

Pumpensumpfbemessung in Abwasserpumpwerken

Autor(en): **Dašek, Ivo V.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 41

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77182>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

in vielen Fällen mit der Einführung neuer, meist anspruchsvoller Technologien verknüpft ist, muss einer wirkungsvollen Qualitätskontrolle in Betracht der häufig schwierigen Baustellenverhältnisse besondere Beachtung geschenkt werden. Die Wirksamkeit neuer Schutzmassnahmen hängt eng von den dazu notwendigen verfahrenstechnischen Voraussetzungen auf der Baustelle und einem fachtechnisch gut ausgebildeten Personal ab.

Die zahlreichen und sehr verschiedenartigen Einflussgrössen, welche das Korrosionsverhalten und damit auch die Dauerhaftigkeit eines Bauwerkes wesentlich beeinflussen, lassen deutlich erkennen, dass die Korrosionsbestän-

digkeit keine Eigenschaft im physikalischen Sinne darstellt, sondern aus dem Verhalten des gesamten Systems resultiert. Das Bauwerk ist als System und die Dauerhaftigkeit als Systemverhalten zu betrachten. Der Systemgedanke erfordert, dass der Ingenieur sich in der Zukunft nicht nur mit konstruktiven Belangen, sondern vermehrt auch mit werkstofftechnischen Aspekten, den Umgebungseinflüssen sowie der Ausführung und der Überwachung von Bauwerken auseinanderzusetzen hat. Die Befähigung des Bauingenieurs zur interdisziplinären Zusammenarbeit ist daher eine weitere wichtige Voraussetzung zur Lösung der anstehenden Probleme.

Die Dokumentationen der vier Korrosionstagen sind beim Generalsekretariat SIA, Postfach, 8039 Zürich erhältlich:

«Zerstörungsfreie Prüfung an Stahlbetonbauteilen» Dok. SIA D 020

«Schutz- und Sanierungsmethoden von Stahlbetonbauwerken» Dok. SIA D 021

«Einsatz von 'nichtrostenden' Stählen im Bauwesen» Dok. SIA D 030

«Anker und Spannkabel» Dok. SIA D 031

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Hans Böhm, dipl. Ing. ETH/SIA, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Pumpensumpfbemessung in Abwasserpumpwerken

Durch tagsüber unterschiedlichen Wasserverbrauch und Auftreten von Regenwetter können Ab- und Regenwasserabflüsse im Kanalnetz in breitem Bereich schwanken. Der Pumpensumpf in Abwasserpumpwerken hat die Zuflussveränderungen auszugleichen, damit eine zweckmässige Pumpenleistung installiert und ein wirtschaftlicher Pumpenbetrieb gewährleistet werden kann.

Die optimale Bestimmung des Nutzvolumens vom Pumpensumpf ist sowohl für Bau- als auch für Betriebskosten notwendig. Zu kleines Volumen bewirkt häufiges Ein- und Ausschalten der Pumpen, überflüssig grosser Pumpensumpf erhöht die Baukosten, und zwar besonders dann, wenn sich das Bauwerk tief unter dem Gelände befindet und/oder das Grundwasserniveau hoch liegt. Die nachstehenden Ausführungen gelten für Pumpwerke mit Zentrifugalpumpen. Bei anderen Fördersystemen, wie Wasserförderschnecken, Vakuum- und Druckluftanlagen, sind ihre Konstruktionsart und Arbeitsweise für die Ausbildung und Bemessung des Pumpensumpfes massgebend.

Bemessungskriterien

Für die Bemessung des Nutzvolumens vom Pumpensumpf sind mehrere Kriterien ausschlaggebend. Beim Projekt-

VON IVO V. DAŠEK,
OBERENGSTRINGEN

entwurf sind sie einander gegenüberzustellen und zu bewerten; das Ergebnis soll einen optimalen Kompromiss darstellen.

a) *Zuflussmenge und ihre zu erwartenden gewöhnlichen Schwankungen.* Bei Kanalnetzen mit Mischsystem sind Zuflüsse gesondert für Trocken- und Regenwetter zu berechnen und für grössere Abwasserpumpwerke die täglichen Zuflussganglinien zu ermitteln. Je nach den Zuflussunterschieden ist eine wirt-

schaftliche Leistungsaufteilung auf mehrere Pumpen zu treffen. Bei Mischsystem werden für Trocken- und Regenwetterzuflüsse getrennte Pumpen verwendet.

b) *Pumpenkennzahlen wie Typ, Förderleistung, Anzahl der Pumpen und ihr vorgesehener Betrieb.* Die Pumpen werden normalerweise anhand ihrer Kennlinien und der hydraulischen Druckleistungscharakteristik aus einer Fabrikationsreihe gewählt. Nur für besondere und grosse Pumpwerke werden die Pumpenanlagen speziell für gegebene Verhältnisse hergestellt. Für grössere Leistungen ist zu prüfen, ob ein Pumpenaggregat mit variablem Drehzahlantrieb vorteilhafter wäre; somit lässt sich die Förderleistung dem Zufluss anpassen, wobei das erforderliche Nutzvolumen des Pumpensumpfes kleiner ausfällt. Grundsätzlich benötigen Pumpen

mit konstantem Drehzahlantrieb ein grösseres Pumpensumpfvolumen.

c) *Schalzhäufigkeit der Pumpen innert einer Stunde.* Gewöhnlich wird die Schalzhäufigkeit von Pumpenherstellern mit $n = 2-4$ angegeben. Dieser Wert allein sage jedoch nicht allzu viel aus, da bei der Bemessung noch weitere Aspekte berücksichtigt werden müssen.

d) *Stillstand der Pumpen zwischen ihrer Aus- und Wiedereinschaltung.* Die erforderliche Betriebspause hängt vom Motorentyp, von der Motorstärke und -anlaufsart sowie der Kühlung des Antriebs ab; bei Motoren mit kleiner Leistung kann sie 3-10 Minuten, bei Motoren über 100 kW 10-20 Minuten betragen. Um kurzfristiges Wiedereinschalten der Pumpen zu verhindern, wird im Schaltschrank eine zeitliche Einschaltsperrung eingebaut.

