mündlich (02.09.2014).
- SPT (2014): Firmenunterlagen Fa. Söndgerath Pumpen GmbH. Datenblatt: Pumpen ASP-Serie, Essen.
- SWB (2011): Produkte Stahlwasserbau: Revisionsverschlüsse. Stahlwasserbau Beeskow GmbH, Beeskow. <http://swb-beeskow.de/wpress/services-view/dammtafelnrevisionsverschluesse> (Zugriff am 03.09.2014).
- THYSSENKRUPP BAUTECHNIK GMBH (2014): Informationen zu Dammtafeln als Abschottsysteme, Gerlingen. mündlich (11.09.2014).
- USACE (1995a). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS: Engineering And Design. Planning And Design Of Navigation Dams (Engineer Manual 1110-2-2607), Washington, D.C. (USA).
- USACE (1995b). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS: Engineering And Design. Planning And Design Of Navigation Locks (Engineer Manual 1110-2-2602), Washington, D.C. (USA).
- USACE (2008). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hite (Jr.), J.: Concept Design for Emergency Closure System for Inland Navigation Structures, Washington, D.C. (USA).
-

- USACE (2009). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Beitelman, A.; Van Draege, E.; Rozene, D.: In-Situ Coating for Sheet Piles. Interim Report on Project FO-8-ARO6 for FY08, Washington, D.C. (USA).
- USACE (2010). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Padula, J.; Abraham, D.; Haskins, K.: Critical Infrastructure Protection and Resilience Program. Emergency gap closures, Washington, D.C. (USA).
- w+s (2009). w+s bau-instandsetzung gmbh. Rubba, U.: Projekt: Machbarkeitsstudie. Instandsetzung von Schleusenbauwerken am Beispiel der Schleuse Eckersmühlen, Kassel.
- WARDECKI, N. (1983). PROFESSOR DR.-ING. GÜNTER KÜHN (Hrsg.): Vorlesungsskript (Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb der Universität Karlsruhe). Maschinentechnik II (Reihe V / Heft 9), Karlsruhe.
- WICKERT, G. U. SCHMAUBER, G. (1971): Stahlwasserbau. Theorie - Konstruktive Lösungen - Spezielle Probleme. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.
- WILO (2011): Firmenunterlagen Fa. WILO SE. Katalog Water Management: Schmutz- und Abwasser - Abwassertransport und Entwässerung, Hof.
- WSE (2000). WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT TRIER u. THYSSEN KRUPP (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Schmitt WSE GmbH, Wasser- und Schifffahrtsamt Trier; Thyssen Krupp. Konstruktionszeichnung: Revisionsverschluss Dammbalken Typ B, Schiffsschleusenanlagen a. d. Mosel, Hannover.
- WSV (2011): Schleuse Schwabenheim. Bauwerksdaten der Schleuse Schwabenheim. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Wasser- und Schifffahrtsamt Heidelberg, Heidelberg. http://www.wsa-hd.wsv.de/wasserstrasse/bauwerke/schleuse_schwabenheim/ (Zugriff am 15.07.2014).
- WSV (2013a): Arbeitsschiff 'Saatsee'. NOK-Arbeitsschiff MS 'Saatsee'. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau, Kiel-Holtenau. http://www.wsa-kiel.wsv.de/Wir_ueber_uns/Unsere_Schiffe/Saatsee/index.html (Zugriff am 30.09.2014).
- WSV (2013b): Schleuse Schwabenheim. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Amt für Neckarausbau Heidelberg, Heidelberg. <http://www.anh.wsv.de/projekte/schleusen/schwabenheim/index.html> (Zugriff am 15.07.2014).
- WSV (2014): Informationen zu einhebbaren Kofferdämmen/Schwalbennester im WSV-Bezirk Brunsbüttel. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Außenbezirk Brunsbüttel. mündlich (28.07.2014).
-