

DIPLOMARBEIT

Analyse und Optimierung eines kombiniert pneumatisch – hydraulischen Abwasserfördersystems für lange Druckleitungen für 10.000-15.000 Einwohnerwerte anhand eines Fallbeispiels

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Gregor Griener, BSc

Matr.Nr.: 1126200

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.na.techn. **Thomas Ertl**

Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Universität für Bodenkultur Wien
Muthgasse 18, 1190 Wien

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. **Jörg Krampe**

Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement
Forschungsbereich für Wassergütewirtschaft
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/226, 1040 Wien

Kurzfassung

Mit April 2018 nahm das neu errichtete Abwasserpumpsystem der Marktgemeinden Atzenbrugg und Zwentendorf seinen Betrieb auf. Herzstück der Anlage ist das kombiniert pneumatisch-hydraulisch betriebene Hauptpumpwerk in Dürnrohr. Dieses fördert bis zu 360 m³/h über eine 13 km lange Druckleitung zur Verbandskläranlage des Abwasserverbandes „An der Traisen“. Seit April 2018 arbeitet die Anlage im Volllausbau. Nach einer kurzen Testphase startete eine Optimierungsphase.

Da ein vergleichbares System in Österreich noch nicht existiert, ist es von Interesse, die in dieser Phase gesetzten Schritte wissenschaftlich zu dokumentieren und auszuwerten. Die vorliegende Arbeit soll dies für den Systemteil Hauptpumpwerk bis Kläranlage realisieren.

Eine Literaturrecherche betreffend verschiedener Abwasserpumpsysteme zeigt, dass es keine dokumentierten Erfahrungswerte kombiniert pneumatisch-hydraulischer Abwasserpumpstationen in dieser Größenordnung gibt.

Es werden die Kennzahlen Durchfluss, Druck, volumensbezogener und spezifischer Stromverbrauch nach DWA 216 (2015) sowie H₂S_g-Konzentration festgelegt, um den Erfolg der Optimierungsschritte zu beurteilen. Hierfür wird ein R-Code erstellt, der es ermöglicht, die Kennzahlen aus den umfassenden Rohdaten des Anlagenarchives zu berechnen.

Durch die Diskussion verschiedener Betriebsfälle kann ein volumensbezogener Stromverbrauch von 0,50 kWh/m³ bei vorrangig pneumatischem Betrieb und Trockenwetter angegeben werden. Dieser enthält eine Druckluftspülung der Leitung in mindestens zweitägigen Intervallen. Die untersuchten Betriebsweisen führen zu keiner biogenen Schwefelwasserstoffbildung in der betrachteten Druckleitung. Es wird gezeigt, dass durch die Modifizierung des Systems durch die Aktivierung der druckabhängigen Kompressorlaufzeit zur Entleerung eines Förderkessels, sowie durch wasserstandsabhängigen Betrieb der pneumatischen Anlage bei Schwachlast und bei vorrangig pneumatischem Betrieb, eine Reduktion des Energiebedarfes bis zu 40 % bewirkt wird. Weiters kann nachgewiesen werden, dass selbst abseits des Volllastfalles eine Reduktion des Stromverbrauches durch den Einsatz von Entlüftungsventilen erfolgt.

Da die gesamte Optimierungsphase ein über mehrere Jahre andauernder, iterativer Prozess ist, können am Ende dieser Arbeit Empfehlungen für das weitere Vorgehen in der Optimierungsphase sowie Verbesserungsvorschläge gegeben werden.

Abstract

In April 2018, the newly built wastewater pumping system of the municipalities of Atzenbrugg and Zwentendorf started operating. The main pumping station, which is situated in Dürnröhr, is the heart of the sewage system. It conveys a flow rate of up to 360 m³/h via a 13 km long pressure pipe to the sewage treatment plant of the waste water board “An der Traisen”. Since April 2018 the pumping station is working at full capacity. Following a short pilot run, an optimization phase started.

Since a similar system doesn't yet exist in Austria, it is of interest to document and evaluate the steps taken in this phase scientifically. The present thesis should achieve this by assessing at the subsystem main pumping station to sewage treatment plant.

A literature review on various wastewater pumping systems shows, that there is no documented experience of combined pneumatic-hydraulic driven wastewater pumping stations at this scale.

The optimisation steps are evaluated by comparing the key figures, flow, pressure, relative and specific power consumption as well as H₂S_g-concentration. Therefore, an R code is programmed to calculate the key figures from the comprehensive raw data given by the PLC archive.

By discussion of different operating conditions, a relative power consumption of 0.50 kWh/m³ can be achieved in primary pneumatic operation at dry-weather, containing a compressed air-flushing of pressure sewers on a two-day interval. The investigated operating conditions do not effect formation of biogenic hydrogen sulphide in the observed pressure line. Modifying the system by activating the pressure-dependent compressor runtime function and the water level dependent control of the pneumatic pumps at off peak load, the energy consumption can be reduced by 40 % in primary pneumatic operation. Furthermore, the reduction of power consumption through the use of vent valves can be proven even at partial load.

Since the entire optimization phase is a process that runs over several years, recommendations and suggestions for improvement can be given at the end of this work for the optimization phase.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement unter der Leitung von Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Jörg Krampe erstellt. Ihm gebührt Dank für die Möglichkeit, mich in meiner Diplomarbeit mit meinem Wunschthema befassen zu können und für den Vorschlag der Betreuung durch Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Thomas Ertl. Ihm möchte ich besonderes für das eingebrachte Fachwissen und die höchst angenehme und kollegiale Art, mit der er mich durch diese Arbeit führte, danken. Er ermöglichte mir die Präsentation meiner Ergebnisse im Zuge der 27. ÖWAV KAN-Sprechertagung 2018 vor einem großen Fachpublikum. Bei Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl Svardal bedanke ich mich für die Unterstützung zum Themenbereich Schwefelwasserstoffbildung und –vermeidung durch seine fundierte Fachkenntnis.

Dank gebührt auch den ausführenden Firmen deren Mitarbeiter stets bereit waren Auskunft zu geben. Bei der Anlagenbeschreibung, der Erarbeitung der Methodik und der Versuchsdurchführung bekam ich vollste Unterstützung durch die Firma hoelschertechnik-gorator GmbH & Co. KG. Besonderer Dank gebührt hier Herrn Hubert Boelker, der es mir ermöglichte, auch das Abwasserpumpensystem in Gerstetten, Deutschland zu besichtigen. Ich konnte ihn bei Fragen nicht nur jederzeit anrufen, er hatte auch stets eine hilfreiche und gut argumentierte Antwort parat.

Der Marktgemeinde Zwentendorf danke ich für die Möglichkeit, ihr Abwasserpumpensystem als Fallbeispiel für meine Arbeit heranziehen zu dürfen sowie für die Unterstützung durch ihre Mitarbeiter. Ohne das Engagement und die Hilfsbereitschaft von Herrn Gerhard Popper, der die Betriebsführung der Anlage inne hat, wäre die Umsetzung der entworfenen Betriebsfälle nicht möglich gewesen.

Ing. Christian Liendl, Geschäftsführer des AV „An der Traisen“ ermöglichte mir die Nutzung des Labors der Verbandskläranlage zur Durchführung von Sulfid-Messungen. Ich bedanke mich hierfür und für die zur Verfügung gestellten Messdaten sowie für einige anregende Gedanken zur Betriebsoptimierung.

Weiters möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Firma Ingenieurbüro Henninger & Partner GmbH für die Hilfestellung bei der Aufarbeitung der Bestandsunterlagen und für die Geduld, die sie während der Erstellung der Diplomarbeit für mich als ihren Kollegen aufbringen mussten, bedanken. Spezieller Dank gebührt dabei Herrn Dipl.-Ing. Martin Henninger, dessen zündende Idee den Anstoß zur Erstellung der vorliegenden Arbeit lieferte. Er war als Diskussionspartner stets zur Stelle, sein Engagement und Kreativität trugen wesentlich zum Gelingen dieser Diplomarbeit bei.

Die Fertigstellung der vorliegenden Arbeit geht mit dem Abschluss meines Studiums einher. Deshalb möchte ich mich hier bei meiner geliebten Freundin Christina bedanken. Durch die gemeinsame Studienzeit konnte ich immer neue Motivation schöpfen, auch alle anderen Lebensbereiche wurden und werden durch sie bereichert. Mir ist es an dieser Stelle ein großes Anliegen, hier jenen Personen von Herzen zu danken, die mir diese schöne und vor allem lehrreiche Studienzeit ermöglichten. Sie hatten immer ein offenes Ohr für meine Probleme und ich konnte immer auf ihre andauernde und verständnisvolle Unterstützung zählen.

Meinen Eltern

*„Of course I care about the future. I intend
to spend the rest of my remaining life in it.”*

Mark Twain (1835 – 1910)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung	3
3. Allgemeine Grundlagen	5
3.1 Möglichkeiten der Abwasserbeförderung	5
3.2 Pumpensysteme zur Beförderung von Abwasser.....	6
3.2.1 Hydraulische Pumpen.....	7
3.2.2 Pneumatische Pumpen.....	14
3.2.3 Mischformen.....	18
3.2.4 Berücksichtigung von Lufteinschlüssen bei der hydraulischen Berechnung.....	21
3.3 Problemstellungen bei langen Abwasserdruckleitungen	22
3.3.1 Eintrag und Bildung von Schwefelwasserstoff.....	22
3.3.2 Wirkung.....	24
3.3.3 Bestimmungsmethoden	25
3.3.4 Verfahren zur Geruchs- und Korrosionsverminderung	27
4. Material und Methoden	29
4.1 Beschreibung der Anlage	29
4.1.1 Beschreibung des Einzugsgebietes.....	29
4.1.2 Abwassermengen	30
4.1.3 Systembeschreibung.....	30
4.1.4 Technische Ausrüstung der Anlagenteile innerhalb der Systemgrenze.....	34
4.1.5 Fernwirktechnik und Datenübertragungssystem.....	39
4.2 Lösungsfindungsprozess und Kalkulationsansätze	42
4.3 Definition der Systemgrenze	44
4.4 Methoden.....	45
4.4.1 Kennzahlen	45
4.4.2 Kennzahlerhebung und –verarbeitung.....	47
4.4.3 Druckabhängige Entleerungszeit der Förderkessel	53
4.4.4 Analyse der Anlage.....	54
4.4.5 Optimierung der Schaltpunkte	58
4.4.6 Ablauf und Reihenfolge der Druckluftspülvorgänge	59
4.4.7 Veränderung der Druckverhältnisse durch Entlüftungsventile und Verbindungsleitungen	64

5. Ergebnisse und Diskussion	67
5.1 Analyse der Anlage.....	67
5.1.1 Speicherkapazität des Vorschachtes.....	67
5.1.2 Tagesganglinie und Stromverbrauch.....	68
5.1.3 Abwasserzusammensetzung – H ₂ S-Messungen.....	70
5.2 Druckabhängige Entleerungszeit der Förderkessel.....	70
5.3 Bandbreite des Energieverbrauches und Optimierung der Schaltpunkte	73
5.3.1 Betriebsfall 1 - Maximalvariante	73
5.3.2 Betriebsfall 2 - Minimalvariante	75
5.3.3 Betriebsfall 3 – Regenereignis	77
5.3.4 Betriebsfall 4 – Druckluftspülung	78
5.3.5 Betriebsfall 5 – 1 Kompressor	79
5.3.6 Betriebsfall 6 – 1 Kompressor + Vorschachtregelung.....	81
5.4 Ablauf und Reihenfolge der Nachblasprozesse	84
5.4.1 Betriebsfall 7 – 2 Kompressoren, zweitägige Druckluftspülung	84
5.5 Veränderung der Druckverhältnisse durch Entlüftungsventile.....	87
6. Interpretation	89
6.1 Analyse.....	89
6.2 Druckabhängige Entleerungszeit	90
6.3 Betriebsfälle.....	91
6.4 Ablauf und Reihenfolge der Nachblasprozesse	95
6.5 Veränderung der Druckverhältnisse durch die Entlüftungsventile	96
6.6 Abwasserzusammensetzung - H ₂ S _g -Messung.....	96
7. Schlussfolgerungen und Ausblick	97
8. Zusammenfassung	103
Anhang A	R-Codes
Anhang B	BF1 – Maximalvariante
Anhang C	BF2 – Minimalvariante
Anhang D	BF3 – Regenwetter
Anhang E	BF4 – Druckluftspülvorgang
Anhang F	BF5 – 1 Kompressor
Anhang G	BF6 – 1 Kompressor + Vorschachtregelung
Anhang H	BF7– Änderung Druckluftspülung
Anhang I	Analyse der Anlage

1. Einleitung

Die bestehenden Kläranlagen der Marktgemeinden Atzenbrugg und Zwentendorf entsprachen nicht mehr dem Stand der Technik und mussten daher angepasst werden. Vor allem die Kläranlage der MG Zwentendorf war aufgrund des hohen industriellen Abwasseranteiles an ihre Kapazitätsgrenzen gestoßen. Die beiden Marktgemeinden bekamen den behördlichen Auftrag, ihre Abwasserreinigungsanlage an den Stand der Technik anzupassen.

Um die technisch, wirtschaftlich und ökologisch beste Lösung zu finden, wurde von den beiden Gemeinden eine Variantenuntersuchung in Auftrag gegeben. Diese untersuchte den Bau einer Kläranlage sowie die Weiterleitung des Abwassers durch Pumpen zu einer größeren Abwasserreinigungsanlage. Basierend auf den Empfehlungen der Studie fassten die beiden Gemeindegremien den Beschluss, dem Abwasserverband „An der Traisen“ beizutreten, ihre Abwässer zur Verbandskläranlage in Traismauer zu pumpen und dort einer sicheren Reinigung zuzuführen.

Hierzu sollte ein gemeinsames Hauptpumpwerk nördlich der Ortschaft Dürnröhr errichtet werden, welches die Abwässer der beiden Gemeinden gesammelt zur ca. 13 km entfernten Kläranlage Traismauer pumpt. Da die beiden Gemeinden über Misch- und Trennsysteme verfügen, muss im Regenwetterfall eine Weiterleitung von 360 m³/h gewährleistet sein.

Die weite Entfernung lässt auf eine lange Aufenthaltszeit des Abwassers, besonders im Trockenwetterfall, schließen. Es herrschen also optimale Bedingungen für eine Schwefelwasserstoffbildung. Verantwortlich dafür sind sulfatreduzierende Bakterien in der Sielhaut. Schwefelwasserstoff führt zu starker Geruchsbelästigung, Gefährdung der Arbeitssicherheit und Korrosion von Bauwerken und von maschinellen und elektrotechnischen Ausrüstungsteilen. Der Umgang mit diesem Prozess spielte in der Wahl des Pumpsystems eine zentrale Rolle.

Nach dem Vergleich verschiedener Abwasserpumpsysteme wurde festgestellt, dass ein kombiniert pneumatisch-hydraulisch betriebenes System die besten Lösungsansätze für den vorliegenden Anwendungsfall, eine Förderung von bis zu 360 m³/h vom Hauptpumpwerk zur Kläranlage, bietet.

Referenzprojekte von Abwasserpumpsystemen, bei denen ein pneumatisches Überdruckverfahren mit Exzentrerschneckenpumpen kombiniert wird, existieren in Österreich in dieser Größenordnung noch nicht. Das Abwasserpumpsystem der Gemeinde Gerstetten in Deutschland, Inbetriebnahme 2013, arbeitet unter vergleichbaren Rahmenbedingungen und bietet einige Ansätze, die zur Kostenabschätzung herangezogen werden konnten.

Angaben in der Literatur zu Kennzahlen des Energieverbrauches und Erfahrungsberichte über den Betrieb solcher Kombinationsanlagen existieren in geringer Anzahl für kleinere Abwasserfördermengen. Eine wissenschaftliche Dokumentation blieb jedoch bisher aus.

Mit Jänner 2018 nahm das Hauptpumpwerk Dürnröhr seinen Betrieb auf. Seit April 2018 sind auch alle vorgeschalteten und einmündenden Abwasserpumpsysteme in Betrieb. Nach einer Einfahrzeit soll eine Optimierungsphase starten. Die vorliegende Arbeit sieht vor, diesen Optimierungsprozess in den ersten Monaten zu begleiten und wissenschaftlich zu dokumentieren. Dies soll helfen, die gesetzten Schritte auf ihre Wirkung im Hinblick auf Energieeinsparung und die Sicherheit gegen biogene Schwefelwasserstoffbildung zu bewerten.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Im Zuge dieser Arbeit soll die Optimierungsphase des kombiniert hydraulisch-pneumatisch betriebenen Abwasserpumpensystems der Marktgemeinden Atzenbrugg und Zwentendorf vom Hauptpumpwerk bis zur Verbandskläranlage des Abwasserverbandes „An der Traisen“ wissenschaftlich dokumentiert werden. Damit soll die Energieeffizienz sowie die Wirkung der Fördermethode im Zusammenhang mit der Schwefelwasserstoffbildung in langen Druckrohrleitungen untersucht werden.

Folgende Punkte sollen Bestandteil dieser Arbeit sein:

- Grundlagenkapitel
 - Erläuterung verschiedener, speziell jedoch für die im Praxisbeispiel zur Anwendung kommenden Abwasserfördermethoden sowie Beschreibung verschiedener Kombinationssysteme
 - Berücksichtigung von Lufteinschlüssen bei der hydraulischen Berechnung
 - Erläuterung der Problemstellungen bei langen Druckrohrleitungen im Hinblick auf das biogene Schwefelwasserstoffbildungspotential
- Beschreibung der Anlage innerhalb der Systemgrenzen
- Beurteilung der druckabhängigen Entleerungszeit im Hinblick auf das Einsparungspotential im Vergleich zu einer konstanten, druckunabhängigen Laufzeit
- Festlegung einiger Betriebsszenarien, die sich im Hinblick auf das Mengenverhältnis der beiden kombinierten Fördermethoden unterscheiden und Beurteilung dieser im Hinblick auf Energieeffizienz und das biogene Schwefelwasserstoffbildungspotential
- Beurteilung der Auswirkungen der Entlüftungsventile auf den Energieverbrauch
- Optimierung des Ablaufes und der Reihenfolge der Nachblasprozesse
- Vergleich der in der Planung angesetzten Kennzahlen mit jenem aus dem Ist-Zustand
- Beurteilung, ob die hinlänglich bekannten Probleme, die bei langen Druckrohrleitungen, welche mithilfe konventioneller Fördermethoden beschickt werden, auftreten, durch den Einsatz kombinierter pneumatisch - hydraulischer Abwasserbeförderungsanlagen vermieden werden können

Eine Literaturrecherche soll die im Zusammenhang mit dem Grundlagenkapitel gestellten Fragen beantworten. Ergänzend wird die Abwasserpumpenanlage in Gerstetten, Deutschland, gemeinsam mit dem Planer und Anlagenbauer besichtigt, um Erfahrungen mit Kombinationsanlagen zu sammeln.

Durch die Aufarbeitung von Bestandsunterlagen und Unterlagen des wasserrechtlichen Einreichprojektes sowie Anlagenbegehungen mit dem Betreiber werden Informationen gesammelt, um das Abwasserpumpensystem beschreiben zu können.

Es werden Kennzahlen festgelegt, die die systematische Beantwortung der oben angeführten Fragen ermöglichen sollen. Hierzu muss eine Methode zur Verarbeitung der Rohdaten und Berechnung der Kennzahlen erarbeitet werden.

3. Allgemeine Grundlagen

3.1 Möglichkeiten der Abwasserbeförderung

Es gilt zwischen zwei Fördermethoden zu unterscheiden:

- Freispiegelförderung
- Zwangsförderung

Unter Freispiegelförderung versteht man den Transport von Abwasser, bedingt durch die Schwerkraft, von einem topographisch höher gelegenen Punkt, dem Ort des Abwasseranfalles, zu einem topographisch tiefer gelegenen Punkt, dem Zielort. Da diese Kanäle in der Regel mit Abwassermengen durchflossen werden, die nicht der Vollfüllung entsprechen, liegt die Drucklinie unter dem Profilscheitel. Es bildet sich eine freie Flüssigkeitsoberfläche aus. Im stationären Zustand entspricht das Gefälle der freien Oberfläche dem Sohlgefälle des Kanales. Idealerweise entspricht das Gefälle des Kanales jenem der Topographie.

Gilt es eine positive Höhendifferenz zu überwinden, muss dem Abwasser Energie zugefügt werden. Dies geschieht durch den Einsatz von Pumpen. Das Wasser wird gezwungen, eine nicht rein von der Gravitation bestimmte Fließrichtung einzunehmen.

ÖNORM EN 752 gibt unter D.2.5 an, unter welchen Umständen das Pumpen von Abwasser erforderlich, bzw. ratsam sein kann: [1]

- *Vermeidung von übermäßigen Einbautiefen des Abwasserkanals*
- *Entwässerung von tief gelegenen Bereichen oder anderen Bereichen des Einzugsgebiets, die anfällig für kanalindizierte Überflutungen sind*
- *Erschließung von Gebieten, in denen die Abwassereinleitung in ein angrenzendes Entwässerungssystem, eine Kläranlage oder einen Auslauf durch Schwerkraft nicht möglich ist*
- *Überwindung eines Hindernisses, etwa einer Erhöhung, eines Wasserlaufs, eines Bahngleises oder zur Vermeidung eines Dükers*
- *Ausbesserung von Schwierigkeiten in einem Entwässerungssystem aufgrund von Bodensenkung*
- *Bereitstellung einer ausreichenden Höhe für den Betrieb in einer Kläranlage*
- *Zentralisierung der Abwasserbehandlung*
- *Heben von Abwasser in Speicherbecken*

Die Pumpanlage hat bei der Abwasserableitung ihre besondere Bedeutung dadurch, dass sie durch die Vermeidung zu großer Tiefenlagen die Wirtschaftlichkeit eines Entwässerungssystems verbessern kann. [2]

Da im Zentrum der vorliegenden Arbeit ein Abwasserpumpensystem steht, wird in weiterer Folge auf die Zwangsförderung von Abwasser näher eingegangen.

3.2 Pumpensysteme zur Beförderung von Abwasser

Grundsätzlich kann der Abwassertransport nach dem hydraulischen oder nach dem pneumatischen Prinzip erfolgen. In beiden Fällen erfolgt die Förderung in einem geschlossenen Leitungssystem. Bei erstem wird über eine Welle Kraft von einem Motor auf das Fördermedium ausgeübt und somit eine Energieübertragung erreicht. Bei der pneumatischen Förderung erfolgt die Energieübertragung durch Erzeugung eines Über- oder Unterdruckes im System. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, beide Verfahren zu kombinieren. Die Auswahl des zum Einsatz kommenden Verfahrens ist abhängig von den jeweiligen Einsatzbedingungen, wirtschaftlichen und problembezogenen Gesichtspunkten. In Abbildung 3.1 sind die grundlegenden zwangsgesteuerten Transportmöglichkeiten von Abwasser angeführt.

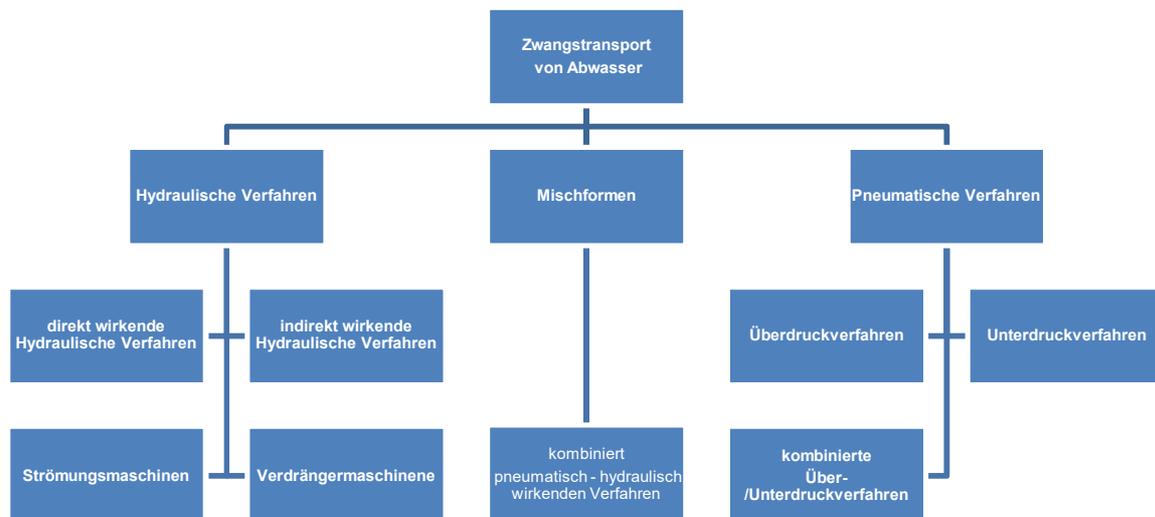


Abbildung 3.1: Übersicht Pumpensysteme nach [3]

Betrachtet man die Pumpwerksbauarten, kann man grundsätzlich zwischen Nassaufstellung und Trockenaufstellung unterscheiden [3]. Bei der Nassaufstellung wird die Pumpe vom Abwasser umspült. Sie befindet sich also direkt im Sammelschacht. Das Fördermedium bewirkt eine Kühlung der Pumpen. Die Motoren müssen überflutbar ausgeführt werden sowie ist auf den Explosionsschutz zwingend Bedacht zu nehmen. Diese Bauart ist sehr platzsparend und die Investitionskosten sind, verglichen mit trocken aufgestellten Pumpen als gering zu bezeichnen. Da sich die Fördereinheit direkt im Abwasser befindet, ist sie der Korrosion ausgesetzt. Für das Betriebspersonal ergeben sich unhygienische und aufwändigere Wartungsbedingungen. Weiters existieren aus Druckgründen und aus Gründen des Kugeldurchganges Einsatzbegrenzungen. Nass aufgestellte Kreiselpumpen stellen die übliche Ausführung bei kleinen Einzugsgebieten, bzw. geringem Abwasseranfall dar [3]. Die Abwassermenge stellt allerdings bei diesem Verfahren keine Begrenzung nach oben dar. In Abbildung 3.2 sind Varianten von Pumpwerken mit nass aufgestellten Pumpen zu sehen.

