

# Handbuch zur Energieeinsparung

- bei Pumpensystemen für Abwasser

März 2006

Arbeitsgruppe der PSO -Forsknings - og Udviklingsprojektet 336-055 (PSO - Forschungs- und Entwicklungsprojekt 336-055)  
Energieeinsparungen durch Optimierung von Druckabwassersystemen



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	2
2	Was ist ein Pumpensystem? .....	3
3	Wozu wird die Energie gebraucht? .....	3
4	Pflücke die Früchte, die am niedrigsten hängen .....	4
5	Kontrollieren Sie den Zustand im Pumpensystem.....	4
5.1	Rückschlagventile .....	4
5.2	Kupplungsfuß.....	4
5.3	Pumpenrad .....	5
5.4	Ventile .....	6
5.5	Undichtigkeiten .....	6
5.6	Fremdwasser .....	6
6	Die Strom verbrauchenden Geräte .....	7
6.1	Sparen Sie bei der Wärme.....	7
6.2	Sparen Sie bei der Entlüftung .....	8
6.3	Sparen Sie beim Licht .....	8
6.4	Kompressorbetrieb.....	9
6.5	Vakuumpumpen.....	9
6.6	Hydraulikstation.....	9
7	Nutzen Sie Ihre Betriebsdaten .....	10
8	Pumpenbetrieb.....	11
8.1	Belastung .....	12
8.2	Gegendruck .....	12
8.3	Pumpen.....	14
8.4	Betriebsbedingungen .....	18
9	Frequenzregelung .....	21
9.1	Welche Pumpenstationen lohnt es sich zu regeln?.....	21
9.2	Preise für Frequenzumrichter.....	22
9.3	Preise für die Installation.....	23
9.4	Kann man durch Frequenzregelung immer Energie sparen?.....	23
9.5	Andere gute Gründe, eine Frequenzregelung von Pumpenstationen vorzunehmen.....	24
9.6	Welche Nachteile kann es beim Frequenzumrichterbetrieb geben? .....	26
10	Die Wahl des Frequenzumrichters .....	27
11	Anzahl an Frequenzumrichtern .....	27
12	Die Platzierung der Frequenzumrichter.....	28
13	Installation der Frequenzumrichter .....	29
13.1	Regelung der Frequenzumrichter .....	29
13.2	Elektrisches Rauschen (EMV) .....	31
13.3	Weitere Änderungen .....	32
14	Steuerung der Frequenzumrichter.....	32
14.1	Pumpenstart.....	32
14.2	Verweildauer .....	33
14.3	Referenzniveau.....	33
15	Referenzfrequenz.....	34
16	Entscheidungstabelle, Installation von Frequenzumrichtern .....	36
17	Checkliste für die Installation von Frequenzumrichtern .....	37
18	Checkliste über mögliche Energieeinsparungen .....	38



## 1 Einleitung

Dieses "Handbuch" wurde unter dem folgenden Titel als operationeller Teil des PSO - Forschungs- und Entwicklungsprojektes 336-055 geschrieben und herausgegeben: "Energieeinsparungen durch Optimierung von Druckabwassersystemen". Das Projekt wurde von einer Arbeitsgruppe, bestehend aus Århus Kommune, Danfoss, ITT Flygt und Carl Bro as, in Zusammenarbeit mit ca. 20 Gemeinden durchgeführt. Das Handbuch wendet sich in erster Linie an das Betriebspersonal, das für den täglichen Betrieb der kommunalen Abwasserpumpenstationen zuständig ist, kann aber auch mit Vorteil von anderen Fachgruppen angewandt werden, die sich mit der Planung, dem Betrieb und der Wartung von Abwasseranlagen beschäftigen.

Ziel des Handbuches ist das Einsparen von Energie, doch bei allen Vorschlägen des Handbuches zu Energieeinsparungen wurde gleichzeitig darauf geachtet, dass Energieeinsparmaßnahmen nicht zu einer Verringerung der Arbeits- und Betriebssicherheit führen.

Im Handbuch werden die verschiedenen Energie verbrauchenden Komponenten einer gewöhnlichen Abwasserpumpenstation beschrieben, und was getan werden kann, um den Energieverbrauch zu reduzieren. Als erstes werden die einzelnen Komponenten durchgenommen, die gewöhnlich in einer Pumpenstation installiert sind, welchen Einfluss sie auf den Energieverbrauch haben, und was getan werden kann um diesen zu verkleinern. Danach wird beschrieben, wie Energie durch Frequenzregelung der Pumpen eingespart werden kann, welche Einsparungen und Kosten es gibt und wie Frequenzumrichter am besten installiert und gesteuert werden können.

Es muss jedoch unterstrichen werden, dass im Handbuch nur generelle Betrachtungen beschrieben werden. Pumpenstationen sind verschieden und können nicht direkt verglichen werden. Es muss daher eine individuelle Beurteilung der Stationen vorgenommen werden.

Eine Energieeinsparung kann nur durch den Vergleich des historischen Energieverbrauchs nachgewiesen werden, also wie hoch ist der Energieverbrauch jetzt im Verhältnis zu früher. Dies ist bei neu errichteten Pumpenstationen natürlich nicht machbar. Man kann jedoch die verschiedenen Vorschläge und Überlegungen, die im Handbuch beschrieben werden, problemlos in die Planung neuer Pumpenstationen einbeziehen. Je früher diese Einsparmaßnahmen in den Bauprozess einfließen, um so billiger und energieeffektiver werden die Pumpenstationen.

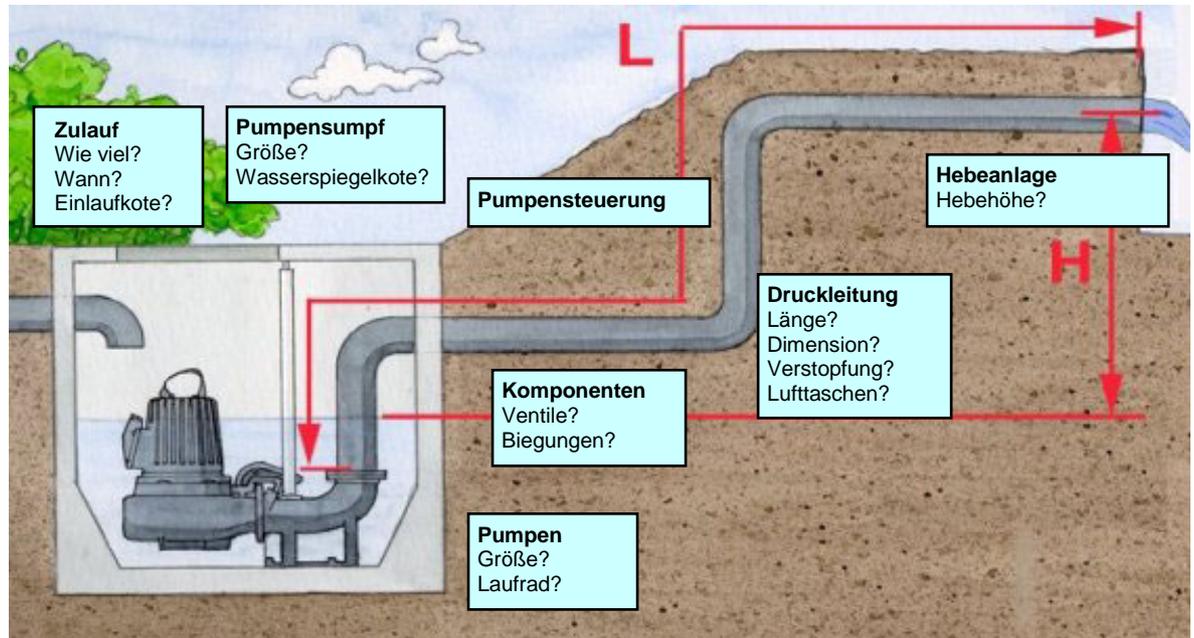
Der Energieverbrauch in Pumpenstationen in Dänemark basiert fast ausschließlich auf Elektrizität. Wir haben uns daher ausschließlich mit dem Stromverbrauch elektrisch angetriebener Pumpenstationen beschäftigt.

Am Ende des Handbuches befindet sich eine Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten eine Energieeinsparung zu erlangen. Wir hoffen, dass diese Übersicht kopiert und an das Schwarze Brett zur täglichen Inspiration gehängt wird. Wir hoffen auch, dass das Handbuch ausgedruckt und in den Aufenthaltsräumen ausliegen wird, damit die Kollegen bei Gelegenheit darin blättern können.



## 2 Was ist ein Pumpensystem?

In diesem Handbuch deckt der Begriff "Pumpensystem" nicht nur die Pumpenstation selbst, sondern auch Zulauf, Pumpensumpf und Druckleitung. All diese Teile des Systems spielen beim Energieverbrauch eine Rolle.



## 3 Wozu wird die Energie gebraucht?

Warum dreht sich der Stromzähler wie verrückt?

Eine Pumpenstation kann eine sehr komplizierte Zusammensetzung aus vielen verschiedenen Strom verbrauchenden Komponenten mit sehr unterschiedlichen Funktionen und unterschiedlichem Stromverbrauch sein. Die typischen Komponenten sind:

- Pumpen
- Wärme
- Lüftung
- Licht
- Entfeuchter
- Motorventile
- Vakuumpumpen
- Kompressoren
- Hydraulikstationen





## 4 Pflücke die Früchte, die am niedrigsten hängen

Es gibt keinen Grund zum Ernten der Früchte ganz nach oben in den Baum zu klettern, so lange man auf der Erde stehen und sie pflücken kann.

Übersetzt in Energieeinsparungen bedeutete das, dass Sie zuerst mit den Energieeinsparungen beginnen sollten, die vor Ihrer Nase liegen, die keine Investitionen benötigen, und die heute in die Wege geleitet werden können (oder das nächste Mal, wenn Sie bei der Pumpenstation sind)!

Wenn diese Energieeinsparungen in die Wege geleitet sind, können Sie mit den nächsten in der Reihe weitermachen.

## 5 Kontrollieren Sie den Zustand im Pumpensystem

Zuerst sollten Sie untersuchen, ob die Pumpenstation so läuft, wie Sie es erwarten. Laufen die alternierenden Pumpen gleich lange? Laufen sie länger als gewöhnlich? Haben sie mehrere Starts? Gibt es einen vernünftigen Zusammenhang zwischen der Betriebszeit und den Regen- und Tauwetterperioden. Funktionieren alle Komponenten im Pumpensystem, wie sie sollen?

Wenn das Pumpensystem nicht so läuft, wie es sollte, kann das oft zu einem höheren Energieverbrauch als notwendig führen.

### 5.1 Rückschlagventile

Wenn ein Rückschlagventil undicht ist, läuft das Wasser von der Druckleitung zurück durch die Pumpe in den Pumpensumpf. Die Pumpe verbraucht daher Energie, um das gleiche Wasser mehrmals zu pumpen. Ein Indikator für undichte Rückschlagventile kann sein, dass die Anzahl der Betriebsstunden der Pumpe steigt, oder dass es einen Unterschied der Betriebsstunden der Pumpen gibt (wenn sie alternieren). Manchmal können auch Stromschnellen in der Nähe der Saugrohre im Pumpensumpf beobachtet werden.

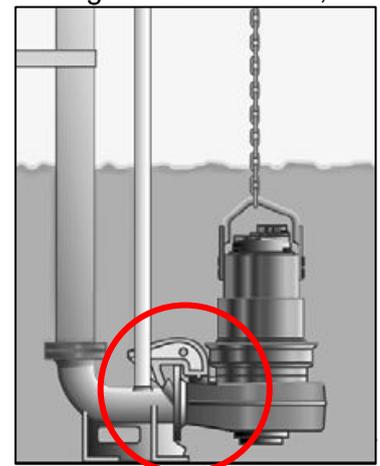
Wenn sich das Rückschlagventil nicht ganz öffnet, wenn die Pumpe läuft, steigt der Druck in der Druckleitung, und die Kapazität der Pumpe fällt. Die Pumpe benötigt daher mehr Energie, um die gleiche Menge Wasser zu pumpen. Es sind häufig die senkrecht montierten Klappenventile, die zur "Verstopfung" neigen, da Steine und Schmutz bei einem Pumpenstopp zu Boden sinken und sich oben auf die Ventilklappe legen, und dadurch verhindern, dass sie sich ganz öffnen kann. Rückschlagklappenventile sollten daher immer auf waagerechten Rohrstrecken montiert werden.

Die Kugel in Kugelrückschlagventilen kann mit der Zeit die Gummibeschichtung auf Grund von Abnutzung und Stößen einbüßen. Wenn die Gummibeschichtung erst einmal fehlt, wird der Ventilsitz schnell abgenutzt.

Es ist eine gute Idee, die Rückschlagventile regelmäßig zu kontrollieren, um zu sichern, dass das Dichtungsmaterial und der Sitz sauber und intakt sind.

### 5.2 Kupplungsfuß

Tauchpumpen sind auf einem Führungsrohr montiert, damit sie nach der Wartung leichter auf ihren Platz auf der Druckleitung gesenkt werden können.

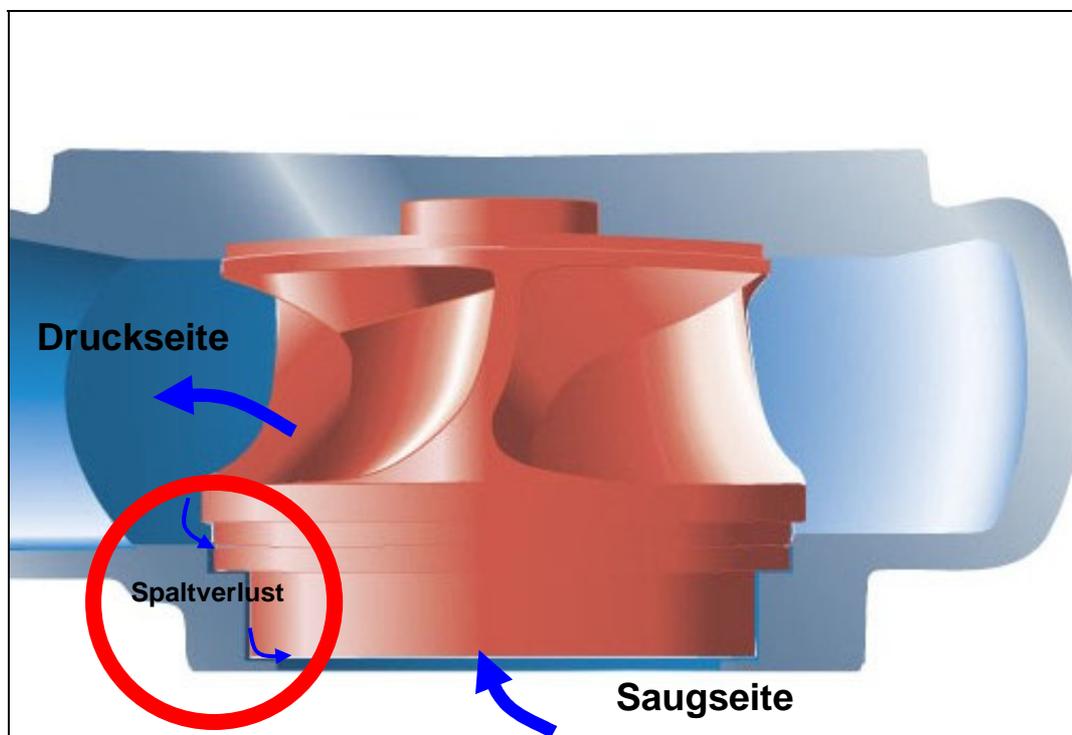




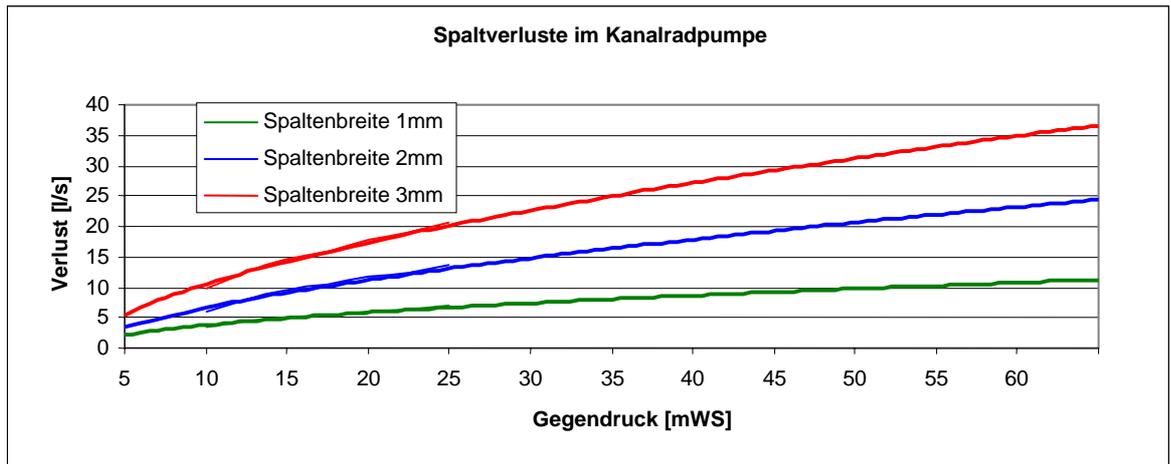
Ein "Haken" sorgt dafür, dass die Pumpe auf ihrem Platz bleibt. Dabei drückt das Eigengewicht der Pumpe ihren Flansch gegen den des Druckrohres. Bei jedem Pumpenstart "wippt" die Pumpe etwas, und Wasser und Partikel werden durch den Spalt gepresst. Dies verursacht eine Abnutzung der Flansche und somit Undichtigkeiten, die mit der Zeit größer werden. Bei einigen Pumpenfabrikaten ist eine Gummidichtung auf dem Flansch montiert. Dies ergibt zunächst eine bessere Dichtung, aber sie wird schneller abgenutzt. Je größer der Gegendruck in der Druckleitung ist, desto größer wird dieser Verlust.

### 5.3 *Pumpenrad*

In Kanalradpumpen wird das Laufrad in eine Ausfräsung im Boden des Pumpengehäuses montiert. Damit sich das Rad drehen kann, befindet sich ein kleiner Spalt zwischen dem Pumpenrad und dem Pumpengehäuse. In der Ausfräsung befindet sich ein Ausgleichsring, der ausgewechselt werden kann.



Auf Grund des Druckunterschiedes zwischen der Druck- und der Saugseite wird immer etwas Wasser durch den Spalt gepresst. Dies bezeichnet man als Spaltverlust. Wenn sich der Ausgleichsring nach und nach abnutzt, wird der Spalt größer und mehr Wasser wird hindurch gepresst. Der Spaltverlust steigt. Je größer der Gegendruck in der Druckleitung ist, desto mehr Wasser wird durch den Spalt gepresst. Wie groß die Bedeutung des Spaltverlustes ist, können Sie auf dem nachstehenden Diagramm ablesen.