e) *Schaltniveaus für verschiedene Volumina bzw. Pumpenleistungen.* Infolge der Wellenbildung im Pumpensumpf ist es nicht möglich, die Grenzen für die Zu- oder Abschaltung der verschiedenen Pumpen auf 1 bis 2 cm voneinander anzuordnen. In der Praxis werden minimale Höhenunterschiede von 5 bis 10 cm gewählt. Sie werden auch durch die Art der Niveauschalter bewirkt; die Membrandrucksonden reagieren auf die Wellenbildung weniger empfindlich als Schwimmerbirnen mit Kontakten.

f) *Minimales Wasserniveau.* Um den Pumpenleerlauf und das Eindringen von Luft in die Saugleitung zu verhindern, ist für ihre ständige Überflutung zu sorgen. Das minimale Niveau wird überwacht, und bei seinem Erreichen werden die Pumpen abgeschaltet. Das erforderliche Nutzvolumen des Pum-

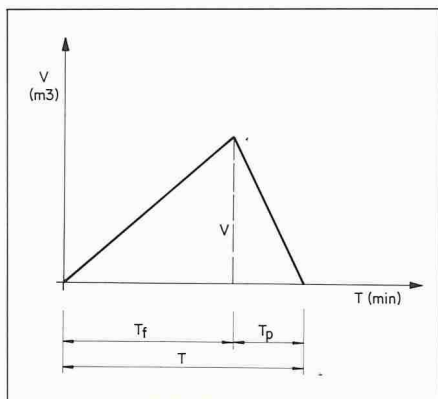


Bild 1. Füllung und Entleerung des Pumpensumpfes

pumpensumpfes wird ab diesem minimalen Niveau gerechnet.

g) **Sicherheitsaspekte.** Ausfall der Pumpenaggregate bei Wartung, Störungen und Reparaturen, Installation einer Notstromversorgung.

h) **Retention.** Bei Zulaufkanälen mit kleinem Gefälle kann das Rückstauvolumen im Kanal für das Nutzvolumen vom Pumpensumpf berücksichtigt werden. Ein Abwasserpumpwerk kann auch mit einer Hochwasserentlastung und/oder einem Rückhalte- bzw. Regenbecken kombiniert werden. Dabei bildet der Pumpensumpf einen Teil des gesamten Speichervolumens des Bauwerks.

Pumpensumpfbemessung für konstanten Zufluss

Für die Füllung und Entleerung des Pumpensumpfes (Bild 1) gilt

$$(1) \quad V = 60 \cdot Q_z \cdot T_f [\text{m}^3]$$

$$(2) \quad V = 60 \cdot (Q_p - Q_z) \cdot T_p [\text{m}^3]$$

$$(3) \quad T = T_f + T_p [\text{min}]$$

wobei

V – Nutzvolumen des Pumpensumpfes $[\text{m}^3]$

T_f – Füllzeit $[\text{min}]$

T_p – Entleerungszeit $[\text{min}]$

T – Dauer eines Füll- und Entleerungszyklus $[\text{min}]$

Q_z – Zufluss $[\text{m}^3/\text{s}]$

Q_p – Förderstrom der Pumpenanlage $[\text{m}^3/\text{s}]$

Das Nutzvolumen des Pumpensumpfes und die Füll- und Entleerungszeiten werden bestimmt aus

$$(4) \quad V = \frac{60 \cdot Q_z \cdot (Q_p - Q_z)}{Q_p} \cdot T [\text{m}^3]$$

$$(5) \quad T_f = \frac{V}{60 \cdot Q_z} [\text{min}]$$

$$(6) \quad T_p = \frac{V}{60 \cdot (Q_p - Q_z)}$$

wobei die Bedingung $Q_z < Q_p$ für reale Lösungen erfüllt werden muss.

Wenn der Zufluss im Verhältnis zum Förderstrom der Pumpenanlage ausgedrückt wird

$$(7) \quad X = \frac{Q_z}{Q_p} [-]$$

ergibt sich

$$(8) \quad V = 60 \cdot (X - X^2) \cdot Q_p \cdot T [\text{m}^3]$$

und für $Q_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ und $T = 1 \text{ min}$

$$(9) \quad V1 = 60 \cdot (X - X^2)$$

$V1$ kann als Einheitsvolumen für ein bestimmtes Verhältnis von Q_z/Q_p (7) bezeichnet werden.

Grafisch dargestellt (Bild 2) weist die Gleichung (9) parabelförmigen Verlauf mit einem maximalen Wert bei $X = 0,5$

bzw. $Q_z = Q_p/2$ auf. Aus Tabelle 1 oder aus dem Diagramm im Bild 2 lässt sich das Einheitsvolumen $V1$ für die entsprechenden X -Werte ablesen. Das erforderliche Nutzvolumen des Pumpensumpfes und die entsprechenden Füll- und Entleerungszeiten werden wie folgt ermittelt:

$$(10) \quad V = V1 \cdot \sqrt{Q_p} \cdot T [\text{m}^3]$$

$$(11) \quad T_f = (1 - X) \cdot T [\text{min}]$$

$$(12) \quad T_p = X \cdot T [\text{min}]$$

Das grösste Nutzvolumen des Pumpensumpfes ergibt sich, wenn der Zufluss die Hälfte der Pumpenleistung beträgt; dann sind die Füll- und Entleerungszeiten gleich. Bei anderen Verhältnissen von Q_z/Q_p fällt das benötigte Nutzvolumen kleiner aus, die Füll- und Entleerungszeiten verändern sich entsprechend, und die gesamte Dauer des Füll- und Entleerungszyklus verlängert sich.