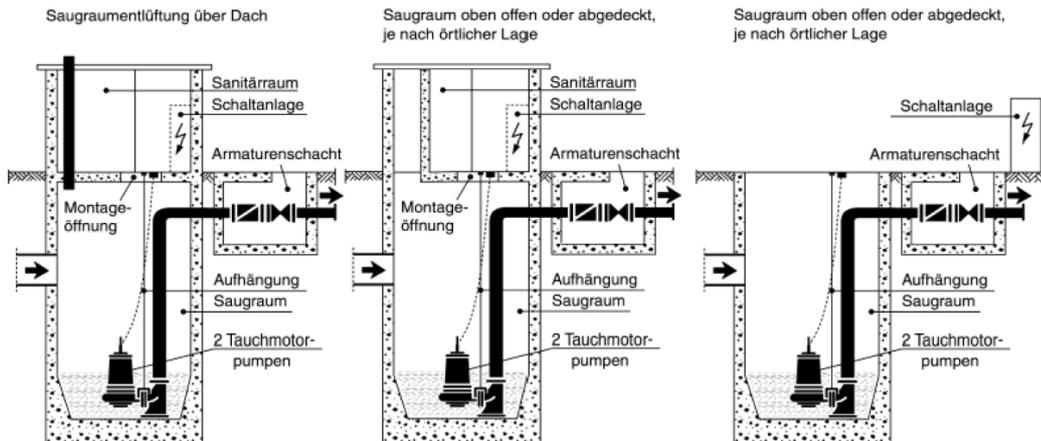


Abbildung 3.2: Pumpwerksbauarten mit Pumpen in Nassaufstellung [2]

Bei der Trockenaufstellung befinden sich die Pumpen in einem eigenen Aufstellungsraum. Die Kühlung der Maschinen muss separat erfolgen. Eine spritzwasserfeste Ausführung ist ausreichend. Die hydraulische Fördermaschine ist mit dem Motor über einen Riemenantrieb, direkte Kupplung oder Getriebe verbunden. Der separate Maschinenraum bietet eine gute und hygienische Wartungsmöglichkeit. Diese Anlagenlösung verfügt über ein gutes Preis-Leistungsverhältnis. Dem gegenüber stehen höhere Baukosten sowie ein erhöhter Platzbedarf. Das Gehäuse des Förderaggregates ist vor Korrosion geschützt [3]. Pneumatische Anlagen sind grundsätzlich trocken aufgestellt. In Abbildung 3.3 sind Varianten von Pumpwerken mit trocken aufgestellten Pumpen zu sehen.

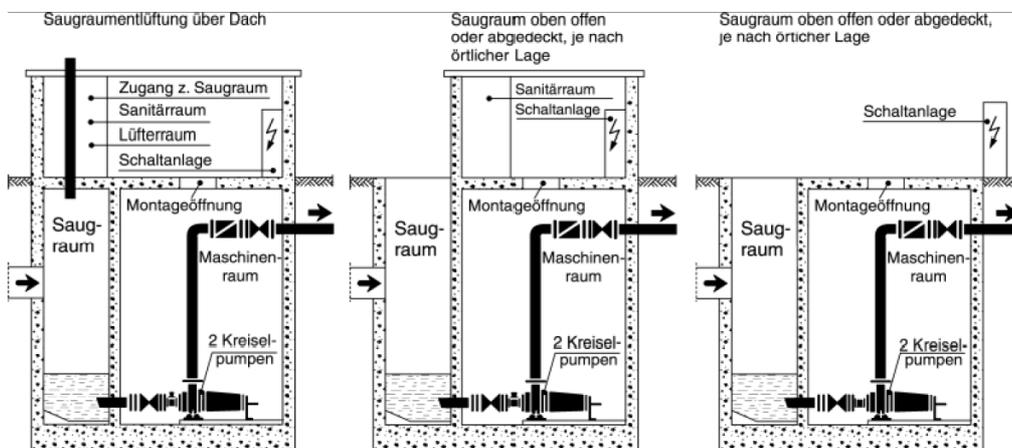


Abbildung 3.3: Pumpwerksbauarten mit Pumpen in Trockenaufstellung [2]

3.2.1 Hydraulische Pumpen

Abgesehen von der Unterscheidung, ob die Pumpen nass oder trocken aufgestellt sind, kann man bei hydraulischen Pumpen noch zwischen direkt und indirekt wirkenden hydraulischen Verfahren unterscheiden.

Unter direkt wirkenden hydraulischen Verfahren versteht man die hydraulische Förderung von Abwasser mit all seinen Inhaltsstoffen. Sedimente, Schwimm- und Sperrstoffe müssen also durch den hydraulischen Druckerhöhungsbereich geleitet werden können. Dadurch ergeben sich bestimmte

Anforderungen an die Robustheit der Materialien, an die Geometrie des Laufrades und an das Gehäuse, um einen störungsfreien Betrieb zu ermöglichen.

Beim Indirektverfahren wird das Abwasser von den oben genannten Grobstoffen befreit, bevor es in den Druckerhöhungsbereich gelangt. Dadurch ist eine Optimierung der Geometrien im Hinblick auf den Wirkungsgrad möglich. Weiters ist durch die Vorreinigung eine größere Sicherheit gegen Verstopfen der Pumpe gegeben [3].

Abbildung 3.4 zeigt ein Pumpwerk mit trocken aufgestellten Strömungsmaschinen mit indirekter Förderung [4]. Im ersten Bild befindet sich die Anlage im Füllvorgang. Hier fließt das Abwasser in einen zentralen Verteilerbehälter und dann in einen der zwei Feststofftrennbehälter. Trennklappen halten die Feststoffe hier zurück. Das vorgereinigte Abwasser gelangt über die Pumpen in den Sammelbehälter. Steigt nun das Niveau soweit, dass der Zulauf in den Trennbehälter durch die Kugel geschlossen wird (Bild in der Mitte), beginnt der Fördervorgang. Die Pumpe fördert nun das vorgereinigte Abwasser in umgekehrter Richtung in die Druckleitung, indem der Förderstrom die Trennklappen öffnet. Durch das Durchfließen des Feststofftrennbehälters wird dieser freigespült und gesäubert.

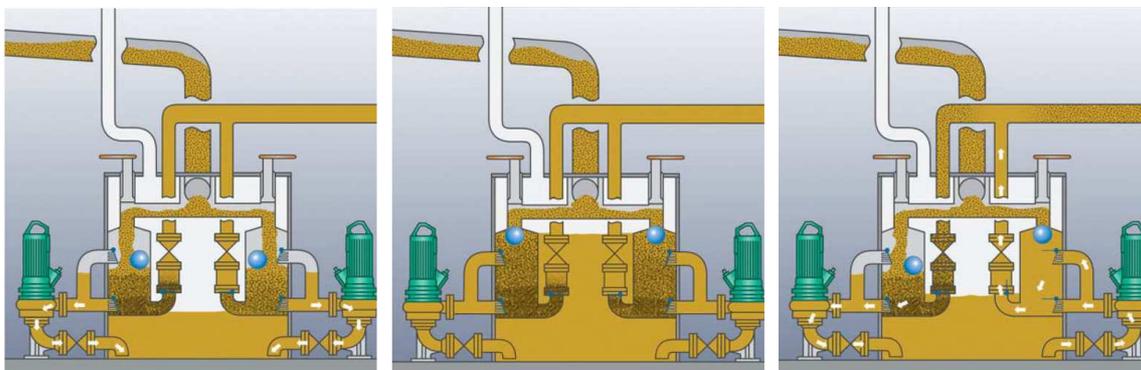


Abbildung 3.4: Pumpwerk mit trocken aufgestellten Strömungsmaschinen mit indirekter Förderung [4]

3.2.1.1 Strömungsmaschinen

Bei Strömungsmaschinen wird mithilfe eines Motors die Energie über ein am Ende einer Welle sitzendes, rotierendes Laufrad auf das Fördermedium übertragen. Durch die Rotation des mit gekrümmten Schaufeln bestückten Laufrades wird auf das Abwasser eine Zentrifugalwirkung ausgeübt. Das Abwasser wird somit radial nach außen gegen das Gehäuse gedrückt. Dieses hat die Aufgabe, das Abwasser in die angeschlossene Druckleitung zu führen. Durch die Ausformung des Spiralgehäuses wird, bedingt durch eine Diffusorwirkung kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt.

Ertl, Plihal, & Schnitter [5] erklären dieses Prinzip anhand eines Löffels in einer Kaffeetasse. Durch die Rührbewegung wird der Kaffee zum Rand gedrängt, wo er nach oben steigt. Soll die Steighöhe vergrößert werden, muss die Umfangsgeschwindigkeit gesteigert werden. Dies kann entweder durch Erhöhung der Umdrehungszahl oder des Rührradius geschehen. Übertragen auf Kreiselpumpen sind also die Drehzahl und der Laufraddurchmesser entscheidend für die Bestimmung der Förderhöhe.

In der Mitte des Laufrades entsteht ein Unterdruck, der eine Sogwirkung und somit ein Nachströmen des Abwassers bewirkt. Diese Seite wird Saugseite genannt. In Abhängigkeit der Pumpenart und -Größe werden die geometrischen Anforderungen an die Ausbildung des Saugrohres und in weiterer Folge an die Beckengeometrie gestellt, um eine möglichst gleichmäßige, wirbelfreie Zuströmung zu erreichen. [3] [5] [6]

Eine entscheidende Größe ist der sogenannte Kugeldurchgang. Dieser wird auch als freier, unverengter Laufraddurchgang bezeichnet. Feststoffe dürfen demnach diese Größe nicht überschreiten, wenn ein verstopfungsfreier Betrieb gewährleistet werden soll. [7]

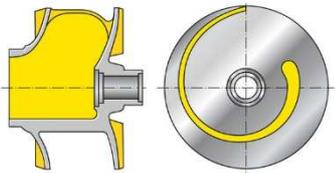
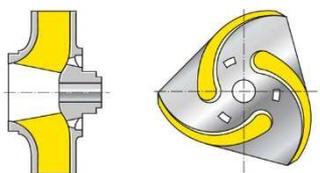
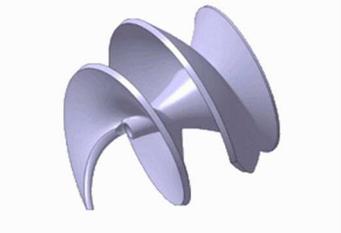
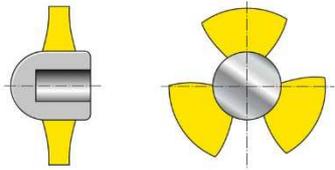
Durch die Ausbildung des Laufrades kann auf die lokale Abwasserzusammensetzung und -menge sowie auf die erforderliche Druckerhöhung eingegangen werden. Zur Auswahl der Pumpe stehen folgende Hauptparameter zur Verfügung [6]:

- Volumenstrom Q
- Förderhöhe H
- Drehzahl n
- Leistung P
- Spezifische Drehzahl n_p
- Wirkungsgrad η
- Kavitationskriterium, Haltedruckhöhe NPSH

Aufgrund der stark vom jeweiligen Abwasser abhängigen Beschaffenheit des Förderfluids haben sich die Pumpenfirmen spezialisiert und geben zu den oben genannten Parametern und Kennlinien auch die Laufradform, das zulässige Förderfluid (körnig, abrasiv, faserig) und die zulässigen Einsatzbedingungen an (Antriebsart, Nass- oder Trockenaufstellung) [6]. Tabelle 3.1 zeigt Laufräder von Strömungsmaschinen, wie sie in der kommunalen Abwassertechnik eingesetzt werden.

Bei Axialrädern wird das Fördermedium in axialer Richtung des Laufrades transportiert. Bei Radialrädern verlässt der Förderstrom das Laufrad radial, also senkrecht zur Pumpenwelle. Sogenannte Diagonalaräder, auch Halbaxialräder genannt, decken den Zwischenbereich ab. [7]

Tabelle 3.1: Laufräder, die in Strömungsmaschinen für kommunales Abwasser zum Einsatz kommen und deren Haupteinsatzgebiete

Einschaufelrad, Einkanalrad	Mehrschaufelrad, Mehrkanalrad
	
<p>Abbildung 3.5: geschlossenes Einschaufelrad [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rohabwasser • Mischwasser • Umwälz- und Heizschlamm • Roh- und Faulschlamm • Belebtschlamm [3, p. 54] 	<p>Abbildung 3.6: geschlossenes Dreischaufelrad [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorgereinigtes Abwasser • Deponieabwässer • Regenwässer • Belebtschlamm • Industrieabwässer [3, p. 56]
Schraubenkanalrad	Freistromrad
	
<p>Abbildung 3.7: Schraubenzentrifugalrad [8]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stark verunreinigtes Abwasser • Stark verunreinigte Schlämme • Schacht- und Grubentleerung • Entleerung von Klärbecken • Einsatz bei höherem Sedimentanfall erfordert gesonderte Untersuchung [3, p. 56] 	<p>Abbildung 3.8: Freistromrad [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rohabwasser (großer Kugeldurchgang) • Mischwasser • Belebtschlamm • Roh- und Faulschlamm <p>[3, p. 58]</p>
N-Laufrad	Axialrad
	
<p>Abbildung 3.9: N-Laufrad [9]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rohabwasser • Mischwasser • Belebtschlamm • Roh- und Faulschlamm [3, p. 59] 	<p>Abbildung 3.10: Axialrad [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fördermedien mit geringer Verschmutzung • Regenwasser • Rücklaufschlamm • Umwälzen von Belebtschlamm • Schöpfwerke [4]

3.2.1.2 Verdrängermaschinen

Verdrängerpumpen arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. Ein fester Körper wird in einen mit dem Fördermedium gefüllten Raum gedrückt. Sofern möglich, erfolgt zuerst eine Kompression. Ist ein Entweichen durch eine Öffnung, an der ein Gegendruck ansteht, möglich, so geschieht dies, sobald dieser Druck im Inneren der Förderkammer überschritten wird. Herrscht ein höherer Gegendruck vor, ist mehr Leistung zum Verdrängen des Förderfluids erforderlich, im Falle des Antriebs durch einen Elektromotor bedeutet dies einen höheren Strombedarf. [3]

Eine Besonderheit der Verdrängerpumpen ist deren Mengenstabilität in Abhängigkeit des vorherrschenden Gegendruckes. Die Förderkennlinie weist also ein sehr starkes Gefälle auf. Verdrängermaschinen eignen sich demnach zur Förderung von konstanten Abwassermengen annähernd unabhängig vom Gegendruck. Abbildung 3.11 zeigt die typischen Formen der Förderkennlinien in Abhängigkeit des Pumpentyps. Die Krümmung der Linie ist bedingt durch die Spaltverluste und dadurch auch abhängig von der Viskosität des Fördermediums. Bei hoher Viskosität wird die Kennlinie steiler. Ist eine Variierung der Abwasserfördermenge erforderlich, muss die Drehzahl des Antriebsmotors verändert werden. [3]

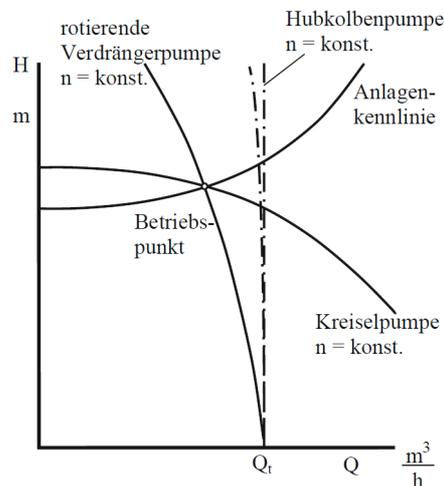


Abbildung 3.11: Betriebskennlinien von Pumpen (Kreiselpumpe, Hubkolbenpumpe, rotierende Verdrängerpumpe) [6, p. 173]

Es ist zwischen oszillierenden und rotierenden Verdrängerpumpen zu unterscheiden:

Tabelle 3.2: Verdrängermaschinen [5]

Oszillierende Verdrängermaschinen	Rotierende Verdrängermaschinen
<ul style="list-style-type: none"> • Kolbenpumpen • Membrankolbenpumpen • Membranpumpen • Plungerpumpen • Flügelpumpen 	<ul style="list-style-type: none"> • Zahnradpumpen • Schraubenspindelpumpen • Kreis-, Drehkolbenpumpen • Exzentrerschneckenpumpen • Schneckenpumpen • Schlauchpumpen

3.2.1.2.1 Membrankolbenpumpen, Schlauchmembrankolbenpumpen

Die Membrankolbenpumpe ist eine oszillierende Verdrängerkolbenpumpe. Die Förderkammer ist begrenzt durch sich in Förderrichtung öffnende Rückschlagventile (Kugelventile). Im Gegensatz zur Kolbenpumpe wird das Fördermedium nicht direkt vom Kolben verdrängt. Diese Aufgabe übernimmt eine Membran mit dahinterliegendem Ölraum, in welchen der Kolben eindringt. Fährt der

Kolben zurück, überträgt das Öl diese Bewegung auf die Membran und es entsteht ein Unterdruck in der Förderkammer, sodass Abwasser von der Saugseite zuströmt. Die Geometrie der Kugelventile begrenzt den freien Kugeldurchgang, sodass sich der Einsatz der Pumpe für Rohabwasser nur bedingt eignet. Eine Vorreinigung des Abwassers ist empfehlenswert. [3]

Bei der Schlauchmembrankolbenpumpe liegt zwischen Membran und Fördermedium noch eine Zwischenflüssigkeit und ein Schlauch. Dieser erzeugt einen geradlinigen Förderstromverlauf, sodass sich diese Bauweise besser für Rohabwasser eignet [3]. Weiters dringt das Abwasser im Falle einer Leckage des Schlauches nicht zu den Hydraulikeinbauteilen vor. Eine weitere Förderung trotz Beschädigung ist möglich. [10]

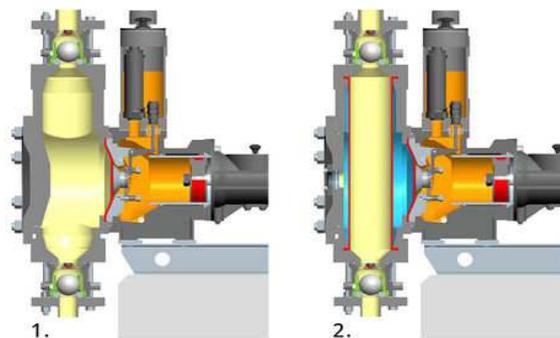


Abbildung 3.12: Links Membrankolbenpumpe, rechts Schlauchmembrankolbenpumpe [10]

Diese Pumpen besitzen einen hohen Wirkungsgrad sowie eine sehr steile Förderkennlinie. Der Durchfluss wird von der Kolbengeometrie, dem Förderschlauch, der Geometrie der Förderkammer sowie der Hubzahl bestimmt. Die Hubzahl ist ihrerseits nach oben begrenzt, da die Kugelventile eine gewisse Zeit zum Schließen benötigen. Wird sie zu hoch gewählt treten Förderverluste auf, da das Fluid zur Saugseite durch das noch nicht geschlossene Ventil gedrängt wird.

3.2.1.2.2 Schneckenpumpen

Schneckenpumpen kommen in der Abwassertechnik zum Heben des Abwassers zum Einsatz, beispielsweise beim Heben eines Sammlers auf Kläranlagenniveau. Die Förderung erfolgt dabei unter atmosphärischem Druck. Der geodätische Höhenunterschied kann dabei bis zu 15 m betragen. Es sind Förderströme von mehreren m^3/s möglich. Sie arbeiten mit sehr niedrigen Drehzahlen.

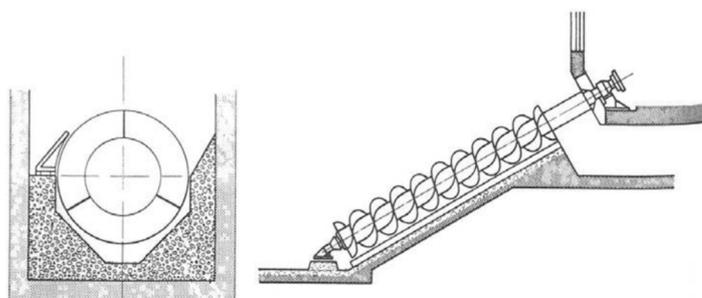


Abbildung 3.13: Prinzipskizze Schneckenpumpe [6, p. 224]

3.2.1.2.3 Drehkolbenpumpen

Im Gehäuse der Drehkolbenpumpe befinden sich zwei, oder drei Rotoren, die von einem Antriebsmotor, der außerhalb sitzt, angetrieben werden. Die Rotoren sind derart geformt, dass sie ineinandergreifen und abwechselnd eine geschlossenen Förderraum zum Gehäuse hin formen. Dieser öffnet sich dann hin zur Druckseite. Es existiert ein konstanter Spalt im gesamten Winkelbereich. Dieser bewirkt ein Absinken des Wirkungsgrades mit steigendem Druck. Die Förderkennlinie ist daher etwas gebogen. Durch die Kolben- und Gehäusegeometrie wird auch der freie Kugeldurchgang definiert. Dieser beträgt bis 80 mm. Somit eignet sich diese Pumpe auch für die Förderung von Rohabwasser. [6, p. 173]



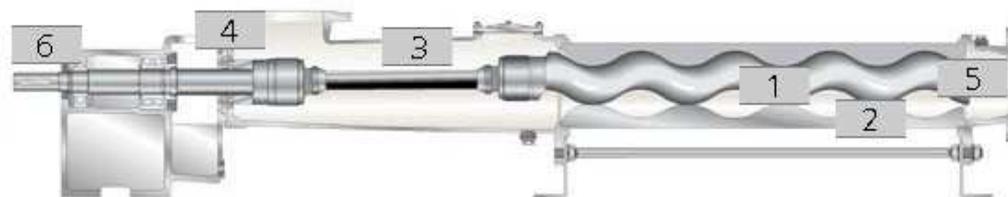
Abbildung 3.14: Prinzipskizze Drehkolbenpumpe [11]

Bei Drehkolbenpumpen ist auf die auftretende Druckpulsation zu achten. Sie ist stark vom Verdrängerprofil, vom vorherrschenden Druck und von der Drehzahl abhängig. Um die Druckpulsation zu senken und um eine stetige Förderung zu erreichen wurden verwundene Rotoren entwickelt. Diese nennt man Wendelkolbenpumpen. [3]

3.2.1.2.4 Exzentrerschneckenpumpen

Die Exzentrerschneckenpumpe ist eine rotierende Verdrängerpumpe. Die Fördereinrichtung besteht aus einem Rotor und aus einem Stator. Durch die Rotation wird das Förderfluid zur Druckseite hin gedrückt und erhält so die Energiezufuhr. Die Antriebswelle des Rotors führt eine exzentrische Bewegung aus und muss daher durch Kardangelenke, Bolzen oder elastische Kupplungsstücke aufgenommen werden. Die Bestandteile sind in Abbildung 3.15 beschrieben.

Der Rotor besteht aus Edelstahl, Titan oder Hartchrombeschichtung. Der Stator ist feststehend und besteht aus einem Elastomer, wie z.B. Naturgummi, synthetische Gummisorten, Neopren, PE, PP, Silikone, PU usw. [6, p. 200 ff]



- | | |
|--|------------------------------------|
| 1 Rotor | 4 Gleitringdichtung |
| 2 Stator | 5 Saug- und Druckgehäuse |
| 3 Kuppelstange mit Kardangelenken zur Kraftübertragung | 6 Lagerstuhl mit freiem Wellenende |

Abbildung 3.15: Prinzipskizze Exzentrerschneckenpumpe [12]

Der Rotor hat die Form einer ein- oder mehrgängigen Spindel, deren Querschnitt eine kreisrunde, oder elliptische Form aufweist. Eine eingängige Spindel hat einen durchgehend kreisrunden Querschnitt. Der Stator besitzt einen schraubenförmigen Arbeitsraum, in welchem das Fluid transportiert wird. Der Querschnitt ist im Gegensatz zum Rotor langgezogen. Abbildung 3.16 zeigt Beispiele für verschiedene Rotor- und Statorgeometrien.

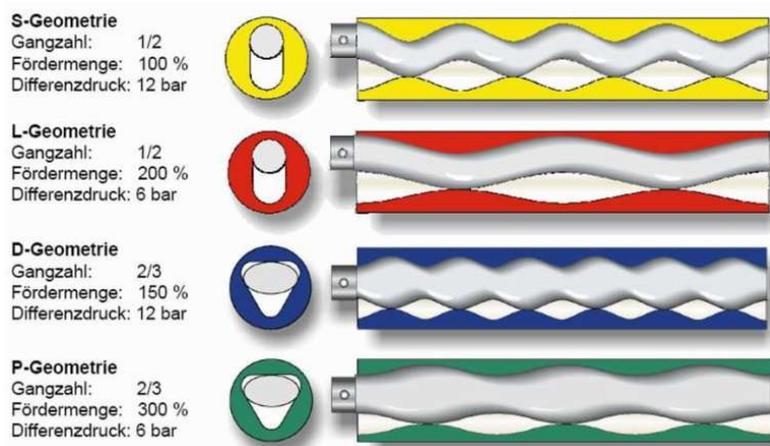


Abbildung 3.16: Rotor- und Statorgeometrien am Beispiel der Pumpenserie Nemo der Fa. Netzsch [11]

Der Förderstrom kann bis zu $500 \text{ m}^3/\text{h}$ betragen und die Förderdrücke bis zu 7 MPa . Die Drehzahlen betragen in Abhängigkeit der Viskosität des Fördermediums $n = 10 - 1450 \text{ min}^{-1}$. Nach Surek (Pumpen für Abwasser und Kläranlagen, [6]) sind die Pumpen bis zu einer manometrischen Saughöhe von $h_s = 8,5 \text{ m}$ selbstansaugend.