Um den Spaltverlust so klein wie möglich zu halten, muss er laufend kontrolliert werden. Ist er größer geworden, als vom Pumpenhersteller beschrieben, muss dies justiert werden, oder der Ausgleichsring muss ausgewechselt werden.

## 5.4 Ventile

Gewöhnliche per Hand bediente Schieber können sich etwas "verrücken", wenn sie Vibrationen und Druckstößen ausgesetzt werden. Sie können sich daher im Laufe der Zeit langsam schließen. Man sollte sich daher angewöhnen zu kontrollieren, ob alle Ventile so stehen, wie sie sollen. Falls einzelne Ventile eine besondere Tendenz aufweisen die Einstellung "von allein" zu ändern, können sie mit einer Schnur oder einer Kette angebunden werden.

## 5.5 Undichtigkeiten

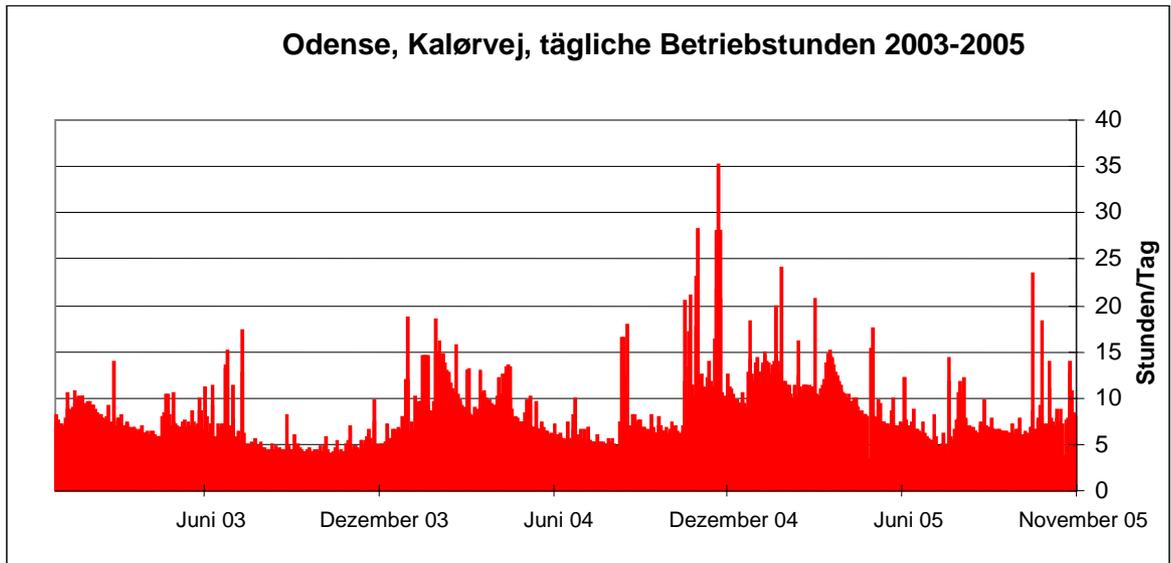
Für alle oben erwähnten Komponenten gilt, dass sie dicht sein müssen. Vor allem aus Rücksicht auf die Arbeitssicherheit, aber auch aus Rücksicht darauf, dass bei Pumpenstopp (im Drucksystem kann auf Grund von Druckstößen ein Vakuum entstehen) keine Luft mit in das Pumpen- und Leitungssystem hineingezogen wird. Welche Bedeutung Luft im Drucksystem hat wird später unter "Lufttaschen" beschrieben.

## 5.6 Fremdwasser

Je mehr Wasser die Pumpe bewegen muss, desto mehr Energie verbraucht sie. Undichtigkeiten im Leitungsnetz oberwasserseitig haben zur Folge, dass Fremdwasser einsickert und zur Pumpenstation geführt wird. Es gibt auch viele Beispiele, wo der Pumpensumpf selbst so undicht ist, das höherliegende Grundwasser einsickert und den Pumpenbetrieb belastet.

Wenn man, ausgehend von den Betriebsdaten des Überwachungssystemes, ein Diagramm darüber erstellt, wie viele Stunden pro Tag die Pumpen laufen, ist es manchmal möglich, die Schwankungen dieser Einsickerung zu erkennen.

Im unten stehenden Beispiel wurde aus den Daten einer Pumpenstation in Odense ein Diagramm hergestellt. Hier sieht man deutlich die jahreszeitliche Schwankung der täglichen Betriebstunden, die einer hohen Einsickerung (hoher Grundwasserstand) im Winter/Frühjahr und einer niedrigen Einsickerung im Spätsommer/Herbst entsprechen. Die vereinzelt Spitzen sind Regentage.



## 6 Die Strom verbrauchenden Geräte

Nachdem das Pumpensystem gründlich kontrolliert wurde, kommen jetzt die verschiedenen Geräte und Maschinen in der Pumpenstation, die Energie verbrauchen, an die Reihe. Es ist oft möglich, an die kleinen Geräte (die nur eine Phase anwenden, 230 Volt) für eine gewisse Zeit einen einfachen Energiemesser zu montieren. (Energiemesser sind in Supermärkten für etwa 200 kr. erhältlich) Man kann so einen schnellen Eindruck vom Energieverbrauch der verschiedenen Geräte gewinnen. Man sollte jedoch beachten, dass es im Verbrauch große jahreszeitliche Schwankungen geben kann.

### 6.1 Sparen Sie bei der Wärme

In den meisten Pumpenstationen sind Warmegeräte angebracht, in der Regel elektrische Heizpaneele. Der Stromverbrauch zur Beheizung kann sehr hoch sein. Es gibt Beispiele, wo bis zu 40-50% des Stroms, der in Pumpenstationen verbraucht wird, zur Beheizung angewandt wird.

Wie viel wird bei Ihnen verbraucht?

Es ist jedoch nicht immer nötig den Pumpenstationen Wärme zuzuführen. Die wichtigsten Gründe für eine Erwärmung der Pumpenstationen sind, Frost und Kondenswasser zu verhindern und warmes Wasser zur Verfügung zu haben, um sich nach der Wartung die Hände waschen zu können.

#### 6.1.1 Frostsicherung

Frost kommt normalerweise nur in oberirdischen Pumpenstationen vor. D.h. es gibt selten einen Grund, unterirdische Stationen zu sichern. Um die oberirdischen Stationen frostfrei zu halten, genügt es, wenn der Thermostat des Heizpaneels auf 4-5 Grad eingestellt ist. Ist der Thermostat höher eingestellt, ist das Geldverschwendung. Oft werden Pumpenstationen auf 15-18 Grad erwärmt. Es ist ja auch angenehm, eine Wartung solcher Stationen vorzunehmen, aber in der Regeln dauert diese Wartung ja nur 4-12 Stunden im Jahr, die angenehme Wärme ist also sehr teuer. Man spart ungefähr 5% pro Grad, um die die Temperatur gesenkt wird.

Wie ist die Temperatur in Ihren Pumpenstationen?



### **6.1.2 Kondenswasser**

Kondenswasser kommt vor, wenn der normale Feuchtigkeitsgehalt der Luft an kalten Flächen kondensiert, z.B. an einer Verrohrung aus Stahl (Abwasser hat eine Temperatur von 7-8 Grad), oder an den Wänden einer unterirdischen Station.

Entfeuchtung durch Beheizung ist eine sehr teure Lösung. Eine billigere und genauso gute Lösung ist das Aufstellen eines Entfeuchters, der nur einen Bruchteil des Stroms wie ein Heizgerät für die gleiche Funktion verbraucht. Man kann auch überlegen, ob Kondenswasser überhaupt ein Problem ist. Abgesehen von der Verteilertafel vertragen alle Komponenten in einer Pumpenstation Feuchtigkeit, wenn die Verteilertafel also in einem oberirdischen Schrank angebracht ist, sollte geprüft werden, ob überhaupt entfeuchtet werden muss.

Falls es große Probleme mit Kondenswasser gibt, könnte eine Lösung sein, den obersten Meter der Pumpenstation zu isolieren. Typischerweise kondensiert die Feuchtigkeit auf diesem Teil der Oberfläche.

### **6.1.3 Wassererhitzer**

In vielen Pumpenstationen gibt es auch Wassererhitzer, damit man sich nach der Wartung die Hände mit warmem Wasser waschen kann. Oft gibt es ein 10-50 Liter Warmwasserspeicher, erhitzt mit einem elektrischen Heizelement, das die Wassertemperatur bei 40-60 Grad hält. Auf diese Art wird viel Wasser das ganze Jahr über warm gehalten, um sich wenige Male die Hände waschen zu können (obwohl ein Teil des Wärmeverlustes der Station zugute kommt), und der Wärmeverlust des Behälters beträgt 400-800 kWh im Jahr. Wenn warmes Wasser nur benötigt wird, um sich die Hände zu waschen, wäre das Anbringen eines Durchlauferhitzers eine energieiegerechtere Lösung. Der Durchlauferhitzer verbraucht im Standby fast keinen Strom - nur wenn Wasser benötigt wird.

## **6.2 Sparen Sie bei der Entlüftung**

Wenn der Technikraum oder der Pumpenraum keine direkte Verbindung mit dem Pumpensumpf hat (oder anderen "Räumen" mit dem offenen Abwasserspiegel), dann ist es nicht sicher, dass die Notwendigkeit einer konstanten Entlüftung besteht. Wenn die Einschätzung dahin geht, dass kein Risiko dafür vorliegt, dass gesundheitsschädliche Dämpfe im Raum vorkommen können, reicht es, den Raum zu lüften, wenn darin gearbeitet wird. Dies muss jedoch in Ihrer Sicherheitsorganisation diskutiert werden, damit Sie sicher sind, dass die Bestimmungen des Arbeitsschutzgesetzes eingehalten werden.

Es kostet Energie, einen Lüfter zu betreiben (500-2000 kWh pro Jahr, wenn er ständig läuft), und es kostet Energie, die Luft zu erwärmen, die die ersetzt, die nach draußen geblasen wird.

Sie können verschiedene Steuerungen für den Lüfter installieren. Z.B ein Hygrostat, der den Lüfter einschaltet, wenn es zu feucht ist, oder ein Thermostat, der den Lüfter abschaltet, wenn es zu kalt ist. Der Lüfter kann auch an einen Lichtschalter gekoppelt werden, so dass er eingeschaltet wird, wenn das Licht angemacht wird.

## **6.3 Sparen Sie beim Licht**

Der Energieverbrauch zur Beleuchtung in Pumpenstationen ist sehr gering, wenn das Licht ausgeschaltet wird, wenn man die Station verlässt. Falls man häufig vergisst, das Licht auszumachen, können Bewegungsfühler in der Station installiert werden, die das Licht nach einer Weile automatisch ausmachen.



In vielen Stationen ist auch Licht im Pumpensumpf installiert, und der Schalter befindet sich im Technikraum/Pumpenraum. Es besteht daher das Risiko, dass das Licht nach Ende der Inspektion nicht ausgeschaltet wird. Um sicher zu gehen, dass das Licht ausgeschaltet wird, kann ein Timer am Schalter angebracht werden, der das Licht automatisch abschaltet, z.B. nach 15 Minuten.

## **6.4 Kompressorbetrieb**

Kompressoren produzieren Druckluft, die für verschiedene Funktionen angewandt wird, z.B.:

- Druckluftbetätigte (pneumatische) Ventile und Klappen
- Aufrechterhaltung von Luft / Wasserspiegel in Hydrophoren (Windkessel)
- Ejektorsysteme zur Evakuierung von Luft über die Pumpenräder.

Druckluft ist eine einfache, aber auch teure Art Kraft zu übertragen. Man sollte daher immer überlegen, ob es möglich ist, druckluftbetätigte Komponenten z.B. durch direkten motorischen Stellantrieb zu ersetzen.

Generel gilt für Druckluft, dass der Kompressordruck so niedrig wie möglich gehalten werden soll. Es gibt keinen Grund, die Luft auf 7 Bar zusammenzupressen, wenn es nur 4 Bar bedarf, um die Ventile zu betreiben. Man spart 7-8% an Energie für jedes Bar, um das man den Druck senkt.

Es ist wichtig, das Druckluftsystem dicht zu halten. Ein Loch in einer Druckluftleitung von 1 mm bedeutet einen zusätzlichen Stromverbrauch von 1500 - 5000 kWh pro Jahr. Je größer der Druck, desto teurer. Man sollte beachten, dass man die Undichtigkeiten nicht immer hören kann, da der Ton außerhalb unseres Hörvermögens liegt. Es gibt spezielle Messgeräte zum Auffinden dieser Leckagen.

Wenn man wissen möchte, wie groß der Anteil ist, der auf den Kompressorbetrieb zurückzuführen ist, kann man (an großen Kompressoren) bei den nächsten Wartungen den Stundenzähler ablesen, und die Zahl mit dem kW-Verbrauch multiplizieren, der auf dem Typenschild des Kompressors steht. Bei kleinen Anlagen (230 Volt) kann ein Energiemesser eingesetzt werden.

## **6.5 Vakuumpumpen**

Vakuumpumpen werden angewandt, um Luft über den Pumpenrädern zu entfernen (evakuieren), wenn sie über dem Wasserspiegel im Pumpensumpf plaziert sind.

Es ist wichtig, dass das Evakuierungssystem vollkommen dicht ist, damit keine Luft eindringt, und dass der Sensor, der den Unterdruck misst, nicht verstopft ist. In beiden Fällen würde die Vakuumpumpe nämlich länger laufen als notwendig.

## **6.6 Hydraulikstation**

Man benutzt Hydraulik, um die Ventile und Klappen zu öffnen und zu schließen. Genau wie Druckluft, ist dies eine teure Art Kraft zu übertragen. Es ist es daher überlegenswert, ob die Arbeit auf andere Art ausgeführt werden kann, z.B. mit einem motorischen Stellantrieb.



## 7 Nutzen Sie Ihre Betriebsdaten

Die meisten Pumpenstationen senden Alarme und Daten zurück an die zentrale Überwachungsanlage. D.h. Informationen über den Betrieb der Station und den momentanen Zustand.

Wie schon in Kapitel 5 "Kontrollieren Sie den Zustand im Pumpensystem" beschrieben, kann man durch den Vergleich mit früheren Daten Informationen über beginnende Unregelmäßigkeiten des Pumpenbetriebs erhalten.

Viele dieser Daten können auch dazu genutzt werden, eine Analyse davon zu erstellen, welche Energieeinsparungen erzielt werden können. Dabei handelt es sich vor allem um folgende Daten

- tägliche Betriebszeit
- Anzahl der Starts
- Stromverbrauch
- bewegte Wassermenge (Flow)
- Regenmenge
- gleichzeitiger Betrieb mehrerer Pumpen

die dazu genutzt werden können. Oft werden nur Daten über die tägliche Betriebszeit und die Anzahl der Starts registriert.

Um diese Betriebsdaten nutzen zu können, müssen sie zugänglich sein. Es genügt nicht, dass man nur die Daten des Tages oder des Monats einsehen kann. Um den vollen Nutzen zu haben, benötigt man die Daten eines längeren Zeitraums, damit man die Entwicklung und die Schwankung im Betrieb der Pumpenstation erkennen kann. Dies erfordert, dass die zentrale Überwachungsanlage im Stande ist diese Datenmengen zu speichern, und dass sie jederzeit abrufbar sind. Die Anlage muss daher so eingerichtet sein, dass sie

- Daten, z.B. Tagesdaten, abspeichert
- die Daten mindestens 3 Jahre speichert
- Sie selbst die Daten abrufen und bearbeiten können.

Die Daten können zur Erstellung von Schlüsselzahlen genutzt werden. Z.B. wie viele Betriebsstunden oder Starts die Pumpen normalerweise haben sollten. Sollte sich zeigen, dass die Pumpen die Schlüsselzahl überschreiten, oder dass eine Pumpe länger läuft als die andere, dann deutet dies auf die beginnende Entstehung eines Fehlers in der Pumpenstation hin. Ein Fehler, der ansonsten erst durch einen Alarm entdeckt werden würde.

Durch Nutzung von Daten zur Erstellung von Diagrammen über die letzten Jahre ist es möglich, sich ein Bild davon zu machen, wie groß die Einsickerung im Einzugsgebiet (siehe Kapitel 5.6 "Fremdwasser") ist, und dies zu nutzen, wenn man eine Sanierung der Kanalisation in Erwägung zieht.

Mittels der historischen Daten kann man auch sehen, wie viel "Überkapazität" die Pumpen haben. Diese Information ist nützlich, wenn man in Erwägung zieht, die Pumpen auszutauschen oder eine Frequenzregelung an den Pumpen vorzunehmen.

Informationen über den Stromverbrauch der Pumpenstation sind sehr wichtig in Verbindung mit Energieeinsparungen. Man muss wissen, wie viel man verbraucht, bevor man wissen kann, wie viel man gespart hat. Die Daten über den Stromverbrauch der Pumpenstation werden nicht immer zusammen mit den übrigen Betriebsdaten an die Überwachungsanlage zurückgesandt. Diese Informationen werden oft manuell in der



Station abgelesen, wenn sowieso eine Kontrolle durchgeführt wird, oder wenn die Stromrechnung vom Elektrizitätswerk kommt.

Durch den Vergleich des Stromverbrauchs mit der Anzahl der Betriebsstunden erhält man eine Schlüsselzahl für den Energieverbrauch pro Pumpenbetriebsstunde. Obwohl es andere "Stromverbraucher" in der Pumpenstation gibt (Heizung, Lüftung usw.), hat man doch die Möglichkeit zu sehen, wenn der Stromverbrauch steigt, ohne dass es dafür eine unmittelbare Erklärung gibt.

Je öfter man Informationen über den Stromverbrauch erhält, desto größer ist die Chance, eine solche Steigerung des Verbrauches zu entdecken.

## 8 Pumpenbetrieb

Es überrascht wohl niemanden, dass die größten Stromverbraucher in einer Pumpenstation die Pumpen sind. Die verschiedenen Bedingungen, die eine Bedeutung für den Stromverbrauch der Pumpen haben, werden im Folgenden beschrieben. Sie werden in der Reihenfolge genannt, wie einfach es ist, die Bedingungen zu ändern und so Energie zu sparen. Ganz oben stehen die Bedingungen, die sich nicht unmittelbar ändern lassen, und zuletzt die Bedingungen, die heute geändert werden können (Die "Früchte, die am niedrigsten hängen").