Beispiel 1: Eine im Pumpwerk installierte Pumpe fördert $Q_p = 40 \text{ l/s}$. Der konstante Zufluss beträgt $Q_z = 18 \text{ l/s}$. Die Dauer eines Füll- und Entleerungszyklus ist mit $T = 20 \text{ min}$ vorgesehen. Für das X -Verhältnis von $Q_z/Q_p = 0,45$ und die aus der Tabelle 1 entnommenen Werte ergeben sich

$$V = 14,85 \cdot 0,04 \cdot 20 = 11,88 \text{ m}^3$$

$$T_f = 0,55 \cdot 20 = 11 \text{ min}$$

$$T_p = 0,45 \cdot 20 = 9 \text{ min}$$

In der Praxis wird häufig empfohlen, für die Pumpensumpfbemessung das Verhältnis von $Q_z = Q_p/2$ zu wählen, damit das grösste Nutzvolumen erreicht wird. In diesem Fall lassen sich die Füll- und Entleerungszeiten sowie die Dauer eines Betriebszyklus für andere Verhältnisse von Q_z/Q_p und das Einheitsvolumen $V1$ von 15 m^3 wie folgt bestimmen:

$$(13) \quad T_f = \frac{15}{60 \cdot X} \cdot T = T_{f1} \cdot T [\text{min}]$$

$$(14) \quad T_p = \frac{15}{60 \cdot (1 - X)} \cdot T = T_{p1} \cdot T [\text{min}]$$

$$(15) \quad T_z = T_f + T_p = \frac{15}{60} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{1}{X} + \frac{1}{1 - X} \right) \cdot T = T_{z1} \cdot T [\text{min}]$$

Die Werte T_{f1} , T_{p1} und T_{z1} sind für die entsprechenden X -Verhältnisse von Q_z/Q_p in der Tabelle 1 aufgeführt.

Beispiel 2: Für das gleiche Pumpwerk wie im Beispiel 1 wird das Nutzvolumen für $X = 0,5$ und das Einheitsvolumen $V1 = 15 \text{ m}^3$ bestimmt.

$$V = 15 \cdot 0,04 \cdot 20 = 12 \text{ m}^3$$

Die Füll- und Entleerungszeiten für $Q_z = 18 \text{ l/s}$ sind

$$T_f = T_{f1} \cdot T = 0,556 \cdot 20 = 11,1 \text{ min}$$

$$T_p = T_{p1} \cdot T = 0,454 \cdot 20 = 9,1 \text{ min}$$

$$T_z = T_{z1} \cdot T = 1,01 \cdot 20 = 20,2 \text{ min}$$

$X = Q_z/Q_p$	$1 - X$	$V1$ $[\text{m}^3]$	T_{f1}	T_{p1}	T_{z1}
0,05	0,95	2,85	5,000	0,263	5,263
0,10	0,90	5,40	2,500	0,278	2,778
0,15	0,85	7,65	1,667	0,294	1,961
0,20	0,80	9,60	1,250	0,313	1,563
0,25	0,75	11,25	1,000	0,333	1,333
0,30	0,70	12,65	0,833	0,357	1,190
0,35	0,65	13,65	0,714	0,385	1,099
0,40	0,60	14,40	0,625	0,417	1,042
0,45	0,55	14,85	0,556	0,454	1,010
0,50	0,50	15,00	0,500	0,500	1,000
0,55	0,45	14,85	0,454	0,556	1,010
0,60	0,40	14,40	0,417	0,625	1,042
0,65	0,35	13,65	0,385	0,714	1,099
0,70	0,30	12,65	0,357	0,833	1,190
0,75	0,25	11,25	0,333	1,000	1,333
0,80	0,20	9,60	0,313	1,250	1,563
0,85	0,15	7,65	0,294	1,667	1,961
0,90	0,10	5,40	0,278	2,500	2,778
0,95	0,05	2,85	0,263	5,000	5,263

Tabelle 1. Pumpensumpfbemessung für Pumpwerk mit einer Pumpe

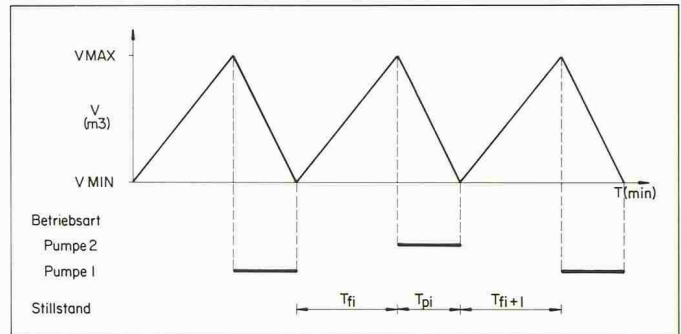
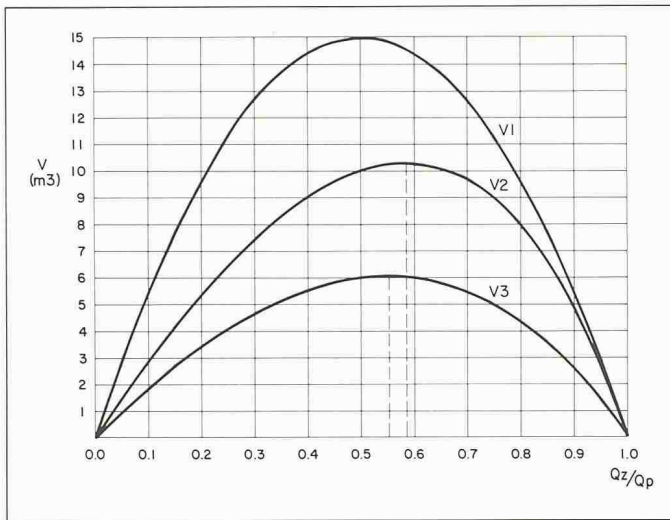


Bild 3. Schaltzyklen im Pumpenwerk mit Reservepumpe im Wechselbetrieb

Bild 2. Einheitsvolumina vom Pumpensumpf für $Q_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ und $T = 1 \text{ min}$. V1 Pumpwerk mit einer Pumpe, V2 Pumpwerk mit Reservepumpe im Wechselbetrieb, V3 Pumpwerk mit zwei Reservepumpen im Wechselbetrieb

Schalzhäufigkeit der Pumpenanlage

Wie bereits erwähnt, geben die Pumpenlieferanten die Schalzhäufigkeit der Pumpenanlage in der Regel mit 2–4mal pro Stunde an. Dann gilt für die Dauer eines Füll- und Entleerungszyklus

$$(16) \quad T = \frac{60}{n} \text{ [min]}$$

wobei

n – Schalzhäufigkeit der Pumpenanlage pro Stunde.