Exzentrerschnepumpen haben einen hohen Wirkungsgrad. Dieser nimmt mit steigendem Druck jedoch ab, verursacht durch den Spalt zwischen Rotor und Stator. Die Stärke der Abnahme ist abhängig von der Abrasivität des Fördermediums. Einige Hersteller bieten nachspannbare Rotoren an, die eine Abnutzung kompensieren können. Diese Möglichkeit ist jedoch begrenzt. Daher empfiehlt sich eine Vorreinigung, z.B. durch Rechen, oder ein vorgeschalteter Zerkleinerer. [3]

3.2.2 Pneumatische Pumpen

Im geschlossenen Leitungssystem wird der relative Druck durch Druckluftzugabe oder Entzug im Vergleich zum Ort des Abwasseranfalles verändert. Dadurch wird ein Druckliniengefälle erzeugt und eine Förderung erzielt. In beiden Fällen existieren keine mechanischen Einbauteile, die mit dem Abwasser in Berührung kommen müssen, um eine Energieübertragung zu erzielen.

3.2.2.1 Vakuumverfahren

Das Abwasser gelangt vom Ort des Abwasseranfalles über einen Freispiegelkanal in einen speziellen Abwassersammelschacht. Üblicherweise besitzt jedes Objekt einen eigenen Schacht. Wird ein bestimmtes Niveau erreicht, öffnet sich ein Verschlussorgan und stellt die Verbindung zur Unterdruckleitung her. Durch den dort vorliegenden Unterdruck wird dann das Abwasser in die Leitung transportiert. Je nach Einstellung am Verschlussorgan kann eine bestimmte Menge Luft nachgesaugt werden. Somit erfolgt eine Belüftung des Abwassers. Ein Beispiel für einen Hausanschlusschacht ist in Abbildung 3.17 zu sehen.

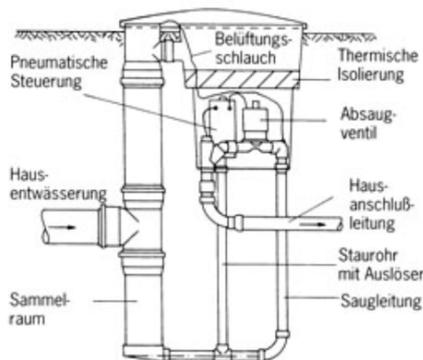


Abbildung 3.17: Beispiel für einen Hausanschlussschacht bei Vakuumentwässerung [13]

Die Vakuumleitung führt zu einem Sammelbehälter, in dem der Unterdruck durch Vakuumpumpen erzeugt und aufrechterhalten wird. Üblich ist ein Unterdruck von 0,6 bis 0,7 bar. Die Verlegung der Leitung erfolgt im Sägezahnmuster mit langen Abstiegen und kurzen Anstiegen, sodass sich das Abwasser im Tiefpunkt sammelt und danach durch das Vakuum über das Steilstück befördert werden kann. [13]

Die Förderung erfolgt diskontinuierlich. Jedoch wird der Zeitpunkt der Abwasserförderung nicht von der Pumpstation zentral vorgegeben, sondern von den einzelnen Anschlussschächten.

Befindet sich das Abwasser im Sammelbehälter, so muss es diesem zum Weitertransport entnommen werden, da dieser unter Unterdruck steht. Dies kann durch pneumatische oder hydraulische Pumpen geschehen, wobei hier nur trocken aufgestellte Varianten zum Einsatz kommen können. [3]

Alternativ kann die Vakuumherzeugung auch mit Verdrängerpumpen erfolgen. Diese gewährleisten zugleich den Weitertransport. Bei der Kombination mit einer pneumatischen Überdruckanlage kann das den Unterdruck erzeugende Gerät gleichzeitig den Überdruck im Förderkessel herstellen. [3]

Das Abwassernetz gleicht einem Verästelungsnetz. Die Vakuumentwässerung eignet sich für Siedlungsgebiete mit Trennsystemen, also für kleine Mengen. Weiters kommt die Vakuumentwässerung zum Einsatz, wenn ein hoher Grundwasserspiegel vorliegt. Im Falle einer Leckage wird kein Schmutzwasser austreten, es wird lediglich Grundwasser angesaugt. Aus demselben Grund kommen sie auch in Wasserschutzgebieten zum Einsatz.

3.2.2.2 Überdruckverfahren

Beim pneumatischen Überdruckverfahren wird das Abwasser in einem Vorschacht gesammelt. Ob der Zulauf im Freispiegel erfolgt, oder aus einer vorhergehenden Druckleitung stammt ist irrelevant. Vom Vorschacht gelangt das Abwasser über eine Füllleitung in den Förderkessel. Dessen Sohle ist deutlich tiefer situiert, als die des Vorschachtes. Die im Förderkessel vorhandene Luft wird verdrängt und über einen Biofilter geführt.

Ist der Förderbehälter gefüllt, wird dies durch eine konduktive Niveausonde registriert und an die SPS weitergegeben, sodass die Schieber im Zulauf und in der Entlüftungsleitung schließen. Ein, oder mehrere Kompressoren beginnen zu arbeiten. Der Schieber in der Druckluftleitung wird geöffnet und die Kompressoren bauen im Behälter Druck auf. Durch das rasche Öffnen des Schiebers in der Druckluftleitung wird ein Luftschwall in das Abwasser gedrückt und so belüftet. In Abbildung 3.18 wird das durch blaue Punkte im Förderfluid visualisiert.

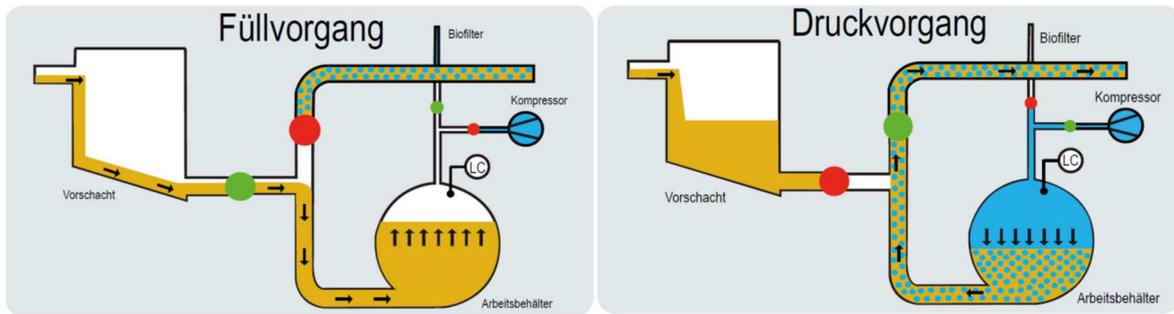


Abbildung 3.18: Skizze einer pneumatischen Überdruckanlage, System GULLIVER der Fa. Hoelscher [14]

Druckseitig ist ein Rückflussverhinderer situiert. Wenn der in der Rohrleitung anstehende Systemdruck um den erforderlichen Differenzdruck des Rückflussverhinderers überschritten wird, öffnet sich dieser. Dann wird das Abwasser aus dem Kessel in die Druckleitung gedrückt. Ist der Arbeitsbehälter vollständig entleert, kann der Kompressor die Arbeit einstellen, oder weiter Luft in die Druckleitung fördern, sodass das Abwasser belüftet wird. Da dies unter Druck geschieht, kann mehr Sauerstoff gelöst werden, als unter atmosphärischen Druckverhältnissen.

Ist der Fördervorgang beendet, schließt ein Schieber die Zuluftleitung. Die Verbindung zur Druckleitung wird durch den Rückflussverhinderer automatisch geschlossen.

Der im Arbeitsbehälter vorhandene Druck muss nun wieder an den atmosphärischen Druck angeglichen werden. Dazu wird die Abluftleitung freigegeben. Mit der Druckluft kann das Abwasser im Vorschacht belüftet werden. Weiters werden abgesetzte Stoffe wieder aufgewirbelt und gelangen so in den Zulauf zum Förderkessel. Die zweite Möglichkeit ist die Abführung der Abluft über den Biofilter. Die Drosselung ist erforderlich, um ein Vereisen zu verhindern.

Danach öffnet sich der Schieber im Zulauf und der Förderzyklus beginnt von vorne. In Abbildung 3.19 ist der Förderzyklus nochmals zusammengefasst. Bei den meisten pneumatischen Überdruckanlagen ist ein zweiter Arbeitsbehälter vorhanden, sodass sich dieser füllen kann, während der erste Behälter geleert wird. Ist der Fördervorgang abgeschlossen, können die laufenden Kompressoren sofort beginnen, den zweiten Kessel zu leeren, sofern dieser bereits vollgefüllt ist.



Abbildung 3.19: Beschreibung des Förderzyklus einer pneumatischen Überdruckanlage

Die Förderung erfolgt diskontinuierlich. Der Förderbefehl wird allerdings vom Vorschachtniveau erteilt. Die Absenkung des Niveaus im Vorschacht kann bis zur Sohle des Zulaufes zu den Förderkesseln erfolgen. Dadurch werden etwaige Schwimmschichten abgezogen. Weiters können so Sedi-

mente abtransportiert werden. Der Druckbehälter ist meist aus verzinktem Stahl gefertigt. Darin befinden sich keine beweglichen Einbauteile, die durch die mittransportierten Abwasserinhaltsstoffe einem Verschleiß unterzogen werden könnten.

Übersteigt der Zufluss das Fördervermögen eines Kompressors, kann ein zweiter, oder dritter zugeschaltet werden. Dadurch verkürzt sich die erforderliche Laufzeit zur vollständigen Entleerung. Dies erhöht die Hubzahl und somit das Fördervermögen. Generell ist jedoch zu sagen, dass pneumatische Überdruckanlagen einen schlechten Wirkungsgrad aufweisen.

Weiters bietet dieses System die Möglichkeit der Druckluftspülung, auch Nachblasvorgang genannt. An Tageszeiten mit geringem Abwasserzufluss kann die Förderung gestoppt werden und mit den Kompressoren die gesamte Leitung einmal entleert werden. Dadurch werden Ablagerungen aus der Druckleitung entfernt und eine etwaig gebildete Sielhaut kann abgelöst werden. Um diese Effekte zu erzielen, ist darauf zu achten, dass eine gewisse Mindestfließgeschwindigkeit nicht unterschritten wird. Die DWA-A 116-3: Besondere Entwässerungsverfahren Teil 3: Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen [15] gibt hier beispielsweise für eine Druckleitung mit dem Durchmesser DN 300 eine Fließgeschwindigkeit von 1,1 m/s vor. Wichtig ist, dass beim Start des Nachblasvorganges ein Gegendruck in der Leitung, verursacht durch eine genügend große Wassersäule, ansteht. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Luft an der Firste des Rohres über das Abwasser hinwegschießt. An der Grenzschicht zwischen Luftblase und Abwasser herrschen an der Rohrwandung große Turbulenzen und stark fluktuierende Druckverhältnisse. Dadurch wird die Schubspannung an der Rohrinneenseite erhöht und die Reinigungsleistung entscheidend beeinflusst. Der Nachblasvorgang stellt meist den maßgebenden Lastfall zur Auswahl der Kompressoren dar.

Aufgrund des Druckliniengefälles nimmt der Druck in der Leitung in Fließrichtung ab. Dadurch gewinnen die eingeschlossenen Luftblasen an Volumen und verdrängen das Abwasser. Die Fließgeschwindigkeit wird somit deutlich erhöht. Am Ende der Druckleitung ist ein Spannungsschacht vorzusehen, der dieses rasch austretende Luft-Wassergemisch aufnehmen kann. Speziell während der Druckleitungsspülung können so Durchflussmengen am Ende der Druckleitung entstehen, die die reguläre Förderleistung weit übersteigen. Stellt das Ende der Druckleitung einen Übergabepunkt, z.B. an eine Abwasserreinigungsanlage dar, ist meist ein den Durchfluss begrenzender Konsens vereinbart. Um diesen auch während des Nachblasvorganges nicht zu überschreiten ist ein gewisses Speichervolumen erforderlich.

Durch den Luftertrag während des Förderprozesses und die Möglichkeit der Druckluftspülung kann eine biogene Schwefelwasserstoffbildung in der Druckleitung verhindert werden. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen ist keine Zudosierung von Chemikalien erforderlich. Weitere Informationen zur H₂S-Bildung in Druckrohrleitungen sind unter Punkt 3.3 zu finden. Daher bietet sich dieses Fördersystem für lange Druckrohrleitungen bei kommunalen Abwasserpumpwerkstanlagen an. In Abhängigkeit der eingesetzten Kompressoren sind Förderdrücke bis zu 12 bar realisierbar. Die Größe der Anlagenteile kann optimal auf die erforderliche Fördermenge abgestimmt werden. So sind kleine Mengen von 0,2 l/s bis zu größeren Mengen in Mischsystemen (Trockenwetter) 50 l/s förderbar. Die pneumatische Anlage kann mit Durchmessern bis DN 300 zum Einsatz kommen.

Der Großteil der oben angeführten Erläuterungen stammt aus den Erfahrungen des Verfassers, die im Zuge der Erstellung dieser Arbeit an dem kombiniert pneumatisch-hydraulisch betriebenen Abwasserbeseitigungssystem der Marktgemeinden Atzenbrugg und Zwentendorf gemacht wurden und aus mündlichen Erläuterungen der Mitarbeiter der Fa. hoelschertechnik-gorator GmbH. Weiterführende Beschreibungen finden sich im Buch *Kommunale Abwasserpumpwerke* von Weißmann und Gutzeit [3].

3.2.3 Mischformen

Die moderne Anlagensteuerungstechnik erlaubt es heute in Abhängigkeit der Problemstellung verschiedene Pumpsysteme zu kombinieren, um eine effiziente, maßgeschneiderte Lösung zu finden. Im Folgenden sind einige Kombinationsmöglichkeiten als Beispiele aufgezählt.

3.2.3.1 Kombinationsanlage hydraulische Pumpanlage mit Druckluftspülanlage

Die Förderung des Abwassers erfolgt mithilfe hydraulischer Pumpen mit einem hohen Wirkungsgrad. Das Abwasser wird in einem Vorschacht gesammelt. Dieser dient auch als Speicher während des Druckluftspülvorganges. Die Aggregate der Druckluftspülanlage sind trocken aufgestellt. Die Aggregate der hydraulischen Pumpen können auch nass aufgestellt sein. Diese Kombinationsanlage bietet sich bei folgenden Rahmenbedingungen an: [3]

- Kurze Betriebszeiten mit geringen bis großen Abwassermengen
- Lange Druckleitungen und damit Faulungsgefahr durch lange Aufenthaltszeiten
- Ablagerungsgefahr
- Betriebsdrücke um 4 bar

Während der Betriebszeit mag zwar genug Abwasserzufluss herrschen, sodass hohe Fließgeschwindigkeiten erreicht werden, in den Stillstandszeiten besteht jedoch aufgrund der langen Verweilzeit Gefahr einer biogenen H₂S-Bildung. Daher ist der Einsatz der Druckluftspülanlage vorteilhaft. [3]

Die Druckluftspülanlage ist auch bei bestehenden Anlagen nachrüstbar. Sie kann in einem eigenen Hochbau platziert werden, oder sofern der Pumpenkeller groß genug ist, können die Kompressoren auch im Bestand platziert werden.

3.2.3.2 Kombinationsanlage pneumatische Saug- und Druckförderung

Das Abwasser wird in einem unterirdischen Schacht gesammelt. Durch die Erzeugung eines Vakuums in einem Förderbehälter wird das Abwasser angesaugt. Danach erfolgt die Förderung entsprechend dem pneumatischen Überdruckverfahren. Es kommen keine mechanischen Einbauteile zum Einsatz, die mit dem Abwasser in Berührung kommen müssen, um eine Energieübertragung zu erzielen. Weismann & Gutzeit [3] führen folgende Einsatzbereiche an:

- Rückstandshaltige Abwässer aus Schlachthöfen
- Moorförderung
- Mineralöhlhaltige Abwässer

Der Gesamtwirkungsgrad liegt bei 17-20 %. Dadurch haben diese Systeme an Attraktivität verloren und stellen eine Randerscheinung in der Abwasserbeseitigung dar. [3]

3.2.3.3 Kombinationsanlage Hebewerk- Pneumatikpumpanlage

Wie beim vorherigen System wird das Abwasser in einem Schacht gesammelt. In diesem sind nass aufgestellte, hydraulische Pumpen installiert. Darüber, bzw. oberirdisch, sind die Anlagenteile der pneumatischen Überdruckanlage situiert. Die Pumpen können selbstverständlich auch trocken aufgestellt werden. Die Arbeitsbehälter werden durch die hydraulischen Pumpen beschickt. Diese können auch im Hochlastbetrieb so geschaltet werden, dass sie direkt in die Druckleitung fördern. Hier müssen dann allerdings die Druckverluste aufgrund der eingeschlossenen Luftblasen berücksichtigt werden. Weismann & Gutzeit [3] führen folgende Einsatzbereiche an:

- Schwierige Baugründe – es muss lediglich der Sammelschacht mit den nass aufgestellten Pumpen im Untergrund platziert werden, alle anderen Anlagenteile können in einem Hochbau platziert werden.
- Lange Druckleitungen und damit Faulungsgefahr durch lange Aufenthaltszeiten
- Ablagerungsgefahr
- Lange Standzeiten
- Hohe Betriebsdrücke

Darüber hinaus kann die pneumatische Anlage bei bestehenden, hydraulischen Pumpwerken nachgerüstet werden. Der Bestand dient dann zur Beschickung der Pneumatik. Dies ist dann vorteilhaft, wenn durch die Belüftung des Abwassers und eine Druckluftspülung anaerobe Zustände verhindert werden können. In Schwachlastzeiten (Nachtstunden) kann die Druckleitung gespült werden.

3.2.3.4 Kombinationsanlage Pneumatik- Verdrängerpumpanlage

Das Abwasser wird in einem Vorschacht zum Pumpwerk gesammelt. Die pneumatische Anlage ist trocken aufzustellen. Der Zufluss zu den Förderbehältern muss im freien Gefälle erfolgen können, das heißt, dass die Sohle des Pumpwerkes tiefer liegen muss, als jene des Vorschachtes. Die pneumatische Pumpe hat folgende Aufgaben:

- Förderung im Schwachlastbetrieb
- Förderung von Sperrstoffen (Kugeldurchgang entspricht dem Leitungsdurchmesser) und dadurch mechanischer Schutz der hydraulischen Pumpen vor Verschleiß
- Belüftung des Abwassers
- Druckluftspülung der Leitung

Da für die Platzierung der pneumatischen Anlage ohnehin ein Schachtbauwerk erforderlich ist, können die Verdrängerpumpen auch trocken aufgestellt werden. Sie bieten den Vorteil, konstante Abwassermengen annähernd unabhängig vom Gegendruck zu fördern. Dies ist erforderlich, da durch die pneumatische Anlage Luftblasen in das System eingetragen werden.

Es empfiehlt sich, alle pneumatischen Anlagenteile (Steuerung, Kompressoren, ...) über dem angrenzenden Geländeniveau aufzustellen. So wird sichergestellt, dass bei Eindringen von Abwasser in die Luftleitungen der Anstieg maximal bis zur Schachtoberkante erfolgt.

Weismann & Gutzeit [3] führen folgende Einsatzbereiche für dieses System an:

- Lange Druckleitungen und damit Faulungsgefahr durch lange Aufenthaltszeiten
- Ablagerungsgefahr
- Lange Standzeiten
- Hohe Betriebsdrücke
- Große Mengen, beispielsweise im Regenwetterfall

Variante Exzentrerschneckenpumpen

Mithilfe von Exzentrerschneckenpumpen können verschieden hohe Drücke mit annähernd konstanten Fördermengen überwunden werden. Dies wird durch die in der Druckleitung eingeschlossenen Luftblasen erforderlich. Die Luft kann zwar an Hochpunkten durch Entlüftungsventile abgezogen werden. Eine vollständige Entlüftung kann jedoch nicht garantiert werden. Die Entlüfter müssen im Be-

triebsfall der pneumatischen Anlage deaktiviert, das heißt durch automatische Schieber gesperrt werden. Sind diese durch eine Störung einmal nicht ansteuerbar, so muss der durch die Lufteinschlüsse bedingte höhere Förderdruck überwunden werden können.

Exzentrerschneckenpumpen kommen überwiegend in der Industrie zur Förderung und Dosierung sperrstofffreier Flüssigkeiten (z.B. Öle), oder auf Kläranlagen zur Förderung von Schlämmen, bzw. Abwässer nach mechanischer Vorreinigung zum Einsatz. Rohabwasser kann Sperrstoffe enthalten, die beispielsweise die Lebensdauer des Stators empfindlich verkürzen.

Durch die Kombination mit einer pneumatischen Anlage und dem Einsatz von Mazeratoren kann die Anlage vor abrasiven Abwasserinhaltsstoffen geschützt werden:

- Der Zulauf zu den Exzentrerschneckenpumpen ist im Vorschacht höher angeordnet, als jener zu den Arbeitsbehältern der pneumatischen Anlage. Diese befinden sich an der Sohle des Schachtes. Dadurch werden die abgelagerten Sedimente mit der pneumatischen Anlage wegtransportiert
- Vorgeschaltete Mazeratoren zerkleinern etwaige schwimmende Feststoffe
- Im Regenwetterfall (Starklastfall, hier fördern die Exzentrerschneckenpumpen) ist das Abwasser stark verdünnt, der Anteil an Grobstoffen ist demnach geringer
- Während des längeren Betriebes der Exzentrerschneckenpumpen wird dieser kurzfristig unterbrochen und die pneumatische Förderung aktiviert. Diese fördert dann die in der Zwischenzeit abgelagerten Sedimente aus dem Vorschacht

Im Bericht „Bivalente Pumpentechnologie in der kommunalen Abwasserförderung bewährt sich“ [16] wird das Abwasserpumpensystem der Gemeinde Gerstetten beschrieben. Diese Anlage fördert im Regenwetter $Q_R = 111,5$ l/s. Es werden Exzentrerschneckenpumpen zur Förderung eingesetzt. Mit dem Hersteller wurde aufgrund der wenigen Erfahrungswerte in dieser Dimension ein Standzeitversuch über 12 Monate vereinbart. Anhand der Beobachtung der Drehzahl konnten keine Verschleißerscheinungen über diesen Zeitraum festgestellt werden.

Nach Aussagen des Betriebsleiters im Jahr 2018 sind bis zu diesem Zeitpunkt keine größeren, bzw. ungewöhnlichen Störfälle aufgetreten. Die Verschleißerscheinungen seien nach sechs Betriebsjahren als äußerst gering zu bezeichnen.

Daher können die oben genannten Maßnahmen zum mechanischen Schutz der Exzentrerschneckenpumpen als wirksam angesehen werden.

Variante Doppelstrang

Bei Abwasserpumpen mit großen Einzugsgebieten, viel Fremdwasserandrang oder Hauptpumpwerken sind oftmals keine stark ausgeprägten Schwachlastzeiten vorhanden. Möchte man nun die Druckleitung nachblasen, so wäre ein dementsprechend groß dimensionierter Stauraumkanal erforderlich. Bei Mischsystemen würden sich unwirtschaftlich große Volumina ergeben.

Durch die Verlegung einer zweiten Druckleitung kann die erste einer Druckluftspülung unterzogen werden, während das ankommende Abwasser in die zweite Leitung gefördert wird. Die Leitungen werden also abwechselnd betrieben. Jener Strang, der nicht im Betrieb ist, ist leer und somit können keine anaeroben Zustände entstehen.

Einen weiteren Vorteil bietet die Verwendung einer zweiten Leitung beim Einsatz in Mischsystemen. Würde man eine Leitung für den Regenwetterfall dimensionieren, so ergeben sich Leitungsvolumina, die eine lange Aufenthaltszeit verursachen. Anaerobe Zustände können zwar durch die pneumatische Anlage verhindert werden. Um jedoch die erforderlichen Fließgeschwindigkeiten für die Druckluftspülung zu erreichen, sind sehr leistungsstarke und damit teure Aggregate erforderlich.

Wenn nun zwei Leitungsstränge vorhanden sind, ist im Trockenwetterfall nur eine Leitung aktiv. Im Regenwetterfall wird dann durch beide Leitungen gefördert. Nach dem Regenereignis kann dann die zusätzliche Leitung gespült und entleert werden.

3.2.4 Berücksichtigung von Lufteinschlüssen bei der hydraulischen Berechnung

Ist der Eintrag von Luft in die Abwasserdruckleitung zu erwarten, so muss dies in der hydraulischen Berechnung Berücksichtigung finden. Wie in Abbildung 3.20 zu sehen ist, sammeln sich die Luftblasen immer in fallenden Abschnitten nach einem Hochpunkt. Sofern das Sohlgefälle das Druckliniengefälle übersteigt, herrscht in diesem Abschnitt Freispiegelabfluss. Die Energie- und Drucklinie verlaufen also parallel zur Rohrachse. Vorausgesetzt wird ein konstanter Querschnitt in diesem Abschnitt. Am Ende dieses Abschnittes entsteht ein Wechselsprung. [15]

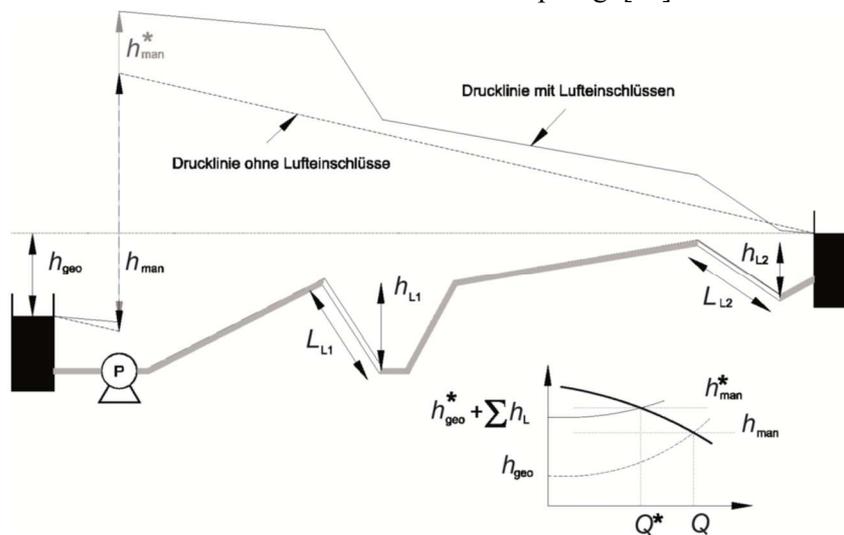


Abbildung 3.20: Berücksichtigung von Luftschläusen in der Druckleitung bei der hydraulischen Berechnung [15]

Zur Berechnung der Reibungsverluste werden daher die Längen der luftgefüllten Teilstücke von der Gesamtlänge subtrahiert und die Fallhöhen addiert. Daraus folgt Formel (3.1). [15]

$$h_r = \left(\lambda \cdot \frac{(L - \sum L_L)}{d_i} + \sum \zeta_i \right) \cdot \frac{v^2}{2g} + \sum h_L \quad (3.1)$$

d_i	[m]	Innendurchmesser des Rohres
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
h_L	[m]	Höhe der luftgefüllten Abschnitte
h_r	[m]	Reibungsverlusthöhe
L	[m]	Gesamtlänge der Rohrleitung
L_L	[m]	Länge der luftgefüllten Abschnitte
v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
λ	[-]	Rohrreibungsbeiwert
ζ	[-]	Örtlicher Verlustbeiwert

Fallende Druckleitungsabschnitte sind jedoch meist nicht zur Gänze mit Luft gefüllt. Ein Teil der Luft wird durch die Rohrströmung ausgetragen. Weiters wird die Luft in den Abschnitten in Abhängigkeit des herrschenden Druckes komprimiert. Dieses Phänomen zu berücksichtigen ist nicht trivial.