- Belastung
  - Wassermenge
  
- Gegendruck
  - Geodätische Förderhöhe (H<sub>geo</sub>)
  - Leitungslänge und -dimension
  - Komponenten- und Einzelverlust
  
- Pumpen
  - Anpassung der Kapazität der Pumpe
  - Systemwirkungsgrad
  - Laufrad
  
- Betriebsbedingungen
  - Rauheit der Leitungen und Ablagerungen
  - Lufttaschen
  - Größe des Pumpensumpfes
  - Anzahl der Starts

### Spezifischer Energieverbrauch

Wenn wir über den Energieverbrauch verschiedener Pumpen sprechen, dann, um herauszufinden, "was wir für's Geld bekommen". Dazu ist es notwendig den Begriff "**spezifischer Energieverbrauch**" zu verwenden, kurz  $E_{\text{spez}}$ . Er ist ein Ausdruck dafür, wie viele Kilowattstunden benötigt werden, um einen Kubikmeter Wasser, [kWh/m<sup>3</sup>], im jetzigen Pumpensystem zu bewegen. Dieselbe Pumpe hat einen unterschiedlichen spezifischen Energieverbrauch, je nachdem, wie hoch, weit und schnell sie das Wasser bewegen soll.



## 8.1 Belastung

Die Belastung der Pumpenstation ist ein Ausdruck dafür, wie viel Wasser wann durch die Station läuft. Je mehr Wasser zuläuft, desto mehr Energie muss aufgewendet werden, um es weiter zu transportieren. Die Wassermengen können nur durch Entfernen des Fremdwassers oder durch Separation des Einzugsgebiets geändert werden.

## 8.2 Gegendruck

Der Gegendruck, den die Pumpen überwinden müssen, hat großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Der Gegendruck ergibt sich daraus, wie hoch das Wasser gepumpt werden muss (die geodätische Förderhöhe oder der geodätische Gegendruck,  $H_{geo}$ ), wie weit es bewegt werden muss, durch welche Rohrabmessungen, Ventile und Biegungen es gepumpt werden muss und mit welcher Geschwindigkeit es gepumpt werden muss.

Wie hoch und weit das Wasser gepumpt werden muss, daran lässt sich unmittelbar nichts ändern. Dies lässt sich nur bei der Planung einer neuen Pumpenstation machen, (oder beim Umbau/Austausch der Druckleitung), wo man Einfluss auf die Wahl der Trasse der Druckleitung hat. Steht eine Sanierung der Station unmittelbar bevor, sollte die Gestaltung von Rohrführung, Verteiler und die Wahl der Ventile so gewählt werden, dass der Gegendruck so gering wie möglich ist.

Ein Teil des gesamten Gegendrucks ( $H_{tot}$ ) stammt aus der "Reibung", die entsteht, wenn das Wasser durch einen Verteiler und eine Druckleitung gepresst werden muss. Dies nennt man dynamischen Gegendruck,  $H_{dyn}$ . Je schneller das Wasser hindurchgepresst werden soll, desto größer ist die "Reibung" und damit der Energieverbrauch. Das entspricht dem Beispiel, dass ein Auto mehr Benzin pro gefahrenem Kilometer verbraucht, wenn es 130 km/h fährt, als wenn es 80 km/h fährt. Es kommt zwar schneller voran, aber es kostet auch einiges mehr pro Kilometer.

$H_{geo}$	Der geodätische Gegendruck	Wie hoch das Wasser gepumpt werden soll
$H_{dyn}$	Der dynamische Gegendruck	Wie groß die "Reibung" im Rohrsystem ist
$H_{tot}$	Der gesamte Gegendruck	$H_{geo} + H_{dyn}$

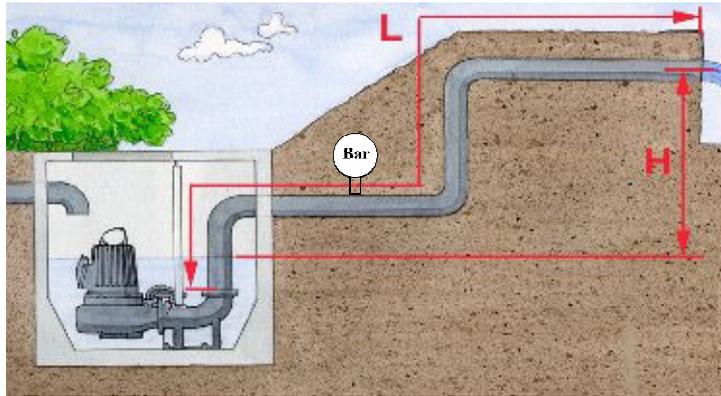
### Messung des Gegendrucks

Manometer auf Druckleitung nach Rückschlagventil (Abfluss) montieren und Druck nach Stillstand der Pumpen ablesen. Der abgelesene Wert ist der geodätische Gegendruck,  $H_{geo}$ . Das Manometer zeigt meist den Druck in der Einheit "Bar" oder "mWS" (Meter Wassersäule). 1 Bar entspricht 10 mWS.

Manometer wieder ablesen, wenn Pumpe 1 läuft. Der abgelesene Druck entspricht dem totalen Gegendruck in der Druckleitung,  $H_{tot}$ .

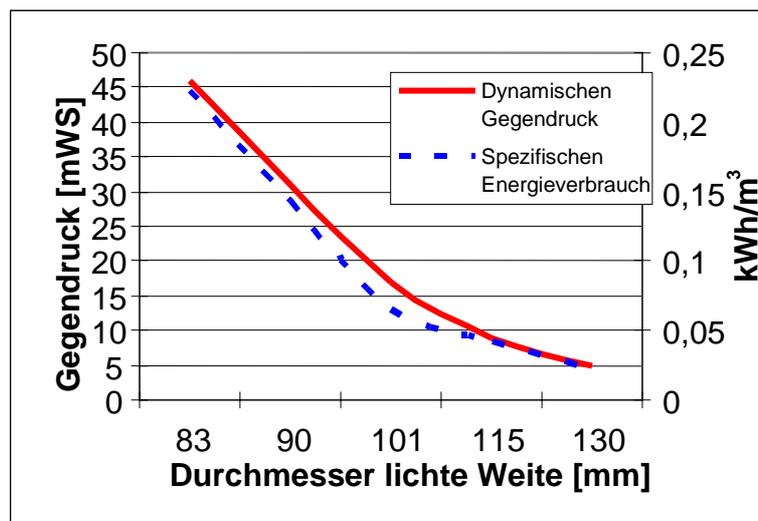
Berechnen Sie  $H_{dyn}$  indem Sie  $H_{geo}$  von  $H_{tot}$  abziehen.

Denken Sie daran, den Höhenunterschied zu den beiden abgelesenen Werten zu addieren (sowohl  $H_{geo}$  als auch  $H_{tot}$ ), falls das Manometer höher als der Wasserspiegel im



Der Durchmesser der Druckleitung hat großen Einfluss auf die "Reibung". Je kleiner die Rohre sind, durch die man eine bestimmte Menge Wasser in einer bestimmten Zeit pressen will, desto größer wird die Reibung und damit der Gegendruck und der Energieverbrauch pro  $m^3$  Wasser (spezifischer Energieverbrauch).

Das Diagramm unten zeigt den dynamischen Gegendruck und den spezifischen Energieverbrauch, wenn 10 l/sek. durch eine 1000 Meter lange Druckleitung unterschiedlicher Dimension gepresst wird.



Unmittelbar sieht es so aus, als ob es darum geht einen großen Rohrdurchmesser zu haben, bei dem der Gegendruck und der spezifische Energieverbrauch niedrig sind. Aber, da Abwasser sehr viel Material enthält, dass schwerer als Wasser ist, wird eine gewisse Wassergeschwindigkeit benötigt, damit dieses Material mitgeführt wird und sich nicht in der Druckleitung ablagert. Je kleiner der Durchmesser, desto höher ist die Geschwindigkeit.

Es entspricht guter Dimensionierungspraxis, eine Leitungsabmessung zu wählen, die eine Wassergeschwindigkeit von 0,8-1,0 Meter pro Sekunde ergibt. Die meisten Druckleitungen sind so auslegt.

Die Erfahrungen aus vielen Pumpensystemen zeigen jedoch, dass eine Steigerung der Sedimentation nicht stattfindet, wenn mit Geschwindigkeiten von 0,3 m/s gearbeitet wird, WENN die Druckleitung ab und zu mit einer Wassergeschwindigkeit von 1 m/s "durchgespült" wird. Wie häufig "gespült" werden muss, ist eine Frage der Erfahrung und



abhängig von der Zusammensetzung des Abwassers, aber als Minimum gilt einmal täglich.

## Messung des spezifischen Energieverbrauchs

Zuerst gilt es herauszufinden, wie viel Wasser die Pumpe bewegt [m<sup>3</sup>/Stunde]. Dies geht am einfachsten durch Anwendung eines Flowmessers. Eine andere Methode besteht darin, zu messen, wie schnell die Pumpe das Wasser aus dem Pumpensumpf pumpt (hier muss auch der Zulauf und die Größe des Pumpensumpfes berechnet werden). Gleichzeitig wird der Stromverbrauch der Pumpe gemessen. Die Angaben des Herstellers bezüglich der Pumpenkapazität und der Leistungsaufnahme können nicht angewandt werden, da dies nicht präzise genug ist. Wenn die Messungen z.B. folgendes anzeigen:

Flow:	40 m <sup>3</sup> /h
Stromverbrauch:	10 kW (oder 10 kWh pro Betriebsstunde)

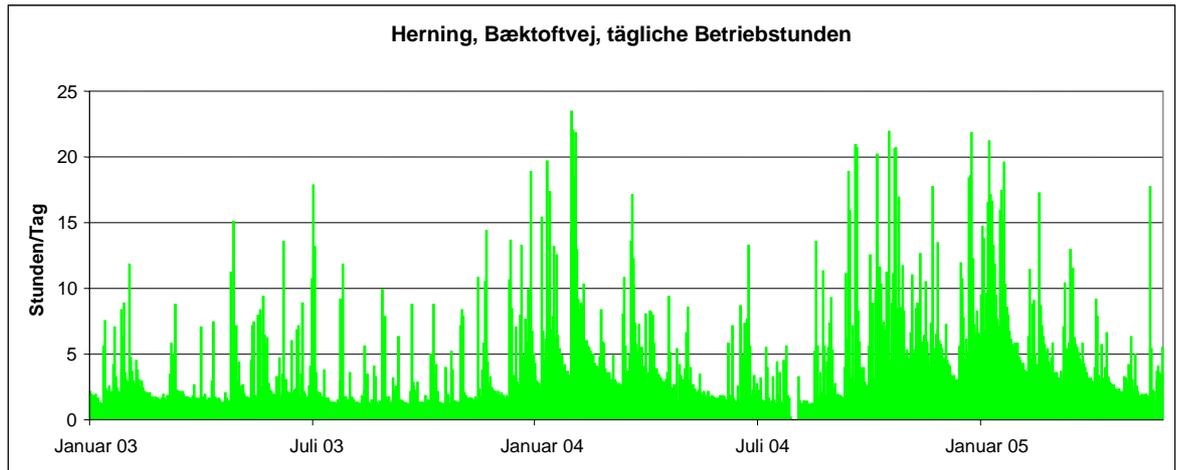
Dann ist der spezifische Energieverbrauch = Stromverbrauch/Flow oder  $10/40 = 0,250$

### 8.3 Pumpen

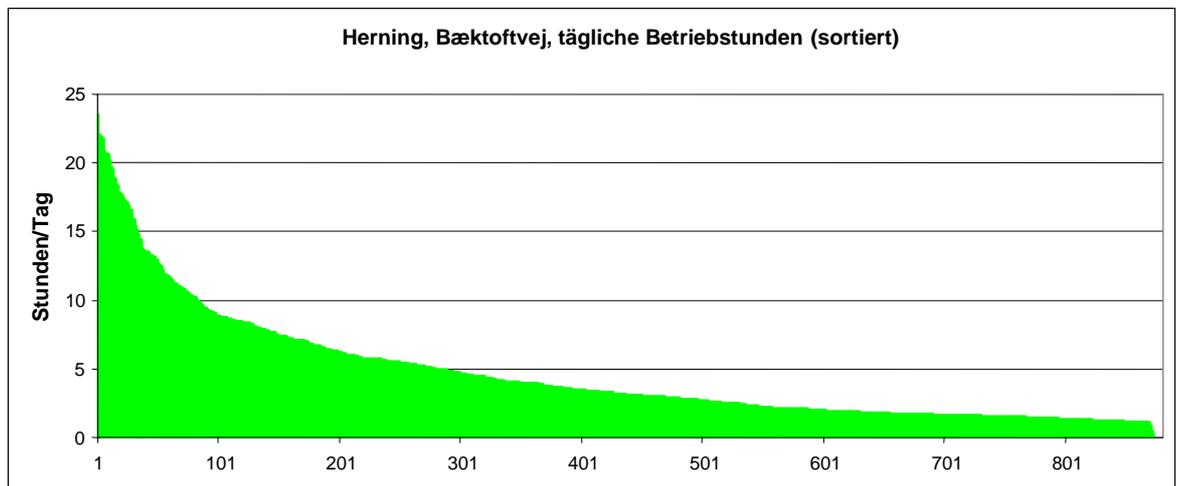
Die Kapazität der Pumpen, die in den Pumpenstationen installiert sind, wurde in den meisten Fällen gewählt, als die Pumpenstation geplant wurde. Sie wurden ausgehend von dem Zulauf dimensioniert, den man damals an der Station erwartete. Oft ist es nicht immer so, dass der Zulauf mit der gewählten Pumpengröße übereinstimmt. Vielleicht ist das Einsickern von Fremdwasser oder der Befestigungsgrad im Einzugsgebiet größer als vorausgesetzt, oder eine geplante Trennung ist nicht erfolgt und hat daher nicht die geplanten Wassermengen entfernt. Es kann sein, dass geplante Parzellenteilungen verschoben wurden, oder große einzelne Einleiter (z.B. Industriebetriebe) geschlossen wurden. Alles Umstände, die die Zulaufmengen beeinflusst haben, so dass die installierten Pumpen nicht mehr optimal laufen.

Wenn mehr Wasser zur Station läuft, als die Kapazität der Pumpen zu entfernen vermag, wird dies sicher nach und nach entdeckt. Dann entsteht ein Rückstau im Pumpensumpf und im Leitungssystem und vielleicht ein Überlauf aus der Pumpenstation. Dies geschieht verhältnismäßig selten und typisch nur bei kräftigen Regengüssen. In den meisten Fällen sind die Pumpen viel größer als es für den täglichen Bedarf nötig ist.

Das folgende Diagramm zeigt, wie viele Stunden am Tag im Laufe eines Zeitraums von 2½ Jahren die Pumpen in einer Pumpenstation gelaufen sind. Die Daten, die angewendet wurden, um das Diagramm zu erstellen, stammen aus dem Überwachungssystem. Die Station nimmt Wasser von einem mischkanalisierten Einzugsgebiet entgegen, und man kann deutlich die einzelnen Tage und Perioden erkennen, in denen es viel geregnet hat. Zu diesen Zeitpunkten laufen die Pumpen mehrere Stunden am Tag. Es ist auch eine deutliche jahreszeitliche Schwankung zu erkennen, die eventuell auf Einsickerung zurück zu führen ist.



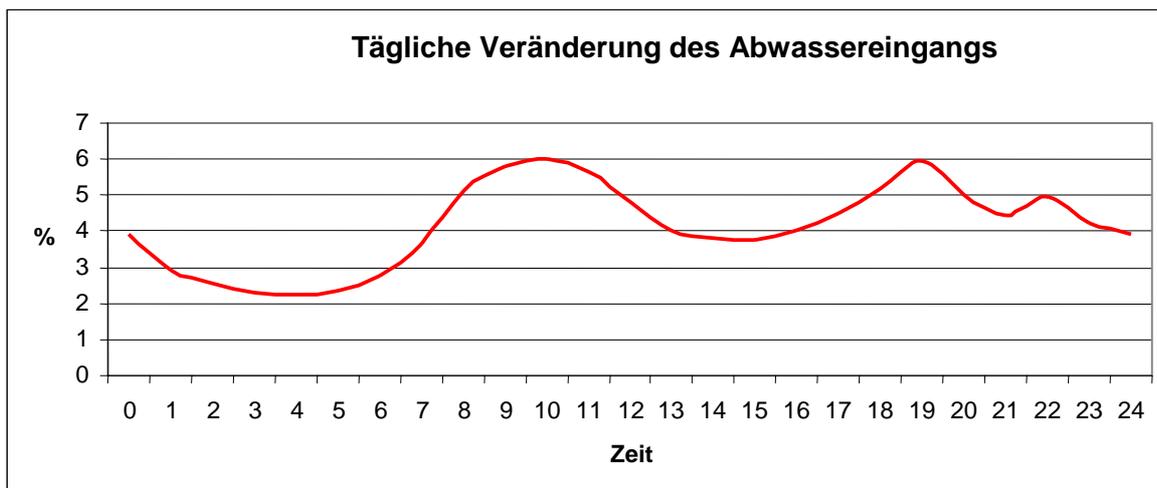
Sortiert man diese Daten in einer gewöhnlichen Kalkulationstabelle und erstellt ein neues Diagramm, in dem die Tage mit den meisten Pumpenstunden ganz links stehen, dann sieht das so aus:



Man kann deutlich sehen, an wie vielen Tagen im Jahr die volle Kapazität benötigt wird, nämlich an den Tagen, an denen die Pumpenstation 24 Stunden in Betrieb ist. In mehr als 9 von 10 Tagen wird weniger als die Hälfte der Pumpenkapazität benötigt. Also könnte die Pumpenkapazität an diesen Tagen halbiert werden.

Doch die volle Pumpenkapazität wird immer noch an Tagen mit großem Abfluss benötigt. Durch Änderung der Kapazität der Pumpe ist es möglich, die Menge an Wasser, das zur Pumpenstation läuft, anzugleichen.

Obwohl diese Pumpenstation kein Regenwasser von einem mischkanalisiertem Einzugsgebiet zugeführt bekommt, gibt es meist trotzdem Schwankungen im Zulauf. Das liegt daran, dass die angeschlossenen Haushalte zu verschiedenen Zeitpunkten des Tages Wasser verbrauchen. Die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt den typischen Tagesverlauf für eine Pumpenstation. Auch hier gibt es wenige Perioden, in denen die volle Kapazität der Pumpe benötigt wird. Wenn die Pumpenstationen Wasser von einem weitläufigen Einzugsgebiet oder von mehreren anderen Pumpenstationen entgegen nimmt, werden die anderen Schwankungen "flacher".



Es ist also wichtig, dass die Pumpen, die in der Pumpenstation stehen, die richtige Größe haben. D.h., dass sie das Wasser entfernen können, das zuläuft, auch in Zeiten der Spitzenbelastung. Wenn die Pumpen zu groß sind, haben sie viele Starts und laufen nur kurze Zeit. Dies nutzt die Pumpen ab und verbraucht viel Energie (siehe Kapitel "Verringern Sie die Anzahl der Starts"). Durch die Regelung der Pumpengeschwindigkeit kann die Geschwindigkeit des Wassers, und damit der dynamische Gegendruck ( $H_{dyn}$ ) gesenkt und Energie gespart werden.