Bei Pumpwerken, die nur mit einer Pumpe ausgerüstet sind, kann die Pumpensumpfbemessung nach der Schalzhäufigkeit zu unzulänglichen Ergebnissen führen. Die von Pumpenlieferanten angegebenen Schalzhäufigkeiten gelten normalerweise für den Fall, wenn der Zufluss der Hälfte der Pumpenleistung entspricht oder für Pumpwerke mit mehreren Pumpen, die im Wechselbetrieb arbeiten.

Wenn der Zufluss die Hälfte der Pumpenleistung übersteigt, verkleinert sich die Zeit zwischen der Aus- und Einschaltung der Pumpenanlage gegenüber dem Fall von $Q_z/Q_p = 0,5$. Je kleiner die Differenz zwischen Zufluss und Förderstrom wird, um so kürzer fällt die Stillstandperiode der Pumpenanlage aus. Das könnte aber für den Pumpenantrieb unangenehme Folgen haben oder es wird die im Schaltschrank installierte zeitliche Stillstandssperre den Anlauf der Pumpenanlage verhindern, so dass der Pumpensumpf überlaufen bzw. ein Rückstau im Zulaufkanal entstehen kann. Wenn der Zufluss die Hälfte der Pumpenleistung übersteigt, ist das Nutzvolumen des Pumpensumpfes nach dem vorgeschriebenen minimalen Stillstand des Pumpenaggregats zu bemessen

$$(17) \quad V = 60 Q_z \cdot T_s [\text{m}^3]$$

wobei

T_s – der erforderliche Stillstand der Pumpenanlage zwischen ihrem Aus- und Einschalten [min].

Pumpwerk mit einer Pumpe

Ein Abwasserpumpwerk mit einer Pumpe wird nur für kleine Leistungen und ohne ein grosses Sicherheitsbedürfnis erstellt. In diesem Fall ist die richtige Bemessung des Nutzvolumens vom Pumpensumpf besonders wichtig.

Für die Wahl der Pumpenleistung ist der zukünftig zu erwartende maximale Zufluss massgebend. Da dieser jedoch nur während der Spitzen und im Mischsystem beim Regenwetter auftritt, wird die Pumpenleistung häufig auf den zu erwartenden maximalen, evtl. mit Sicherheitszuschlag erhöhten Wert bestimmt. Wenn ein Notüberlauf vorhanden ist, kann unter Umständen die Pumpenleistung bzw. das Nutzvolumen des Pumpensumpfes reduziert werden. Dann ist zu untersuchen, ob genug verdünntes Abwasser in den Vorfluter gelangt, bzw. ob die Gewässerschutzrichtlinien für die Überläufe der Hochwasserentlastungen sinngemäss eingehalten werden.

Eine zu starke Überdimensionierung der Pumpenanlage führt zu kurzen Pumpzeiten und langem Stillstand zwischen den einzelnen Pumpzyklen. Wenn dagegen die Pumpenanlage annähernd gleiche Förderleistung wie der maximale Zufluss aufweist, wird der Pumpensumpf nach seiner Entleerung in kurzer Zeit gefüllt, und somit die Bedingung des erforderlichen Stillstandes zwischen dem Aus- und Einschalten der Pumpenanlage nicht eingehalten. Dann ist das Nutzvolumen des Pumpensumpfes nach (17) zu bemessen, oder ein zweites Pumpenaggregat im Wechselbetrieb anzuordnen.

Beispiel 3: Es geht um das gleiche Pumpwerk wie im Beispiel 1, der Zufluss erhöht sich jedoch bei Regenwetter auf $Q_z = 36 \text{ l/s}$. Für das X-Verhältnis von $Q_z/Q_p = 0,90$ ergeben sich dann nach (8) bzw. (9)

$$V = 5,40 \cdot 0,04 \cdot 20 = 4,32 \text{ m}^3$$

$$T_f = 0,10 \cdot 20 = 2 \text{ min}$$

$$T_p = 0,90 \cdot 20 = 18 \text{ min}$$

Falls der Pumpensumpf das Nutzvolumen wie im Beispiel 2 von $V = 12 \text{ m}^3$ aufweist, ergeben sich die Füll- und Entleerungszeiten nach (5), (6) $T_f = 5,6 \text{ min}$, $T_p = 50 \text{ min}$ und die Dauer des Schaltzyklus nach (3) $T = 55,6 \text{ min}$.

Wenn der Stillstand der Pumpenanlage 10 min betragen soll, wird diese Bedingung in beiden aufgeführten Fällen nicht eingehalten. Um die Bedingung von $T_s = 10 \text{ min}$ zu erfüllen, muss das erforderliche Pumpensumpfvolumen gemäss (17) betragen

$$V = 60 \cdot 0,036 \cdot 10 = 21,6 \text{ m}^3$$

und somit ergeben sich für den Regenwetterzufluss $T_{fr} = 10 \text{ min}$, $T_{pr} = 90 \text{ min}$ und $T_{tr} = 100 \text{ min}$.