Das Bemessungsprogramm von Schmalz [17] berücksichtigt die Luftpolsterkompression. Der dort herrschende Druck wird analytisch durch ein Gleichungssystem bestimmt.

Das Merkblatt DWA-A 116-3 [15] führt weiters die Selbstbelüftungsgeschwindigkeit nach Aigner [18] an (Formel (3.2)). Demnach erfolgt der automatische Austrag der eingelagerten Luftblasen, wenn die Strömungsgeschwindigkeit die Geschwindigkeit v_s übersteigt.

$$v_s = \sqrt{1,5 \cdot g \cdot \frac{d_i \cdot \sin(\beta)}{1,64 \cdot \sin(\beta) + 0,06}} \quad (3.2)$$

d_i	[m]	Innendurchmesser des Rohres
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
v_s	[m/s]	Selbstbelüftungsgeschwindigkeit
β	[°]	Neigungswinkel der Rohrleitung

Dieses Unterkapitel stellt einen Exkurs in die hydraulische Berechnung von Druckleitungen mit Lufteinschlüssen dar und dient lediglich zur Verdeutlichung, dass die konventionellen Ansätze zur Berechnung zu ergänzen sind. Weiterführende Informationen finden sich in [15], [17], [18].

3.3 Problemstellungen bei langen Abwasserdruckleitungen

In kommunalem Abwasser befindet sich ein erheblicher Anteil an biologisch abbaubaren Stoffen. Teilweise sind auch Mikroorganismen, die diese Stoffe umsetzen, bereits im Abwasser selbst, oder im Kanalsystem vorhanden. Diese Biozönose ist mit dem Transportverlauf einem Wandel unterzogen, der von zahllosen Rahmenbedingungen abhängig ist. Es ist jedoch darauf zu achten, dass dieser Wandel ein gewisses Maß nicht überschreitet, da sonst

- der Reinigungsprozess beeinträchtigt wird
- die Transportanlagen Schaden nehmen
- geruchsintensive und gesundheitsschädliche Emissionen auftreten [3]

Druckleitungen sind geschlossene Systeme, in deren Verlauf es zu keinem Lufteintrag von außen kommt. Oftmals kommt es hier zu langen Aufenthaltszeiten und der im Abwasser gelöste Sauerstoff wird aufgezehrt. In einem an der Rohrwandung haftenden Biofilm, der sogenannten Sielhaut kommt es zu anaeroben Bedingungen und in weiterer Folge zur Bildung von Schwefelwasserstoff (H₂S). Am Ende der Druckrohrleitung gast dieses aus und verursacht

- Geruchsbelästigung, im Besonderen bei Übergabestellen aus Drucksystemen
- Arbeitsschutzprobleme durch Gefährdung des Personals bei Arbeiten im Kanal
- Schwefelsäurekorrosion an Schächten, Sonderbauwerken und Rohrleitungen
- Negativen Einfluss auf die Abwasserreinigung (Blähschlamm-Bildung, Verschlechterung des biologischen Abbaus) [19]

In Österreich kommt in Bezug auf diese Problematik das ÖWAV Regelblatt 23 – Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen (Stand 2015) zur Anwendung.

3.3.1 Eintrag und Bildung von Schwefelwasserstoff

Schwefel als das Ausgangsprodukt der Schwefelwasserstoffbildung, ist in jedem kommunalen Abwasser anzutreffen – bereits Trinkwasser kann Sulfat (SO₄⁻) enthalten. Schwefel aus Lebensmitteln

wird über Fäzes und vor allem Harn eingetragen. Hinzu kommt jener aus Waschmitteln, eiweißhaltigen Küchenabfällen, Kosmetika, Farben usw. Beim Abbau von Proteinen (Eiweiße) in häuslichem Abwasser entstehen Schwefelverbindungen. [20]

Industrieabwässer, wie jene aus der Chemischen Industrie, der Holzverarbeitung, der Nahrungs- und Lebensmittelindustrie, können sehr hohe Konzentrationen an Schwefelverbindungen enthalten (organische Polysulfide, organische Sulfide, Schwefelwasserstoff). [20]

Ob es nun im Abwasser zu einer Schwefelwasserstoffbildung kommt, ist vor allem vom im Abwasser gelösten Sauerstoff (O_2) abhängig. Im Freispiegelkanal wird laufend durch die freie Oberfläche, durch Kanalbelüftungen, und durch Turbulenzen Sauerstoff eingetragen. Weiters ist bereits gelöster Sauerstoff aus Trinkwasser vorhanden – es herrschen aerobe Bedingungen.

Wird das Abwasser einem Pumpvorgang unterzogen, so befindet sich das Fördermedium in der Druckleitung unter Luftsabschluss und es wird kein neuer Sauerstoff mehr gelöst. Das vorhandene O_2 wird rasch durch mikrobiologische und chemische Prozesse verbraucht. Ist kein gelöster Sauerstoff mehr vorhanden, folgt ein sogenannter anoxischer Bereich. Sofern Nitrat (NO_3) vorhanden ist, wird dieses hier denitrifiziert. Ist das Nitrat ebenfalls aufgezehrt, folgt ein anaerober Bereich. Hier kommt es dann u.a. zur Reduktion von Sulfat (SO_4) zu Schwefelwasserstoff (H_2S) durch die sogenannten sulfatreduzierenden Bakterien (SRB), auch Desulfurikanten oder sulfidogene Bakterien genannt. Dieser Bereich ist durch eine Senkung des Redoxpotentials gekennzeichnet. SRB können auch kurze, aerobe Bedingungen überdauern. Der Übergang zwischen den Abschnitten ist fließend. [21] Abbildung 3.21 zeigt die oben beschriebenen Abschnitte in einer Druckleitung.

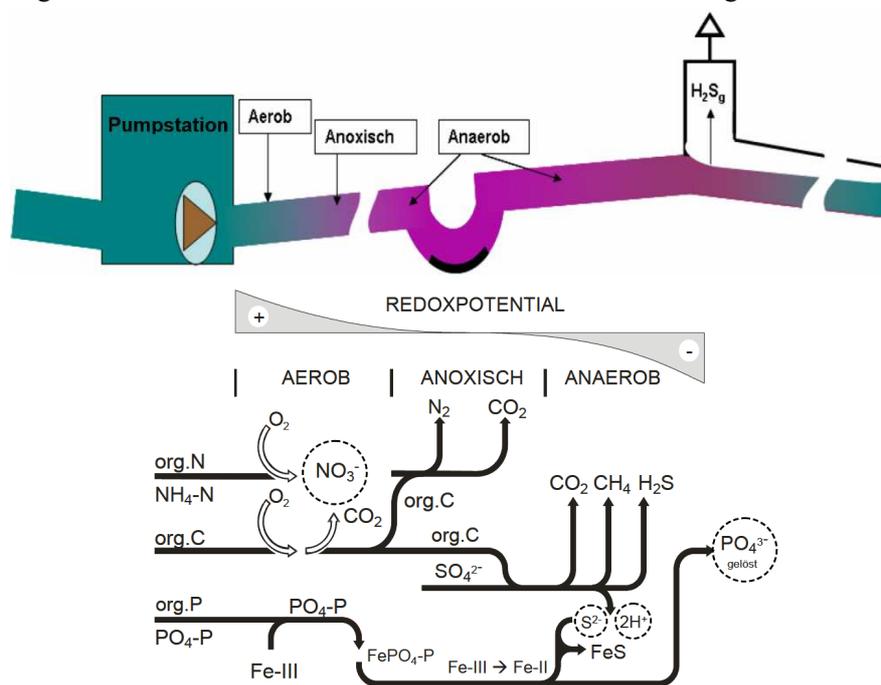


Abbildung 3.21: Oxidationszustände in einer Druckleitung und die dadurch ausgelösten Stoffumsetzungen [22], adaptiert

Die Umsetzungsprozesse werden hauptsächlich von Bakterien vollzogen, die sich als Sielhaut an der Rohrwandung und in Ablagerungen an der Kanalsohle ansiedeln. Eine Sielhaut bildet sich auch in Freispiegelkanälen und kann von 0,1 mm bis zu 1,5 mm stark sein. Sie kann im Querschnitt mehrere Zonen aufweisen. Die oberste Schicht wird mit gelöstem Sauerstoff und Nährstoffen aus dem Abwasser versorgt und ist daher aerob. Wenn NO_3 vorhanden ist, folgt ein anoxischer Bereich. In der

untersten Schicht herrschen anaerobe Bedingungen. Hier produzieren SRB Sulfidionen (S^{2-}). Diese diffundieren nach außen bis zur aeroben Schicht, wo sie zu Sulfat oxidiert und abgelagert werden.

Herrschen in einer Druckleitung nun gänzlich anaerobe Bedingungen, ist die Sielhaut ebenfalls durchgehend anaerob. Das produzierte H_2S wird dann nicht oxidiert und gelangt ins Abwasser. Das produzierte Gesamtsulfid setzt sich aus Sulfid (S^{2-}), Hydrogensulfid (HS^-) und Schwefelwasserstoff (H_2S) zusammen. Das Dissoziationsgleichgewicht ist abhängig vom vorherrschenden pH-Wert, siehe Abbildung 3.22.

Am Ende der Druckleitung geht ein Teil des gelösten H_2S in die Gasphase über. Wieviel ist vor allem von den vorherrschenden Turbulenzen und natürlich auch von der Konzentration und der Temperatur im Abwasser abhängig. Dort verursacht das Gas dann die oben angeführten Probleme.

[21]

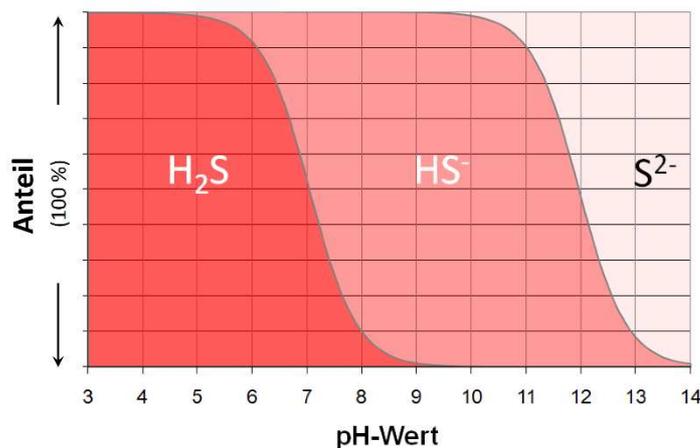


Abbildung 3.22: Sulfid – Anteile in Abhängigkeit vom pH-Wert [20]

3.3.1.1 Anmerkungen zur Sielhaut

Die Sielhaut ist einem ständigen Wandel unterzogen. Durch den Nährstoffeintrag vermehren sich die Mikroorganismen. Durch die auf den Biofilm wirkenden Randschubspannungen lösen sich immer wieder Teile heraus und werden abtransportiert. Die Größe der Randschubspannungen wird von den vorherrschenden Strömungsbedingungen bestimmt. Durch Zunahme der Dicke verkleinert sich der durchflossene Querschnitt, was eine Zunahme der Fließgeschwindigkeit und somit der Schubspannungen bewirkt. Dadurch wird die Dicke des Biofilmes begrenzt. Weiters kommt es zur Ablösung, wenn die Sielhaut aufgrund der Dicke zu schwer wird, oder wenn in den tieferen Schichten durch mikrobielle Umwandlung Gase (z.B. durch Denitrifikation, Methanbildung) entstehen und diese die Struktur zerstören. [21]

3.3.2 Wirkung

Gelangt Schwefelwasserstoff aus der Abwasserbeseitigungsanlage ins Freie, z.B. in einem Siedlungsgebiet, verursacht es dort Geruchsbelästigung. Der Gestank wird als nach faulen Eiern riechend beschrieben. Da die Geruchsschwelle bei 0,001 ppm H_2S in der Luft liegt, also sehr niedrig ist, dient Schwefelwasserstoff auch als Indikator für anaerobe Zustände im Abwassersystem. Die Aufnahme von Schwefelwasserstoff erfolgt hauptsächlich über die Atemwege und wirkt durch seine chemische Eigenschaft als Säure stark reizend auf Augen und Schleimhäute der Nase und des Rachens. Eine kanzerogene Wirkung ist nicht bekannt. [21]

Tabelle 3.3: Überblick möglicher Auswirkungen von Schwefelwasserstoff auf den Menschen [21]

Konzentration [ppm]	Mögliche Auswirkungen
0,001-0,15	Geruchsschwelle
3-5	Deutliche Geruchsbelästigung
5	MAK als Tagesmittelwert [23, p. 105]
10-20	Sehstörungen, wie Reizung der Binde- und Hornhaut
>45	Ernsthafte Augenschäden
50-100	Reizung der Atemwege, vor allem Schleimhaut
>150	Lähmung des Geruchssinns
200-500	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel, Beklemmung, Übelkeit, Verwirrung
>500	Zentralnervensystem betroffen, Atemlähmung, Bewusstlosigkeit, Krämpfe, Atemstillstand, Tod
>900	Tod in wenigen Sekunden

Ausgastetes H_2S geht im Kondenswasser an den Oberflächen der Kanalbauwerke in Lösung. Dort siedeln sich bereits nach kurzer Zeit sulfidoxidierenden Bakterien (Sulfurikanten) an. Diese wandeln den Schwefelwasserstoff in Schwefelsäure (H_2SO_4) um. [21] Da das Kondenswasser kein Puffervermögen hat, entsteht ein äußerst korrodierendes Medium, das vor allem Beton und niedrig legierte Stähle angreift. Steinzeug, Kanalklinker, Glas, hochlegierte Stähle und Kunststoffe sind weniger, bzw. nicht gefährdet. Betroffene Betonoberflächen sind gelb-weiß gefärbt, porös und haben eine waschbetonähnliche Oberflächenstruktur. Der pH-Wert kann hier unter pH 2 absinken. Durch den Eintrag von H_2SO_4 entsteht im Beton Calciumsulfat (Gips). Dieser Vorgang ist mit einer Volumensvergrößerung verbunden und wird Ettringittreiben, oder Sulfattreiben genannt. [21]

H_2S wirkt toxisch auf Bakterien im Belebungsbecken. Fadenförmige Bakterien oxidieren den Schwefel mit gelöstem Sauerstoff in der Belebungsstufe und lagern elementaren Schwefel ein. Diese Bakterien vermehren sich sehr rasch. Aufgrund der fadenförmigen Struktur kommt es zu Blähschlamm Bildung. [24]

3.3.3 Bestimmungsmethoden

Generell ist zwischen der Messung in der Gasphase und der Messung in der flüssigen Phase zu unterscheiden. Saračević [21] schlägt vor, den gasförmigen Schwefelwasserstoff in der Luft mit H_2S_g zu bezeichnen und den gesamten gelösten Schwefelwasserstoff als gelöstes Gesamt-Sulfid $c(H_2S)$ zu bezeichnen. Dieses umfasst den gelösten undissoziierten Schwefelwasserstoff $[H_2S]$, Hydrogensulfid $[HS^-]$ und Sulfid $[S^{2-}]$. [21]

$$c(H_2S) = [H_2S] + [HS^-] + [S^{2-}] \quad (3.3)$$

$$H_2S_g = \frac{[H_2S]}{K_H} \quad (3.4)$$

$[H_2S]$	[mg/l]	gelöster undissoziierter Schwefelwasserstoff
$[HS^-]$	[mg/l]	Hydrogensulfid
$[S^{2-}]$	[mg/l]	Sulfidkonzentration
$c(H_2S)$	[mg/l]	gelöstes Gesamt-Sulfid
K_H	[-]	Henry-Konstante (für H_2S $K_H=0,11481$ bei $20^\circ C$)

Bei konstanter Temperatur wird die Löslichkeit von Gasen im Wasser durch das Gesetz von Henry-Dalton beschrieben, siehe Formel (3.4). In der Praxis kommt es durch den Gasaustausch mit der

Umwelt sowie der Bewegung des Fluids zu einer ständigen Änderung der Konzentrationen. Ein Gleichgewicht wird nicht erreicht und daher kann in der Praxis kein direkter Zusammenhang zwischen H_2S_g und $c(H_2S)$ hergestellt werden. Eine quantitative Messung kann durch die Bestimmung in der Gasphase deshalb nicht durchgeführt werden.

3.3.3.1 Messung in der Gasphase

Am kostengünstigsten ist die Messung mit dem Gasmessröhrchen. Dabei wird schwefelwasserstoffhaltiges Gas durch ein Prüfröhrchen gesaugt, dessen Innenseite eine bleihaltige Schicht enthält. Bei Vorhandensein von H_2S verfärbt sich diese dunkelbraun. Nachteilig ist, dass es sich bei dieser Methode um eine Stichprobe handelt und es bei der Öffnung des Schachtdeckels bereits zu einer Verfälschung des repräsentativen Gasvolumens kommt. Für eine kontinuierliche Detektion in der Gasphase stehen elektrochemische, amperometrische oder potentiometrische Messmethoden zur Verfügung. [21]

Schwefelwasserstoff besitzt eine geringere Dichte als Luft. Daher kann die Konzentration im Inneren eines Schachtes in Abhängigkeit der höhenmäßigen Position beträchtlich schwanken. Werden diese Messgeräte in Freispiegelkanälen eingesetzt, besteht die Gefahr, dass abhängig von den Luftströmungen im Kanal das Gas verfrachtet wird und nicht am Ort des Ausgasens detektiert werden kann. Die Messung in der Gasphase ist daher wenig geeignet, um eine quantitative Bestimmung durchzuführen. Aussagen über ein Vorhandensein von Schwefelwasserstoff und eine Größenordnung der Belastung sind dennoch machbar. Sie ist jedoch eine wichtige Maßnahme zum gesundheitlichen Schutz der Menschen. [21]

3.3.3.2 Messung in der flüssigen Phase

In der flüssigen Phase kann Sulfid mittels ionensensitiver, gassensitiver, amperometrischer, photometrischer oder direkt spektralometrischer Methode bestimmt werden. [21]

Die quantitative photometrische Sulfidbestimmung erfolgt nach der Methylenblaumethode. Es wird das gesamte gelöste Sulfid und das ungelöste säurelösliche Sulfid bestimmt. Soll lediglich $c(H_2S)$ bestimmt werden, muss eine Filtration der Probe erfolgen. Für diesen Versuch gibt es Küvettentests diverser Messgerätehersteller. Ist eine Verdünnung erforderlich, so muss diese direkt in der Chemikalienvorlage erfolgen. Würde man die Verdünnung direkt mit Wasser und ohne Reagenz durchführen, so käme es möglicherweise zu einer pH-Wert Verschiebung. Dabei könnte ein Teil des Schwefelwasserstoffes ausgasen und so das Ergebnis verfälschen. [21] Es handelt sich dabei um eine diskontinuierliche Messmethode.

Die ionensensitive Messung erfolgt nach dem potentiometrischen Messprinzip. Ähnlich einer pH-Messung existiert eine Mess- und eine Referenzelektrode. Die Messelektrode ist dabei mit einer Membran versehen, welche spezifische Ionen reversibel bindet und ihr Potential in Abhängigkeit der Konzentration verändert. An der Referenzelektrode liegt ein konstantes Potential an.

Bei der direkten spektrometrischen Messung wird die Lichtabschwächung von Substanzen bei bestimmten Wellenlängen gemessen. Die Lichtabschwächung wird als Spektraler Absorptionskoeffizient in $[1/m]$ angegeben. Hydrogensulfid (HS^-) kann spektrometrisch detektiert werden. Es weist ein Absorptionsmaximum bei $\lambda=230$ nm auf. Es muss eine Kalibrierung vorgenommen werden.

3.3.4 Verfahren zur Geruchs- und Korrosionsverminderung

Der Entstehungsprozess der Geruchsbelästigung ist in Abbildung 3.23 dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht, dass die Einflussmöglichkeiten abnehmen, je weiter rechts man sich im Prozess befindet. Umgekehrt nehmen die Kosten für Maßnahmen zur Bekämpfung von links nach rechts zu.

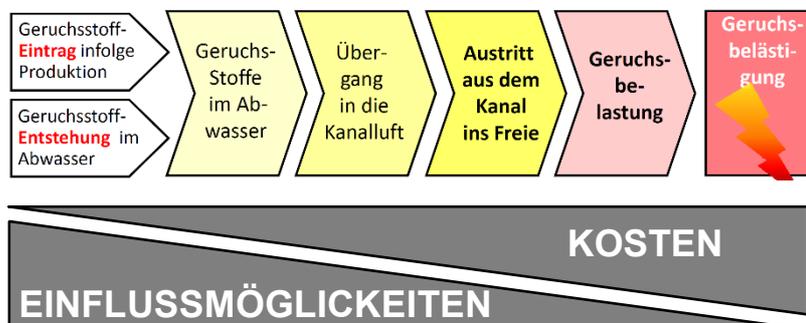


Abbildung 3.23: Einflussmöglichkeiten und Kosten im Entstehungsprozess der Geruchsbelästigung [20], adaptiert

Es bestehen drei grundsätzliche Möglichkeiten, die H₂S-Problematik im Kanal zu behandeln:

- Bekämpfung des produzierten H₂S durch Fällung oder Oxidation
- Entfernung/ Bekämpfung der Sielhaut durch Molchen oder Kalkdosierung
- Unterbindung der H₂S-Produktion durch Chemikalieneinsatz oder verhindern anaerober Verhältnisse

Ist bereits Schwefelwasserstoff im Abwasser vorhanden, kann er durch Zudosierung von Metallsalzen gebunden werden. In der Abwasserreinigung werden Eisensalze beispielsweise zur Phosphorfällung eingesetzt. Aufgrund der chemischen Eigenschaften von Eisenionen können auch Sulfide gefällt werden. Durch die Sulfidfällung mit Eisen entsteht unlösliches, schwer absetzbares Eisensulfid (FeS). Dieses wird als Schwebstoff im Abwasser mittransportiert und färbt es schwarz. Durch seine gebundene Form kommt es zu keinem Ausgasen von H₂S. Im Belebungsbecken wird FeS zu Fe³⁺ oxidiert, welches dann zur Phosphatfällung zur Verfügung steht. In der Praxis kommen Eisen-II-Sulfate, Eisen-II-Chlorid-Lösungen, Eisen-III-Chlorid-Lösungen, Eisen-III-Chloridsulfat-Lösungen, Eisen-III-Nitrat-Lösungen und Eisenhydroxid-Suspensionen zum Einsatz. [21]

Durch die Zugabe von Sauerstoff kann Sulfid oxidiert werden. Die Oxidation erfolgt dabei chemisch oder biologisch. Nach Saračević [21] sind beide Methoden sehr eng miteinander verbunden, sodass schwer zu sagen ist, bei welchem Prozess das Sulfid tatsächlich aus dem Abwasser entfernt wird. Als Oxidationsmittel können beispielsweise Ozon, Wasserstoffperoxid, Kaliumpermanganat, oder Chloridoxid verwendet werden. Die Zudosierung ist oft aufwendig und kostspielig. [25]

Durch die Zudosierung von Nitrat (NO₃) kann die Entstehung von H₂S verhindert werden, da es unter anoxischen Bedingungen zu keiner Schwefelwasserstoffbildung kommt. Durch das Vorhandensein von NO₃ kommt es allerdings zu einem Verbrauch leicht abbaubarer Kohlenstoffverbindungen. Dies kann bei der Kläranlage einen Mangel auslösen und die Denitrifikationskapazität verringern. Neben Kohlenstoffverbindungen können Mikroorganismen auch H₂S als Elektronendonator für die Denitrifikation verwenden. [21] Weiters können Unterdosierungen nicht kompensiert werden. Eine starke Überdosierung erhöht die Stickstofffracht auf der Kläranlage. [25]

Durch die Zugabe von Kalkmilch wird eine pH-Verschiebung auf pH-Werte zwischen 11 und 12 erreicht. Dies mindert die Aktivität der Desulfurikanten in der Sielhaut. Allerdings werden tiefere

Schichten nicht erreicht. Saračević [21] berichtet, dass nach zwei bis drei Tagen nach der Kalkanwendung wieder H_2S -Konzentrationen im Ablauf gemessen wurden.

Die Molchung ist ein Verfahren zur mechanischen Reinigung der Druckleitungsrohre. Dabei werden Kunststoffkörper verschiedener Formen und Festigkeiten durch die Leitung gepresst. So werden Ablagerungen und Biofilme entfernt. Man beginnt dabei mit einem sehr weichen Molch aus Schaumstoff mit einem kleineren Durchmesser und steigert dann Materialhärte und Durchmesser. Die Einbringung erfolgt durch eine Molchschleuse. Es ist darauf zu achten, dass der Druck während der Reinigung nicht den maximalen Betriebsdruck der Rohrleitung übersteigt. Es besteht die Gefahr, dass der Molch bei Umlenkungen stecken bleiben kann. Daher sollte bereits in der Planungsphase auf eine möglichst geradlinige Trassierung Bedacht genommen werden.