### 8.3.1 Wie wird die Kapazität angeglichen

Die Kapazität einer Pumpe kann auf verschiedene Weise geändert werden, z.B. Drosselung, Wechsel der Pumpenradgröße oder Änderung der Drehzahl.

In der Praxis gibt es 3 Arten, die Drehzahl eines Motors zu regeln:

- Polumschaltbarer Motor
- Getriebe
- Frequenzumrichter

Bevor der Frequenzumrichter entwickelt wurde, hatte man nicht viele Möglichkeiten die Drehzahl zu ändern, während der Motor lief. Wenn man die Geschwindigkeit wechseln wollte, musste man einen polumschaltbaren Motor benutzen, wo man nur zwischen wenigen Geschwindigkeitsstufen wechseln konnte, oder man musste eine Schaltgetriebe benutzen. Mit Frequenzumrichtern bekam man die Möglichkeit, die Drehzahl des Motors stufenlos zu ändern. Im Laufe der letzten Jahrzehnte sind die Preise für Leistungselektronik so sehr gefallen, dass der Frequenzumrichter selbst in kleineren Pumpeninstallationen zur Geschwindigkeitsregelung benutzt werden kann.

In Kapitel 9 "Frequenzregelung" können Sie noch mehr über Frequenzumrichter lesen.

### 8.3.2 Wirkungsgrad

Wenn man sich vorstellt, dass all die Elektrizität, die durch das Versorgungskabel geliefert wird, dazu verwendet wird, Wasser durch die Druckleitung zu transportieren, dann wäre der Wirkungsgrad der Pumpenstation 100%. Leider ist dies unmöglich. Es wird immer Verluste in Motoren, Pumpen, Frequenzumrichtern oder im Riemenantrieb geben. Typische Wirkungsgrade sind:

- Motoren ca. 90-95 %
- Pumpen ca. 45-70%



- Riemenantrieb ca. 95%
- Frequenzumrichter ca. 95-98%

Diese Wirkungsgrade müssen miteinander multipliziert werden, um den gesamten Wirkungsgrad der Pumpenstation zu finden. Typisch liegt der Wirkungsgrad einer Pumpenstation bei 35-60%. Die Energie, die verloren geht, wird in Wärme umgewandelt.

Der theoretische spezifische Energieverbrauch, bei dem kein Verlust auftritt und der Wirkungsgrad 100% ist, ist  $0,0027 \text{ kWh/m}^3$  pro Meter Wassersäule [mWS] gesamter Gegendruck.

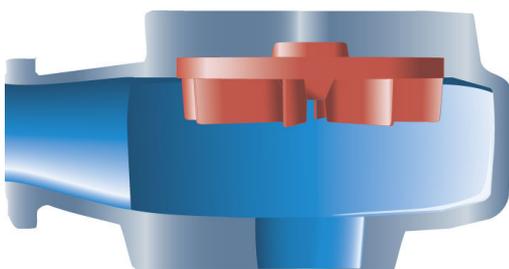
### Finden Sie den Wirkungsgrad Ihrer Pumpenstationen

Messen Sie zuerst den gesamten Gegendruck,  $H_{\text{tot}}$  (siehe Kasten "Messung des Gegendrucks"). Wenn Sie den errechneten gesamten Gegendruck mit  $0,0027$  multiplizieren, ergibt dies den theoretischen spezifischen Energieverbrauch der Pumpenstation, also wie viele kWh benötigt werden, um  $1 \text{ m}^3$  Wasser vom Pumpensumpf zur Hebeanlage zu bewegen, wenn kein Verlust entstünde. Dies muss dann mit dem faktischem spezifischem Energieverbrauch verglichen werden.

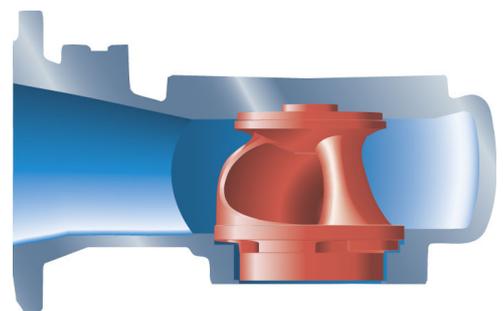
### 8.3.3 Die Wahl des Laufrades

Es gilt also Komponenten mit einem so geringen Verlust wie möglich zu verwenden, um die Energie bestmöglich zu nutzen. Z.B. gibt es bei Pumpen mit einem Freistromrad einen Verlust von etwa 55 %, während Pumpen mit einem Kanalrad "nur" einen Verlust von 30 % aufweisen. Es ist in hohem Maß eine Frage der Ansicht, welches Laufrad gewählt wird. Einige Menschen haben die Erfahrungen gemacht, dass ein Kanalrad schneller verstopft, während andere dies nicht erleben. Darüber hinaus haben Bedingungen wie Gegendruck, Preis, Kapazität und die Zusammensetzung des Abwassers einen großen Einfluss auf die Wahl des Laufrades. Sie sollten immer überlegen, welche Gesamtkosten mit so einem Austausch verbunden sind. Nicht nur bezogen auf die Investition und die Energieeinsparung, sondern auch im Hinblick auf eventuelle Kosten für die Wartung usw.

An vielen Pumpen ist es möglich, das Laufrad auszutauschen, ohne das Pumpengehäuse auszutauschen. Wenn Sie die Gelegenheit haben, können Sie ein Freistromrad an einer Pumpen in der Pumpenstation austauschen, und dann sehen, ob öfter Verstopfungen entstehen.



Freistromrad (Vortexrad)



Kanalrad



### 8.3.4 Beschichtung des Laufrades

Ein Teil des Energieverlustes entsteht auf Grund der Reibung des Wasser gegen Pumpengehäuse und Pumpenrad. Man kann das Pumpengehäuse und das Pumpenrad heutzutage beschichten, d.h. die Oberflächen, die Kontakt mit dem Wasser haben, mit einem Kunststoffmaterial überziehen. Hierdurch wird die Reibung und damit der Energieverlust gesenkt. Die Methode eignet sich in erster Linie gut für große Pumpen, bei denen es sehr teuer ist, das Pumpenrad auszutauschen.

## 8.4 Betriebsbedingungen

### 8.4.1 Halten Sie die Druckleitungen sauber

Abwasser enthält viele Partikel (z.B. Sand und Kieselsteine), die sich am Boden der Druckleitung ablagern können. Es enthält auch große Menge organischen Materials, die verschiedenen Mikroorganismen als Nahrung dienen. Mikroorganismen ziehen einfach in die Druckleitung ein, wo sie sich an den Rohrwänden ansiedeln. Wir kennen dies als Biofilm. Sowohl abgelagerte Partikel am Boden der Leitung als auch der Biofilm tragen dazu bei, die "Reibung" in der Druckleitung zu erhöhen. Was wiederum bedeutet, dass der dynamische Gegendruck,  $H_{dyn}$  und der Energieverbrauch ansteigen.

Wie viel "Reibung" der Belag erzeugt, kann man aus unten stehendem Schema ablesen.

Rauheit	0,1 mm (neue Rohre)	0,3 mm	1 mm	3 mm
Widerstand	5,8 mWS	7 mWS	9,5 mWS	13,7 mWS

Ablagerungen und Beläge verringern auch die Querschnittfläche des Rohres, so dass das Wasser mit höherer Geschwindigkeit durch die Leitung gepresst wird. Bei ausreichend hoher Wassergeschwindigkeit in der Leitung werden Ablagerungen und Beläge losgerissen und mit dem Wasser in der Druckleitung weiter mitgeführt.



Es entsteht also ein Gleichgewicht, was bedeutet, dass das Wasser so bewegt wird, wie es soll, auch wenn dies mehr Energie verbraucht als notwendig. So sieht der Alltag in den meisten Druckleitungen im ganzen Land aus, aber so muss es nicht sein.

In vielen Pumpenstationen ist es möglich, "Molche" durch die Druckleitung zu schießen. Entweder von den Absendestationen oder durch das Demontieren von Ventilen. Reinigungs-Molche werden mit Hilfe des Pumpendruckes durch die Druckleitung geschossen und in der Hebeanlage wieder eingesammelt. Es ist wichtig, dass der Reinigungs-Molch nicht weiter in eine etwaige Freispiegelleitung gelangt, die dann blockiert werden würde.



Reinigungs-Molche gibt es in vielen Größen, Formen und Härten. Erkundigen Sie Sich beim Lieferanten, welcher Typ sich am besten für die jeweilige Station eignet.

Es passiert selten, dass ein Reinigungs-Molch in der Druckleitung stecken bleibt. Der Pumpendruck drückt den Molch nach kurzer Zeit weiter durch die Druckleitung. Es ist jedoch möglich, einen Sender im Molch zu installieren, um ihn oben vom Gelände aus aufzuspüren.

#### **8.4.2 Vermeiden Sie Lufttaschen in der Druckleitung**

Es ist teuer, Luft zu pumpen. Lufttaschen in der Druckleitung sollten daher vermieden werden.

Luft in der Druckleitung kann dadurch entstehen, dass:

- Die Pumpen Luft mit ansaugen, wenn der Pegel des Pumpensumpfes durch das Pumpen zu weit fällt.
- Die Zulaufverhältnisse im Pumpensumpf so sind, dass Luft in das Wasser "geschlagen" wird
- Luft durch undichte Verbindungsstellen in der Druckleitung bei Pumpenstopp eingesaugt wird (Vakuum bei Druckstößen)
- Abwasser in der Druckleitung Gase abgibt

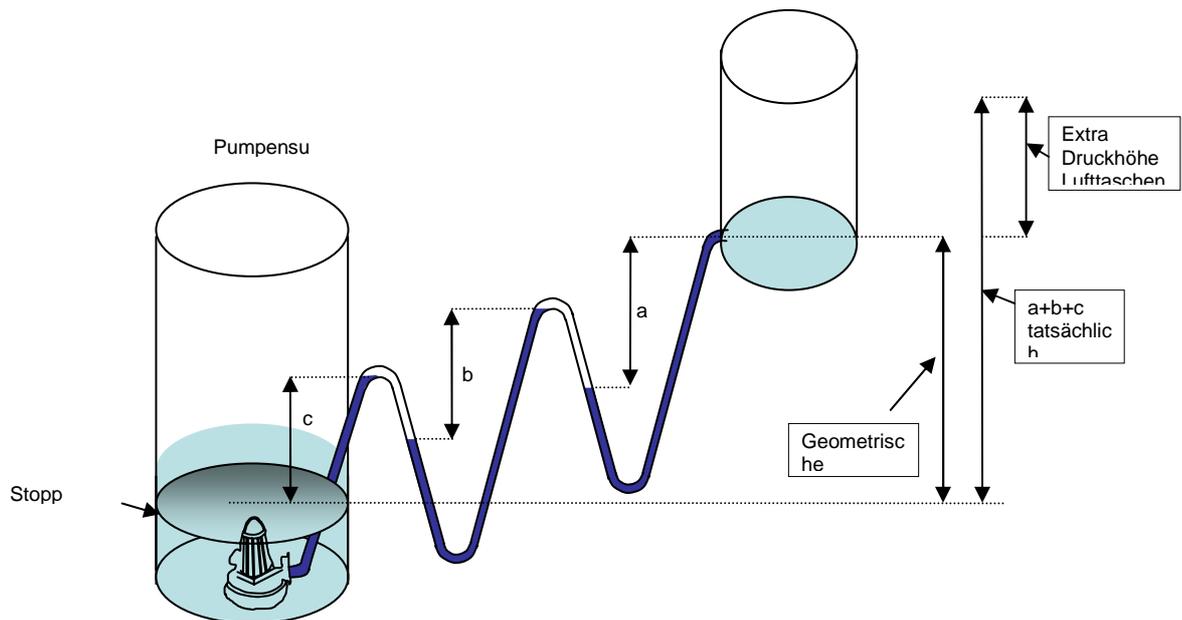
Die vielen Lufbläschen sammeln sich in den höhergelegenen Punkten der Druckleitung an und können schwer weitergepumpt werden. Es ist daher wichtig, dass die Druckleitung mit so wenig höher gelegenen Punkten wie möglich angelegt ist, und dass die Möglichkeit besteht, die Druckleitung über Ventile (manuelle oder automatische) in den örtlich höher gelegenen Punkten zu entlüften.

Automatische Entlüfter setzen sich oft fest. Wenn automatische Entlüfter in den höher gelegenen Punkten montiert sind, dann müssen diese regelmäßig kontrolliert werden. Es lohnt sich, diese wiederkehrende Arbeitsaufgabe in den Betriebskalender einzutragen.

Wenn die höher gelegenen Punkte nicht entlüftet werden können, kann ein Reinigungs-Molch das Problem vorübergehend lösen.

Die Zeichnung oben zeigt, warum es zusätzlich an Energie kostet, Lufttaschen zu bewegen. Anstatt das Wasser nur vom Pumpensumpf zur Hebeanlage zu pumpen, muss die Pumpe das Wasser über jede einzelne Lufttasche hinweg bewegen. Das bedeutet, dass die Förderhöhe, die die Pumpe überwinden muss, viel größer ist, als wenn es keine Lufttaschen in der Leitung gäbe.

Die Lufttaschen - und somit der Gegendruck - können so groß werden, dass die Pumpen nicht genug Kapazität haben, um das Wasser überhaupt zu bewegen.



### 8.4.3 Verringern Sie die Anzahl der Starts

Es kostet Energie:

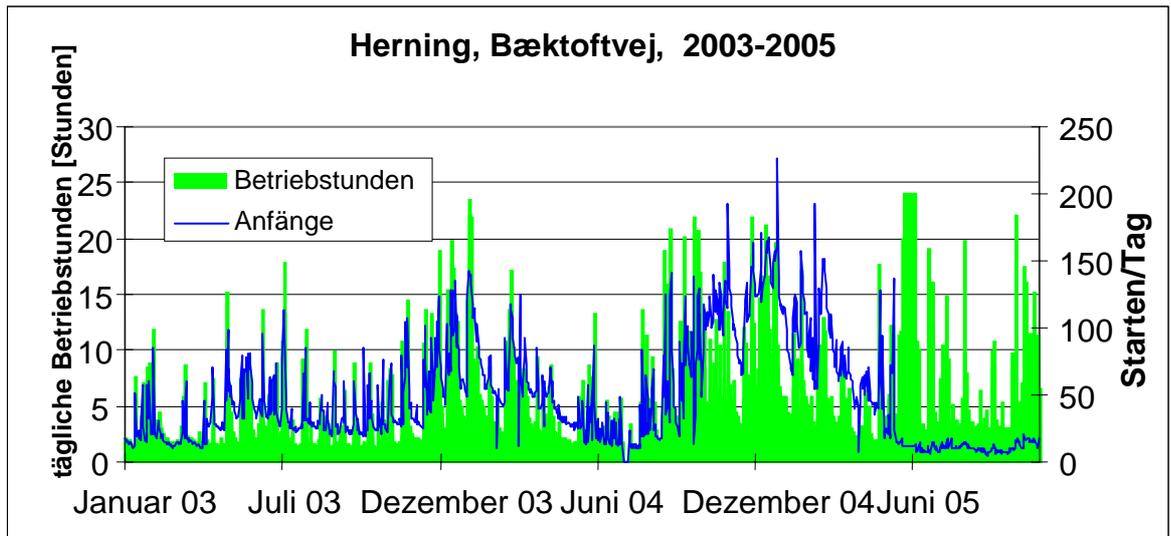
- Pumpen zu starten
- Wasser zu beschleunigen
- Druck aufzubauen

In einer 1000 Meter langen Druckleitung mit einem Innendurchmesser von 200 mm befinden sich mehr als 30 Tonnen Wasser, die beschleunigt werden müssen. Das kostet viel Energie, und nur kein kleiner Teil davon kann dadurch wiedergewonnen werden, dass das Wasser seinen "Betrieb" forsetzt, wenn die Pumpen abgeschaltet werden. Der größte Teil geht als Druckstoß verloren, wenn die Pumpen abgeschaltet werden.

Normalerweise beträgt der Energieverbrauch für Starts 5-10% des gesamten Energieverbrauchs, aber es gibt Beispiele dafür, dass bis zu 40% der Energie für Starts verwendet wird. Dabei geht es hauptsächlich um Pumpenstationen mit großen Pumpen und einem kleinen Pumpensumpf, die viel Energie für Starts verbrauchen.

Diese Energieverschwendung ist die gleiche, egal, ob die Pumpe kürzere oder längere Zeit läuft. Durch Regelung der Kapazität der Pumpen, so dass die Kapazität besser dem Zulauf an Wasser entspricht, werden längere Betriebszeiten, weniger Starts und ein geringerer Energieverbrauch erzielt.

Die Abbildung unten zeigt die Anzahl der Betriebsstunden und Starts pro Tag in einer Pumpenstation. Diese Pumpenstation ging im Juni 2005 zum Frequenzumrichterbetrieb über. Beachten Sie die konstant niedrige Anzahl der Starts im 2. Halbjahr 2005, verglichen mit den beiden vorhergegangenen Jahren.



Abgesehen davon, dass es mehr an Energie kostet, eine Pumpe zu starten, belastet der Start das Rohrsystem auch mit Druckstößen und das elektrische System mit hohen Strömen. Es gibt also mehrere gute Gründe, die Anzahl der Starts niedrig zu halten.

## 9 Frequenzregelung

In Kapitel 8, in dem es um "Pumpen" geht, wurde beschrieben, wie man Energie einsparen kann, indem man die Kapazität der Pumpen geregelt, und wie dies mit einem Frequenzumrichter geht. Im restlichen Teil des Handbuchs werden viele der Fragen beantwortet, die entstehen, wenn entschieden werden soll, ob in Frequenzumrichter investiert werden soll.

### 9.1 Welche Pumpenstationen lohnt es sich zu regeln?

Es kostet Geld, Frequenzumrichter zu installieren, und obwohl der Energieverbrauch um einiges gesenkt werden kann, muss die Investition in einem vernünftigen Verhältnis zur Einsparung stehen. Die Pumpenstation muss daher einen gewissen Energieverbrauch aufzeigen, bevor es sich lohnt, in einen Frequenzumrichter zu investieren. Wenn durch die Frequenzregelung einer Pumpenstation mit einem jährlichen Energieverbrauch von 3000 kWh (2000 Kr.) 40% an Energie eingespart werden können, entspricht das einer Ersparnis von 800 Kr. Dies steht kaum im Verhältnis zur Investition.