Für den Trockenwetterzufluss von $Q_z = 18 \text{ l/s}$ ergeben sich dann $T_{fs} = 20 \text{ min}$, $T_{ps} = 16,4 \text{ min}$, $T_{zs} = 36,4 \text{ min}$ und daraus eine Schalzhäufigkeit $n = 1,6$ pro Stunde.

Pumpwerk mit Reservepumpen

Um längere Ausfälle bei Störungen und Wartungsarbeiten zu vermeiden, werden Abwasserpumpwerke mit Reservepumpen von gleichem Typ ausgerüstet. Die Pumpen arbeiten im Wechselbetrieb, damit sie sich gleichmässig abnutzen. Die Installation der Reservepumpen ist nicht nur wegen der erhöhten Betriebssicherheit vorteilhaft; durch den Wechselbetrieb werden auch die Schaltperioden der einzelnen Pumpen

$X = Q_z/Q_p$	$V2$ [m ³]	$V3$ [m ³]
0,05	1,462	0,966
0,10	2,842	1,862
0,15	4,135	2,684
0,20	5,333	3,429
0,25	6,429	4,091
0,30	7,412	4,667
0,35	8,273	5,151
0,40	9,000	5,538
0,45	9,581	5,824
0,50	10,000	6,000
0,55	10,241	6,061
0,5505		6,062
0,5858	10,295	
0,60	10,286	6,000
0,65	10,111	5,809
0,70	9,692	5,478
0,75	9,000	5,000
0,80	8,000	4,364
0,85	6,652	3,558
0,90	4,909	2,571
0,95	2,714	1,390

Tabelle 2. Pumpensumpfbemessung für Pumpwerk mit Reservepumpen im Wechselbetrieb. Einheitsvolumina $V2$ und $V3$ für $Q_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ und $T = 1 \text{ min}$

verlängert und somit das erforderliche Nutzvolumen des Pumpensumpfes verkleinert.

Die Schaltzyklen beim Wechselbetrieb von zwei Pumpen sind schematisch auf Bild 3 dargestellt. Der Stillstand jeder Pumpe beträgt

$$(18) T_s = T_{fi} + T_{pi} + T_{fi+1} [\text{min}]$$

$$(19) V_r2 = \frac{60 Q_z (Q_p - Q_z)}{2 Q_p - Q_z} T_s [\text{m}^3]$$

Falls der Zufluss nach (7) im Verhältnis zur Förderleistung ausgedrückt wird, ergibt sich das Sumpfvolumen aus

$$(20) V_r2 = \frac{60 (X - X^2)}{2 - X} Q_p \cdot T_s = V2 \cdot Q_p \cdot T_s [\text{m}^3]$$

Für den Wechselbetrieb von drei gleichen Pumpen gilt

$$(21) V_r3 = \frac{60 (X - X^2)}{3 - X} Q_p \cdot T_s [\text{m}^3]$$

und für X nach (7)

$$(22) V_r3 = V3 \cdot Q_p \cdot T_s [\text{m}^3]$$

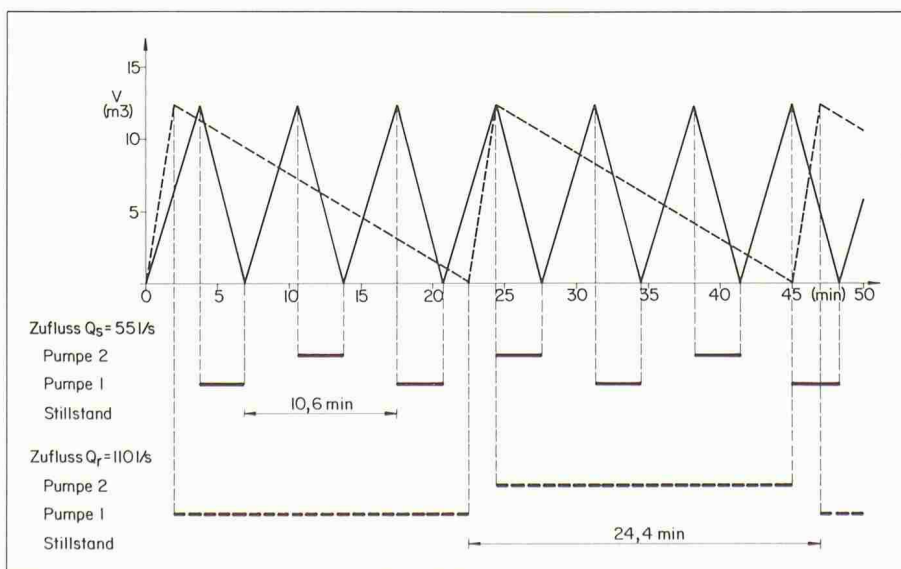
Die Einheitsvolumina $V2$ und $V3$ sind für X -Werte in Tabelle 2 aufgelistet und auf Bild 2 grafisch dargestellt. Bei schwankenden Zuflüssen soll die Pumpenbemessung stets für die maximalen Werte von $V2$ bzw. $V3$ erfolgen, damit der vorgeschriebene minimale Stillstand der einzelnen Pumpen gewährleistet ist.

Beispiel 4: Im Pumpwerk sind zwei im Wechselbetrieb arbeitende Pumpen mit einer Leistung von je 120 l/s installiert. Der mittlere Trockenwetterzufluss beträgt 55 l/s, der Spitzenzufluss bei Regenwetter 110 l/s. Die Schalthäufigkeit wird mit $n = 3$ angegeben, was einen minimalen Stillstand der Pumpenanlage von 10 min vorausgesetzt.