Eine Alternative zur konventionellen Molchung ist die sogenannte Leca-Molchung. Dabei werden kugelförmige Tonstücke durch die Druckleitung gespült. Sie haben eine hohe Härte und entfernen dadurch auch gut haftende Biofilme. Weiters ist der sich bildende Pfropfen in sich beweglich und kann somit nicht stecken bleiben.

Eine weitere Maßnahme zur Entfernung des Biofilmes ist die Spülung der Druckleitung mit Druckluft. Hier wird mithilfe leistungsstarker Kompressoren Luft in die Leitung gedrückt. Diese schiebt eine Wassersäule vor sich her. An der Grenzschicht zwischen Luft und Abwasser kommt es zu starken Turbulenzen. Diese verursachen lokale, hohe Schubspannungen sowie stark fluktuierende Druckverhältnisse an der Rohrwandung, was zu einer Ablösung eines Großteiles der Sielhaut führt. Bei diesem Vorgang wird die Leitung entleert und etwaig haften gebliebener Biofilm mit Sauerstoff versorgt. Es muss auf Mindestgeschwindigkeiten in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers geachtet werden. Informationen hierzu finden sich im Regelblatt DWA-A 116-3: Besondere Entwässerungsverfahren Teil 3: Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen [15]. Dem Druckliniengefälle folgend expandiert die eingetragene Luft und beschleunigt den Wasserpfropfen mit fortschreitendem Verlauf der Leitung, was wiederum eine Erhöhung der Randschubspannungen und Turbulenzen bewirkt. Wie am Beginn dieses Kapitels beschrieben, herrschen im ersten Teil der Druckleitung noch aerobe Bedingungen. Die Startgeschwindigkeit ist also nicht so relevant.

4. Material und Methoden

4.1 Beschreibung der Anlage

4.1.1 Beschreibung des Einzugsgebietes

Die Anlage erstreckt sich von der Kläranlage des AV „An der Traisen“ am nördlichen Rand der Stadt Traismauer ca. 15 km Richtung Osten über die gesamte Marktgemeinde Zwentendorf bis zur Katastralgemeinde Pischelsdorf. Südlich an Zwentendorf grenzt die Marktgemeinde Atzenbrugg, welche mit all ihren Katastralgemeinden zum Einzugsgebiet zählt. Abbildung 4.1 zeigt das Einzugsgebiet.

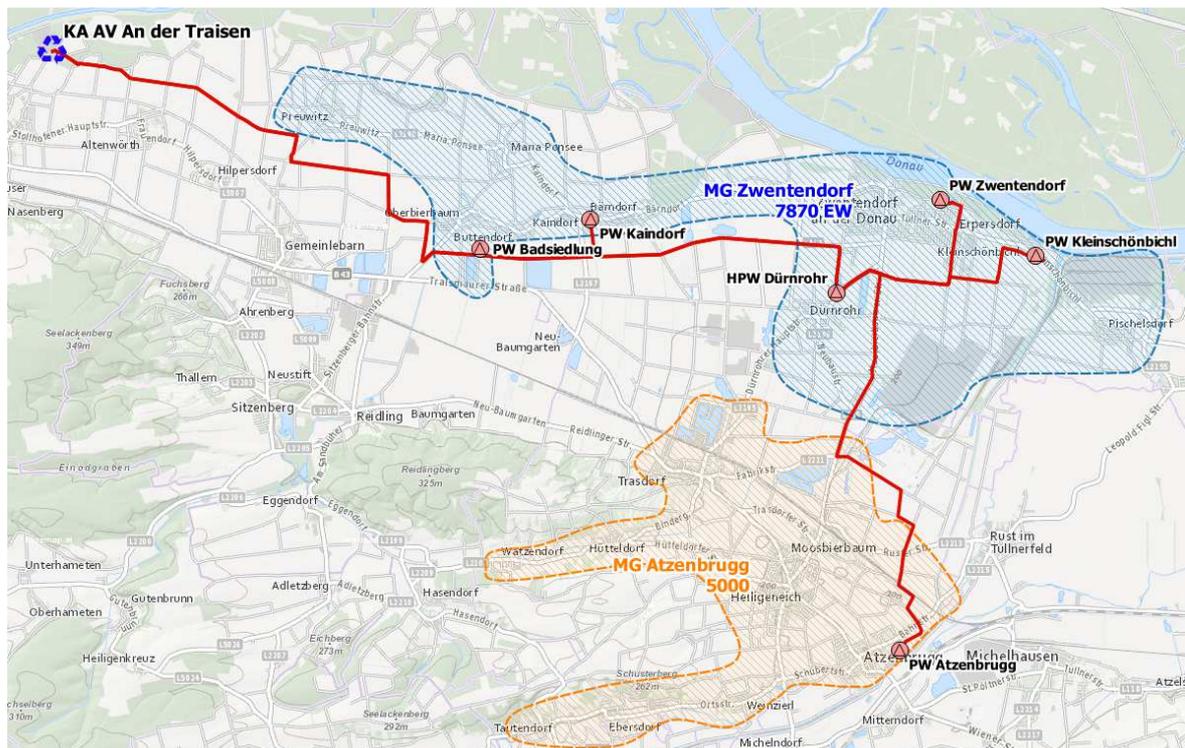


Abbildung 4.1: Übersicht Entsorgungsgebiet und Anlage

Die Siedlungen sind ländlich geprägt. Außerhalb des Siedlungsraumes liegen vorwiegend Ackerflächen. Im nördlichen Bereich der KG Pischelsdorf befindet sich ein Industriegebiet nennenswerter Größe. Die Seehöhe beträgt im Entsorgungsgebiet 185 – 215 müA.

In Tabelle 4.1 sind die Katastralgemeinden gesammelt angeführt, sowie Einwohnerzahlen der beiden Marktgemeinden.

Tabelle 4.1: Katastralgemeinden und Einwohner

	Marktgemeinde Zwentendorf	Marktgemeinde Atzenbrugg
Katastralgemeinden	Bärndorf Dürnrohr Erpersdorf Kaindorf Kleinschönbichl Maria Ponsee Pischelsdorf Preuwitz Zwentendorf	Atzenbrugg Ebersdorf Hütteldorf Moosbierbaum Tautendorf Trasdorf Weinzierl bei Atzenbrugg
Einwohner mit Stand 1.5.2015 [26]	4003 E	2766 E

4.1.2 Abwassermengen

In Tabelle 4.2 sind die Abwassermengen aus dem wasserrechtlichen Einreichoperat angeführt. [26]

Tabelle 4.2: Abwassermengen nach [26]

	MG Zwentendorf	MG Atzenbrugg	Summe
E	4003 mit Stand 1.5.15	2766 mit Stand 1.5.15	6769
EW	7870	5000	12870
$Q_{T,d,aM}$	2765 m ³ /d 115 m ³ /h 32 l/s	1455 m ³ /d 61 m ³ /h 17 l/s	4220 m ³ /d 176 m ³ /h 49 l/s
$Q_{T,2h,max}$	137 m ³ /h 38 l/s	73 m ³ /h 20 l/s	210 m ³ /h 58 l/s
Q_M	205 m ³ /h 57 l/s	108 m ³ /h 30 l/s	313 m ³ /h 87 l/s
A_{red}	43 ha	38 ha	81 ha

4.1.3 Systembeschreibung

Abbildung 4.2 zeigt eine Übersichtsskizze des Abwasserpumpsystems. Auf die einzelnen Anlagen-teile wird in den nachfolgenden Kapiteln detaillierter eingegangen.

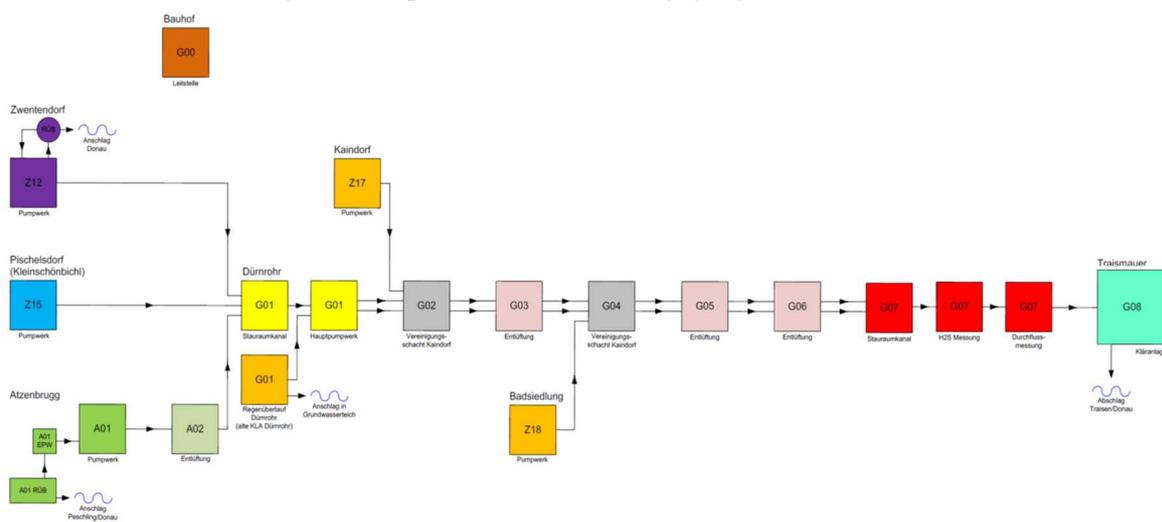


Abbildung 4.2: Systemübersichtsskizze aus [27]

Im Folgenden wird die Abwasserbeseitigungsanlage unter Berücksichtigung der betrachteten Systemgrenze (siehe Punkt 4.3) beschrieben. Daher werden nur jene Entsorgungsbereiche genannt, die in das Hauptpumpwerk bzw. in den Stauraumkanal davor einmünden. Auf die Beschreibung etwaig vorgeschalteter Pumpsysteme wird verzichtet.

4.1.3.1 Pumpwerk Kleinschönbichl – Z15

Das Pumpwerk Z15 befindet sich am östlichen Ortsrand von Kleinschönbichl. Vor Errichtung der Anlage mündete hier die Druckleitung aus Pischelsdorf inklusive der Abwässer des Industrieparks in den Freispiegelkanal. Nun wird das ankommende Abwasser durch das PW Z15 abgefangen, an der Siedlung südlich vorbei, zum Hauptpumpwerk geleitet. Pischelsdorf besitzt eine Trennkanalisation.

Das Pumpwerk arbeitet nach dem pneumatischen Überdruckverfahren (Punkt 3.2.2.2). Als $Q_{h,max}$ wurde im Einreichoperat [26] 10,0 l/s angeführt. Am Areal des Industrieparks arbeiten einige Firmen im Schichtbetrieb. Daher erfolgt hier ein relativ konstanter Zufluss. Das Trennsystem der Ortschaft Pischelsdorf weist zwar einen kommunalen Tagesgang auf, dieser wird jedoch durch den kontinuierlichen Zufluss aus dem Industriegebiet vergleichmäßig, da dieser mengenmäßig eindeutig überwiegt.

Für die vorliegende Arbeit sind folgende Betriebsparameter aus der Archivierung relevant:

- Fördermenge
- pH-Wert, gemessen im Vorschacht des PW Z15

Das Pumpwerk fördert das ankommende Abwasser in die 3119 m lange Druckleitung mit $D_i=176$ mm ($V=76$ m³) [28] zum Hauptpumpwerk Dürnrohr (G01).

4.1.3.2 Pumpwerk Zwentendorf - Z12

Die Abwässer der KG Erpersdorf und Zwentendorf werden zum Pumpwerk Zwentendorf geleitet. Es handelt sich um ein hydraulisch arbeitendes Pumpwerk mit Druckluftspülung. Dieses befindet sich auf dem Areal der ehemaligen Kläranlage im nördlichen Teil der KG Erpersdorf. Das angeschlossene Einzugsgebiet wird zum Großteil im Mischsystem entwässert. Ein kleiner Teil ist als Trennsystem konzipiert.

In einen Sammelschacht (ca. 7 m tief) münden zwei Drosselabflüsse von vorgeschalteten, bereits bestehenden Rückhaltebecken im Freispiegel. Unmittelbar vor der Einmündung befinden sich zwei Sandfänge.

Im ehemaligen Schlammspeicher wurden zwei selbstansaugende Kreiselpumpen mit Freistromrädern, Fabrikat GormannRupp, mit einem $Q_{h,max}$ 30 l/s trocken aufgestellt. Die maximal zum Hauptpumpwerk Dürnrohr zu transportierende Menge beträgt 30 l/s. Die Druckleitung ($L=2853$ m, $D_i=198$ mm, $V=88$ m³) wird demnach immer nur von einer Pumpe beschickt. Bei Regenwetter fließt mehr Abwasser zu. Daher wurde die alte Tropfkörperanlage und die beiden Nachklärbecken zu Rückhaltebecken umgerüstet. Das zur Verfügung stehende Speichervolumen beträgt hier ca. 1990 m³.

Die Anlage verfügt weiters über eine Druckluftspülanlage. Diese besteht aus zwei Schraubenkompressoren mit einer Nennleistung von je 18,5 kW.

Für die vorliegende Arbeit ist die Fördermenge als einziger Betriebsparameter aus der Archivierung relevant.

4.1.3.3 Pumpwerk Kaindorf – Z17

Die Abwässer der Ortschaften Preuwitz, Maria Pensee, Oberbierbaum, Buttendorf, Kaindorf und Bärndorf werden über das Pumpwerk Kaindorf (Z17) in die Hauptdruckleitung gefördert. Die angeführten Ortschaften werden im Trennsystem entwässert.

Vor der Errichtung des Hauptpumpwerkes wurden diese Abwässer bereits zur ehemaligen Kläranlage Zwentendorf gepumpt. Das Abwasser wurde mit nass aufgestellten Kreiselpumpen gefördert. Da das bestehende Pumpwerk ausreichend Platzreserven bot, wurde es mit einer pneumatischen Anlage ausgestattet.

Die Förderkessel befinden sich im Untergeschoß. Das Abwasser wird durch die alten, hydraulischen Pumpen in die Arbeitsbehälter gehoben. Es handelt sich also um eine Kombinationsanlage mit hydraulischen Kreiselpumpen als Hebewerk und einer Pneumatikanlage (Beschreibung siehe Punkt 3.2.3.3).

Der Spitzenabfluss beträgt $Q_{h,max}=8,9$ l/s [26]. Die Druckleitung führt zum Vereinigungsschacht G02, wo das Abwasser in die aktuell im Betrieb befindliche Druckleitung gefördert wird. Die Leitungslänge beträgt 487 m, $D_i=140$ mm, somit ergibt sich ein Leitungsvolumen von $V=7$ m³.

Zu Zeiten geringen Abwasserzuflusses wird die Druckleitung mithilfe der Kompressoren leer geblasen. Die Kompressoren besitzen eine Nennleistung von je 15 kW.

Für die vorliegende Arbeit ist die Fördermenge als einziger Betriebsparameter aus der Archivierung relevant.

4.1.3.4 Pumpwerk Badsiedlung Z18

Das Pumpwerk Badsiedlung entsorgt das Schmutzwasser der gleichnamigen Siedlung. Es handelt sich um ein Trennsystem. Das Pumpwerk wurde im Zuge des Projektes neu errichtet. Das Pumpwerk arbeitet nach dem pneumatischen Überdruckverfahren (Punkt 3.2.2.2). Als $Q_{h,max}$ wurde im Einreichoperat [26] 1 l/s angeführt.

Das Pumpwerk befindet sich unmittelbar neben der Hauptdruckleitung. Die Abwässer werden in die aktuell im Betrieb befindliche Druckleitung gefördert. Durch die pneumatische Förderung wird hier erneut frische Luft in die Hauptdruckleitung eingebracht. Aufgrund der kurzen Leitungslänge des Pumpwerk Z18 ist kein Nachblasen erforderlich.

Für die vorliegende Arbeit ist die Fördermenge als einziger Betriebsparameter aus der Archivierung relevant.

4.1.3.5 Kanalisation Dürnrohr

Die Ortschaft Dürnrohr wird als Mischsystem entsorgt. Die Freispiegelkanalisation leitet das Abwasser direkt in den Vorschacht des Hauptpumpwerkes Dürnrohr (G01). Unmittelbar davor, auf dem Areal des Hauptpumpwerkes, befindet sich das Rückhaltebecken. Der Drosselabfluss des Beckens beträgt $Q_{h,max}=17$ l/s, der Trockenwetterabfluss ist im wasserrechtlichen Einreichoperat mit $Q_T=4,1$ l/s angeführt [26]. Das Rückhaltebecken (zweiteilig) besitzt ein Gesamtvolumen von $V=95 + 168 = 263$ m³.

4.1.3.6 Pumpwerk Atzenbrugg A01

Die Abwässer der Marktgemeinde Atzenbrugg werden im Pumpwerk Atzenbrugg gesammelt. Dieses befindet sich auf dem Areal der ehemaligen Kläranlage Atzenbrugg. Das Gemeindegebiet wird teilweise im Misch- und teilweise im Trennsystem entsorgt. Beim Pumpwerk Atzenbrugg handelt es

sich um eine Kombination aus Pneumatik-Verdrängerpumpanlage (Funktionsweise siehe Punkt 3.2.3.4).

Im Einreichoperat des IB Henninger & Partner [26] ist als maximaler Abfluss $Q_{h,max}=30$ l/s angeführt. Der Trockenwetterabfluss beträgt gem. Projektunterlagen $Q_T=15$ l/s. Diese Abflüsse werden mithilfe des Pumpsystems in die Druckleitung befördert. Die Druckleitung, $L=5300$ m $Da=225$ mm, $V=167$ m³ mündet in den Stauraumkanal des Hauptpumpwerkes Dürnrrohr (G01)

Zu Zeiten geringen Abwasserzuflusses wird die Druckleitung mithilfe der Kompressoren leer geblasen. Die Kompressoren besitzen eine Nennleistung von 15 kW.

Für die vorliegende Arbeit ist die Fördermenge als einziger Betriebsparameter aus der Archivierung relevant.

4.1.3.7 Hauptpumpwerk bis Kläranlage

Beim Abwasserpumpsystem vom Hauptpumpwerk Dürnrrohr zur Kläranlage kommt eine Kombinationsanlage mit einer pneumatischen Überdruckanlage (im Weiteren pneumatische Anlage genannt) und Exzentrerschnepumpen zum Einsatz. Die Funktionsweise einer solchen Anlage wurde bereits in 3.2.3.4 beschrieben.

Es wurden zwei Druckleitungen mit Da 315 mm und einer Gesamtlänge von $L=12.636$ m aus PE verlegt. Im Einreichprojekt wurde davon ausgegangen, dass der Systemdruck 10 bar überschreiten kann, im Speziellen während des Nachblasprozesses sowie aufgrund von zukünftigen Erhöhungen der Fördermengen. Daher wurden die Rohrwandungsstärken abgestuft. Abbildung 4.3 zeigt den schematischen Längenschnitt inklusive Drucklinien bei einer Förderleistung von 100 l/s vom Hauptpumpwerk. In Tabelle 4.3 ist die Zusammenstellung der Volumina der Druckleitungen enthalten.

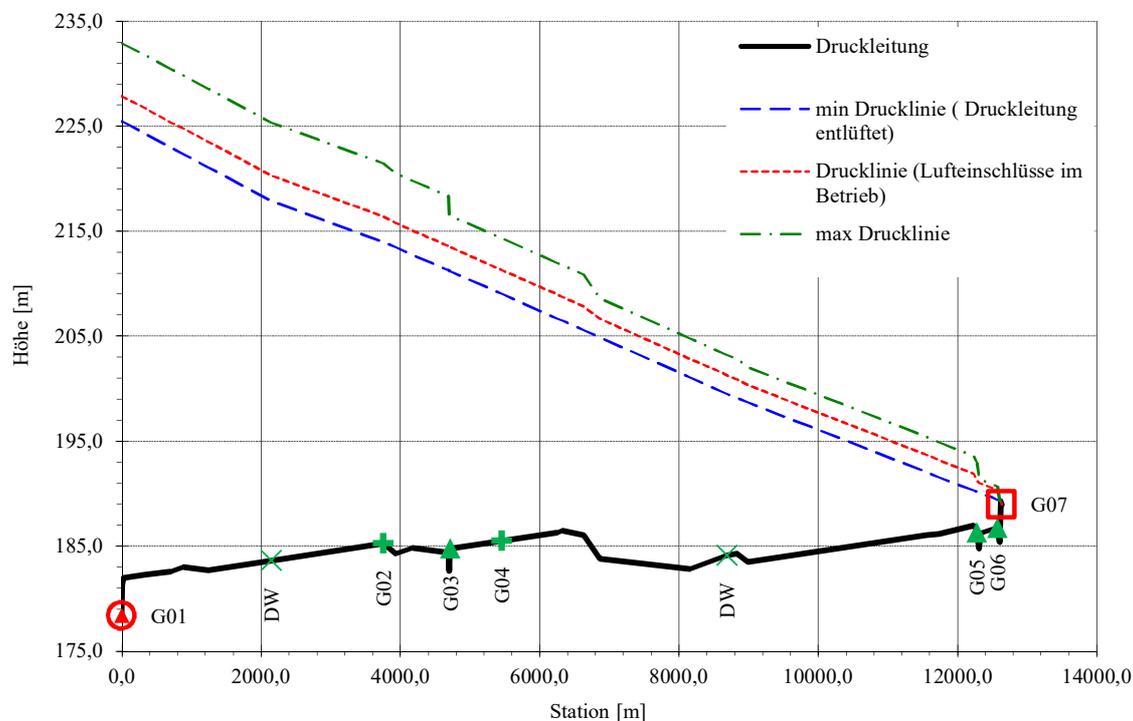


Abbildung 4.3: Hydraulischer Längenschnitt erstellt mithilfe des Programmes von Schmalz [17]

Tabelle 4.3: Leitungsabschnitte

Station	PN [bar]	Da [mm]	Di [mm]	L [m]	V [m ³]
0	16	315	258	2143	112
2143	10	315	278	6543	397
8686	8	315	285	3950	252
12636					

Weitere Informationen zur Ausrüstung der Anlagenteile sind dem Punkt 4.1.4 Technische Ausrüstung der Anlagenteile innerhalb der Systemgrenze zu entnehmen.

4.1.4 Technische Ausrüstung der Anlagenteile innerhalb der Systemgrenze

4.1.4.1 Stauraumkanal Dürnrohr

Die ankommenden Abwässer der vorgeschalteten Pumpsysteme Atzenbrugg (A01), Zwentendorf (Z12) und Kleinschönbichl (Z15) gelangen in den vor dem Hauptpumpwerk angeordneten Stauraumkanal. Dabei handelt es sich um einen GFK-Kanal mit Di 2400 mm, einer Länge von 23 m und einem Volumen von 103,5 m³. An den beiden Enden des Kanales befinden sich Be- und Entlüftungen.

Der Stauraumkanal dient zum kurzzeitigen Zwischenspeichern des Abwassers. Dies wird insbesondere während der Nachblasvorgänge erforderlich, um eine sichere Energieumwandlung zu gewährleisten (Druckluft). Am Ende des Kanales befindet sich der Ablauf (DN 400) zum Vorschacht.

Der Stauraumkanal ist mit einer Füllstandsmessung ausgestattet. Weiters führt von jedem einmündenden Kanal ein PVC-Rohr zu einer Schachtabdeckung. Öffnet man diese, ist es möglich von jedem Zulauf eine Probe zu ziehen, oder eine Messsonde einzuführen.

4.1.4.2 Vorschacht

Der Vorschacht befindet sich an der Ostseite des Hauptpumpwerkes und erstreckt sich annähernd über die Höhe der beiden Untergeschoße ($B/H/T = 1,8\text{ m} / \text{ca. } 6\text{ m} / 12,5\text{ m}$). Die Ausführung erfolgte in Stahlbeton. In den Vorschacht münden die Entwässerungsleitung des Bioschalldämpfers, des Stauraumkanales und der Freispiegelkanal der Ortschaft Dürnrohr.

Bevor der Freispiegelkanal Dürnrohr in den Vorschacht mündet, ist ein Regenrückhaltebecken angeordnet. In diesem darf es im Trockenwetterfall zu keinem Aufstau kommen. Daher müssen alle Pumpenschaltpunkte in diesem Fall (TW-Fall) unter der Einmündung des Zulaufes Dürnrohr liegen.

Der Vorschacht ist mit einer Füllstandsmessung (Hydrostatische Drucksonde) ausgestattet. Als Redundanz dient eine Füllstandsmessung nach dem Lufteinperlungsverfahren. Weiters ist eine H₂S_g-Messsonde installiert.

In Abbildung 4.4 ist zu sehen, dass der Zulauf zu den Arbeitsbehältern der pneumatischen Anlage nahe der Sohle des Vorschachtes angeordnet ist. Der Zulauf zu den Exzentrerschneckenpumpen befindet sich um ca. 40 cm höher. Dadurch werden im Vorschacht sich absetzende Sedimente mit der pneumatischen Anlage gefördert. Beim Betrieb der Exzentrerschneckenpumpe ist darauf zu achten, dass keine lufteinziehenden Wirbel entstehen. Es muss also immer genügend Überstau über dem Rohrscheitel des Zulaufes vorhanden sein. Anders verhält es sich bei der Pneumatik. Selbst wenn der Wasserspiegel im Vorschacht die Sohle des Zulaufes nur um einen Zentimeter überschreitet, kann eine Förderung erfolgen. Daher kann der Vorschacht nahezu vollständig entleert werden. Sollte

sich eine Schwimmschicht im Vorschacht bilden, so wird diese ebenfalls mithilfe der Pneumatik entfernt, sobald der Wasserspiegel im Vorschacht unter den Scheitel des Einlaufes sinkt.