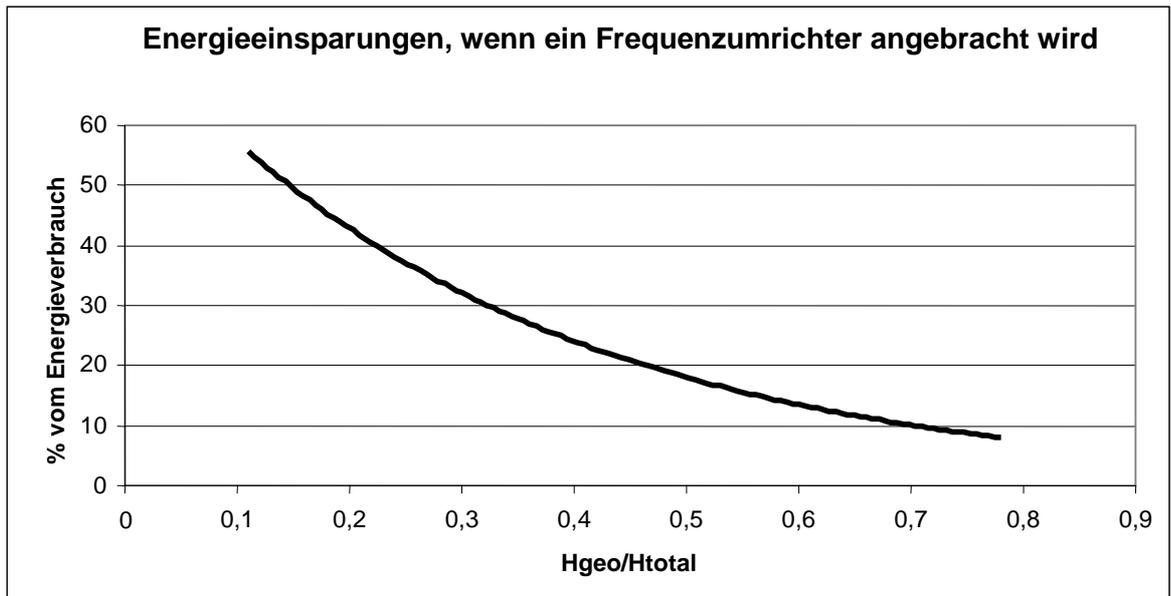
Beginnen Sie deshalb all die Pumpenstationen auszuwählen, die einen jährlichen Stromverbrauch von mehr als 10.000 kWh haben, und fahren Sie dann mit denen fort. Vergewissern Sie sich, dass die Pumpenmotoren auch wirklich frequenzgeregelt werden können (bei einigen älteren Motoren ist das nicht der Fall). Fragen Sie Ihren Pumpenlieferanten.

Die Energieeinsparung durch Frequenzregelung der Pumpen wird durch Senkung des Gegendrucks erzielt, wenn die Geschwindigkeit herabgesetzt wird. Auf diese Weise kann jedoch nur der Teil des Gegendrucks verringert werden, der aus der "Reibung" des Wassers herrührt (der dynamische Gegendruck). Der Gegendruck, der daher stammt, dass das Wasser "bergaufwärts" bewegt wird (=der geodätische Gegendruck), kann nie geändert werden.



Es kann also am meisten Energie an den Pumpenstationen gespart werden, wo der dynamische Gegendruck einen großen Teil des gesamten Gegendruckes ( $H_{\text{tot}}$ ) ausmacht. Dies sind typisch lange Druckleitungen mit niedrigem  $H_{\text{geo}}$ .

Auf der Abbildung unten sieht man, welche Einsparung durch Frequenzregelung erzielt werden kann. Finden Sie heraus, wo auf der Kurve sich der  $H_{\text{geo}}/H_{\text{tot}}$  Ihrer Pumpenstation befindet, und lesen Sie die prozentuale Einsparung ab.



### Wie viel kann gespart werden

Errechnen Sie  $H_{\text{geo}}$  und  $H_{\text{tot}}$  (siehe Kasten: "Messung des Gegendrucks")  
Wenn z.B.  $H_{\text{geo}} = 8$  mWS (oder 0,8 bar) und  $H_{\text{tot}} = 24$  mWS (oder 2,4 bar), dann ist:

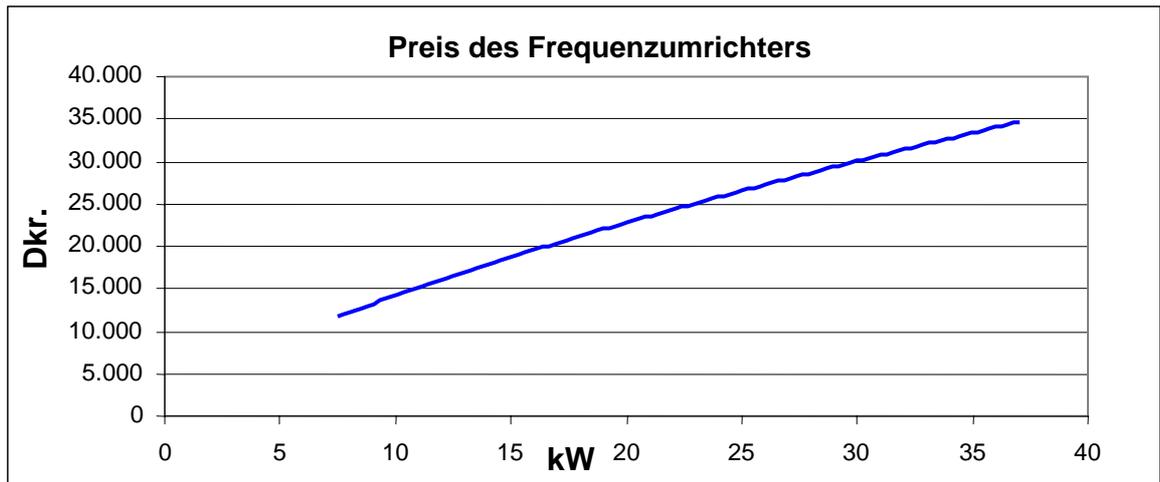
$$H_{\text{geo}}/H_{\text{tot}} = 8/24 = 0,33$$

Finden Sie 0,33 auf der waagerechten Achse, gehen Sie senkrecht nach oben, bis Sie auf die Kurve treffen, und lesen Sie die mögliche Einsparung auf der senkrechten Achse ab. Es ist also möglich etwa 30% des jetzigen Stromverbrauchs der Pumpenstation durch Frequenzregelung der Pumpen einzusparen.

## 9.2 Preise für Frequenzumrichter

Der Preis der verschiedenen Fabrikate von Frequenzumrichtern variiert, genau wie bei allen anderen Komponenten, je nach Qualität und Funktion und welche Preisnachlässe ausgehandelt werden können. Ein realistisches Preisangebot für einen Durchschnittsfrequenzumrichter ist in der Abbildung auf der nächsten Seite eingezeichnet.

Finden Sie heraus, wie groß der Pumpenmotor ist, und tragen Sie die Zahl auf der Kurve ein. Sie können dann einen Zirkapreis auf der linken Achse ablesen.



### 9.3 Preise für die Installation

Abgesehen von den Kosten für den Frequenzumrichter müssen auch Kosten für die Installation und die Programmierung des Frequenzumrichters und der Pumpensteuerung eingerechnet werden. Diese Kosten können, abhängig von der jetzigen Installation und welche Möglichkeiten ins Steuerungssystem eingebaut werden sollen, stark variieren. Es kann auch sein, dass es andere Dinge an der Installation gibt, die gleichzeitig geändert werden sollen.

In Kapitel 13 "Installation des Frequenzumrichters" können Sie sich über verschiedene Dinge, die bei der Installation eines Frequenzumrichters wichtig sind, und über verschiedene Möglichkeiten der Steuerung eines Frequenzumrichters informieren. Gemeinsam mit dem Elektroinstallateur kann man herausfinden, was an der Installation der Pumpenstation geändert werden muss, um den gewünschten Betrieb zu erreichen. Lassen Sie sich immer einen Kostenvoranschlag vor Beginn der Arbeiten machen.

In vielen Pumpenstationen gibt es schon Frequenzumrichter, die nur als Softstarter dienen. Sie sparen keine Energie. Durch Änderungen der Einstellung des Frequenzumrichters und der Pumpensteuerung können diese Frequenzumrichter den Energieverbrauch oft beträchtlich verringern, und die Änderungen können für wenig Geld vorgenommen werden, da die Frequenzumrichter schon installiert sind.

Die Kosten für die Installation und Programmierung der Frequenzumrichter lagen bei den Pumpenstationen, die Teil des Projekts waren, erfahrungsgemäß zwischen 20.000 und 45.000 Kr.

Für Stationen, die bereits Frequenzumrichter als Softstarter hatten, und die umprogrammiert werden mussten, lagen die Kosten zwischen 10.000 Kr. und 20.000 Kr.

### 9.4 Kann man durch Frequenzregelung immer Energie sparen?

Nein, es gibt Pumpenstationen, die mehr Energie verbrauchen würden, wenn sie geregelt werden würden. Wenn ein Motor frequenzgeregelt wird, ändert sich seine Drehzahl und damit seine Kapazität proportional. D.h., wenn die Frequenz von 50 auf 25Hz halbiert wird, halbieren sich auch Drehzahl und Flow.

Die installierten Pumpen wurden normalerweise so ausgewählt, dass sie bei ihrer Nenndrehzahl am besten laufen. Wenn die Drehzahl an der Pumpe verringert wird, verschlechtert sich der Wirkungsgrad der Pumpe, und der spezifische Energieverbrauch steigt. Der Grund, warum Energie durch Verringerung der Drehzahl eingespart werden kann, ist der, dass die Geschwindigkeit des Wassers in der Druckleitung gesenkt wird,

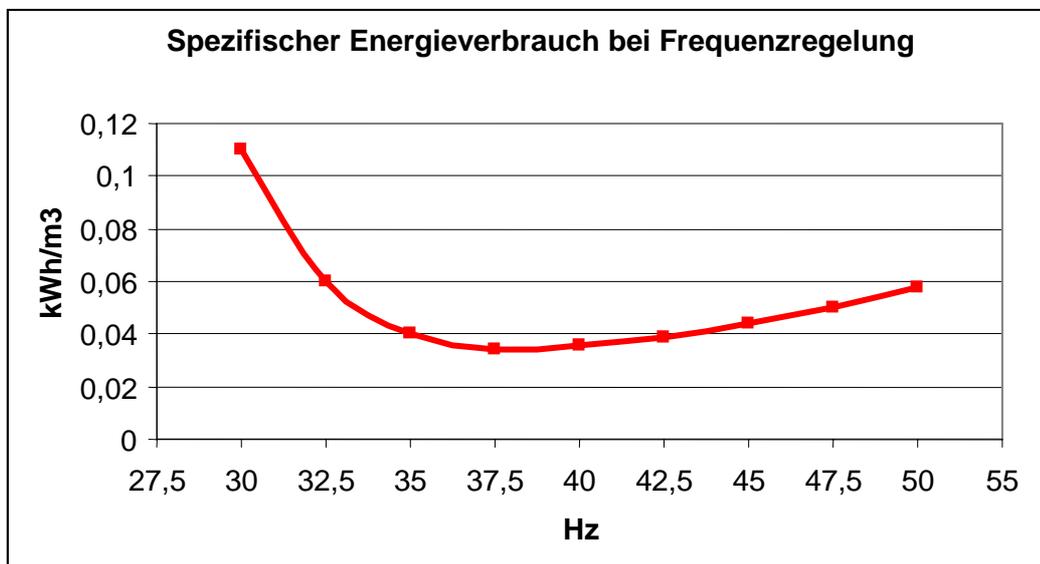


wodurch der "Reibungsverlust" verringert wird und weniger Energie verwendet wird, um das Wasser hindurch zu pressen. Die Einsparung übersteigt in den meisten Fällen den schlechteren Wirkungsgrad, und es entsteht eine Nettoeinsparung.

Wenn der Hauptanteil des gesamten Gegendruckes  $[H_{tot}]$  vom geodätischen Gegendruck herrührt  $[H_{geo}]$ , spart man durch Senkung der Geschwindigkeit (und damit Senkung des dynamischen Gegendruckes  $[H_{dyn}]$ ) nicht sehr viel ein. Hier beeinflusst der schlechtere Wirkungsgrad der Pumpe den spezifischen Energieverbrauch viel stärker. In einigen Fällen steigt der Energieverbrauch umgehend an, wenn die Frequenz auch nur um 1 Hz gesenkt wird.

Auf der Abbildung unten können Sie die Änderung im spezifischen Energieverbrauch in einer Pumpenstation mit einer langen flachen Druckleitung (großer dynamischer Gegendruck) sehen. Die Frequenz wurde von 50 auf 30 Hz heruntergeregelt. Bei etwa 38 Hz beginnt die Verringerung des Wirkungsgrades die Einsparung durch Senkung der Geschwindigkeit zu übersteigen, und der spezifische Energieverbrauch beginnt zu steigen. Bei dieser Frequenz läuft die Pumpe mit dem niedrigsten spezifischen Energieverbrauch. Dies ist die energieoptimale Frequenz.

Der Pumpenlieferant kann diese Abbildung für die einzelne Pumpe oftmals aufgrund von theoretischen Berechnungen erstellen. Es ist jedoch sehr wichtig, dass die Kurve auch aufgrund von den Messungen, die an der Pumpenstation vorgenommen wurden, erstellt wird. Es kann Bedingungen unter realen Verhältnissen geben, die der Pumpenlieferant nicht in seine Berechnungen einbeziehen kann (höherer Gegendruck, das Pumpenrad hat eine andere Größe als registriert usw.). Wenn die Steuerung aufgrund der theoretischen Berechnungen eingestellt wird, kann das dazu führen, dass die Pumpe so langsam läuft, dass sie kein Wasser bewegt.



### 9.5 **Andere gute Gründe, eine Frequenzregelung von Pumpenstationen vorzunehmen**

Nicht alle Pumpenstationen können durch Senkung der Geschwindigkeit genug Energie sparen, dass sich die Investition innerhalb einer angemessenen Zeitspanne lohnt. Trotzdem kann es andere gute Gründe geben, einen Frequenzumrichter zu installieren.



### **9.5.1 Längere Lebensdauer**

Wenn die Drehzahl sinkt, muss die Pumpe länger laufen, um die zugelaufenen Mengen zu entfernen. Hierdurch verringert sich die Anzahl der Pumpenstarts und -stopps. Starts kosten Energie und nutzen die Wicklungen im Pumpenmotor und die Komponenten der Verteilertafel ab.

Der Aufbau von Druck in der Druckleitung und der Druckstoß beim Pumpenstopp führen zur Ermüdung des Materials in der Leitung. Mit einem Frequenzumrichter ist es möglich, die Pumpen über einen längeren Zeitraum, z.B. 30-120 Sekunden, zu starten/stoppen. Das "sanfte" Anheben und Absenken der Geschwindigkeit kann schädliche Druckstöße reduzieren oder ganz entfernen, und so die Lebensdauer der Druckleitung verlängern. Dies bedeutet wiederum, dass es möglich ist, etwaige Hydrophoren, die zur Dämpfung von Druckstößen an das Pumpensystem gekoppelt sind, zu entfernen.

Die mechanische Abnutzung an Pumpenrädern, Lagern und Achsdichtungen nimmt bei Verringerung der Geschwindigkeit exponentiell ab. Daher wird die Pumpe durch längere Laufzeit bei geringerer Geschwindigkeit nicht schneller abgenutzt - im Gegenteil.

### **9.5.2 Kontinuierlicher Zulauf zu Kläranlagen**

Wenn die Pumpenstation das Wasser direkt zur Kläranlage pumpt oder zu anderen geregelten Pumpenstationen, wird der Zulauf zu diesen gleichmäßiger über den Tag verteilt. Dies kann die Steuerung von Prozessen in der Kläranlage vereinfachen.

### **9.5.3 Ersetzt Softstarts**

Beim Pumpenstart kann die Drehzahl über einen langen Zeitraum angehoben werden, wodurch das Stromnetz und die gesamte Installation weniger belastet wird. Dies hat die gleiche Funktion, wie ein Softstarter - nur besser. Bei der Montage oder beim Wechsel eines Softstarters sollte daher immer überlegt werden, ob die Installation eines Frequenzumrichters eine bessere Lösung darstellt.

### **9.5.4 Größere Pumpenkapazität**

Mit dem Frequenzumrichterbetrieb hat man die Möglichkeit des übersynchronen Betriebes, d.h. mehr als 50 Hz, wodurch die Pumpengeschwindigkeit - und damit die Kapazität - gesteigert wird. Übersynchroner Betrieb führt jedoch zu einem sehr viel höheren Energieverbrauch und Verschleiß als der Normalbetrieb. Daher sollte übersynchroner Betrieb nicht als permanente Lösung für unterdimensionierte Stationen genutzt werden.

### **9.5.5 Kavitation**

Wenn die Pumpen in einer Station der Kavitation ausgesetzt sind, kann dies zu großen Schäden an Pumpengehäuse und Pumpenrad führen. Eine Verringerung der Geschwindigkeit - und damit des Saugdrucks - verringert oder entfernt das Risiko der Kavitation. Dies verlängert die Lebensdauer der Pumpen. Kavitation verursacht auch einen höheren Energieverbrauch

### **9.5.6 Verstopfung der Druckleitung**

Auf Grund der längeren Betriebszeit wird es weniger Perioden geben, wo das Wasser in der Druckleitung stillsteht. Leichtere feste Partikel sedimentieren daher nicht.



### **9.5.7 Lärm**

Bei Betrieb mit niedriger Umdrehungszahl kann Lärm in Rohren und Ventilen reduziert werden. Wenn das Drucksystem Eigenfrequenzen hat, die Lärm verursachen, kann man den Frequenzumrichter so programmieren, dass er nicht mit diesen Frequenzen läuft.

## **9.6 Welche Nachteile kann es beim Frequenzumrichterbetrieb geben?**

### **9.6.1 Anschaffungs- und Installationskosten**

Als Fausregel gilt, Frequenzumrichter kosten 1.500 Kr./kW für 5-10 kW und 1.000 Kr/kW für Umrichter > 30 kW. Installationskosten sind schwer zu berechnen, da es darauf ankommt, welche Steuerung derzeit in der Pumpenstation verwendet wird, und welche Möglichkeiten für den Frequenzbetrieb zur Verfügung stehen sollen.

### **9.6.2 Lebensdauer**

Ein Frequenzumrichter hat, wie alle elektrischen Komponenten, eine gewisse Lebensdauer, nach der er ausgetauscht werden muss. Der Lieferant kann Sie über die Lebensdauer des einzelnen Fabrikats informieren, aber sie liegt typischerweise zwischen 10 und 20 Jahren.

### **9.6.3 Verstopfung der Druckleitung**

Es besteht das Risiko, dass eine langsamere Stömung in der Druckleitung - auf Grund der Geschwindigkeitssenkung - zur Folge hat, dass mehr feste Partikel in der Druckleitung sedimentieren, und dass der Biofilm am Druckrohr nicht losgerissen wird. Es kann daher notwendig sein, die Druckleitung regelmäßig mit einem Reinigung-Molch zu reinigen.

Bei der Regelung von Abwasserpumpen sollten während des Steuerungsvorgangs immer Perioden eingeplant werden, in denen die Pumpe mit voller Kapazität läuft, z.B. beim Pumpenstart, damit sedimentiertes Material in der Druckleitung weitertransportiert wird.