Das Nutzvolumen des Pumpensumpfes wird gemäss (20) für $T_s = 10 \text{ min}$ und maximalen Wert $V2 = 10,294 \text{ m}^3$ errechnet:

$$V = V2 \cdot Q_p \cdot T_s = 10,294 \cdot 0,120 \cdot 10 = 12,35 \text{ m}^3$$

Für mittleren Trockenwetterzufluss von $Q_s = 55 \text{ l/s}$ betragen dann $T_{fs} = 3,7 \text{ min}$, $T_{ps} = 3,2 \text{ min}$ und der Stillstand der Pumpe $T_{ss} = 10,6 \text{ min}$, bei Spitzenzufluss von $Q_r = 110 \text{ l/s}$ sind $T_{fr} = 1,9 \text{ min}$, $T_{pr} = 20,6 \text{ min}$ und $T_{sr} = 24,4 \text{ min}$. Das Füllen und Entleeren des Pumpensumpfes sowie die Schaltzyklen sind für beide Fälle auf Bild 4 dargestellt.



Pumpwerk mit Pumpen im Parallelbetrieb

Wenn der Spitzenabfluss bei Regenwetter ungefähr doppelt so gross wie der mittlere Trockenwetterzufluss ist, werden Abwasserpumpwerke gewöhnlich mit drei gleichen Pumpen ausgerüstet. Im Pumpensumpf werden zwei Volumina ausgeschieden (Bild 5). Bei Erreichen des Wasserstandes V_{MAX1} wird eine Pumpe in Betrieb gesetzt. Solange der Zufluss Q_z kleiner als die Förderleistung Q_p einer Pumpe bleibt, wird im Wechselbetrieb immer eine Pumpe ein- und abgeschaltet und das Volumen nur zwischen $V_{MAX} - V_{MIN1}$ beansprucht. So ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie bei einem Pumpwerk mit Reservepumpen. Da eigentlich noch eine zweite Reservepumpe vorhanden ist, verlängert sich bei konsequentem Wechselbetrieb der Stillstand einer Pumpe um einen Schaltzyklus.

Bei grösseren Zuflüssen und Aufsteigen des Wasserstandes auf V_{MAX2} wird eine zweite Pumpe parallel in Betrieb gesetzt (Bild 6). Das nachfolgende Ab- und Einschalten der Pumpen kann auf verschiedene Weise erfolgen. In Betriebsart A wird immer die in Betrieb länger gewesene Pumpe abgeschaltet und so gleichmässiger Pumpenverschleiss erzielt. Im Fall B bleibt die zuerst eingeschaltete Pumpe dauernd in Betrieb, und nur die anderen beiden Pumpen werden abwechselungsweise zu- und abgeschaltet. Bei beiden Betriebsarten wird der Stillstand einer Pumpe gleich lange dauern.

Mit Absinken des Wasserstandes auf V_{MIN2} wird vorerst eine Pumpe abgeschaltet und, wenn sich der Pumpensumpf ganz entleert, auch die andere Pumpe abgestellt.

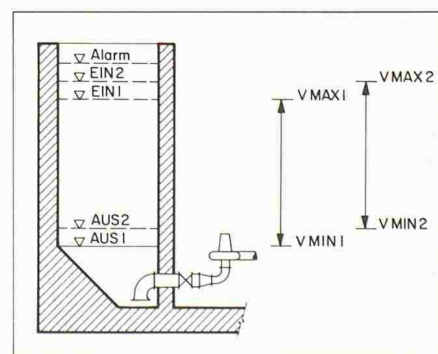


Bild 5. Aufteilung der Volumina und Schalthniveaus im Pumpensumpf

Bild 4. Schaltzyklen der Pumpen für Zuflüsse und Pumpenleistungen gemäss Beispiel 4

Hinsichtlich der Investitions- und Betriebskosten ist die Anordnung mit drei Pumpen günstiger, als zwei leistungsstarke, auf den Spitzenabfluss bemessene Pumpen (eine dient zur Reserve) zu installieren. Den statistischen Auswertungen zufolge beträgt die gesamte Regenzeit in der Schweiz in einem Jahr etwa 12%, die restliche Zeit betrifft den Trockenwetterzufluss.

Die gesamte Förderleistung von zwei parallel laufenden Pumpen hängt von der Anordnung ihrer Druckleitungen ab. Wenn jede Pumpe eigene Druckleitung aufweist, entspricht die gesamte Leistung der Summe der einzelnen Förderströme. Bei der Förderung in eine gemeinsame Druckleitung steigt die Wassergeschwindigkeit, die Reibungsverluste erhöhen sich und die Gesamtleistung fällt geringer aus; sie wird durch die Pumpen- und Druckleitungskennlinien bestimmt. Es ist deshalb zweckmässig, die zu erwartende Förderleistung von zwei parallel laufenden Pumpen mit gemeinsamer Druckleitung mit den Pumpenlieferanten im voraus abzuklären.

Für die Bemessung des Sumpfvolumens für Pumpen im Parallelbetrieb (Bild 3) gilt

$$(23) \quad Q_{p1} < Q_z < Q_{p2} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$(24) \quad T_s = T_{fj} + T_{pj} + T_{pj+1} \quad [\text{min}]$$

$$(25) \quad T_{fi} = T_{fj+1} = \frac{V_{pb}}{60(Q_z - Q_p)} \quad [\text{min}]$$

$$(26) \quad T_{pi} = \frac{V_{pb}}{60(Q_{p2} - Q_z)} \quad [\text{min}]$$

$$(27) \quad V_{pb} = \frac{60(Q_z - Q_{p1}) \cdot (Q_{p2} - Q_z)}{2Q_{p2} - Q_{p1} - Q_z} T_s \quad [\text{m}^3]$$

wobei

Q_{p1} – Förderstrom einer Pumpe $[\text{m}^3/\text{s}]$

Q_{p2} – gesamter Förderstrom von zwei parallel laufenden Pumpen $[\text{m}^3/\text{s}]$

V_{pb} – Nutzvolumen vom Pumpensumpf für Pumpen im Parallelbetrieb $[\text{m}^3]$