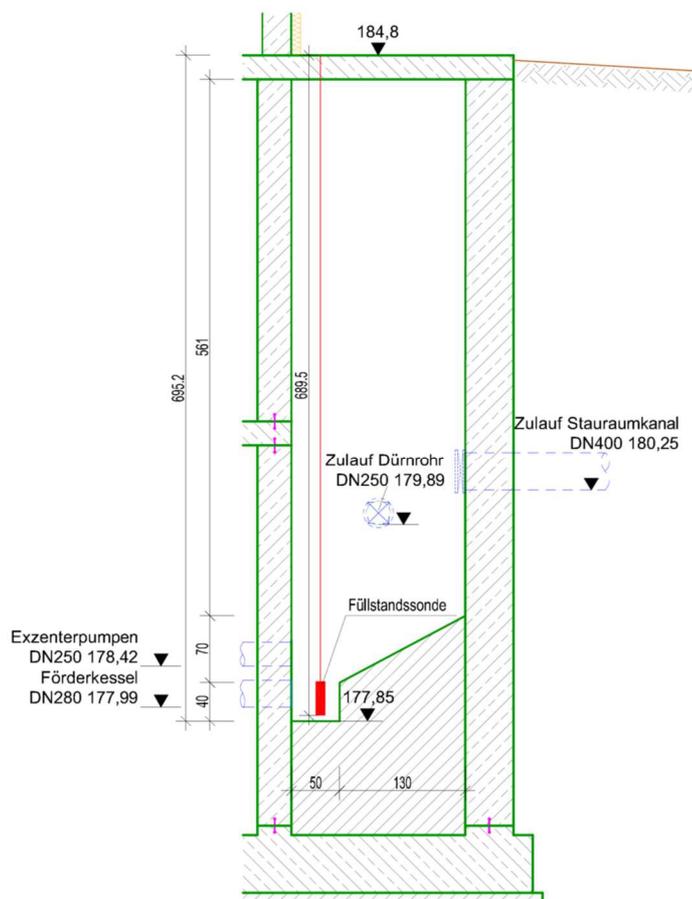


Abbildung 4.4: Schnitt durch den Vorschacht des Hauptpumpwerkes

Im Vorschacht ist ein Sauganschluss vorgesehen, der es im Störfall ermöglicht, mit einer mobilen Pumpe das Abwasser zu entnehmen und direkt in die Druckleitung zu pumpen. Das Hauptpumpwerk wird dadurch umgangen.

An der Sohle des Vorschachtes ist eine Luftleitung verlegt. Durch diese kann bei Bedarf die Entspannungsluft der Förderkessel geleitet werden, um das Abwasser zu belüften oder Ablagerungen aufzuwirbeln.

4.1.4.3 Biofilter

Über dem Vorschacht befindet sich auf halber Länge der Biofilter. Dies ist ein aus Stahlbeton hergestellter, rechteckiger, mit Kokosfasern gefüllter Behälter ($B / H / T = 2,0 \text{ m} / 2,3 \text{ m} / 6,9 \text{ m}$). In diesen wird die Entspannungsluft nach einem Fördervorgang geleitet. Er dient einerseits zur Schalldämmung, andererseits sollen sich auf den Kokosfasern Bakterienkulturen ansiedeln, die geruchsintensive Stoffe umwandeln.

Um ein Einfrieren bei niedrigen Temperaturen zu verhindern, sind Heizungsleitungen verlegt, die durch Wärmetauscher bei den Schraubenkompressoren mit Energie versorgt werden.

4.1.4.4 Pumpwerk

Beim Hauptpumpwerk Dürnrohr handelt es sich um ein Kombinationssystem aus einer pneumatischen Überdruckanlage und Exzentrerschneckenpumpen. Die Funktionsweise wird unter Punkt 3.2.3.4 erläutert.

Das Pumpwerk besitzt drei Geschoße. Im Erdgeschoß (8,5 m x 13,0 m) befinden sich ein klimatisierter Raum für die Steueranlage, die Steuereinheiten für die pneumatisch angetriebenen Schieber und drei Schraubenkompressoren für die pneumatische Abwasserförderanlage.

Die Kompressoren haben folgende zentrale Anlagendaten:

- Renner Schraubenkompressoren der Baureihe RSF-PRO 55
- Nennleistung Motor 55 kW
- 8,19 m³/min bei 10 bar

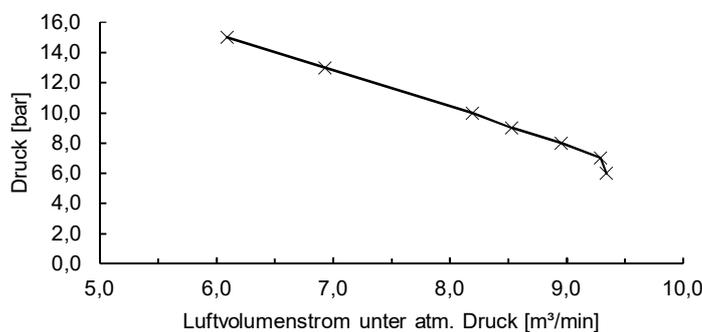


Abbildung 4.5: Luftvolumenstrom unter atm. Druck in Abhängigkeit des Systemdruckes gemäß Produktdatenblatt RSF-PRO 55 [29]

Im ersten Untergeschoß befindet sich ein Kolbenkompressor, der den Steuerluftdruck erzeugt. Weiters kann das Zwischengeschoß als Rohrkeller bezeichnet werden. Hier führen die Druckleitungen der einzelnen Förderaggregate in die beiden Hauptdruckleitungen, die das Pumpwerk schlussendlich verlassen. Durch die pneumatisch gesteuerten Schieber erfolgt die Zuteilung der Pumpen zur aktuell im Betrieb befindlichen Druckleitung. Vor der Wanddurchführung befinden sich die Druckaufnehmer auf 181,39 müA. In die Steigleitungen der Exzentrerschneckenpumpen sind hier die Magnetisch – induktiven Durchflussmesser (MID) eingebaut.

Im zweiten Untergeschoß befinden sich die Förderaggregate. Die beiden Arbeitsbehälter der pneumatischen Anlage besitzen ein Volumen von je 1,75 m³. Da die Druckleitung jedoch tangential anschließt (Rohrsohle = Behältersohle), ist eine Entleerung nur bis zur Oberkante des Rohres möglich. Dieses effektive Fördervolumen wurde seitens des Anlagenbauers mit 1,5 m³ ermittelt.

Bei den beiden baugleichen Exzentrerschneckenpumpen handelt es sich um das Fabrikat NEMO® NM148SY02D09Z der Firma Netzsch. Die Pumpen haben folgende zentrale Anlagendaten:

- Durchfluss 180 m³/h
- Differenzdruck 8,5 bar
- Leistungsbedarf an Pumpenwelle 55,93 kW

Abbildung 4.6 zeigt die Förderkennlinien der Pumpe. Die beiden Diagramme stellen Zusammenhang zwischen Durchfluss, Drehzahl, Leistungsbedarf und Druck dar. Die Regelung der Drehzahl erfolgt

über die Messung des Durchflusses mithilfe des nachgeschalteten MID's. Diese befinden sich im ersten Untergeschoß. In der SPS kann der Soll-Durchfluss eingestellt werden.

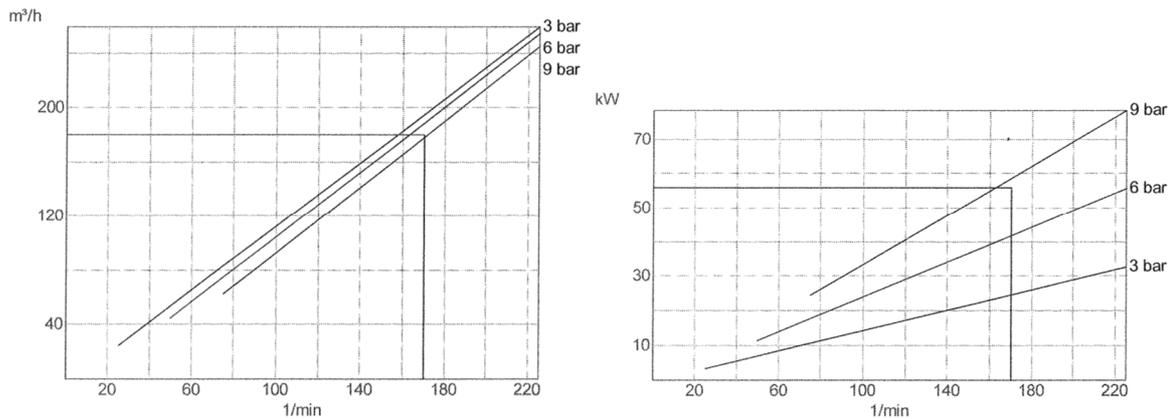


Abbildung 4.6: Förderkennlinie Exzentrerschneckenpumpen ($\rho=1 \text{ kg}/\text{dm}^3$, $\text{TS}=1\text{-}5 \%$, $\text{pH}=6\text{-}8$, $\eta=100\text{-}200 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, Korngröße 1-5 mm) [30]



Abbildung 4.7: 2. Untergeschoß des HPW Dürnrrohr (G01) mit zwei Exzentrerschneckenpumpen und einem von zwei Arbeitskesseln der pneumatischen Anlage

Wie in Abbildung 4.7 zu sehen ist, befinden sich im Zulauf vor den Exzentrerschneckenpumpen Mazeratoren. Sie besitzen eine Nennleistung von je 2,5 kW.

4.1.4.5 Vereinigungsschächte

Die Druckleitungen der Pumpwerke Kaindorf (Z17) und Badsiedlung (Z18) münden direkt in die Hauptdruckleitungen. An diesen Stellen befinden sich die sogenannten Vereinigungsschächte (G02, G04).

Die beiden Hauptdruckleitungen durchdringen den Schacht. Die einzubindende Druckleitung ist mit beiden verbunden. Vor der Einmündung sind pneumatische Schieber installiert. Ist nur eine Druckleitung im Betrieb, so wird von der SPS nur jener Schieber geöffnet, dessen Hauptdruckleitung momentan in Betrieb ist. So wird sichergestellt, dass die andere Hauptdruckleitung leer bleibt. Sind

beide Druckleitungen aktiv, fördert ein Pumpwerk in die DL1, das zweite in die DL2. Die Zuteilung erfolgt von der SPS.

Grundsätzlich sind beide Schächte baugleich ausgeführt. In G02 befindet sich überdies eine Verbindungsleitung zwischen den Druckleitungen. Dieser Bypass kann durch einen elektrischen Schieber geöffnet werden. Dies geschieht wenn der Einschaltpunkt für die zweite Pumpe im Vorschacht des Hauptpumpwerkes erreicht wird. Die Verbindung soll einen Druckausgleich zwischen den beiden Druckleitungen herstellen.

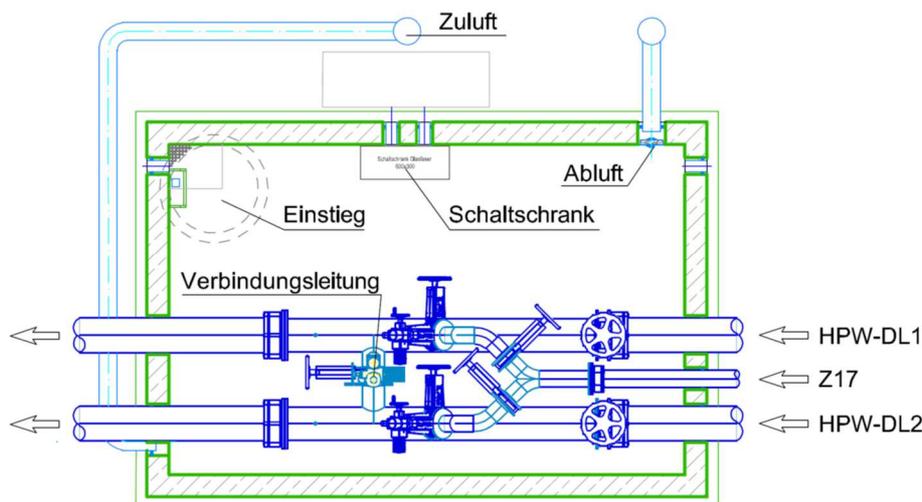


Abbildung 4.8: 2. Grundriss Vereinigungsschacht Kaindorf (G02)

4.1.4.6 Be- und Entlüftungsschächte

Durch das Verlegen der Druckleitungen in einem definierten Gefälle wurden gezielt Hochpunkte geschaffen. An diesen wurden in Schächten Be- und Entlüftungsventile auf den Druckleitungen installiert (G03, G05, G06).

Die Ventile können durch vorgeschaltete Schieber blockiert werden. Dies ist erforderlich, wenn die Anlage pneumatisch fördert. In diesem Zustand sind Lufteinschlüsse erwünscht, da diese das Abwasser mit Sauerstoff versorgen. Der höhere Energieaufwand wird daher in Kauf genommen. Sind hingegen die hydraulischen Pumpen in Betrieb, werden meist so große Mengen gefördert, dass die Aufenthaltszeit des Abwassers zu kurz und die Verdünnung zu groß ist, um anaerobe Zustände zu erreichen. Daher werden die Entlüftungsventile von der SPS freigegeben und die Luftblasen können entweichen. So wird eine Reduktion der manometrischen Druckhöhe und in weitere Folge eine Reduktion des Stromverbrauches erreicht. Weitere Informationen zur hydraulischen Berechnung von Druckleitungen mit Lufteinschlüssen sind unter Punkt 3.2.4 zu finden.

4.1.4.7 Übergabebauwerke Kläranlage Traismauer

Vor der Kläranlage münden die beiden Druckleitungen in einen Stauraumkanal ($L=100\text{ m}$, $D_i=1800\text{ mm}$, $V=254\text{ m}^3$). An den beiden Enden des Kanales befinden sich Be- und Entlüftungen.

Der Stauraumkanal dient zum kurzzeitigen Zwischenspeichern des Abwassers. Dies wird insbesondere während der Nachblasvorgänge erforderlich, um eine sichere Energieumwandlung zu gewährleisten (Druckluft). Am Ende des Kanales befindet sich der Ablauf (DN 400) zur Kläranlage. Davor befindet sich ein elektrisch betriebener Schieber.

Der Stauraumkanal ist mit einer Füllstandsmessung ausgestattet. Ab einem einstellbaren Pegel von bspw. 85 % Füllhöhe wird die Förderung der zuführenden Pumpwerke Dürnrrohr (G01), Kaindorf (Z17) und Badsiedlung (Z18) unterbrochen, da die Gefahr einer Überflutung des Stauraumkanals besteht. Erst nach Absinken des Pegels auf ca. 60 % (einstellbarer Wert), wird die Förderung der zuführenden Pumpwerke wieder freigegeben.

Der Ablaufkanal des Stauraumkanals passiert einen offenen Schacht zur Kläranlage. Hier ist eine H₂S_g-Messsonde installiert. Die Messwerte dieser Sonde sind von zentraler Bedeutung für die vorliegende Arbeit.

Danach führt der Ablaufkanal in einen weiteren Messschacht. Hier ist in einem geschlossenen Düker ein magnetisch induktiver Durchflussmesser angeordnet. Dieser überwacht den Zufluss zur Kläranlage und somit den Konsens.

4.1.5 Fernwirktechnik und Datenübertragungssystem

Die Beschreibung wird zur Gänze aus dem Pflichtenheft der Fa. hoelschertechnik-gorator GmbH & Co.KG [27] übernommen:

4.1.5.1 Allgemeine Beschreibung

Die Datenübertragung zwischen den Bauwerken sowie der Leitwarte auf dem Bauhof Zwentendorf (G00) wird durch eine betriebseigene Standleitung mittels Lichtwellenleiterkabel realisiert. Hierzu werden bauseits im Zuge der Baumaßnahme spezielle Kabelleerrohre zwischen den Bauwerken verlegt. Das LWL-Kabel wird per Druckluft in das Leerrohr eingeblasen. [27]

4.1.5.2 Datenübertragungssystem

Als vorbereitende Maßnahme zur Realisierung der prozessleittechnischen Anbindung der Automatisierungssysteme wird ein gebäudeübergreifendes Netzwerk aufgebaut, ein so genanntes Wide-Area-Network (WAN).

Dabei erfolgt die Kopplung zwischen den Automatisierungsgeräten und dem Visualisierungssystem über Ethernet mit TCP/IP-Protokoll.

Die Kommunikation zwischen der Automatisierungstechnik und dem Leitsystem erfolgt per IEC-Protokoll (IEC 60870-5-104). Details zur Kopplung und Vernetzung des Leitsystems sind aus dem Pflichtenheft der Firma enet GmbH zu entnehmen. [27]

4.1.5.3 Verkabelung im Primärbereich

Die Automatisierungssysteme werden mit der Prozessleittechnik über eine Ringstruktur mit LWL-Verkabelung verbunden. Die Bandbreite des LWL Ringes beträgt min. 100 Mbit/s.

Die neu gelegten LWL-Kabel sind mit eingearbeiteten Zugentlastungselementen, einem Längswasserschutz durch ein Quellband sowie einem halogenfreien PE-Außenmantel ausgestattet.

Das Auflegen der LWL-Adern auf die Switche wird so durchgeführt, dass die hin- und rückführende Leitung im Tausch auf die Switche aufgelegt wird. Somit wird das Lichtsignal in regelmäßigen Abständen aufgefrischt.

Die Spleißverbindungen sind ausnahmslos als thermische Spleiße ausgeführt und sollen eine maximale Dämpfung von 0,05 dB aufweisen. Vor der Inbetriebnahme der Switches ist von Schmidberger Elektroinstallations GesmbH eine LWL Reflexionsmessung (OTDR-Messung) für die komplette Strecke von Transceiver zu Transceiver durchzuführen, um Fehler auf der Strecke ausschließen zu können. Ebenfalls ist die OTDR-Messung als funktionierender Medienübertragungsnachweis bei evtl. erforderlichen Gewährleistungsansprüchen zum Switch Lieferanten notwendig. [27]

4.1.5.4 Verkabelung im Sekundär- bzw. Tertiärbereich

Der Anschluss der Automatisierungsgeräte an den LWL-Ring erfolgt unmittelbar durch Patchkabel innerhalb der Schaltschränke. [27]

4.1.5.5 Aktive Komponenten am Ethernet

Die verwendeten Ethernet-Switches sind wegen der dezentralen Anordnung insbesondere für den Einsatz in industriellen Kommunikationsnetzen konzipiert und über Redundanzfunktionen zur Ringschaltung bei Kabelfehlern geeignet. [27]

4.1.5.6 Bedien- und Beobachtungssystem

Neben dem Leitstellenrechner auf dem Bauhof (G00), wie im Pflichtenheft enet GmbH (Schmidberger) beschrieben, werden von der Firma hoelschertechnik-gorator® GmbH & Co.KG auf jedem Pumpwerk, sowie auf jedem Entlüftungs- und Vereinigungsschacht in der Schaltschrankfront ein Bedien- und Beobachtungsgerät vom Hersteller Siemens installiert.

Über diese Bedien- und Beobachtungsgeräte können jegliche Informationen abgerufen, der dazugehörigen Station, sowie Parameteinstellung und Hand-/Automatikaktionen vorgenommen und durchgeführt werden. [27]

4.1.5.7 Archivierung der Messdaten und Datenstruktur

Ein Großteil der im Prozessleitsystem angezeigten Messdaten werden archiviert. In der Trendanalyse können die gewünschten Daten über einen beliebigen Zeitraum ausgewählt und visualisiert werden. Die angezeigten Daten können in eine .csv-Datei exportiert werden. Damit können diese einer etwaigen, weiteren Analyse unterzogen werden. Tabelle 4.3 zeigt einen Überblick über jene Anlagenteile und deren archivierte Datenpunkte, die für die vorliegende Arbeit Relevanz zeichnen. #

Alle Messgeräte werden in einem festgelegten Intervall von 10 s abgefragt. Es wird die Differenz des Messwertes zum Vorgängerwert bestimmt. Überschreitet diese einen festgelegten Wert, den sogenannten Schwellwert, wird der Datenpunkt gespeichert. Dieser Datensatz enthält die Messgröße mit dem zugehörigen Zeitpunkt mit Angabe von 10^{-3} s. Tabelle 4.4 enthält die eingestellten Schwellwerte für die jeweiligen Datenpunkttypen zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Arbeit.

Tabelle 4.4: Anlagenteile innerhalb der Systemgrenze und deren gemessenen Datenpunkttypen

Datenpunkttyp	Betriebsstunden	Durchfluss MID	Druck	Fördermenge	Frequenz	Füllstand	H ₂ S _g	Nachblasvorgang	Schaltpunkte	Schieberstellungen	Stromstärke	Stromverbrauch (ab 1.8.2018)
Anlagenteil												
Entlüftungsschächte										x		
Exzentrerschneckenpumpen	x	x			x						x	x
Förderbehälter			x	x								
Mazeratoren	x										x	
Schraubenverdichter	x				x			x			x	x
Stauraumkanal						x						
Stauraumkanal KLA		x		x		x	x					
Steuerluftkompressoren	x											
Vereinigungsschächte										x		
Vorschacht						x	x		x	x		

Tabelle 4.5: Datenpunkttypen der Anlagenteile innerhalb d. Systemgrenze und deren Schwellwerte

Datenpunkttyp	Schwellwert	Einheit
Betriebsstunden	0,10	h
Druck	0,10	bar
Durchfluss	0,10	m ³ /h
Fördermenge	0,10	m ³
Füllstand	0,02	m
H ₂ S	0,10	ppm
Frequenz	1,00	Hz
Nachblasvorgang	1,00	-
pH	0,10	-
Schaltpunkt	0,01	m
Schieberstellung	1,00	-
Stromstärke	1,00	A
Stromverbrauch	1,00	kWh

Des Weiteren werden die Daten nach festgelegten Zeitintervallen verdichtet und in Abhängigkeit der Intervalldauer in einem Archiv abgelegt. Von jedem Datenpunkt wird in jedem Intervall der Minimal- und Maximalwert, der Mittelwert und die Differenz gespeichert. Zum Zeitpunkt des Verfassens der vorliegenden Arbeit wird nicht unterschieden, ob beispielsweise die Verdichtung eines Mittelwertes der Schieberstellung Sinn macht, oder nicht. Um in weiterer Folge die Produktion von Datenmüll zu vermeiden, sollte dies jedoch überlegt werden. In Tabelle 4.4 sind die Archive mit den aktuellen Speicherzeiten festgelegt.

Tabelle 4.6: Archive und deren Speicherzeiten

Archiv	aufbauend auf	gespeicherte Werte	Löschung nach
aktuelle Messwerte	Schwellwert	aktuell	2 Jahr
5 min	Messwerte	min, max, diff, avg	3 Jahre
1 Stunde	5 min	min, max, sum, avg	20 Jahre
1 Tag	1 Stunde	min, max, sum, avg	30 Jahre

In einer Exportdatei befinden sich dann die Messwerte mit den zugehörigen Zeitpunkten. Ändert sich zum Zeitpunkt x nur der Wert A, so wird in dieser Zeile nur der Messwert A angegeben. Alle anderen Plätze bleiben frei. Ändern sich zwei Werte zufällig zum gleichen Zeitpunkt y, beinhaltet die Zeile die Messwerte A und B in der jeweiligen Spalte. Die Spaltentrennung erfolgt durch Semikolon.

In der vorliegenden Arbeit wird bei der Auswertung der Daten ausschließlich auf das Archiv mit den aktuellen Messwerten zurückgegriffen, da zum Verfassungszeitpunkt die übrigen Archive teilweise unvollständig oder fehlerhaft verdichtet sind.

4.2 Lösungsfindungsprozess und Kalkulationsansätze

Ausgangslage

Die Marktgemeinde Zwentendorf verfügte über eine eigene Kläranlage mit einem Ausbauzustand von 8000 EW. Diese umfasste eine mechanische Reinigung, eine Tropfkörperanlage als Biologie und Nachklärbecken. Die in die Jahre gekommene Kläranlage benötigte eine bautechnische Sanierung. Weiters bot sie keine Reserven für weitere Aufschließungen oder Betriebsansiedelungen.

Aufgabenstellung

- Anpassung an den Stand der Technik
- Ermittlung der wirtschaftlichsten Entsorgungsvariante
- Hoher Bedienkomfort
- Weitgehende Automatisierung
- Sicherstellung zukünftigen Wachstums

Die Marktgemeinde beauftragte die Ingenieurbüro Henninger & Partner GmbH mit der Lösungsfindung durch eine Variantenstudie.

1. Variantenstudie

Das Gemeindegebiet Zwentendorf erstreckt sich parallel zur Donau. Die Abwässer der westlichen Katastralgemeinden, welche nur wenige Kilometer von Traismauer entfernt liegen, wurden zur Kläranlage Zwentendorf gepumpt. In Traismauer befindet sich die größte kommunale Kläranlage Niederösterreichs: die Kläranlage des Abwasserverbandes „An der Traisen“. Mit einer Ausbaugröße von 280000 EW bietet sie genügend Reserven für Erweiterungen.

Folgende Varianten wurden insgesamt hinsichtlich der Gesichtspunkte Investitionskosten, Reinvestitionskosten (Betrachtungszeitraum 50 Jahre), Förderung/Finanzierung, Gebührenberechnung, Vor- und Nachteile untersucht:

- Variante I: Errichtung einer eigenen Kläranlage
- Variante II: Anschluss an die KLA Tulln
- Variante III: Anschluss an den AV „An der Traisen“

Es erwies sich die Variante III als die wirtschaftlichste.

2. Variantenstudie

Die südliche Nachbargemeinde Atzenbrugg musste zur gleichen Zeit dieselben Überlegungen anstellen. Daher wurden in einer zweiten Variantenstudie folgende Optionen gegenübergestellt:

- Variante I: Errichtung von eigenen Kläranlagen in den Gemeinden Zwentendorf und Atzenbrugg
- Variante II: Errichtung einer gemeinsamen KLA am Standort der bestehenden Kläranlage in Zwentendorf
- Variante III: Anschluss beider Gemeinden an die KLA Tulln
- Variante IV: Anschluss beider Gemeinden an den AV An der Traisen

Wieder erwies sich die Variante des Anschlusses an den AV an der Traisen als wirtschaftlichste.