### **9.6.4 Akustisches Rauschen**

Wenn Frequenzumrichter an alten Pumpenmotoren installiert werden, können diese ziemlich viel akustisches Rauschen aussenden. Insbesondere, wenn sie mit niedrigen Frequenzen laufen, kann es zu Heultönen kommen.

### **9.6.5 Elektrisches Rauschen**

Wenn die notwendigen Vorkehrungen nicht getroffen werden, kann elektromagnetisches Rauschen von Frequenzumrichtern und Motorkabeln ausgesandt werden, das andere elektronische Komponenten in der Nähe stören kann.

### **9.6.6 Lagerströme**

Bei Motoren, die größer als 55-75 kW sind, besteht das Risiko, dass der Frequenzumrichter Kriechstrom verursacht, der auf Grund von Funkenbildung die Lager des Motors zerstören kann. Einige Motorhersteller empfehlen den Gebrauch von isolierten Lagern in ihren Motoren, wenn sie von einem Frequenzumrichter gesteuert werden sollen, um diese Lagerströme zu vermeiden.



### **9.6.7 Die Wahl des falschen Frequenzumrichters**

Es ist wichtig, dass die gewählten Frequenzumrichter ein ausreichendes Start/Anzugsmoment liefern können, um die Pumpe in Gang zu bringen. Wenn Frequenzumrichter mit einem zu niedrigen Startmoment gewählt werden, kann die Pumpe nicht starten.

### **9.6.8 Anweisungen an das Betriebspersonal**

Bei Installation eines Frequenzumrichters ist es notwendig, die Steuerungsprozedur für den Pumpenbetrieb zu ändern. Das bedeutet, dass mit einer Einlaufzeit gerechnet werden muss, bevor der optimale Betrieb erreicht wird. Darüber hinaus sollte das Betriebspersonal in der Anwendung der Möglichkeiten eines geregelten Betriebes unterwiesen werden. Wenn ein Transportsystem mit Frequenzumrichter nicht korrekt geregelt wird, kann das einen größeren Energieverbrauch als bei ungeregeltem Betrieb bedeuten. Daher ist in der ersten Zeit erhöhte Aufmerksamkeit gefordert, wenn das Betriebspersonal Betriebsdaten, die aus der zentralen Überwachungsanlage kommen, beurteilen soll.

## **10 Die Wahl des Frequenzumrichters**

Nicht nur der Preis ist ausschlaggebend dafür, welcher Frequenzumrichter gewählt werden soll. Sondern auch:

Die Größe (elektrisch und physisch), Anzugsmoment und Momenttyp (variabel oder konstant).

Man muss daher dem Lieferanten angeben, welche Pumpengröße geregelt werden soll. Die Nennleistung (kW) und der Nennstrom (A) stehen auf dem Typenschild der Pumpe oder können beim Pumpenlieferanten erfragt werden. Die physische Größe und die Schutzartklasse hat einen Einfluss darauf, inwieweit der Frequenzumrichter in die existierende Tafel installiert werden kann oder außerhalb angebracht werden muss.

Der Lieferant muss garantieren, dass das erreichbare Startmoment des Frequenzumrichters in sämtlichen erdenklichen Situationen größer ist als das Startmoment des Pumpenmotors. Also, dass der Frequenzumrichter ein ausreichendes Moment liefern kann, um die Pumpe zu starten, auch wenn sich ein Lappen im Laufrad befindet. Das Startmoment des Motors ist von der Zusammensetzung des Abwassers und der Dimension der Pumpe abhängig.

## **11 Anzahl an Frequenzumrichtern**

Es wird empfohlen, einen Frequenzumrichter pro Pumpe zu installieren. Zum einen wird dadurch, dass nicht alle Pumpen von der gleichen Regelungseinheit angetrieben werden, eine größere Betriebssicherheit erreicht, zum anderen ist dies eine einfachere (und somit billigere) Installation. Obwohl es natürlich einen Frequenzumrichter mehr kostet, können die niedrigeren Installationskosten oft bedeuten, dass es letztendlich auch die beste finanzielle Lösung ist.

In Pumpenstationen mit mehr als 2 Pumpen gibt es jedoch selten einen Grund dafür, mehr als 2 Frequenzumrichter zu installieren. Situationen, in denen 2 oder mehr Pumpen laufen, sind in der Regel auf Regenwetter zurückzuführen, und dann laufen die Pumpen ja (ungeregelt) mit voller Kraft.

In Pumpenstationen, in denen nicht mehr als eine Pumpe gleichzeitig (kein gleichzeitiger Betrieb) laufen kann/soll, reicht in einigen Fällen ein Umrichter aus. Da der Frequenzumrichter nur einen Ausgang zur Versorgung der Pumpen hat, muss das



Versorgungskabel zwischen Frequenzumrichter und Motor in einen Satz Schalter aufgeteilt werden, die von der Pumpensteuerungseinheit aus gesteuert werden. D.h., dass die Pumpensteuerungseinheit ein Signal an die Schaltschütze sendet, welche der Pumpen mit Strom versorgt werden soll (gewisse Frequenzumrichter besitzen auch diese Funktion zur Steuerung des Signals an die Schalter). Achten Sie darauf, dass die Schaltschütze, die ja Strom führen, hinsichtlich elektromagnetischen Rauschens abgeschirmt sind. Die Lösung mit 2 Frequenzumrichtern sorgt für eine verbesserte Betriebssicherheit.

## **12 Die Platzierung der Frequenzumrichter**

Auf Grund der Kabelführung und der Wärmeentwicklung ist es sinnvoll, den Frequenzumrichter, wenn möglich, außerhalb der Tafel zu platzieren. In dem Fall muss er der Schutzart IP54/IP55 entsprechen. Falls er in einem Schrank installiert wird, ist diese hohe Schutzart nicht notwendig. In Pumpenstationen, wo die Tafel in einem freistehenden Schrank oberirdisch angebracht ist, muss der Frequenzumrichter natürlich in der Tafel, oder, falls dort kein Platz ist, in einem eigenen Schrank platziert werden.

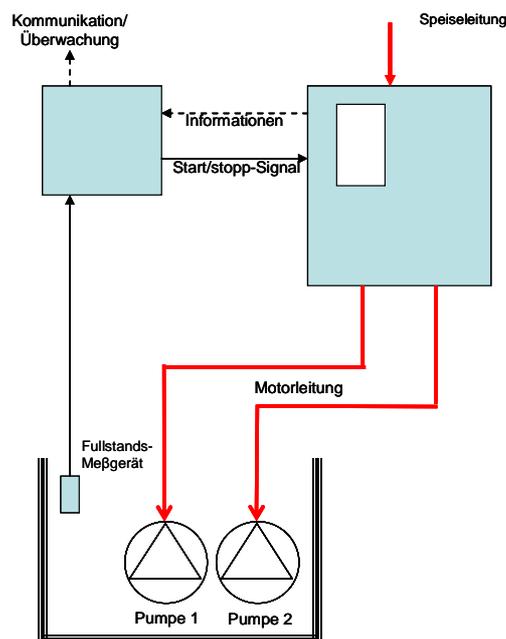


## 13 Installation der Frequenzumrichter

### 13.1 Regelung der Frequenzumrichter

#### 13.1.1 Pumpensteuerung ohne Frequenzumrichter

Eine gewöhnliche Pumpeninstallation mit zugehöriger Steuerung sieht schematisch so aus:



#### Beschreibung:

Füllstandsmesser (Ultraschallmesser, Druckwandler, Wippe oder Stabelektroden) gibt im Pumpensumpf das Start/Stoppsignal an die Pumpensteuerungseinheit.

Pumpensteuerungseinheit sendet das Start/stopp-Signal an die Schalter der Verteilertafel, die die Pumpen im Wechsel ein- u. ausschalten.

Von der Verteilertafel können Informationen bezüglich eventueller Fehlermeldungen (Thermofehler im Motor u.a.) an die Pumpensteuerungseinheit gesandt werden.

Die Pumpensteuerung kann Betriebsinformationen an eine zentrale Überwachungseinheit senden.

Wenn ein Frequenzumrichter installiert wird, um variablen Betrieb zu erzielen, müssen verschiedene Dinge geändert werden.

Der Frequenzumrichter benötigt nicht nur die Information, ob er laufen soll oder nicht. Er benötigt auch ein Signal, das ihm sagt, mit welcher Frequenz er laufen soll, je nach Niveau im Pumpensumpf. Diese Information bekommt er durch ein analoges Signal von einem Drucktransmitter oder einer anderen analogen Füllstandsmessung. Wenn die Pumpenstation nicht schon von der dynamischen Messung des Füllstands im Pumpensumpf (analoges Signal vom Wandler im Pumpensumpf), sondern nur durch Ein/Aus-Signale (Wippen, Stabelektroden) gesteuert wird, muss ein analoger 4-20 mA Füllstandsmesser installiert werden.

Der Frequenzumrichter kann das analoge Signal folgendermaßen erhalten:

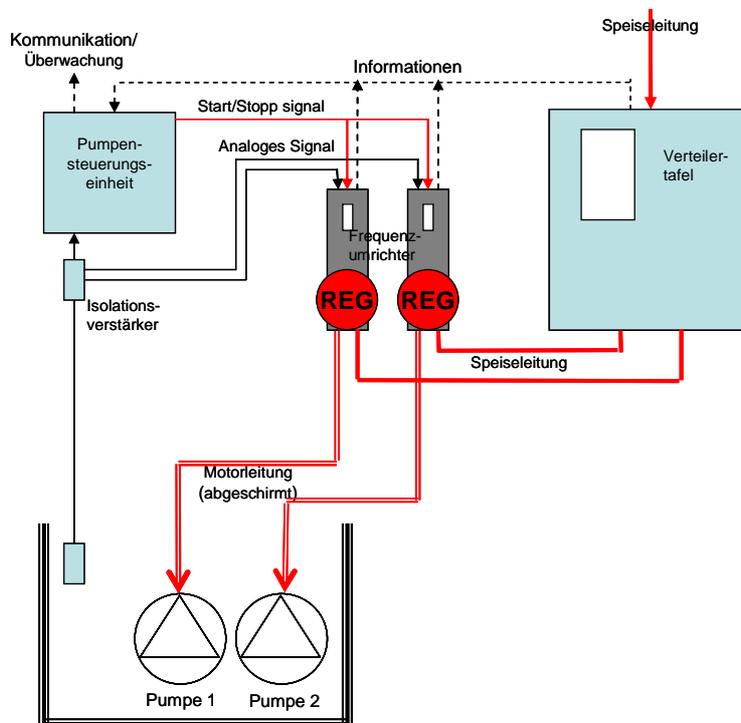
- vom gleichen Transducer, der das Signal an die SRO-Anlage weiterleitet (das Signal wird in einem Isolationsverstärker in zwei Signale aufgeteilt)
- von der SRO-Anlage (dazu wird ein weiterer Analog-Ausgang an der SRO-Anlage benötigt)
- vom eigenen Wandler im Pumpensumpf



Wenn der Füllstand im Pumpensumpf nicht anhand eines analogen Signals registriert wird (wenn nur Ein/Aus-Signale von der Wippe oder von den Stabelektroden kommen), muss dies installiert werden. Eine verhältnismäßig betriebssichere Lösung ist es, einen Drucktransmitter oder einen Ultraschallmesser zu installieren, der den Wasserstand misst. Die Pumpensteuerungseinheit hat bisher keine analogen Signale empfangen - und braucht auch weiterhin keine zu empfangen. Es genügt, wenn das analoge Signal direkt zu den Frequenzumrichtern weitergeleitet wird, die für die Regelung des Betrieb, wie oben beschrieben, zuständig sind.

### 13.1.2 Die Frequenzumrichter regeln

Wenn sich schon eine analoge Füllstandsmessung im Pumpensumpf befindet, die von der Pumpensteuerungseinheit genutzt wird, kann dieses Signal "aufgespalten" werden, so dass es auch von den Frequenzumrichtern genutzt werden kann. Dies erfordert jedoch, dass ein Isolationsverstärker installiert wird. Die Frequenzumrichter transformieren dann das Signal mit der Information über den Wasserstand im Pumpensumpf in eine zuvor programmierte Frequenz. Die Pumpensteuerungseinheit empfängt, wie bisher, das Signal mit der Information, wann und welche Pumpe gestartet werden soll (alternierend). Statt dass diese Signale Schalter in der Tafel betätigen, die die Pumpen starten, wird das Signal an die Frequenzumrichter weitergeleitet, die das wechselnde Einschalten der Pumpen steuern. D.h., dass die gesamte Regelung den Frequenzumrichtern überlassen ist, während die Pumpensteuerungseinheit nur für den gewöhnlichen Gebrauch, nämlich das Starten, Stoppen und den Wechsel zwischen den Pumpen benutzt wird. Schematisch sieht das so aus:



#### Beschreibung:

Füllstandsmesser (Druckwandler) im Pumpensumpf sendet ein analoges Signal (4-20 mA) an den Isolationsverstärker mit Daten über den Füllstand im Pumpensumpf. Der Isolationsverstärker sendet das Signal an die Pumpensteuerungseinheit und die Frequenzumrichter weiter.

Der Frequenzumrichter berechnet ausgehend vom Füllstand im Pumpensumpf, bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen.

Die Pumpensteuerungseinheit sendet das Start/Stop-Signal an den Frequenzumrichter (alternierend), der die Pumpen startet.

Von der Verteilertafel und den Frequenzumrichtern können Informationen bezüglich eventueller Fehlermeldungen (Thermofehler im Motor u.a.) an die Pumpensteuerungseinheit gesandt werden.

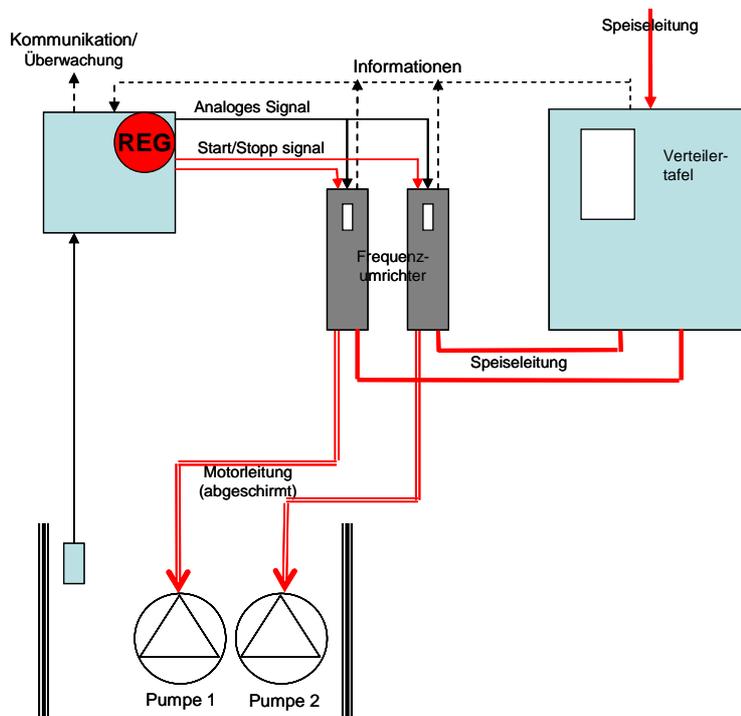
Wenn die Pumpensteuerungseinheit für die Kommunikation mit einer zentralen SRO-Anlage eingestellt war, so wird dies ungeändert fortgesetzt, aber es kann nicht mit den Frequenzumrichtern kommuniziert werden. D.h., dass die Betriebsparameter der



Frequenzumrichter nicht per Fernsteuerung geändert werden können. Besteht der Wunsch einer Änderung, muss ein Mitarbeiter zur Station.

### 13.1.3 Die Pumpensteuerungseinheit geregelt

Wenn man die Möglichkeit haben möchte, die Frequenzumrichter "von Zuhause aus" umzuprogrammieren, muss die Installation so vorgenommen werden, dass die Pumpensteuerungseinheit die Regelung übernimmt. D.h, nur die Pumpensteuerungseinheit empfängt Informationen über den Füllstand im Pumpensumpf. Diese berechnet dann, bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen, und leitet die Information (analoges Signal) an die Frequenzumrichter weiter. Die Pumpensteuerungseinheit leitet auch die Information hinsichtlich des Starts und Stopps an die Frequenzumrichter weiter. Schematisch sieht die Lösung so aus:



#### Beschreibung:

Füllstandsmesser (Druckwandler) im Pumpensumpf sendet ein analoges Signal (4-20 mA) an die Pumpensteuerungseinheit mit Daten über den Füllstand im Pumpensumpf.

Die Pumpensteuerungseinheit berechnet ausgehend vom Füllstand im Pumpensumpf bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen.

Die Pumpensteuerungseinheit sendet ein analoges Signal an die Frequenzumrichter mit der Nachricht, bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen.

Die Pumpensteuerungseinheit sendet das Start/Stop-Signal an den Frequenzumrichter (alternierend), der die Pumpen startet.

Von der Verteilertafel und den Frequenzumrichtern können Informationen bezüglich eventueller Fehlermeldungen (Thermofehler im Motor u.a.) an die Pumpensteuerungseinheit gesandt werden.

Die Pumpensteuerungseinheit kann Betriebsinformationen an eine zentrale Überwachungseinheit senden und neue programmierte Daten bezüglich der Betriebsparameter empfangen.

Um diese Regelung anwenden zu können, wird ein analoger Ausgang an der Pumpensteuerungseinheit benötigt, der das Signal an die Frequenzumrichter weiterleiten kann. Dieser ist selten in der Standardausgabe der verschiedenen Typen von Pumpensteuerungen enthalten und muss daher als Erweiterungsmodul erworben werden.

### 13.2 Elektrisches Rauschen (EMV)

Frequenzumrichter verursachen in größerem oder kleinerem Umfang elektromagnetisches Rauschen (EMV), das verschiedene elektronische Geräte (Radio, TV, Handys, Messgeräte usw.) stören kann. Das bedeutet, dass sowohl die Pumpensteuerung selbst als auch das Fernsehsignal etwaiger Nachbarn gestört werden können, wenn diesbezüglich keine Vorkehrungen getroffen werden.



Es ist vor allem das Motorkabel mit dem frequenzgeregelten Strom zwischen Frequenzumrichter und Pumpenmotor, das wie eine Antenne für dieses Rauschen wirkt. Gemäß der EMV-Richtlinie (der die Pumpenstationen unterliegen) darf der Maximalpegel für elektromagnetische Störungen, die von Geräten erzeugt werden, nicht höher sein als dass der Gebrauch von anderen elektronischen Geräten gestört wird. An die Richtlinie knüpfen sich einige Standards, die exaktere Werte zur Aussendung von Störgeräuschen festsetzen.

