

Fördern um jeden Preis?

Im Folgenden wird über praktische Erfahrungen mit strömungsbehindernden Lufteinschlüssen in einem pneumatischen Pumpwerk mit Nachblaseeinrichtung berichtet.

1 Einleitung

Eingebunden in sanfte Hügel der bayerischen Oberpfalz liegt Markt Beratzhausen, die Perle des Labertals. Für die kommunale Abwasserbehandlung ist die Gemeinde verantwortlich. Im Jahr 2014 lag der Anschlussgrad über 98 %. Insgesamt transportieren mehr als 27 Pumpwerke das anfallende Schmutzwasser über Druckleitungen zur zentralen Kläranlage in Beratzhausen.

2 Pumpwerk Buxlohe

Im Jahr 2014 wurde der Ortsteil Pfraundorf über eine 3,6 km lange Druckleitung an die Hauptkläranlage Beratzhausen angebunden. Aufgrund des geringen Schmutzwasseranfalls (1000 EW), langen Verweilzeiten und großer Förderhöhe entschieden wir uns für eine pneumatische Förderung mit Nachblaseeinrichtung zur regelmäßigen Druckluftspülung. Noch während des Rohrvortriebs wurde parallel das kompakte Pumpenhaus errichtet, sodass das Pumpwerk nach wenigen Monaten Bauzeit in Betrieb gehen konnte (Abbildung 1).



Abb. 1: Außenansicht des Pumpwerks

Die Anlage fördert ca. 100 000 m³ Mischwasser pro Jahr und verfügt über ein Regenüberlaufbecken mit einem Volumen von 300 m³, das nach Regenereignissen kontinuierlich zur Kläranlage entleert wird.

Der Betrieb des Pumpwerks war von Beginn an nur bei hohen Drücken möglich. Zwar konnten die gewählten Kompressoren diesen Druck erzeugen, jedoch führte dies zu einem enormen Energiebedarf, häufigen Störungen, hohen Betriebskosten und umfangreichen Nachrüst-Arbeiten. Dies war für uns auf Dauer nicht hinnehmbar. Doch statt irgendwelche baulichen oder technischen Maßnahmen zu ergreifen, wollten wir zuerst den Ursachen auf den Grund gehen und eine intensive Betrachtung des hydraulischen Systems unter Berücksichtigung der systembedingten Lufteinschlüsse vornehmen. Dazu wandten wir uns an Bernd Husemann von der Firma Airvalve, der mit uns umgehend eine hydraulische Analyse unseres Systems durchführte.

3 Hydraulische Betrachtung

Die Druckleitung wurde konform zum Arbeitsblatt DWA-A 116-3 (Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen) und entsprechend den Vertriebsunterlagen von Herstellern pneumatischer Pumpwerke ohne Be- und Entlüftungsventile errichtet.

Das Verhalten von Luft, die bei pneumatischen Pumpwerken und Druckluftspülstationen bewusst in die Druckleitung eingebracht wird, wurde aber unterschätzt. Man ging davon aus, einem durch Lufteinschluss bedingten Anstieg der Förderhöhe durch eine höhere Verdichtung der installierten Kompressoren begegnen zu können.

Um zu verstehen, welchen Einfluss Lufteinschlüsse auf die Anlagenkennlinie von Druckleitungen haben und welche unmittelbaren Folgen sich daraus ergeben, sind folgende Grundsätze zu beachten:

3.1 Lufteinschlüsse erhöhen die Förderhöhe

In Druckleitungen tritt freie, ungebundene Luft in Form von Blasen in Erscheinung. Je kleiner eine Luftblase ist, desto geringer ist ihr Auftrieb. Kleine Blasen lassen sich mit ausreichender Strömungsgeschwindigkeit (ab Erreichen der Selbstentlüftungsgeschwindigkeit) fortspülen.