Wahl des Abwasserpumpsystems – 3. Variantenstudie

Die erste und in den vorigen Variantenstudien angesetzte Variante sah ein kaskadenartiges Abwasserpumpsystem vor, welches das Abwasser von Ost nach West pumpt. Die Förderrichtung der Katastralgemeinde westlich von Zwentendorf würde also umgekehrt werden. Hierzu würden die bestehenden Pumpwerke ausgebaut und vergrößert. Dies bedeutet ein großes Ausmaß an Bauarbeiten im Siedlungsbereich und in den Ortskernen. Weiters ist die Sicherstellung der Abwasserentsorgung während der Bauphase aufwändig. Die Distanz zwischen den Pumpwerken beträgt dann 3-5 km.

Im Zuge des Planungsprozesses wurde festgestellt, dass in Gerstetten, Deutschland, ein Abwasserpumpwerk mit ähnlichen Anforderungen existiert. Dieses verfügt über ein kombiniert pneumatisch-hydraulisch betriebenes Pumpsystem. Da hierzu in Österreich in dieser Dimension keine Erfahrungen existieren, wurde diese Anlage im Frühjahr 2015 besichtigt. Danach wurde dieses Pumpsystem als Variante in den Planungsprozess aufgenommen.

Im Zuge der Variantenstudie wurde festgestellt, dass beide Varianten als kostenmäßig gleichwertig zu bezeichnen sind. Die Vorteile, die ein kombiniert pneumatisch-hydraulisch betriebenes Abwasserpumpsystem bietet, überwiegen jedoch. Daher fassten die Gemeinden den Beschluss zum Anschluss an den Abwasserverband „An der Traisen“. Im Folgenden seien einige Vorteile aus der Studie angeführt:

- Alle Anlagenteile sind trocken aufgestellt, hoher Bedienkomfort
- Keine Chemikaliendosierung betreffend biogener H₂S-Bildung erforderlich
- Keine Korrosion bei den Anlagen möglich
- Die pneumatische Abwasserförderung ist im Betrieb sehr stabil (Feststofftransport ohne Verstopfungsgefahr)
- Alle Anlagenteile können parallel zum bestehenden Betrieb errichtet werden

Kostenansätze für die Variantenuntersuchung

Bei der Diskussion der Varianten wurden Investitionskosten, Reinvestitionskosten (Betrachtungszeitraum 50 Jahre), Gebührenberechnungen und Förderung/Finanzierung betrachtet.

Die Feststellung, inwiefern sich die tatsächlichen Investitionskosten sowie die Höhe der Fördermittel von jenen der Kalkulation unterscheiden, ist Aufgabe der Kollaudierung, welche ein Standardverfahren in der Wasserwirtschaft darstellt. Gleiches gilt für die Gebührenberechnung. Die Reinvestitionskosten werden für längere Zeit ungeprüft bleiben müssen. Die Feststellung dieser Kostenstellen ist daher nicht Teil der vorliegenden Arbeit.

Obenstehend wurde der iterative Prozess der Lösungsfindung beschrieben. In diesem Zuge werden Varianten diskutiert und ausgeschieden. Im nächsten Schritt wird die gewählte Variante verfeinert und adaptiert. Die laufende Weiterentwicklung führt zu neuen Varianten, bis ein optimales System gefunden wurde. Für dieses wird dann eine Detailplanung und Kostenschätzung erstellt, welche sich bereits wieder vom Ergebnis der Variantenstudie unterscheidet.

In Bezug auf das vorliegende Projekt wurde für die Kostenschätzung immer eine Betrachtung des Gesamtsystems durchgeführt. Da die gewählte Systemgrenze in anderen Varianten aufgrund des Trassenverlaufes und der Platzierung weiterer Pumpwerke nicht wiederzufinden ist, ist ein auf die Systemgrenze der vorliegenden Arbeit bezogener Kostenvergleich nicht sinnvoll.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Kostenansätze, die der Kalkulation der Betriebskosten dienen, überprüft werden. Die folgenden Kostenansätze beziehen sich auf die Anlagenteile innerhalb der Systemgrenze der vorliegenden Arbeit.

- Energieverbrauch hydraulische Abwasserförderung 0,50 kWh/m³
- Kosten für Chemikalieneinsatz (z.B. Dolomin) ca. 0,05 €/m³
- Energieverbrauch für pneumatisch/hydraulische Anlage 0,75 kWh/m³ Abwasser im Mischbetrieb TW/RW
- Strompreis 0,15 €/kWh
- Ansätze für die Reinvestitionskosten lt. LAWA, Vergleichszeitraum 50 Jahre
- Reinigungskosten auf der KLA Traismauer 21 €/Einwohner (Hauptwohnsitz) und Jahr inkl. Reinvestitionskosten

4.3 Definition der Systemgrenze

Die vorliegende Arbeit betrachtet das Pumpsystem Hauptpumpwerk – Kläranlage Traismauer. Innerhalb dieser Systemgrenze werden die unter Punkt 4.3.1 beschriebenen Kennzahlen ermittelt. Alle Optimierungsvorgänge beziehen sich auf die Objekte innerhalb der Systemgrenze. Die Zuflüsse der vorgeschalteten Anlagen werden mit den erhobenen Messdaten grundsätzlich als Randbedingungen erachtet.

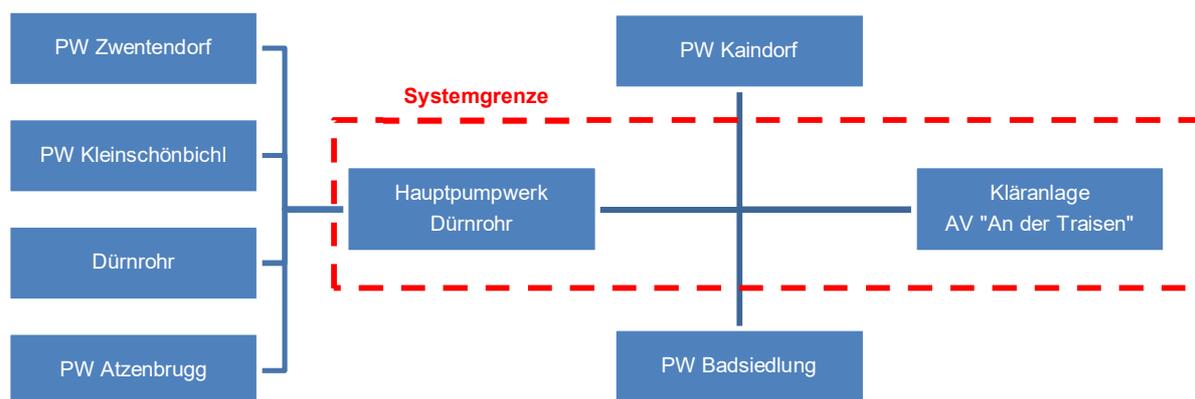


Abbildung 4.9: Definition der Systemgrenze

4.4 Methoden

Dieses Kapitel befasst sich mit den Methoden, welche angewandt werden, um den Analyse- und Optimierungsvorgang zu dokumentieren.

Im ersten Schritt werden Kennzahlen definiert, um Veränderungen zu registrieren und zu beurteilen. Von zentraler Bedeutung ist die Überlegung der Datenbeschaffung und –verarbeitung zur Ermittlung der Kennzahlen.

Eine Analyse des Ist-Zustandes in Bezug auf die ausgewählten Kennzahlen bildet die Grundlage für jede Optimierung. Weiters hilft sie, ein Verständnis für das Systemverhalten der Anlage zu erlangen.

Als erster Optimierungspunkt wird die druckabhängige Laufzeit der Kompressoren zur Entleerung eines vollen Förderkessels umgesetzt. Es soll ein Vergleich mit der voreingestellten, konstanten Entleerungszeit erfolgen. Diese richtet sich nach dem maximalen Druck.

Die pneumatische Anlage kann mit bis zu drei Kompressoren betrieben werden. Für die hydraulische Förderung stehen ein oder zwei Pumpen zur Verfügung. Dies ermöglicht eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten in Bezug auf die Einstellung der Schaltpunkte. Diese wiederum wirken sich auf den Betrieb der Anlage im Hinblick auf den Energieverbrauch sowie auf die biologischen Prozesse in der Druckleitung aus. Der Punkt „Optimierung der Schaltpunkte“ sieht vor, einige Betriebsfälle zu testen und mithilfe der Kennzahlen zu beurteilen.

Mithilfe der Kompressoren kann eine Druckluftspülung vorgenommen werden. Es soll untersucht werden, in welchem Intervall diese zu erfolgen hat. Weiters sollen die Druckluftspülvorgänge der vorgeschalteten Pumpsysteme koordiniert werden.

Während der pneumatischen Förderung sind die Be- und Entlüftungsventile deaktiviert. Die Aktivierung erfolgt bei Betrieb der hydraulischen Pumpen. Die Druckminderung durch den Einsatz der Entlüftungsventile soll untersucht werden. Weiters wird die Auswirkung der Verbindungsleitung zwischen den beiden Druckleitungen im Vereinigungsschacht Kaindorf im Falle des Betriebes von zwei Druckleitungen (Regenwetter) beurteilt werden.

Die angeführten Punkte der Optimierung sind nicht als voneinander gelöst zu betrachten. Einige Ansätze für die Betriebsfälle resultierten beispielsweise aus den Erkenntnissen der druckabhängigen Entleerungszeit. Der Entwurf der Betriebsfälle ist also als ein iterativer, immer fortschreitender Prozess zu sehen.

4.4.1 Kennzahlen

Das Arbeitsblatt DWA-A 216 (Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen) [31] sieht als Erhebungsgrößen für Pumpenanlagen mindestens die jährliche Erfassung von Stromverbrauch, manometrischer Förderhöhe und Fördermenge vor. Um kombinierte Abwasserpumpsysteme einer Analyse zu unterziehen, müssen diese Daten in einer wesentlich detaillierteren Auflösung erhoben werden. Im Weiteren finden folgende Kennzahlen Verwendung:

- Mittler Durchfluss Q in $[\text{m}^3/\text{h}]$, bzw. $[\text{m}^3/\text{d}]$
- Stromverbrauch E in $[\text{kWh}/\text{h}]$, bzw. $[\text{kWh}/\text{d}]$
- Mittlerer Druck P in $[\text{bar}]$
- Volumensbezogener Stromverbrauch in $e_{\text{bez}} [\text{kWh}/\text{m}^3]$
- Spezifischer Stromverbrauch e_{spez} in $[\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})]$
- Schwefelwasserstoffgehalt, gemessen in der Gasphase H_2S_g in $[\text{ppm}]$

Im vorliegenden Praxisbeispiel werden zwei verschiedene Fördermethoden kombiniert. Um die Wirtschaftlichkeit und Wirkungsweise beurteilen zu können, müssen die oben angeführten Kennzahlen für jede Methode getrennt betrachtet werden. Die Abkürzungen der Kennzahlen werden hier um die Indizes „Ph“ für Pneumatik, „Hy“ für Hydraulik und „NB“ für Nachblasvorgang ergänzt.

Die Fördermenge Q charakterisiert die Dimension einer Pumpanlage, wie kein anderer Kennwert. Durch die Betrachtung Tagesganglinie werden durchschnittliche, und im Falle eines Trennsystems auch maximale Durchflüsse erkennbar. Bei einem Mischsystem erzeugt mit großer Wahrscheinlichkeit das Regenwetterereignis die Spitzenstunde. Durch Kenntnis der Bandbreite kann das optimale Fördersystem gewählt werden, sofern die Förderkapazitäten bekannt sind.

Die finanziellen Aufwendungen des Pumpwerkbetreibers zur Deckung der Betriebskosten werden zu einem wesentlichen Teil durch den Stromverbrauch gebildet. Hier spielt der Gesamtenergieaufwand genauso wie jener in der Spitzenstunde eine Rolle. Erhöht sich der Stromverbrauch bei gleichbleibender Fördermenge und Druck, kann auf Verschleißerscheinungen der Förderaggregate geschlossen werden. Daher ist es auch hier von Bedeutung, die Ermittlung getrennt für jedes Fördersystem durchzuführen. Es genügt also nicht, die täglichen Zählerstände des Energieanbieters abzufragen, oder gar nur die Monatssummen aus den Rechnungen zu erheben. Beide beschreiben nur den Gesamtenergiebedarf der Anlage und lassen keine Rückschlüsse auf die Verbräuche der Förderaggregate zu und haben eine zu geringe Auflösung, um sie in Verbindung mit stündlichen Förderströmen zu bringen. Ferner beschreibt der Strombedarf auch den Verbrauch natürlicher Ressourcen. Im Sinne der Ressourcenschonung sowie des Betreibers ist es also, den Energieaufwand der Anlage möglichst gering zu halten.

Von zentraler Bedeutung ist es, die Druckverhältnisse eines Abwasserpumpsystems zu kennen. Ein plötzlicher Druckanstieg lässt beispielsweise auf eine Verlegung des Rohrquerschnittes schließen. Eine allmähliche, konstante Zunahme des Druckes kann ein „Zuwachsen“ der Leitung bedeuten. Durch mehrere Druckmessungen verteilt über den gesamten Leitungsverlauf lässt sich der Bereich, in dem ein Schaden aufgetreten ist, eingrenzen. Die manometrische Druckhöhe wird im Wesentlichen von den Reibungsverlusten beeinflusst. Diese werden wiederum von den Durchflüssen verursacht. Daher ist es erforderlich, die Druckhöhen in Abhängigkeit des Förderstromes sowie des Fördersystems zu erfassen.

Die Kennzahl Stromverbrauch pro Kubikmeter geförderten Abwassers liefert für die energetische Bewertung des Pumpwerkes wichtige Hinweise. Über eine entsprechende Zeitreihe lassen sich hier erste Verschleißerscheinungen feststellen [31]. Da diese Kennzahl auch bei der Variantenstudie des Praxisbeispiels zur Kostenschätzung der Betriebskosten zum Einsatz kam, ist sie für einen Vergleich mit der Planung von Interesse.

Der Stromverbrauch je Kubikmeter Fördermenge ist abhängig von der zu überwindenden Höhendifferenz. Um Anlagen verschiedener Dimensionen im Hinblick auf Fördervolumen, Druckleitungslänge und zu überwindender Höhenunterschied zu vergleichen, ist es sinnvoll, den manometrischen Druckunterschied während der Förderung miteinzubeziehen. Damit lässt sich nach DWA- A 216 [31] der spezifische Stromverbrauch e_{spez} ermitteln.

Erfolgt die Ermittlung von e_{bez} oder e_{spez} für jedes Förderaggregat getrennt, muss die Auswertung auf Stundenbasis erfolgen. Werden die beiden Kennzahlen für die gesamte Anlage ermittelt, muss ein ganzer Tag betrachtet werden, da ein Nachblasvorgang stattgefunden haben könnte. Dieser Vorgang ist Teil des Förderprinzips und daher ebenfalls in die Berechnung miteinzubeziehen.

Die Bedeutung der Messung von Schwefelwasserstoff in der Gasphase wird unter Punkt 3.3 beschrieben. Im vorliegenden Praxisbeispiel kommt eine pneumatische Förderanlage zum Einsatz um

anaerobe Zustände und somit die biogene Bildung von Schwefelwasserstoff zu vermeiden. Die eingesetzten hydraulischen Pumpen (Exzentrerschneckenpumpen) haben jedoch einen besseren Wirkungsgrad und verursachen somit geringere Energiekosten. Es ist allerdings zu erwarten, dass es ohne einer Zudosierung von Chemikalien bei alleinigem Einsatz der hydraulischen Pumpen zur Bildung von H_2S kommt. Durch die kontinuierliche Messung von H_2S_g und des Stromverbrauches soll ein wirtschaftlicher Betrieb des Pumpsystems unter sicheren Rahmenbedingungen gewährleistet werden.

4.4.2 Kennzählerhebung und –verarbeitung

Wie in Tabelle 4.5 zu sehen ist, sind die Schwellwerte sehr niedrig gewählt. Der Takt mit 10 s ist ebenfalls sehr kurz bemessen. Es ist daher ausreichend, die Messwerte bis zur nächsten verzeichneten Änderung als konstant anzusehen. Diese Annahme erleichtert die Datenanalyse wesentlich.

In Abhängigkeit der Fragestellung werden in der Trendanalyse die gewünschten Datenpunkte ausgewählt. Hier können maximal 16 Datenpunkte zu je 10.000 Werten dargestellt werden. Werden die Trends angezeigt, ist eine erste, visuelle Plausibilitätskontrolle der Daten durchzuführen. Danach können diese exportiert werden. Je nachdem, wie lange der Betrachtungszeitraum sein kann, ist die Datenabfrage bedingt durch die zuvor angeführten Maximalwerte begrenzt. Daher muss eine längere Zeitspanne für die Abfrage oft zerteilt werden. Die einzelnen Dateien können in weitere Folge zu einer großen .csv-Datei zusammengefügt werden. Aufgrund des geringen Taktes besitzen diese eine Größe von ca. 16 Megabyte und beinhalten ca. $6 \cdot 10^6$ Messwerte.

Die Auswertung erfolgt mithilfe der Statistiksoftware „R“. Dabei kommt im Speziellen das Paket „zoo“ zum Einsatz. Dieses eignet sich sehr gut, um unregelmäßige Zeitreihen auszuwerten. Die Visualisierung der Ergebnisdaten erfolgt mithilfe von „Excel 2016“.

4.4.2.1 Fördermengen

In Tabelle 4.3 sind zwei die Abwassermenge betreffende Datenpunkttypen angeführt. Den Exzentrerschneckenpumpen sind magnetisch induktive Durchflussmesser, kurz MID, nachgeschaltet. Die Förderung ist ein kontinuierlicher Prozess. Der Durchfluss wird in Abhängigkeit der Zeit zu einer kumulierten Fördermenge addiert. Bei der pneumatischen Anlage handelt es sich um einen zyklischen Fördervorgang, wobei immer dieselbe Menge in Abhängigkeit der Behältergröße in die Druckleitung gefördert wird. Wie unter 4.1.2.7 angeführt, beträgt die Behältergröße im HPW Dürnrohr $1,5 \text{ m}^3$. Die Dauer eines Fördervorganges ist variabel. Sie wird durch die Anzahl der im Betrieb befindlichen Kompressoren, dem Systemdruck und dem Wasserstand im Vorschacht beeinflusst. Eine lineare Verteilung der $1,5 \text{ m}^3$ über den gesamten Förderzyklus eines Behälters ist nicht sinnvoll. Die Mengenzählung erfolgt, wenn der Förderbehälter die Vollfüllung meldet und der Zulaufschieber schließt.

Die Auswertungen der Abwassermenge je Zeiteinheit werden in der vorliegenden Arbeit basierend auf den kumulierten Fördermengen ermittelt. Die betreffenden Datenpunkte sind in $[\text{m}^3]$ angegeben und benennen sich wie folgt:

- G01_Foerdermenge_B1.Status.Wert.value
- G01_Foerdermenge_B2.Status.Wert.value
- G01_Foerdermenge_P1.Status.Wert.value
- G01_Foerdermenge_P2.Status.Wert.value

Im ersten Schritt wird eine Zeitreihe der betreffenden Fördereinheit generiert. Danach werden die Differenzen zwischen den Datenpunkten errechnet. Im dritten Schritt erfolgt die Zusammenfassung der Fördermengen im gewünschten Zeitintervall, z.B. Stunden. Wurde die Fördermenge je Stunde ermittelt, kann durch aufsummieren über einen Tag die Tagesfördermenge ermittelt werden.

Die Validierung der errechneten Werte erfolgt auf Tagesbasis. Hierfür wird in der Trenddarstellung der jeweilige Datenpunkt aus dem Archiv mit dem Verdichtungs niveau „Tag“ und der Verdichtungsart „Summe“ ausgewählt. Diese Werte müssen übereinstimmen.

4.4.2.2 Stromverbrauch

Die Messung des Gesamtstromverbrauches des HPW Dürnrohr erfolgt durch den Energieanbieter (EVN). Am Monatsanfang werden die viertelstündigen Durchschnittswerte der verbrauchten Energie in [kW] des vergangenen Monats als .xls-Datei an den Betreiber übermittelt. Um die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit zu bearbeiten, ist es erforderlich, den Stromverbrauch der pneumatischen Anlage und der Exzentrerschneckenpumpen getrennt zu erfassen. Der Stromverbrauch der weiteren Anlagenteile im HPW ist im Vergleich zum Verbrauch der Fördereinrichtungen äußerst gering und kann bei der Berechnung vernachlässigt werden.

4.4.2.2.1 Untersuchungen vor 1.8.2018

Zur Berechnung der aufgenommenen Leistung stehen die gemessene Stromstärke, die Netzspannung und der Wirkleistungsfaktor gemäß Typenschilder zur Verfügung. Die betreffenden Datenpunkte sind in der Einheit [A] angegeben und benennen sich wie folgt:

- G01_V1.Status.Strom
- G01_V2.Status.Strom
- G01_V3.Status.Strom
- G01_P1.Status.Strom
- G01_P2.Status.Strom

Für die pneumatische Anlage wird die aufgenommene Leistung der Kompressoren nach Formel (4.1) bestimmt. Der Antrieb des Verdichters erfolgt durch einen Drehstrommotor über einen Keilriemen. Dieser ist frequenzgeregelt. Allerdings wird durch den Frequenzrichter lediglich die Stromaufnahme in der Anlaufzeit geregelt. Im Regelbetrieb läuft der Kompressor immer mit der Nenn Drehzahl auf 50 Hz. Die verringerte Leistungsaufnahme im Anlaufbereich kann bei der Berechnung vernachlässigt werden.

$$P_1 = U \times I \times \cos(\varphi) \times \sqrt{3} \quad (4.1)$$

I	[A]	Stromstärke
P_1	[W]	aufgenommene Leistung
U	[V]	Netzspannung
$\cos(\varphi)$	[-]	Wirkleistungsfaktor

Zur Berechnung wird im ersten Schritt eine Zeitreihe je Kompressor mit den gemessenen Stromstärken erstellt. Die zugehörige Leistung wird dann gemäß Formel (4.1) für jeden Datenpunkt bestimmt. Diese wird dann mit der Zeitdifferenz bis zur nächsten Änderung multipliziert, um [kWh] zu erhalten. Die Aufsummierung über einen beliebigen Betrachtungszeitraum (Stunden, Tage) ergibt dann den errechneten Stromverbrauch.

Für den Betrachtungszeitraum April, Mai und Juni 2018 wurden jene Betriebsstunden der Anlage ausgewählt, in denen lediglich die Kompressoren in Betrieb waren. In Tabelle 4.6 sind die absoluten und die relativen Abweichungen bezogen auf die Messungen des Energieanbieters angeführt.

Tabelle 4.7: Vergleich Stromverbrauch gemessen – berechnet für Kompressoren

Monat	EVN [kWh]	Pneumatik berechnet [kWh]	Abweichung [kWh]	Abweichung [%]
April	40933,4	40845,1	-88,3	-0,22%
Mai	35027,6	35456,1	428,6	1,22%
Juni	26171,4	26216,8	45,4	0,17%

Die maximale Abweichung zwischen den berechneten und den gemessenen Werten beträgt nach Tabelle 4.6 1,2 %. Die Berechnungsmethode darf also als ausreichend genau bezeichnet werden.

In Tabelle 4.6 beinhalten die Messungen der EVN den gesamten Stromverbrauch des HPW Dürnrohr, also auch jenen der Server, Steuerluftkompressoren, Ventilatoren und Beleuchtung. Dennoch ist die Abweichung sehr gering. Betrachtet man den Tagesgang (Abbildung 4.6), stellt man fest, dass der berechnete Stromverbrauch in der Nacht niedriger ist, als jener der Messungen. In den Tagesstunden verhält es sich umgekehrt. Der Grund dafür ist der Einsatz der PV-Anlage. Erzeugt diese Strom, sinkt der Bedarf an den Energieanbieter. Daraus kann auch geschlossen werden, dass der Grundverbrauch (Server, Steuerluftkompressoren, Ventilatoren, Beleuchtung) von der PV-Anlage abgedeckt wird.

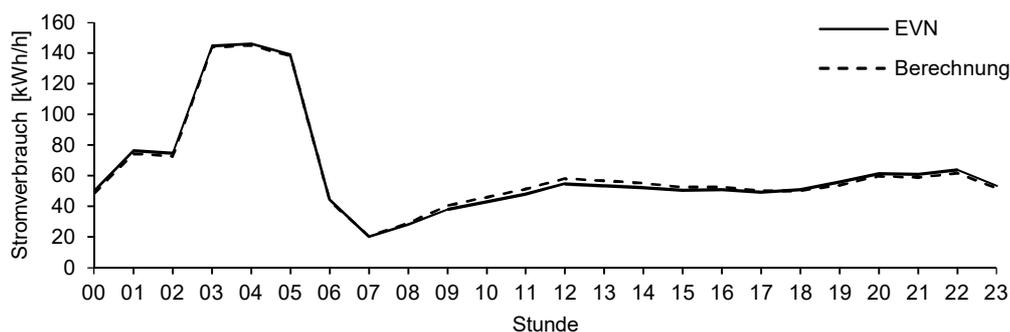


Abbildung 4.10: Vgl. Mittelwerte des berechneten Stromverbrauches für Pneumatik mit Messung des Stromanbieters, 1. April bis 30. Juni 2018, ausgenommen Stunden mit Pumpbetrieb

Anders verhält es sich bei den Exzentrerschneckenpumpen. Der Antrieb der Exzentrerschnecke erfolgt über ein Stirnradgetriebe durch einen Drehstrommotor. Diesem ist ebenfalls ein Frequenzumrichter, der die Drehzahl bestimmt, vorgeschaltet. Um die Konsensmenge gemäß Wasserrechtsbescheid nicht zu überschreiten, ist der maximale Förderstrom als fixer Wert in der SPS festgelegt. Die Drehzahl wird durch einen am Ablauf befindlichen MID so geregelt, dass die Konsensmenge nicht überschritten wird. Daher laufen die Exzentrerschneckenpumpen in Abhängigkeit des aktuellen Druckes mit einer Drehzahl, die nicht der Nenndrehzahl entspricht. Eine Abschätzung mithilfe der Formel (4.1) führt zu Abweichungen bis zu 40 % des tatsächlichen Stromverbrauches und kann daher nicht zur näherungsweisen Berechnung des Stromverbrauches herangezogen werden. Daher wird, sofern die Exzentrerschneckenpumpen in Betrieb waren, der berechnete Stromverbrauch der pneumatischen Anlage herangezogen und vom gemessenen Stromverbrauch des Energieanbieters subtrahiert.