Um die Aussendung an elektromagnetischen Störgeräuschen an die Umgebung zu vermeiden, müssen die Anweisungen des Herstellers der Frequenzumrichter immer eingehalten werden. Normalerweise muss ein (ungebrochenes) isoliertes Kabel zwischen Frequenzumrichter und Pumpenmotor vorhanden sein. Wenn man gern einen Schalter oder eine Trennungsmöglichkeit (CEE-Stecker) am Kabel hätte, müssen Vorkehrungen bezüglich der Störgeräusche getroffen werden. (Dies ist eventuell relevant, wenn die Forderung besteht, unmittelbar in der Nähe der Pumpe eine Abschaltung aus Sicherheitsgründen vornehmen zu können). Darüber hinaus sollten alle analogen Signalkabel abgeschirmt werden.

### **13.3 Weitere Änderungen**

In allen elektrischen Installationen ist ein Fehlerstromschutzschalter montiert, der gegen Fehlerströme schützt. Bei der Installation von Frequenzumrichtern besteht die Forderung, dass die Installation zusätzlich geschützt werden muss, je nach lokalen Verhältnissen entweder durch Nullung, Erdung oder Schutzrelais (z.B. ein AC/DC Relais). Man muss also dafür sorgen, dass der Installateur untersucht, welche Forderungen für das Versorgungsgebiet der Pumpenstation gelten.

Wenn ein Schutz durch ein AC/DC Relais gewählt wird, muss ein Relais pro Frequenzumrichter angewandt werden.

Abgesehen von den Kosten für den AC/DC-Fehlerstromschalter, nimmt dies rein physisch mehr Platz in Anspruch, und es erfordert möglicherweise eine Erweiterung der Tafel.

An einigen Frequenzumrichtern muss ein zusätzlicher Filter verwendet werden, um Beschädigungen des Motors durch Spannungsspitzen zu vermeiden.

## **14 Steuerung der Frequenzumrichter**

Es ist wichtig, dass die Steuerung der Frequenzumrichter richtig eingestellt ist, sowohl in Bezug auf den Energieverbrauch als auch auf die Betriebssicherheit.

### **14.1 Pumpenstart**

Beim Pumpenstart wird der Frequenzumrichter als Softstarter genutzt, hier wird die Frequenz und damit die Drehzahl im Laufe von 10-30 Sekunden auf die volle Kapazität hochgefahren. Hierdurch vermeidet man die enormen Stöße in Ventilen, Verteiler und Druckleitung, die beim Ein/Aus-Start vorkommen. Die elektrischen Komponenten der Verteilertafel werden auch weniger belastet, wenn sanft gestartet wird. Über welchen Zeitraum das "Anheben" von 0 bis 50 Hz genau erfolgen sollen, hängt vom Leitungssystem ab, u.a. von der Länge der Druckleitung und der geodätischen Förderhöhe,  $H_{\text{geo}}$ . Je länger und höher, desto länger ist der Zeitraum über welchen das Anheben erfolgen muss.



## 14.2 Verweildauer

Wenn die Pumpe mit vollen Umdrehungen arbeitet (50 Hz), wird diese Frequenz so lange gehalten, bis vollkommener Flow im System erreicht wird. D.h., dass der "Wasserstrang" in der gesamten Länge der Druckleitung sich mit maximaler Geschwindigkeit bewegt, für die das System ursprünglich angelegt wurde. Typischerweise 0,8-1,2 m/s.

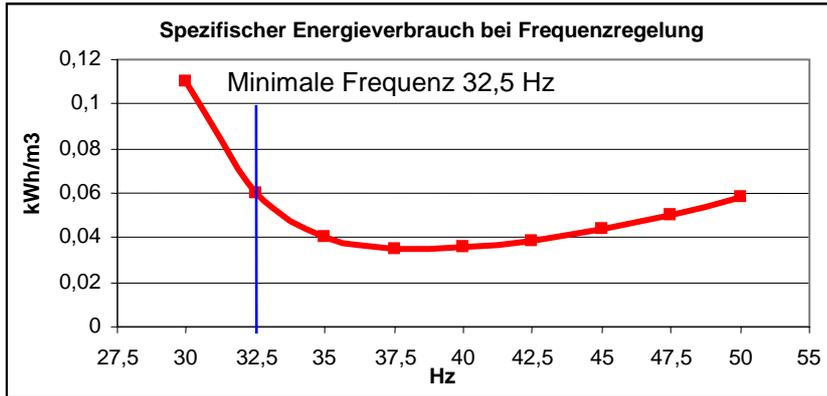
Hierdurch wird die Selbstreinigung der Druckleitung sichergestellt, also dass Sand, Steine und sonstige Partikel, die sich seit dem letzten Pumpenstopp in der Druckleitung abgelagert haben, aufgewirbelt und weiterbewegt werden, damit die Leitung nicht verstopft. Wie lange dieses "Durchspülen" dauern soll, ist wiederum vom Leitungssystem abhängig und kann am Besten ausgemacht werden, indem man einen Flowmesser verwendet, der messen kann, wann der Flow in der Druckleitung konstant ist. Alternativ kann ein Manometer an der Druckleitung zeigen, wann der Druck sich nach dem Pumpenstart stabilisiert hat. Typischerweise liegt die Verweildauer bei 30-60 Sekunden.

Nach dem Pumpenstart und der Verweildauer muss die Frequenz geregelt werden, damit die Kapazität der Pumpen dem Zulauf im Pumpensumpf so gut wie möglich entspricht. Dies kann auf verschiedene Weise gemacht werden.

Wie schon im Kapitel "Kann man durch Frequenzregelung immer Energie sparen?" erwähnt, wird die Energieeinsparung dadurch erzielt, dass die Pumpe mit der Geschwindigkeit läuft, bei der der spezifische Energieverbrauch am niedrigsten ist, sowie dass Pumpenstarts vermieden werden. Pumpenstarts werden dadurch vermieden, dass man die Pumpe so lange wie möglich laufen lässt. Idealerweise soll die Pumpe genau die Wassermenge bewegen, die zum Pumpensumpf läuft. Dann würde sie die ganze Zeit laufen. In der Praxis ist dies nicht machbar. Die Zulaufmengen sind periodenweise so gering, dass die Pumpe mit einer Drehzahl laufen muss, die unter der festgesetzten Mindestfrequenz liegt. In diesen Perioden muss die Pumpe stillstehen und warten, bis der Füllstand im Pumpensumpf so hoch ist, dass sie erneut anlaufen kann.

## 14.3 Referenzniveau

Die Regelungseinheit (im Frequenzumrichter oder der Pumpensteuerung) steuert so, dass ein zuvor festgelegter Füllstand im Pumpensumpf beibehalten wird. Wenn das Wasser steigt, werden die Frequenz und die Pumpenkapazität nach oben geregelt. Fällt der Füllstand, wird nach unten geregelt. Es muss eine Mindestfrequenz eingestellt werden, damit gesichert wird, dass die Pumpe nicht mit Geschwindigkeiten läuft, bei denen der spezifische Energieverbrauch den Verbrauch bei 50 Hz übersteigt. Die Frequenz wird so aufwärts und abwärts geregelt, dass die Pumpenkapazität genau dem Zulauf entspricht. Nimmt der Zulauf ab, so dass er niedriger als die Pumpenkapazität bei der Mindestfrequenz ist, dann fällt der Füllstand im Pumpensumpf bis auf die Stophöhe und die Pumpe hört auf zu laufen. In der Abbildung unten kann die Mindestfrequenz von 32,5 Hz abgelesen werden.

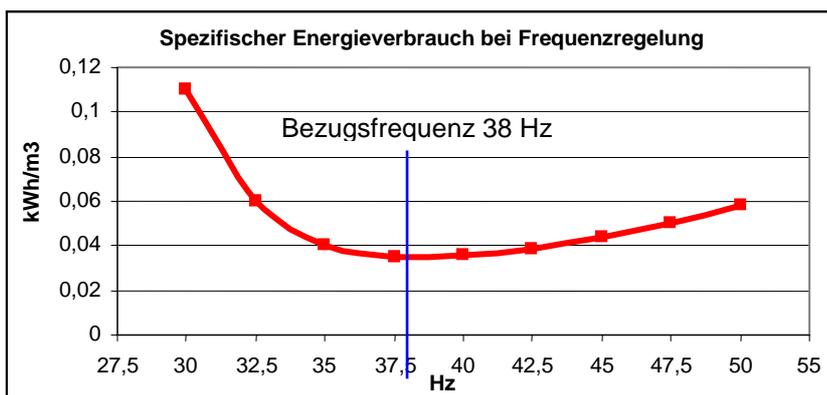


Man kann auch versuchen, den Füllstand im Pumpensumpf beizubehalten, indem man eine "Tabelle" in die Regelungseinheit hinterlegt. D.h., dass jeder Füllstand im Pumpensumpf einer bestimmten Frequenz entspricht. Wenn die Pumpe normalerweise zwischen einem Füllstand im Pumpensumpf von 1,20 m bis 0,5 m läuft und die Mindestfrequenz 40 Hz beträgt, könnte die "Tabelle" so aussehen:

Füllstand im Pumpensumpf [m]	Frequenz [Hz]
1,20	50
1,10	48
1,00	46
0,90	44
0,80	42
0,70	40
0,60	40
0,50	40

## 15 Referenzfrequenz

Eine weitere Art der Steuerung nach der "Verweildauer" besteht darin, die Frequenz auf eine Referenzfrequenz herunterzeregeln. Die Referenzfrequenz ist die Frequenz, bei der die Pumpen den niedrigsten spezifischen Energieverbrauch haben und beibehalten, ungeachtet dessen, ob der Füllstand im Pumpensumpf steigt oder fällt. Wenn weniger Wasser zum Schachsumpf läuft als die Pumpe bei der Referenzfrequenz bewegt, dann fällt der Füllstand im Pumpensumpf und die Pumpe hält an, wenn die Stopphöhe erreicht wird. Aus der Abbildung auf der nächsten Seite kann man die Referenzfrequenz von 38 Hz ablesen.

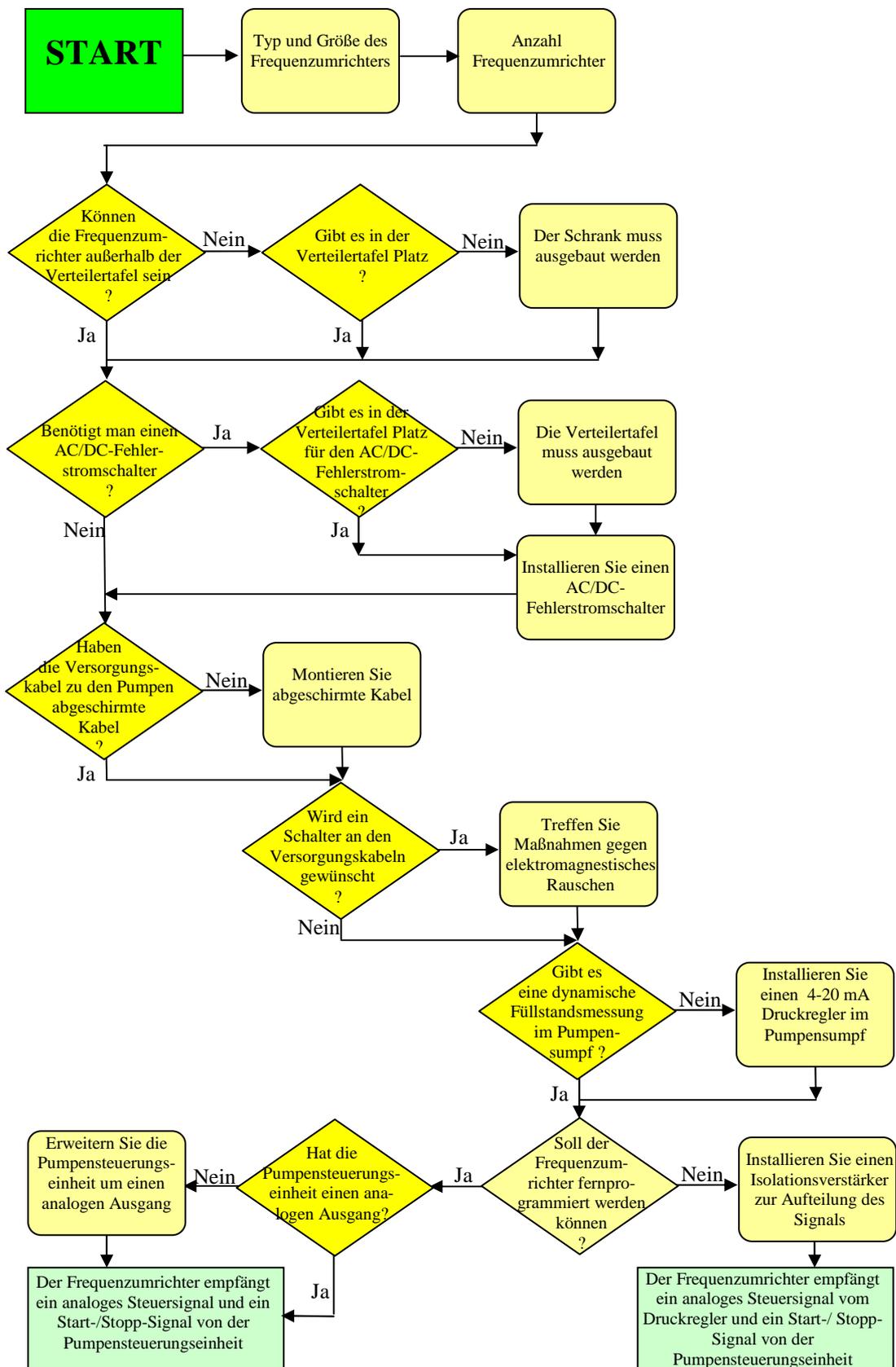




Gelangt mehr Wasser zum Pumpensumpf als die Pumpe bewegen kann, steigt der Füllstand im Pumpensumpf. Wenn der Füllstand eine bestimmte Höhe erreicht hat, wird die Frequenz auf 50 Hz angehoben und die volle Pumpenkapazität bis zum Stoppniveau wird erreicht.



## 16 Entscheidungstabelle, Installation von Frequenzumrichtern





## 17 Checkliste für die Installation von Frequenzumrichtern

1. Wählen Sie Pumpenstationen aus, die schon Frequenzumrichter für den Softstart und -stopp haben.
2. Wählen sie weitere Pumpenstationen mit einem jährlichen Stromverbrauch von mehr als 10.000 kWh aus
3. Wenden Sie die "Einsparungskurve" an, um die bestmögliche Einsparung zu finden.
4. Fragen Sie Ihren Pumpen/Motorlieferanten, ob der Motor frequenzgeregelt laufen kann.
5. Suchen Sie sich die Informationen über die Pumpen und die Druckleitung heraus
6. Bitten Sie den Pumpenlieferanten darum, eine Kurve über den spezifischen Energieverbrauch der Pumpe bei frequenzgeregeltem Betrieb zu erstellen.
7. Überlegen Sie, welche Regelungsmethode Sie anwenden wollen, und welche anderen Funktionen Sie gern installiert hätten, wenn die Pumpenstation frequenzgeregelt laufen soll.
8. Lassen Sie sich von Ihren Installateuren einen Kostenvorschlag machen. Benutzen Sie Tafeln und Beschreibungen aus dem Handbuch. Beachten Sie die Umstände hinsichtlich EMV.
9. Bestellen Sie einen Frequenzumrichter, der für das Pumpen von Abwasser vorgesehen ist, d.h. einen, der genügend Startmoment hat, dass er die Pumpe immer starten kann.
10. Installieren sie den Frequenzumrichter und die Steuerung. Achten Sie darauf, dass der Installateur die Steuerungsbeschreibung versteht. Kontaktieren sie ggf. den Lieferanten der Pumpensteuerung.
11. Achten Sie darauf, dass Ihre Kollegen und Sie gründliche Instruktionen zum Betrieb erhalten, und dass die Dokumentation in Ordnung ist und auf Deutsch geschrieben ist.
12. Prüfen Sie den spezifischen Energieverbrauch nach. Finden Sie die korrekte Mindestfrequenz.
13. Achten Sie besonders auf die Betriebszeiten, die Starts und den Energieverbrauch während der ersten Monate.