Wenn der Zufluss Q_z im Verhältnis zum Förderstrom von zwei parallel laufenden Pumpen Q_{p2} und die Pumpenleistung Q_{p1} im Verhältnis zu Q_{p2} ausgedrückt werden

$$(28) \quad X = \frac{Q_z}{Q_{p2}} \quad [-]$$

$$(29) \quad Y = \frac{Q_{p1}}{Q_{p2}} \quad [-]$$

ergibt sich

$$(30) \quad V_{pb} = \frac{60(X - Y) \cdot (1 - X)}{2 - Y - X} Q_{p2} \cdot T_s = V4 \cdot Q_{p2} \cdot T_s \quad [\text{m}^3]$$

und für $Q_{p2} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ und $T_s = 1 \text{ min}$

$$(31) \quad V4 = \frac{60(X - Y) \cdot (1 - X)}{2 - Y - X} \quad [\text{m}^3]$$

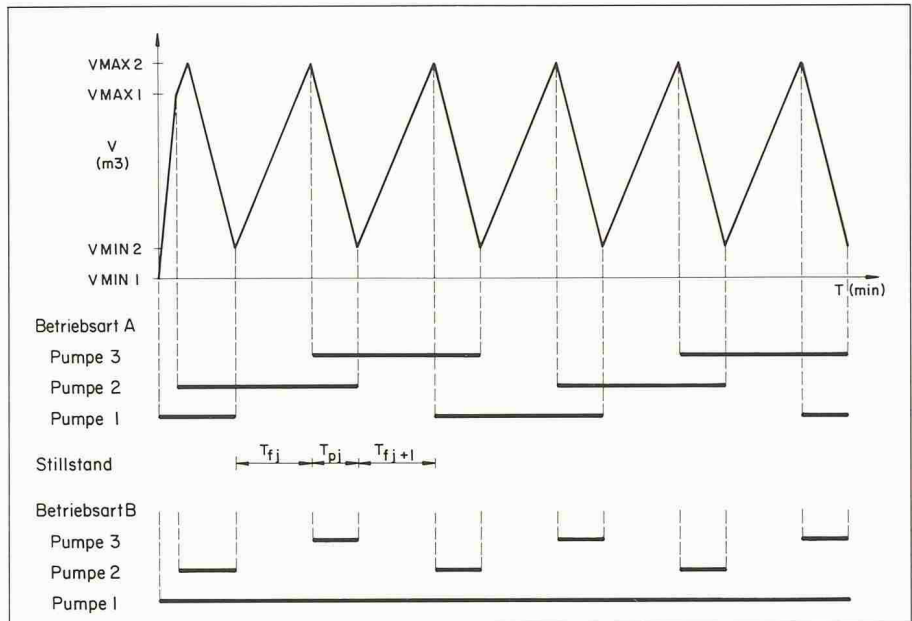


Bild 6. Schaltzyklen im Pumpwerk mit Pumpen im Parallelbetrieb

Der Wert $V4$ kann wiederum als Einheitsvolumen bezeichnet werden. Die Gleichung (31) stellt eine Funktion des dritten Grades dar. Tabelle 3 enthält die Einheitsvolumen $V4$ für Y -Werte und die X -Werte, bei denen das Maximum erreicht wird. Mit Rücksicht auf die Zuflussschwankungen ist es sinnvoll, für die Pumpensumpfbemessung diese maximalen $V4$ -Werte anzuwenden, damit der vorgeschriebene minimale Stillstand der einzelnen Pumpen eingehalten wird.

Beispiel 5: Im Abwasserpumpwerk sind drei gleiche Pumpen mit einer Förderleistung von $Q_{p1} = 80 \text{ l/s}$ installiert. Bei parallelem Lauf von zwei Pumpen in eine gemeinsame Druckleitung beträgt der Förderstrom $Q_{p2} = 145 \text{ l/s}$. Der minimale Stillstand einer Pumpe soll 10 min betragen. Der mittlere Trockenwetterzufluss ist $Q_{zs} = 60 \text{ l/s}$, der Spitzenzufluss bei Regenwetter $Q_{zr} = 120 \text{ l/s}$.

Für den Trockenwetterzufluss $Q_{zs} = 60 \text{ l/s}$ beträgt $X = 0,75$ und für den entsprechenden Wert $V3$ aus der Tabelle 2 ergibt sich $V3 = V3 \cdot Q_{p1} \cdot T_s = 5,0 \cdot 0,08 \cdot 10 = 4,0 \text{ m}^3$. Dann betragen $T_{fs} = 1,1 \text{ min}$, $T_{ps} = 3,3 \text{ min}$ und $T_{ss} = 10 \text{ min}$.

Mit Rücksicht auf die Zuflussschwankungen ist jedoch der maximale Wert $V3 = 6,062 \text{ m}^3$ einzusetzen. Somit ergeben sich ein Volumen $V3 = 6,062 \cdot 0,08 \cdot 10 = 4,85 \text{ m}^3$

und $T_{fs} = 1,35 \text{ min}$, $T_{ps} = 4,04 \text{ min}$ und $T_{ss} = 12,1 \text{ min}$.

Die Sumpfbemessung für den Parallelbetrieb der Pumpen erfolgt gemäss (28), (29) und (31) für

$$Y = Q_{p1}/Q_{p2} = 0,55$$

und für den Wert $V4$ aus der Tabelle 3

$$V_{pb} = V4 \cdot Q_{p2} \cdot T_s = 4,632 \cdot 0,145 \cdot 10 = 6,72 \text{ m}^3$$

Es betragen dann $T_{fr} = 2,8 \text{ min}$, $T_{pr} = 4,5 \text{ min}$ und $T_{sr} = 10,1 \text{ min}$.