Luftblasen haben grundsätzlich das Bestreben, sich zu größeren Blasen zu verbinden, wodurch sie mehr Auftriebskraft erlangen. Aufgrund der geringeren Dichte gegenüber dem Fördermedium sammeln sich Lufteinschlüsse an den Hochpunkten einer Druckleitung. Sie strecken sich während der Förderung in Fließrichtung talwärts in Richtung des nächstgelegenen Tiefpunkts aus, wodurch die betroffenen Leitungsabschnitte nur teilgefüllt sind.

In teilgefüllten Abschnitten verläuft die Betriebsdruckkennlinie parallel zur Leitungsachse, was dazu führt, dass die Förderhöhe um den Betrag steigt, den die ausgestreckte Blase über ihre Länge an Höhe überwindet. Das beschriebene Phänomen wird in Abbildung 2 verdeutlicht.

BTB Berufstaucher GmbH Berufstaucher Bayern

- Wir tauchen günstiger als Sie denken
- Kläranlagentauchen pro Gruppenstunde 175,- EUR netto
- Kläranlagen – Reparaturen
- Montagearbeiten von Räumchildern, Belüfterelementen und Rührwerken im Betriebszustand
- Kontrollarbeiten – Vermessungen
- Faultürme – Kontrolle, Wartung und Reinigung
- Schlammabsaugung, Betonagen
- Schweiß- und Schneidarbeiten

Carola Süßmann, Regensburgerstr. 44, 93128 Regenstein
Mobil: 0151 / 11 20 13 16, Fax: 09402 / 50 44 12
www.berufstaucher-bayern.de, berufstaucher-bayern@gmx.de

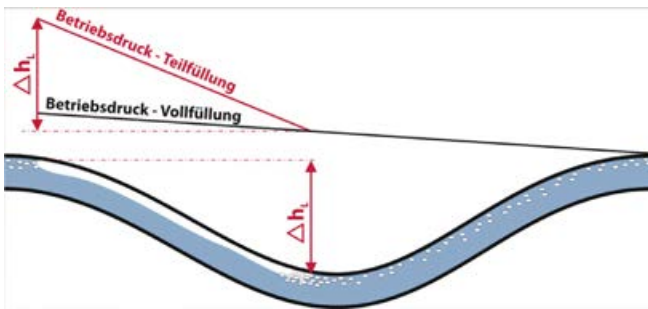


Abb. 2: Förderhöhe mit Lufteinschluss (Teilfüllung) und ohne Lufteinschluss (Vollfüllung)

3.2 Selbstentlüftung erfordert Geschwindigkeit und Zeit

Lufteinschlüsse können vom Fördermedium „ausgespült“ werden, sobald die sogenannte Selbstentlüftungsgeschwindigkeit erreicht bzw. überschritten wird. Diese ist vom Innendurchmesser und dem Neigungswinkel der Druckleitung abhängig. Mit Erreichen der Selbstentlüftungsgeschwindigkeit werden am unteren Ende eines Lufteinschlusses (hydraulischer Sprung) kleine Blasen abgerissen, die vom Medium fortgespült werden können. Diese Blasen haben unverändert die Tendenz, sich zu vereinigen, sodass sie im späteren Verlauf auch als große Blase, entgegen der Strömungsrichtung, zurück zu ihrem Ausgangspunkt gelangen können.

Tabelle 1 listet praxisgerechte Richtwerte der Selbstentlüftungsgeschwindigkeit (VS) und deren korrespondierendem Volumenstrom (Q) in Abhängigkeit vom Rohrleitungs-Innendurchmesser (DN) auf.