## 18 Checkliste über mögliche Energieeinsparungen

Kapitel im Handbuch	Gebiet	Frage	Lösung
5.1	Rückschlagventile	Sind Sie dicht?	Kontrollieren Sie die Dichtung und ggf. den Schließmechanismus
		Können sie sich ganz öffnen?	Befindet sich Material oben auf der Klappe?
			Montieren Sie Klappenventile waagrecht
5.2	Kupplungsfuß	Sind die Flanschoberflächen intakt?	Tauschen Sie die Flansche aus
		Stimmen die Größen der Flansche überein?	
5.3	Pumpenrad		Wählen Sie ein Pumpenrad mit einem hohen Wirkungsgrad
		Ist das Pumpenrad abgenutzt?	Tauschen Sie das Pumpenrad aus
			Beschichtung des Pumpenrades
5.3	Kanalrad	Ist der Spaltverlust zu hoch?	Stellen Sie den Spalt ein. Tauschen Sie den Ausgleichsring aus
5.4	Ventile	Sind Sie ganz geöffnet?	Halten Sie den Ventilgriff fest
5.5	Undichtigkeiten	Sickert Wasser heraus? Dringt Luft ein?	Kontrollieren Sie, dass die Verbindungsstellen dicht sind.
5.6	Fremdwasser	Gibt es große saisonbedingte Schwankungen in der täglichen Pumpzeit?	Sanieren Sie die Kanalisation oberwasserseitig
6.1	Heizung	Wie viel Strom brauchen Sie zum Beheizen?	Sorgen Sie dafür, dass Sie den Stromverbrauch der Station kennen. Installieren Sie einen Nebenmesser
6.1.1	Frostsicherung	Wie warm ist es in den Pumpenstationen?	Stellen Sie den Thermostat auf 4-5 Grad ein



<b>Kapitel im Handbuch</b>	<b>Gebiet</b>	<b>Frage</b>	<b>Lösung</b>
6.1.2	Kondenswasser	Gibt es ein Problem?	Stellen Sie einen Entfeuchter auf
6.1.3	Wassererhitzer		Installieren Sie einen Durchlauferhitzer
6.2	Lüftung	Ist Lüftung notwendig?	Installieren Sie eine Feuchtigkeits/Temperatur-Steuerung an der Lüftung
6.3	Licht	Wird das Licht in der Station und im Pumpensumpf ausgeschaltet?	Installieren Sie einen Bewegungsfühler oder einen Timer



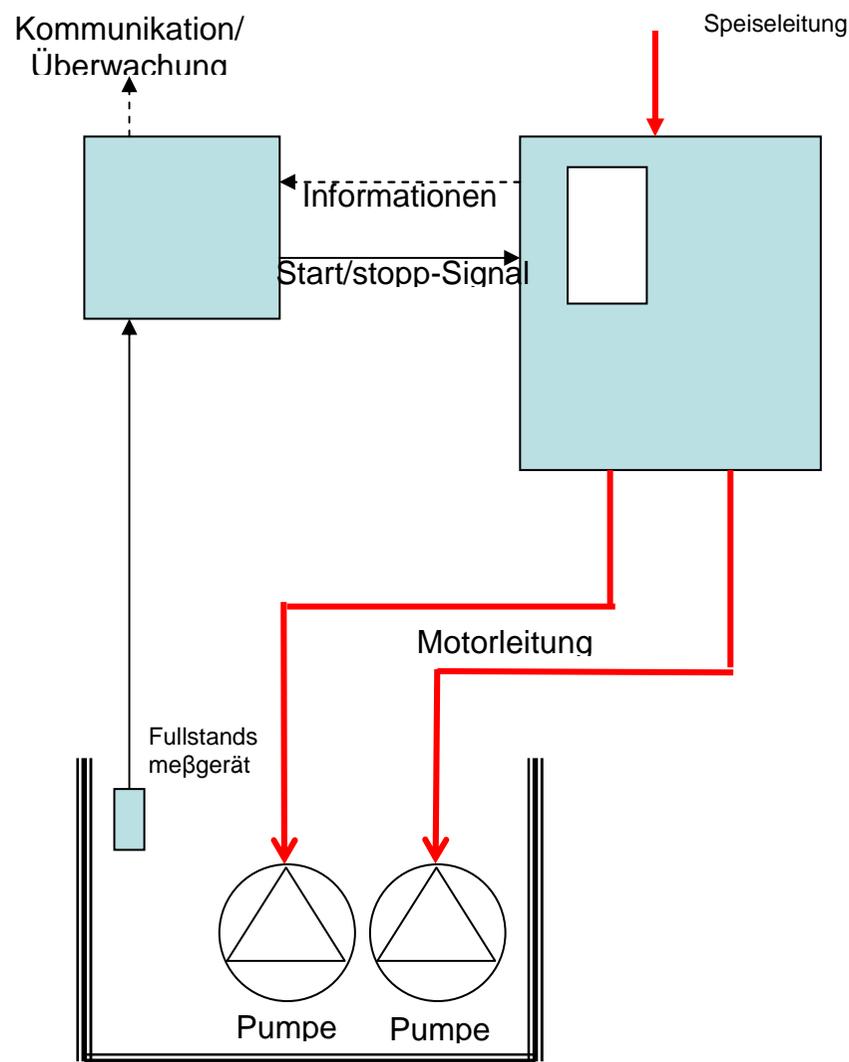
Kapitel im Handbuch	Gebiet	Frage	Lösung
6.4	Kompressor	Kann Druckluft durch andere Arten der Kraftübertragung ersetzt werden?	Installieren Sie motorische Stellantriebe an Ventilen
		Ist das System dicht?	Finden und beseitigen Sie Leckagen
6.5	Vakuumpumpen	Ist das System dicht?	Finden und beseitigen Sie Leckagen
6.6	Hydraulikstation	Kann die Hydraulik durch andere Arten der Kraftübertragung ersetzt werden?	Installieren Sie den motorischen Stellantrieb an Klappen u.ä.
7	Nutzen Sie Ihre Betriebsdaten	Laufen die Pumpen gleich lange. Haben sie die gleiche Anzahl Starts?	Kontrollieren Sie Pumpen mit längerer Betriebszeit. Kontrollieren Sie die Rückschlagventile an der Pumpe mit den wenigsten Betriebsstunden
			Erstellen Sie Schlüsselzahlen für den Normalbetrieb
		Fangen die Pumpen an länger zu laufen?	Reinigen Sie die Druckleitung
8.3	Pumpen	Passt die Pumpengröße?	Tauschen Sie das Laufrad aus Tauschen Sie die Pumpen aus Installieren Sie eine Trockenwetterpumpe Installieren Sie einen Frequenzumrichter
8.3.2		Sind die Verluste zu groß?	Wählen Sie Pumpen und Komponenten mit hohem Wirkungsgrad
			Tauschen Sie das Kanalrad aus
8.4.1	Halten Sie die Druckleitung sauber	Steigt der Gegendruck?	Wenden Sie den Reinigungsmolch an
			Entlüften Sie die Druckleitung Kontrollieren Sie die Automatik-Entlüfter



<b>Kapitel im Handbuch</b>	<b>Gebiet</b>	<b>Frage</b>	<b>Lösung</b>
8.4.3	Verringern Sie die Anzahl der Starts	Haben die Pumpen viele Starts?	Vergrößern Sie den Pumpensumpf. Heben Sie die Startkote an, senken Sie die Stoppkote Installieren Sie einen Frequenzumrichter



## Eine gewöhnliche Pumpeninstallation



### Beschreibung:

Füllstandsmesser (Ultraschallmesser, Druckwandler, Wippe oder Stabelektroden) gibt im Pumpensumpf das Start/Stop-Signal an die Pumpensteuerungseinheit.

Pumpensteuerungseinheit sendet das Start/stopp-Signal an die Schalter der Verteilertafel, die die Pumpen im Wechsel ein- u. ausschalten.

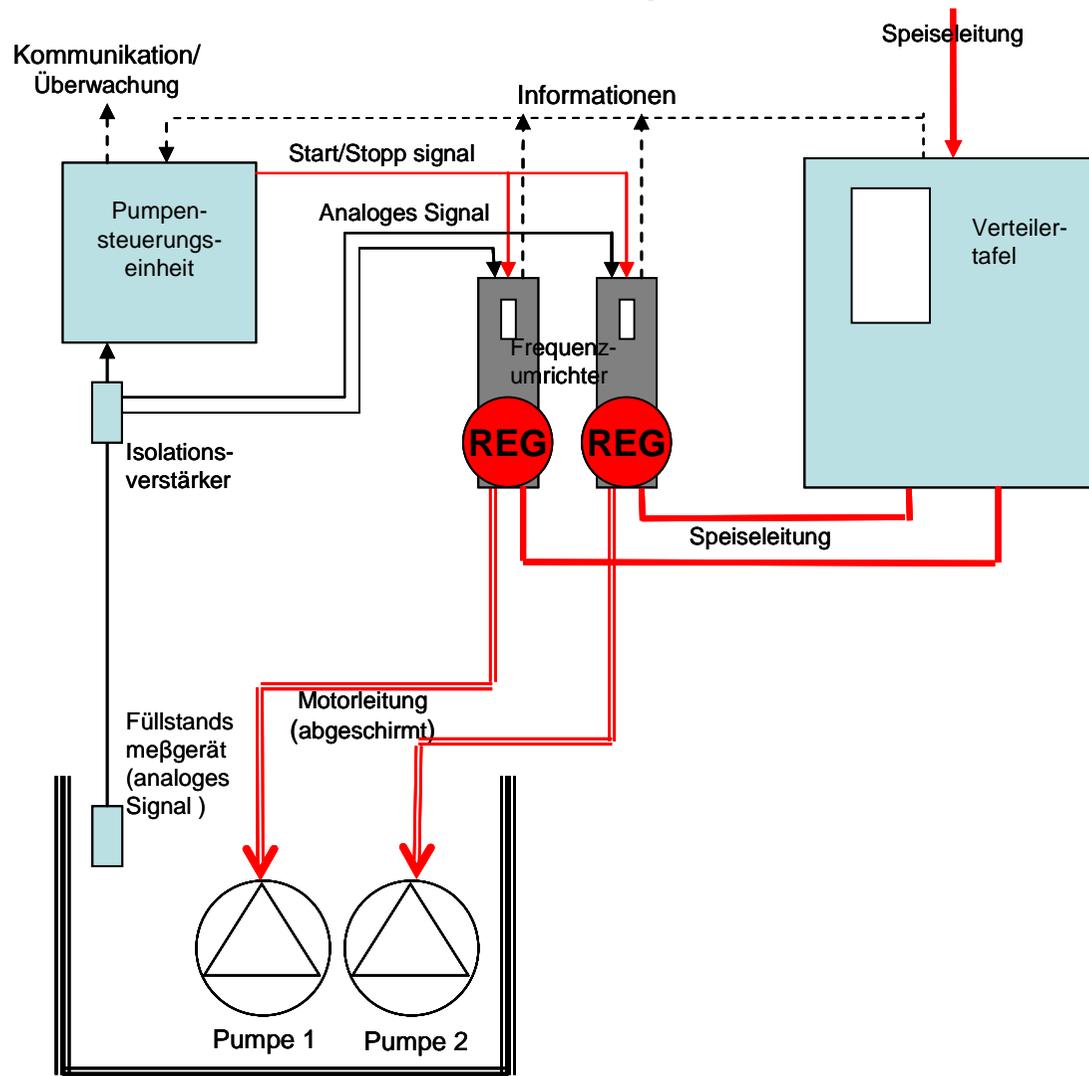
Von der Verteilertafel können Informationen bezüglich eventueller Fehlermeldungen (Thermofehler im Motor u.a.) an die Pumpensteuerungseinheit gesandt werden.

Die Pumpensteuerung kann Betriebsinformationen an eine zentrale Überwachungseinheit senden.





## Die Frequenzumrichter regeln



### Beschreibung:

Füllstandsmesser (Druckwandler) im Pumpensumpf sendet ein analoges Signal (4-20 mA) an den Isolationsverstärker mit Daten über den Füllstand im Pumpensumpf. Der Isolationsverstärker sendet das Signal an die Pumpensteuerungseinheit und die Frequenzumrichter weiter.

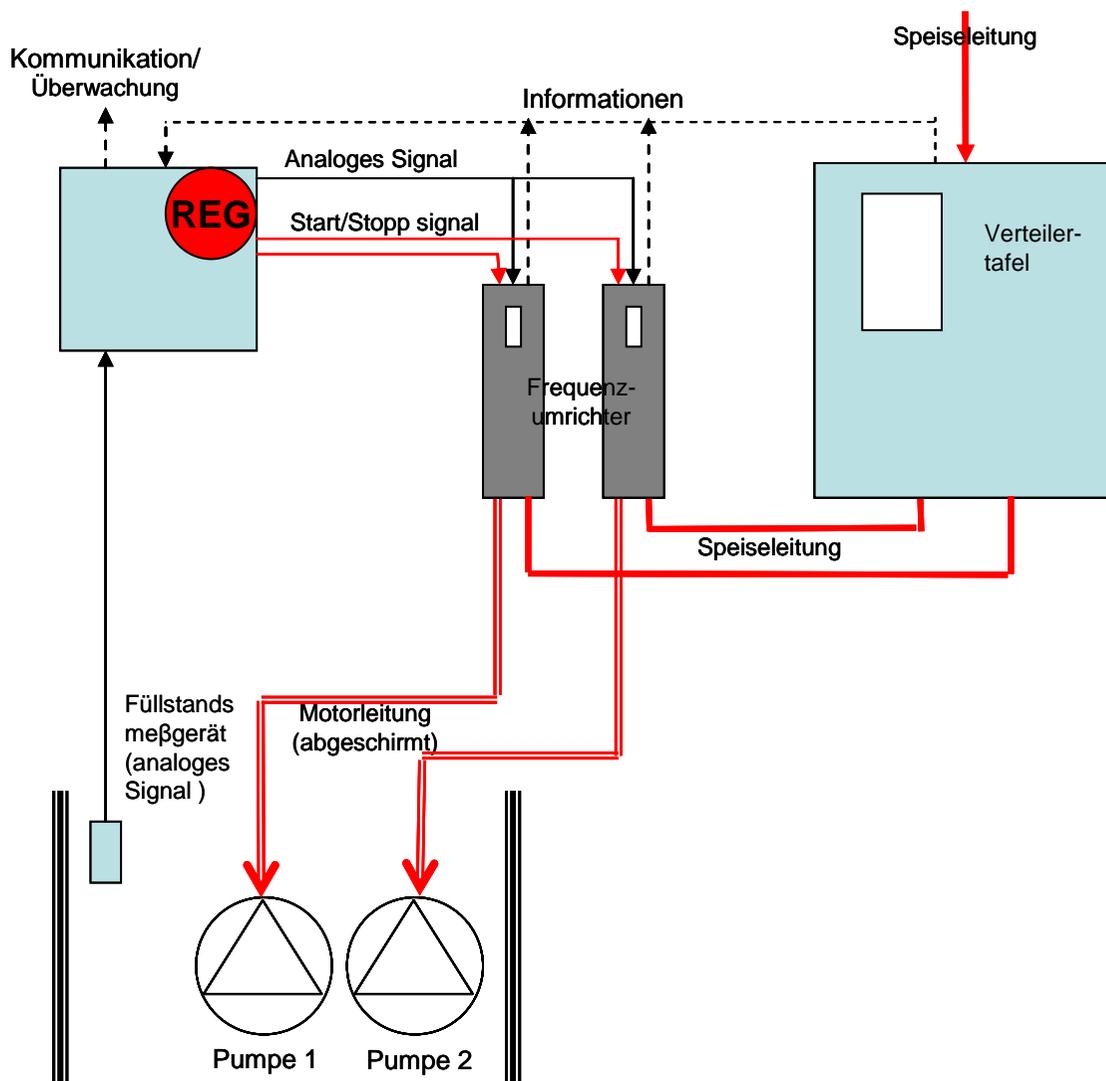
Der Frequenzumrichter berechnet ausgehend vom Füllstand im Pumpensumpf, bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen.

Die Pumpensteuerungseinheit sendet das Start/Stoppsignal an den Frequenzumrichter (alternierend), der die Pumpen startet.

Von der Verteilertafel und den Frequenzumrichtern können Informationen bezüglich eventueller Fehlermeldungen (Thermofehler im Motor u.a.) an die Pumpensteuerungseinheit gesandt werden.



## Die Pumpensteuerungseinheit regeln



### Beschreibung:

Füllstandsmesser (Druckwandler) im Pumpensumpf sendet ein analoges Signal (4-20 mA) an die Pumpensteuerungseinheit mit Daten über den Füllstand im Pumpensumpf.

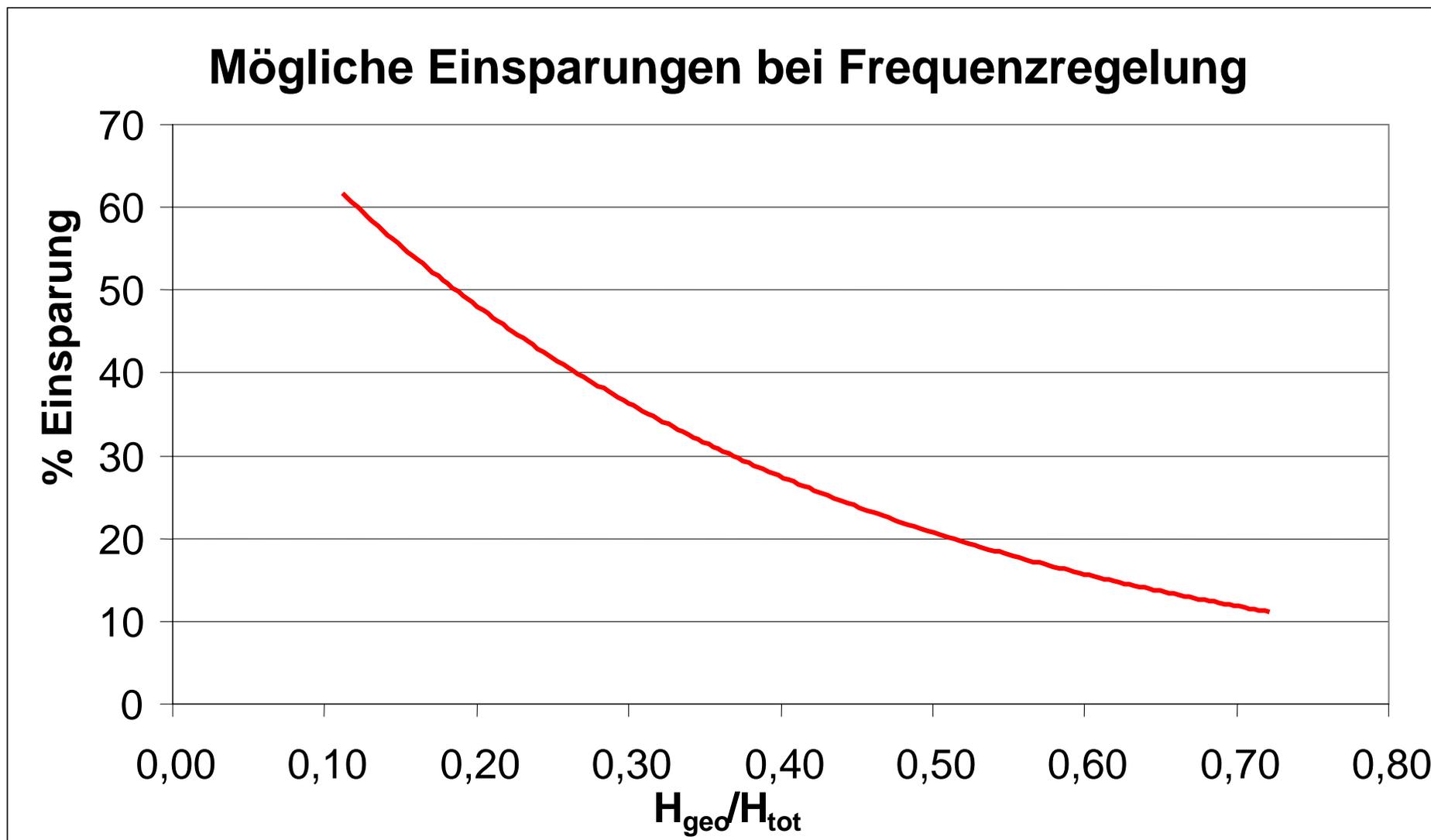
Die Pumpensteuerungseinheit berechnet ausgehend vom Füllstand im Pumpensumpf bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen.

Die Pumpensteuerungseinheit sendet ein analoges Signal an die Frequenzumrichter mit der Nachricht, bei welcher Frequenz die Pumpen laufen sollen.

Die Pumpensteuerungseinheit sendet das Start/Stop-Signal an den Frequenzumrichter (alternierend), der die Pumpen startet.

Von der Verteilertafel und den Frequenzumrichtern können Informationen bezüglich eventueller Fehlermeldungen (Thermofehler im Motor u.a.) an die Pumpensteuerungseinheit gesandt werden.

Die Pumpensteuerungseinheit kann Betriebsinformationen an eine zentrale Überwachungseinheit senden und neue programmierte Daten bezüglich der Betriebsparameter empfangen.





Århus Kommune  
Vand og Spildevand



Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z.B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übernahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerlei Ansprüche gegenüber Danfoss oder Danfoss-Mitarbeitern ableiten, es sei denn, daß diese vorsätzlich oder grob fahrlässig gehandelt haben. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung im Rahmen des Angemessenen und Zumutbaren Änderungen an ihren Produkten – auch an bereits in Auftrag genommenen – vorzunehmen. Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firmen. Danfoss und das Danfoss-Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.