Das gesamte Pumpensumpfvolumen hängt von der konstruktiven Anord-

$Y = Q_{p1}/Q_{p2}$	$X = Q_z/Q_{p2}$	$V4$ [m³]
0,50	0,7929	5,147
0,51	0,7970	5,044
0,52	0,8012	4,941
0,53	0,8053	4,838
0,54	0,8095	4,735
0,55	0,8136	4,632
0,56	0,8177	4,530
0,57	0,8219	4,427
0,58	0,8260	4,324
0,59	0,8302	4,221
0,60	0,8343	4,118
0,61	0,8385	4,015
0,62	0,8426	3,912
0,63	0,8467	3,809
0,64	0,8509	3,706
0,65	0,8550	3,603
0,66	0,8592	3,500
0,67	0,8633	3,397
0,68	0,8675	3,294
0,69	0,8716	3,191
0,70	0,8757	3,088
0,71	0,8799	2,985
0,72	0,8840	2,882
0,73	0,8882	2,779
0,74	0,8923	2,677
0,75	0,8964	2,574
0,76	0,9006	2,471
0,77	0,9047	2,368
0,78	0,9089	2,265
0,79	0,9130	2,162
0,80	0,9172	2,059

Tabelle 3. Pumpensumpfbemessung für Pumpwerk mit Pumpen im Parallelbetrieb. Einheitsvolumen $V4$ für $Q_{p2} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ und $T_s = 1 \text{ min}$

Pumpwerk: W A L D A U						
Pumpensumpf:	max Volumen-2:	7.72 m ³	min Volumen-2:	1.00 m ³		
	max Volumen-1:	7.00 m ³	min Volumen-1:	0.00 m ³		
Pumpenleistung:	eine Pumpe:	80 l/s	zwei Pumpen:	145 l/s		
Zeit	Qzu	Qp	Sumpfbestand	Pumpenstatus		Laufzeit
min	l/s	l/s	m ³			min
1.9	60	80	7.00	EIN	P1	1.9
7.8	60	80	0.00		P1 AUS	5.8
9.7	60	80	7.00	EIN	P2	9.7
15.6	60	80	0.00		P2 AUS	5.8
17.5	60	80	7.00	EIN	P3	17.5
23.3	60	80	0.00		P3 AUS	5.8
25.3	60	80	7.00	EIN	P1	17.5
31.1	60	80	0.00		P1 AUS	5.8
33.1	60	80	7.00	EIN	P2	17.5
38.9	60	80	0.00		P2 AUS	5.8
40.8	60	80	7.00	EIN	P3	17.5
45.8	120	80	2.20		+	
47.1	120	145	7.72	EIN	P1	16.0
51.6	120	80	1.00		+ P3 AUS	10.8
54.4	120	145	7.72	EIN	+ P2	15.5
58.9	120	80	1.00		P1 + AUS	11.8
61.7	120	145	7.72	EIN	+ P3	10.1
66.2	120	80	1.00		P2 + AUS	11.8
69.0	120	145	7.72	EIN	P1	10.1
73.5	120	80	1.00		+ P3 AUS	11.8
76.3	120	145	7.72	EIN	+ P2	10.1
80.7	120	80	1.00		P1 + AUS	11.8
83.5	120	145	7.72	EIN	+ P3	10.1
88.0	120	80	1.00		P2 + AUS	11.8

Bild 7. Ergebnisliste des EDV-Programms für die Simulation des Pumpenbetriebs sowie der Füllung und Entleerung des Pumpensumpfes gemäss Beispiel 5

nung des Bauwerks sowie den Differenzen in den Schalthöhen ab. Da das Volumen für den Parallelbetrieb für die Pumpensumpfbemessung grösser und somit massgebend ist, kann das Volumen für den Einzelbetrieb der Pumpen zweckmässig erhöht werden. Somit wird die Schalthäufigkeit der Pumpen gesenkt und die Laufzeit verlängert. Für das Beispiel 5 könnte folgende Lö-

sung getroffen werden: $V_{MIN1} = 0 \text{ m}^3$, $V_{MIN2} = 1 \text{ m}^3$, $V_{MAX1} = 7 \text{ m}^3$, $V_{MAX2} = 7,72 \text{ m}^3$.

Computereinsatz

Formeln zur Bestimmung des Pumpensumpfvolumens sowie zur Rück-

rechnung der Pumpenleistungen und Schalthäufigkeit für vorgegebene Volumina lassen sich für Berechnung mit Computer leicht programmieren. Der Vorteil derartiger Programme liegt darin, dass in kurzer Zeit verschiedene Varianten ermittelt und Nachweise für bestehende Anlagen bzw. für den Vorschlag ihrer Erneuerung erbracht werden. Somit lassen sich mit geringem Aufwand optimale Ergebnisse herausfinden.

Das Funktionieren von Pumpen, Ein- und Ausschalten, Laufzeit, Stillstand sowie der Verlauf der Wasserstände im Pumpensumpf lassen sich ebenfalls programmieren. Der Zufluss kann dabei entweder als stationär oder in Form einer Zuflussganglinie eingegeben werden. Ein Muster für die Eingabedaten des Beispiels 5 ist auf Bild 7 aufgeführt. Auf diese Art lassen sich nicht nur die verschiedenen Zuflüsse, sondern auch die Zustände im Pumpenbetrieb (Pumpenausfall, Sperrung bei Wartungsarbeiten) simulieren und auswerten.

Schlussbetrachtung

Für die Pumpensumpfbemessung ist der erforderliche Stillstand der Pumpenaggregate zwischen ihrem Aus- und Wiedereinschalten massgebend. Da die Zuflüsse Schwankungen aufweisen, hat die Bemessung immer für den Fall von maximal beanspruchten Volumen zu erfolgen. Durch den Einsatz von weiteren Pumpen im Wechselbetrieb verlängern sich die Schaltzyklen der einzelnen Aggregate, und somit verkleinert sich das nötige Sumpfvolumen.

Vor der Bemessung sollten die Pumpen- und Druckleitungskennlinien möglichst genau bestimmt werden. Es ist anzuraten, diese Daten mit den Pumpenherstellern im voraus sehr genau abzuklären.

Adresse des Verfassers: I. V. Dašek, Dipl.-Bauingenieur SIA, Holinger AG, Stauffacherstr. 139, 8026 Zürich.