DN [mm]	VS [m/s]	Q [m³/h]	Q [l/s]
50	0,63	4,5	1,2
80	0,79	14,3	4,0
100	0,89	25,2	7,0
150	1,08	68,7	19,1
200	1,25	141	39,3
250	1,40	247	68,7
300	1,53	389	108
350	1,66	575	160
400	1,77	801	222

Tabelle 1: Selbstentlüftungsgeschwindigkeit (VS) und korrespondierender Volumenstrom (Q) unterschiedlicher Rohrleitungs-Innendurchmesser (DN)

Findet eine Selbstentlüftung statt, so bedarf sie ausreichend Zeit, was – abhängig von Länge, Profil und Betriebsweise der Druckleitung – mitunter mehrere Stunden dauert. Für einen energieeffizienten Abwassertransport, der allein durch Selbstentlüftung frei von strömungsbehindernden Gaseinschlüssen realisiert werden soll, ist es unerlässlich, dass der Lufteintrag in das Fördersystem geringer ist als die Luftmenge, die langfristig über Selbstentlüftung ausgespült werden kann. Dabei sind alle Quellen von Luft- bzw. Gaseintrag zu berücksichtigen. Zu den Primärquellen freier Gase in Abwasserdruckleitungen zählen:

- biologische Abbauprozesse (Faulgase)
- Eintrag in der Pumpstation, speziell durch einstürzenden Zulauf.

Bei pneumatischen Pumpwerken und Nachblaseinrichtungen kommt hinzu:

- verzögertes Schließen des Druckbehälterablaufs nach vollständiger Entleerung
- Nachblasvorgang, bei dem gezielt Druckluft eingeleitet wird.

3.3 Förderhöhe bedeutet Kosten

Potenzielle Energie wird über das Produkt von Masse, Erdbeschleunigung und Höhe definiert. Demzufolge muss das Förderaggregat für jeden einzelnen Meter Förderhöhe entsprechende Arbeit leisten. Dabei ist es grundsätzlich egal, mit welchem Antrieb (pneumatisch oder konventionell) ein Pumpwerk ausgerüstet ist.

Das folgende Rechenbeispiel bilanziert den physikalischen Energiebedarf eines Pumpwerks (hier: Pumpwerk Buxlohe) zur Förderung von 100 000 m³ Mischwasser pro Jahr im entlüfteten (36 m Förderhöhe) und nicht entlüfteten (70 m Förderhöhe) Zustand der Rohrleitung. Es gilt:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \quad [Ws]$$

mit:

$$m = 100\,000\,000 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h_1 = 36 \text{ m (entlüftet)}$$

$$h_2 = 70 \text{ m (nicht entlüftet)}$$

Ergebnis:

$$E_{pot,1} = 9810 \text{ kWh (entlüftet)}$$

$$E_{pot,2} = 19\,075 \text{ kWh (mit Lufteinschlüssen)}$$

Aufgrund der fast doppelten Förderhöhe muss im nicht entlüfteten System fast doppelt so viel Arbeit geleistet werden. Zur Ermittlung der Energiekosten sind der spezifische Energiebedarf des Förderaggregats (Herstellerangabe, abhängig von Bauform, Typ und Betriebsdruck), das Verdichtungsverhältnis und der Strompreis zu berücksichtigen.

Tabelle 2 stellt die jährlichen Stromkosten des pneumatischen Pumpwerks Buxlohe (Abbildung 3) bei 36 m (entlüftet) und 70 m (ohne Entlüftung) Förderhöhe gegenüber.

Hierbei muss berücksichtigt werden, dass das Abwasser aus dem Arbeitsbehälter verdrängt wird, wenn dieselbe Menge an verdichtetem Luftvolumen einströmt.



Abb. 3: Das pneumatische Pumpwerk, Innenansicht mit Blick auf zwei Arbeitsbehälter

Nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz beträgt das Volumen der Luft unter Atmosphärendruck:

$$V_{atm} = \frac{p_1 V_1}{p_{atm}}$$

Förderhöhe	36 m	70 m
atmosphärischer Druck (p_{atm})	1 bar abs.	1 bar abs.
Betriebsdruck (p_1)	4,6 bar abs.	8,0 bar abs.
spezifischer Energiebedarf des Kompressors	0,0875 kWh/m ³	0,1133 kWh/m ³
Fördervolumen = Volumen unter Betriebsdruck (V_1)	100 000 m ³	100 000 m ³
Volumen unter atmosphärischem Druck (V_{atm})	460 000 m ³	800 000 m ³
Energiebedarf des Kompressors	40 250 kWh	90 640 kWh
regionaler Strompreis	0,24 €/kWh	0,24 €/kWh
Stromkosten (pro Jahr)	9660 €	21 754 €

Tabelle 2: Berechnung der jährlichen Stromkosten des pneumatischen Pumpwerks

3.4 Zusatzkosten

Für den Betrieb eines pneumatischen Pumpwerks Buxlohe mit Nachblaseeinrichtung fallen neben den vorgenannten Energiekosten der reinen Abwasserförderung weitere Energiekosten an. Diese sind:

- Druckluftherzeugung für Nachblaseeinrichtung
- Druckluftherzeugung für verspätetes Schließen des bereits entleerten Sammelbehälters

- Druckluftherzeugung für pneumatisch betätigte Armaturen
- Energiebedarf der Mess- und Regeltechnik
- Energiebedarf der Raumlufttechnik zum Abführen der ungenutzten Kompressor-Abwärme.

4 Alltagsprobleme

Die Förderhöhe von 70 m (nicht entlüftete Druckleitung) wurde im Betrieb regelmäßig überschritten, was dazu führte, dass die Notabschaltung bei 8,6 bar auslöste und wir das Pumpwerk zur Störungsbeseitigung anfahren mussten.

Darüber hinaus fro der Schalldämpfer der Kessel-Entspannungsleitungen selbst bei sommerlichen 20 °C Außentemperatur ein, was eine Beheizung des Schalldämpfers erforderlich machte.

5 Problem und Lösung

Die anhaltenden Betriebsprobleme und inakzeptabel hohen Energiekosten zwangen uns zu handeln. Als Sofortmaßnahme überlegten wir, die Druckleitung manuell zu entlüften, um den diagnostizierten Lufteinschluss gezielt zu entfernen. Wenige Tage später, im November 2015 gruben wir an der vereinbarten Stelle ein Kopfloch, um die Druckleitung über eine 32-mm-Anbohrarmatur zu entlüften (Abbildung 4). Der Vorgang dauerte ca. 20 Minuten. Während dieser Zeit wurde ein Abfallen des am Pumpwerk anstehenden Betriebsdrucks von 7 bar auf unter 4 bar protokolliert, was die Diagnose der „Luftverstop-

Blähschlamm oder Flockenabtrieb? Schaum im Faulturm? Schlechte Entwässerbarkeit?

Wir stellen die Diagnose!

- Umfangreiche mikroskopische Analyse
- Ursachenermittlung
- praxisnahe Handlungsempfehlungen
- Pauschalpreis 250 € netto

Unabhängig von Fällmittelherstellern.

Wir lösen auch schwierige Fälle.

Gut beraten mit Bioserve!



Bioserve GmbH

Rufen Sie uns an!

☎ 061 31-28 910-16

**Biotechnologie +
Beratung für
Kläranlagen**

Rheinessenstraße 9a
55129 Mainz

Tel. 061 31-28 910-16
Fax: 061 31-28 910-17

www.Bioserve-GmbH.de
Info@Bioserve-GmbH.de

fung“ zweifelsfrei bestätigte. Die manuelle Entlüftung wurde daraufhin durch ein Be- und Entlüftungsventil ersetzt.



Abb. 4: Handentlüftung

Seit Dezember 2015 sorgt das Ventil (BEV-Kompaktschacht, Airvalve, Typ BEVG-D-025-L) für eine selbsttätige Entlüftung der Druckleitung (Abbildung 5). Der Betriebsdruck wird seither auf einem Wert von ca. 3,6 bar gehalten. Um Geruchsbelästigungen und Ablagerungen zu vermeiden, wird die Druckleitung unverändert zweimal täglich nachgeblasen. Auch dies funktioniert problemlos, weil das Ventil mit einer einstellbaren Drossel für Druckluftspülung ausgerüstet ist.



Abb. 5: BEVG-Kompaktschacht

6 Weiteres Optimierungspotenzial

Nach der erfolgreichen Senkung der Förderhöhe wollen wir zukünftig den Pressluftbedarf weiter optimieren, um die Energiekosten des Pumpwerks Buxlohe noch weiter zu reduzieren. Dabei stehen zwei Aspekte im Fokus:

Dauer der Förderintervalle

Theoretisch kann der Ablauf des Sammelbehälters geschlossen und der Kompressor gestoppt werden, sobald der Kessel durch die eingespeiste Druckluft vollständig entleert ist. Dies scheidet in der Praxis aber daran, dass keine geeignete Sensorik im Pumpwerk Buxlohe vorhanden ist. Das hat zur Folge, dass der Förderprozess deutlich verzögert gestoppt wird, wodurch der Kompressor unnötig lange Druckluft erzeugt, deren Kosten eingespart werden können.

Zur Optimierung der Förderzeiten verfolgen wir verschiedene Ansätze, wie zum Beispiel eine druckabhängige Laufzeitregelung oder eine berührungslose Füllstandmessung am Ablauf des Sammelbehälters.

Dauer des Nachblasvorgangs

Die Laufzeit des Kompressors während eines Nachblasvorgangs soll – unter Berücksichtigung des Leitungsprofils und des während der Spülung abnehmenden Rohrreibungswiderstands – minimiert werden. Dabei wird analysiert, inwieweit die Spülgeschwindigkeit – durch Nutzung der Gasexpansion bei sinkender Rohrreibung – aufrecht erhalten werden kann.

7 Zusammenfassung

Neben dem störungsfreien Betrieb eines Pumpwerks kommt der Energieeffizienz von Förderprozessen eine stetig steigende Bedeutung zu. Lufteinschlüsse in Rohrleitungen behindern die Strömung, was zu einem Anstieg der Förderhöhe führt. Die Förderhöhe eines Pumpwerks hat entscheidenden Einfluss auf die Energiekosten des Gesamtsystems, unabhängig von dessen Bauart (pneumatisch oder konventionell). Selbst wenn einschlägige Fachliteratur darauf verweist, dass in Abwasserdruckleitungen mit pneumatischer Abwasserförderung in der Regel keine Be- und Entlüftungsventile eingesetzt werden, ist dies hierfür kein Freifahrtschein.

Jede Abwasserdruckleitung muss anhand ihres Leitungsprofils und ihrer Länge individuell analysiert werden, um Betriebsprobleme und inakzeptable Energieverbräuche auszuschließen. Bei uns hat sich das richtig gelohnt.

Autoren

Tobias Nolte
 Kläranlage Beratzhausen
 Gemeindeverwaltung
 Marktstraße 31, 93176 Beratzhausen, Deutschland
 E-Mail: klaeranlage@beratzhausen.com

Dipl.-Ing. Bernd Husemann
 Airvalve Flow Control GmbH
 Gutenbergweg 33, 59519 Möhnesee, Deutschland
 E-Mail: husemann@airvalve.de

Dr.-Ing. Christoph Rapp
 Institute of Water and Renewable Energies
 München, Deutschland

UNI TECHNICS INNOVATIONEN FÜR IHR KANALNETZ
GERUCH | FREMDWASSER | INGENIEURLEISTUNGEN

ABLUFTHANDLUNG UNI-OXI-AIR



**BESEITIGUNG
VON
GERUCHSSTOFFEN**



Schwerin | Bamberg | Stuttgart | Köln | Cottbus | Gotha unitechnics.de