Der Stromverbrauch der weiteren Anlagenteile im HPW ist im Vergleich zum Verbrauch der Fördereinrichtungen äußerst gering und kann bei der Berechnung vernachlässigt werden.

4.4.2.2.2 Untersuchungen nach dem 1.8.2018

Mit 1.8.2018 beginnt die Archivierung der von den Frequenzumrichtern aufgezeichneten Stromverbräuche in [kWh], analog zu einem digitalen Stromverbrauchszähler. Mithilfe dieser Werte ist eine genaue Berechnung der aufgenommenen Leistung der einzelnen Fördereinheiten möglich. Die Vorgehensweise ist für die pneumatische Anlage und für die Exzenterpumpen ident. Die betreffenden Datenpunkte sind in [kWh] angegeben und benennen sich wie folgt:

- G01_K1_Verbrauch.Status.Messwert.value
- G01_K2_Verbrauch.Status.Messwert.value
- G01_K3_Verbrauch.Status.Messwert.value
- G01_P1_Verbrauch.Status.Messwert.value
- G01_P2_Verbrauch.Status.Messwert.value

Im ersten Schritt wird eine Zeitreihe der betreffenden Fördereinheit generiert. Danach werden die Differenzen zwischen den Datenpunkten errechnet. Im dritten Schritt erfolgt die Zusammenfassung der Fördermengen im gewünschten Zeitintervall, z.B. Stunden. Wurde der Stromverbrauch je Stunde ermittelt, kann durch aufsummieren über einen Tag der Tagesstromverbrauch ermittelt werden.

Die Validierung der errechneten Werte erfolgt für den Monat August. Hierfür werden die Tagessummen der gerechneten und der gemessenen Stromverbräuche gebildet. In Tabelle 4.8 sind die nach dem oben erläuterten Schema berechneten Stromverbräuche der Fördereinheiten den gemessenen Stromverbräuchen des Energieanbieters gegenübergestellt. Das Ergebnis der Berechnung fällt deshalb geringer aus, da hier der Grundverbrauch (Server, Steuerluftkompressoren, Ventilatoren, Beleuchtung) nicht berücksichtigt wird. In Summe beträgt dieser allerdings nur 3 % und wird daher vernachlässigt.

Tabelle 4.8: Vergleich Stromverbrauch gemessen durch den Energieanbieter – berechnet

Monat	EVN [kWh]	Berechnet [kWh]	Abweichung [kWh]	Abweichung [%]
August	29067,6	28217,8	-849,8	-3%

Die Tagesganglinie, Abbildung 4.11, zeigt ein ähnliches Bild, wie im Untersuchungszeitraum vor dem 1.8.2018. Als Begründung ist wieder der Einsatz der PV-Anlage anzuführen.

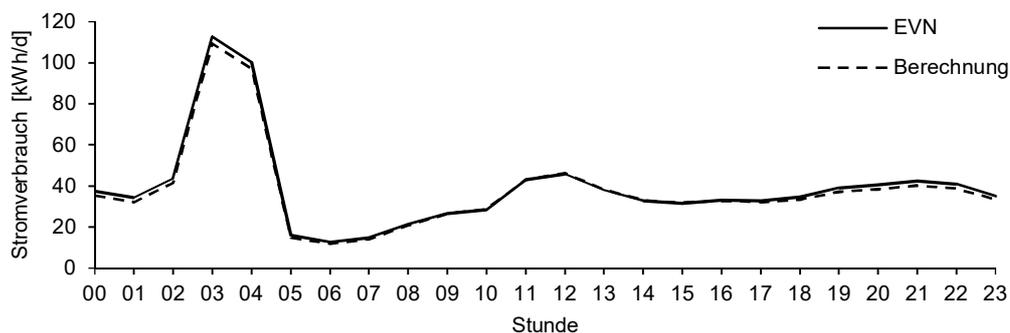


Abbildung 4.11: Vgl. Mittelwerte des berechneten Stromverbrauches mit Messung des Stromanbieters als Tagesgang für August 2018

4.4.2.3 Druckverhältnisse

Die Druckverhältnisse werden durch den Rohrleitungsdruck beim Hauptpumpwerk dargestellt. Die betreffenden Datenpunkte sind in [bar] angegeben und benennen sich wie folgt:

- G01_DL1_P1.Status.Messwert.value
- G01_DL2_P1.Status.Messwert.value

Die Druckmessungen erfolgen kontinuierlich, das heißt, auch in Zeiten, in denen kein Fördersystem aktiv ist. Eine einfache Mittelwertbildung wäre also nicht repräsentativ. Es müssen also erstens die Messwerte jener Zeitpunkte entfernt werden, zu denen keine Förderung stattgefunden hat und zweitens muss der Druck dem jeweiligen Fördersystem zugeordnet werden.

Hierfür werden zuerst die Minuten-Mittelwerte separat für beide Druckleitungen gebildet. Danach erfolgt die Zuordnung der Drücke während des Förderprozesses zum jeweiligen Fördersystem. Es gilt hier zwischen folgenden Fällen zu unterscheiden:

- Pneumatik fördert in Druckleitung 1 oder 2: Druck wird der Pneumatik zugewiesen.
- Hydraulik fördert in Druckleitung 1, 2 oder beide: Druck wird der Hydraulik zugewiesen. Im Fall 2 aktiver Druckleitungen erfolgt eine Mittelung. Da die Leitungen dann ohnehin miteinander verbunden sind (siehe Punkt 4.1.4.5), ist die Druckdifferenz nicht nennenswert.
- Druckleitung 1 oder 2 wird nachgeblasen: Druck wird dem Nachblasvorgang zugewiesen.
- Druckleitung 1 oder 2 wird nachgeblasen, in die jeweils andere fördert die Hydraulik: Druck der im Nachblasvorgang befindlichen Leitung wird dem Nachblasvorgang zugewiesen. Der anstehende Druck auf der anderen Leitung wird der Hydraulik zugeteilt.

Um diese Zuteilung vorzunehmen, werden folgende Datenpunkte aus dem Archiv ausgegeben:

- G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL1.Status.Wert.value
- G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL2.Status.Wert.value
- G01_Foerdermenge_Pumpen_in_DL1.Status.Wert.value
- G01_Foerdermenge_Pumpen_in_DL2.Status.Wert.value
- G01_Nachblasvorgang_aktiv.Status.Wert

Danach erfolgt die Bildung von Stunden-Mittelwerten. Die Validierung erfolgt durch den visuellen Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Drücken.

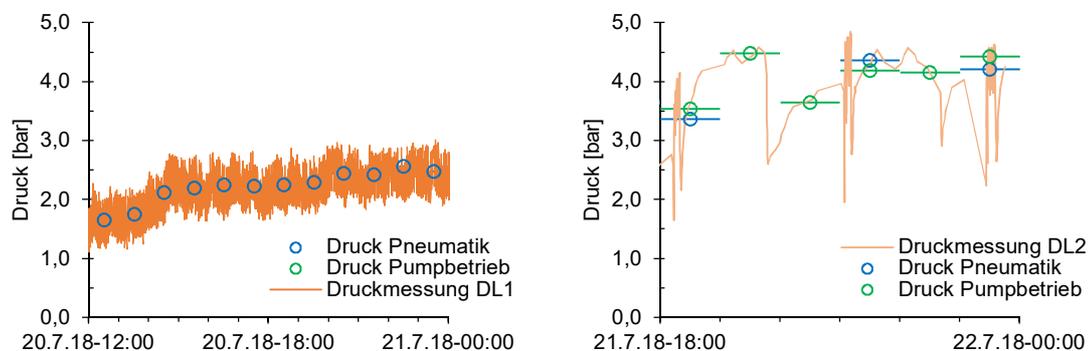


Abbildung 4.12: Vgl. Gemittelte Druckverhältnisse je Stunde für Pneumatik (linkes Diagramm) und Hydraulik (rechtes Diagramm) mit den Messdaten der zum Zeitpunkt aktiven Druckleitung

In Abbildung 4.12 sind zwei Ausschnitte aus der Validierung zu sehen. Im linken Diagramm ist der Druck der pneumatischen Anlage zu erkennen. Die großen Schwankungen begründen sich durch die zyklische Förderung. Findet keine Förderung statt, sinkt der Druck langsam. Währenddessen baut der Kompressor im Förderkessel einen Druck auf. Dieser muss geringfügig höher sein, als der aktuelle Systemdruck, um das Rückflussverhinderungsventil zu öffnen. Nach dem Öffnen kommt es wieder zu einem raschen Druckanstieg in der Leitung.

Im rechten Diagramm sind die Druckverhältnisse während des Betriebes der Exzentrerschnecken dargestellt. Der Druckverlauf ist im Vergleich zur pneumatischen Anlage sehr konstant. Nach dem Start der Pumpen steigt der Druck, bis er nach etwa einer halben Stunde ein konstantes Niveau erreicht. Die Höhe des Niveaus ist abhängig von der eingestellten Förderleistung. Die Messungen zeigen in regelmäßigen Abständen starke Schwankungen. Diese kommen durch die zwischenzeitliche Aktivierung der Pneumatik (blaue Marker) zustande.

Um den repräsentativen Förderdruck eines Tages zu ermitteln, muss der mengenmäßig gewichtete Mittelwert des Druckes gebildet werden. Sind zu einer Stunde Werte für beide Fördermethoden verfügbar, wird der größere gewählt. Dieser Schritt wird in Excel durchgeführt.

4.4.2.4 Volumensbezogener und spezifischer Stromverbrauch

In den vorher angeführten Punkten wurde erläutert, wie Fördermenge, Stromverbrauch und Druck für jedes Pumpsystem getrennt ermittelt werden.

Durch Division des Stromverbrauches mit der Fördermenge der jeweiligen Zeiteinheit erhält man den volumensbezogenen Stromverbrauch e_{bez} nach Formel (4.2). Dividiert man e_{bez} durch die dazugehörige manometrische Förderhöhe, erhält man den spezifischen Stromverbrauch nach DWA-A 216 [31] in Formel .

$$e_{bez} = \frac{E_P}{Q_P} \quad (4.2)$$

$$e_{spez} = \frac{E_P}{Q_P \cdot h_{man}} = \frac{e_{bez}}{h_{man}} \quad (4.3)$$

e_{bez}	[kWh/m ³]	Volumensbezogener Stromverbrauch der Pumpe
e_{spez}	[kWh/(m ³ ·m)]	Spezifischer Stromverbrauch der Pumpe
h_{man}	[m]	Manometrische Förderhöhe
E_P	[kWh/h]	Stromverbrauch der Pumpe pro Stunde
Q_P	[m ³ /h]	Fördermenge pro Stunde

4.4.2.5 H₂S-Belastung

Um zu beurteilen, ob es in der Druckleitung zu einer biogenen Bildung von Schwefelwasserstoff kommt, sind im Vorschacht des Hauptpumpwerkes und am Ende der Druckleitung, also auf der Kläranlage Traismauer, H₂S_g-Gasmessgeräte stationär installiert.

Die Beurteilung der H₂S_g-Belastung erfolgt auf Basis von Viertelstunden-Mittelwerten der auf gezeichneten Daten. Dies entspricht dem Kurzzeitwert (KZW) nach Grenzwertverordnung [23, p. 105]. Tabelle 4.7 zeigt eine Übersicht über die eingesetzten Sonden und die zugehörigen Datenpunkte.

Tabelle 4.9: H₂S_g-Messung

Bauwerk	Datenpunkt	Messgerät	Zeitraum
Hauptpumpwerk (G01)	G01_Q1.Status.Messwert.value	ExTox H2S-100-EC	kontinuierlich, defekt ab 6.7.2018
KLA Traismauer (G08)	G08_G07_Q1.Status.Messwert.value	ExTox H2S-100-EC	kontinuierlich

Stichprobenartig werden Proben aus den Zuläufen des Hauptpumpwerkes und der Kläranlage gezogen und eine Sulfidmessung im Abwasser durchgeführt. Dies geschieht mithilfe von Küvettentests und Analyse mit einem Photometer (Methylenblaumethode, siehe Punkt 3.3.3.2).

4.4.3 Druckabhängige Entleerungszeit der Förderkessel

Um einen Förderkessel durch die Kompressoren zu entleeren, bietet das System zwei Möglichkeiten:

- 1) Fest eingestellte Laufzeiten, abhängig von der Anzahl der Kompressoren
- 2) Variable Laufzeiten, abhängig vom vorherrschenden Systemdruck in der Druckleitung

Erstere entspricht der Voreinstellung des Anlagenbauers. Diese wurde basierend auf den errechneten Systemdrücken festgelegt und mit einem Sicherheitszuschlag versehen. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die eingestellte Druckzeit den Förderkessel entleert und darüber hinaus, abhängig von den aktuellen Druckverhältnissen, noch Luft in die Druckleitung fördert. Dies kann zwar teilweise erwünscht sein, jedoch ist es von Vorteil, diese Luftmenge steuern zu können. Durch die Einstellung einer druckabhängigen Laufzeit kann das erreicht werden.

Das zu entleerende Volumen (Förderkessel, Luftzuleitung ab Schieber, Druckleitung bis Schieber) kann berechnet werden. Weiters kann durch die Kennlinie des Verdichters, abhängig vom aktuellen Systemdruck, ein Förderstrom bestimmt werden. Durch die Berücksichtigung der Armaturen und Materialien können Reibungsverluste bestimmt werden. Mithilfe des Gasgesetzes von Boyle – Mariott ($p \times V = const$) erhält man die erforderliche Kompressorlaufzeit. Dieses Vorgehen ist in der SPS programmiert. Folgende Einstellungen sind hierfür in der SPS durch Versuche anzupassen:

- Behältergröße 1,5 m³
- Luftfördermenge der Kompressoren, abgelesen vom Typenschild, 8230 l/min bei 1 MPa (=10 bar) Systemdruck)
- Zuschlag Rohrleitungsverluste in %

Behältergröße und Luftfördermenge sind vorgegeben. Schraubenkompressoren weisen generell eine sehr steile Förderkennlinie auf. Daher wird die Luftfördermenge, unabhängig vom Systemdruck, als konstant angenommen. Die einzige Variable ist also der Zuschlag für die Rohrleitungsverluste. Diese beziehen sich auf die, aufgrund des vorherrschenden Systemdrucks ausgerechnete, erforderliche Luftliefermenge und berücksichtigen das ebenfalls zu entleerende Rohrleitungsvolumen (siehe oben) sowie die Reibungsverluste. Dieser Parameter ist empirisch zu ermitteln.

Bevor die Einstellungen vorgenommen werden können, muss die pneumatische Anlage so lange gefahren werden, bis sich der übliche Betriebsdruck einstellt. Dies ist beim HPW Dürnrohr nach ca. 30 min erreicht. Eventuell muss hierfür der Vorschacht bei wenig Abwasserzufluss zuvor aufgestaut werden.

Zu Beginn wird seitens des Anlagenbauers ein Erfahrungswert eingestellt. Danach erfolgt ein Förderzyklus. Während des Entleerens wird an der Ableitung akustisch überprüft, ob und wie lange Luft in die Leitung strömt, bevor die Anlage den Fördervorgang abschließt. Der Lufteintrag in die

Druckleitung macht sich durch lautes Zischen bemerkbar. Die Überprüfung soll mehrere aufeinanderfolgende Förderzyklen mit derselben Einstellung umfassen. Wenn ein Lufteintrag erfolgt, kann, abhängig von der Dauer, der Parameter für den Zuschlag für Rohrleitungsverluste verringert werden. Nach erfolgter Änderung ist wieder eine Überprüfung erforderlich.

Methode

Die Auswertung und Analyse erfolgt auf Stundenbasis. Eine Betrachtung auf Tagesbasis ist bedingt durch den dann enthaltenen Nachblasvorgang nicht sinnvoll.

Im Zuge der Auswertung sollen die Betriebszustände der Anlage vor und nach der Umstellung auf die druckabhängige Entleerungszeit verglichen werden. Hierzu werden folgende Kennzahlen betrachtet:

- Durchfluss [m^3/h]
- Stromverbrauch [kWh/h]
- Druck [bar]
- Volumensbezogener Stromverbrauch [kWh/m^3]
- Spezifischer Stromverbrauch [$\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$]

Die Auswertung erfolgt mithilfe eines R-Codes, welcher die oben beschriebenen Methoden zur Ermittlung der Kennzahlen umsetzt. Der verwendete Code befindet sich in Anhang A.

Die Umstellung erfolgte am 27.6.2018. Die Betrachtungszeiträume in Abhängigkeit des Betriebsfalles werden wie folgt festgelegt:

- Konstante Entleerungszeit: 1.-26.6.2018
- Druckabhängige Entleerungszeit 28.6.-23.7.2018

Als Zuschlag für die Rohrleitungsverluste wurden 15 % gewählt. Dieser Wert wurde durch die Mitarbeiter der Fa. Hoelscher auf der Anlage ermittelt und wird für alle weiteren Betrachtungen im Zuge dieser Arbeit konstant gehalten.

4.4.4 Analyse der Anlage

Im Zuge der Analyse wird eine Tagesganglinie für den Trockenwettertag ermittelt. Vor dem Start der Optimierungsphase wird ein Ausgangswert des volumensbezogenen Stromverbrauches errechnet. Weiters wird die H_2S_g -Situation im Zulauf und der Ausmündung untersucht.

Da die Vorschachtgeometrie Einfluss auf die Schalthäufigkeit der Pumpanlage hat, soll das Speichervolumen in Abhängigkeit des Füllstandes erhoben werden. Die Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit soll ermittelt werden.

Das betrachtete Abwasserpumpsystem bietet aufgrund seiner umfassenden technischen Ausstattung (Pneumatik – Hydraulik) eine Vielzahl an Variablen, die die oben beschriebenen Kennzahlen beeinflussen. Ein annähernd getrennter Betrieb der pneumatischen und der hydraulischen Anlage soll die Ober- bzw. Untergrenze des spezifischen Energieverbrauches definieren. Dies erfolgt durch die Einteilung in Betriebsfälle.

4.4.4.1 Niederschlag – Ermittlung der Trockenwettertage

Zur Niederschlagsmengenmessung stehen dem Verfasser im Einzugsgebiet drei Messstationen zur Verfügung:

- Analoge Messung Obstbau Marzy Friedhofstraße 21, 3133 Stollhofen, Tagessummen
- Automatische Messung Land Niederösterreich Messstelle Tulln (Bildeiche), Nr. 108779, Stundensummen
- Analoge Messung Marktgemeinde Zwentendorf, Bauhof, ab 20.07.2018, Tagessummen

Wird ein Niederschlag registriert, ist der Tag als Regenwettertag einzustufen. Dauert ein Regenereignis nun bis kurz vor Ende eines Tages, wird am Folgetag kein Niederschlag mehr registriert. Aufgrund des verzögerten Abflusses und der Transportzeit im Kanal wird ein Teil des Regenwassers noch am nächsten Tag gefördert. Die Abarbeitung der Regenmengen erfolgt also möglicherweise auch noch am Folgetag, daher kann dieser nicht zur Ermittlung der Trockenwettermenge herangezogen werden.

4.4.4.2 Tagesganglinie und volumensbezogener Stromverbrauch

Zur Ermittlung der Tagesganglinie wurden die Fördermengen des Hauptpumpwerkes Dürnrohr im Zeitraum April und Mai 2018 herangezogen. Die Tagesganglinie beschreibt ausschließlich Trockenwettertage. Für diesen Zeitraum erfolgt auch die Erhebung des volumensbezogenen Stromverbrauches.

Die Auswertung erfolgt mithilfe eines R-Codes. Dieser ist in Anhang A unter „Auswertung Betriebsfälle vor 1.8.18“ zu finden.

4.4.4.3 Besonderheiten in der Abwasserzusammensetzung

Im Zuge der Analyse wird die Schwefelwasserstoffbelastung im Zu – und im Ablauf der Druckleitung betrachtet. Hierzu werden Minutenmittelwerte mithilfe eines R-Codes ermittelt. Der verwendete Code ist in Anhang A unter „H₂S-Belastung“ zu finden.

4.4.4.4 Bandbreite des Energieverbrauches

Im ersten Schritt werden die zwei grundlegenden Fördersysteme (pneumatisch und hydraulisch) getrennt betrachtet, soweit dies technisch möglich ist.

Die Auswertung der Versuche erfolgt analog zu jener der Betriebsfälle, die unter Punkt 4.4.5 beschrieben ist, mit folgendem Unterschied: die H₂S-Belastung wird zu den Randbedingungen gezählt und lediglich aufgezeichnet.

Eine Förderung ausschließlich mit den Exzentrerschneckenpumpen ist aus betriebstechnischen Gründen nicht sinnvoll (siehe Punkte 3.2.3.4 und 4.1.4.2). Daher wird im Betriebsfall 2 und 3 die kombinierte Förderung – Minimalvariante untersucht. Während des Betriebes der Exzentrerschneckenpumpen wird nach zwei Stunden die pneumatische Anlage aktiviert. Diese fördert dann 20·1,5 m³ in die Druckrohrleitung. Da der Zulauf der Förderkessel tiefer liegt, als jener der Pumpen, erfolgt so die Förderung des in den vergangenen zwei Stunden im Vorschacht angesammelten Sediments durch die pneumatische Anlage. Die aus diesen betriebstechnischen Gründen hervorgehenden maximalen Zeitabstände zwischen der Inbetriebnahme der pneumatischen Anlage und der minimalen Anzahl der Hübe wird in weiteren Text Minimalvariante genannt.

Folgende Betriebsfälle sollen untersucht werden:

- Betriebsfall 1: Trockenwetter – pneumatische Förderung (Maximalvariante)
- Betriebsfall 2: Trockenwetter – kombinierte Förderung (Minimalvariante)
- Betriebsfall 3: Regenwetter – kombinierte Förderung (Minimalvariante)
- Betriebsfall 4: Druckluftspülvorgang
 - 4a: in Abhängigkeit von Betriebsfall 1
 - 4b: in Abhängigkeit von Betriebsfall 2

Die Auswertung der Betriebsfälle erfolgt mithilfe eines R-Codes, welcher die oben beschriebenen Methoden zur Ermittlung der Kennzahlen umsetzt. Der verwendete Code befindet sich in Anhang A unter „R-Code Betriebsfälle vor 1.8.2018“, bzw. „R-Code Betriebsfälle nach 1.8.2018“. Die beiden Codes unterscheiden sich bei der Ermittlung des Stromverbrauches (siehe 4.4.2.2).

Betriebsfall 1: Trockenwetter – pneumatische Förderung

Das Hauptpumpwerk soll die Abwässer rein pneumatisch fördern. Eine Ausnahme bilden hohe Zuflüsse, die die maximale Förderleistung der Pneumatik überschreiten. Hier aktivieren sich die hydraulischen Pumpen. Folgende förderrelevante Einstellungen werden hierfür in der SPS getroffen:

Tabelle 4.10: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 1 (detaillierte Angaben in Anhang B)

Schaltpunkte Niveau Vorschacht		Weitere relevante Einstellungen
• 2. Kompressor anfordern	1,0 m	• Pneumatische Anlage <ul style="list-style-type: none"> ○ Druckabhängige Entleerungszeit aktiv ○ Vorschachtregelung aus
• 2. Kompressor abwählen	0,5 m	
• 3. Kompressor anfordern	1,0 m	• Druckluftspülung <ul style="list-style-type: none"> ○ Dauer: 120 min ○ Start: 03:00 Uhr
• 3. Kompressor abwählen	0,7 m	
• 1. Pumpe ein	2,0 m	
• 1. Pumpe aus	1,4 m	
• 2. Pumpe ein	2,0 m	
(Regenwetterfall – Abbruch Versuch)		

Betriebsfall 2: Trockenwetter – Kombinierte Förderung – Minimalvariante

Aufgrund der Leistungsfähigkeit der Pumpen muss ein Aufstau erfolgen. Dies verursacht längere Aufenthaltszeiten. Weiters erfolgt im Zuge der Förderung kein Sauerstoffeintrag durch die Fördermethode. Daher kann es zu einer H₂S-Bildung in der Druckrohrleitung und zu einer Freisetzung am Ende kommen. Aus diesem Grund wird vor der Durchführung der Betreiber der Kläranlage des AV „An der Traisen“ informiert. Der Grenzwert für einen Versuchsabbruch wird mit 200 ppm festgelegt.

Um die Konsenswassermenge von insgesamt 360 m³/h zur Spitzenstunde nicht zu überschreiten, beträgt die maximale Förderleistung je Pumpe 180 m³/h. Folgende förderrelevante Einstellungen werden hierfür in der SPS getroffen:

Tabelle 4.11: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 2 (detaillierte Angaben in Anhang C)

Schaltpunkte Niveau Vorschacht		Weitere relevante Einstellungen
• 1. Pumpe ein	2,0 m	• Vorrangiger Pumpbetrieb aktiv
• 1. Pumpe aus	1,4 m	
• 2. Pumpe ein	2,0 m	• Pneumatische Anlage <ul style="list-style-type: none"> ○ Aktivieren nach Pumpenlaufzeit 2h ○ Anzahl der Hübe 20
(Regenwetterfall – Abbruch Versuch)		
		• Druckluftspülung: Dauer: 120 min, Start: 03:00 Uhr

Betriebsfall 3: Regenwetter – Kombinierte Förderung - Minimalvariante

In diesem Betriebsfall sollen die oben genannten Kennwerte für den Pumpbetrieb unter Vollast ermittelt werden. Hierzu sind keine relevanten Einstellungen auf der SPS anzuführen. Es werden mindestens vier Regenwetterereignisse herangezogen. Als Beginn wird das Aktivieren der zweiten Exzentrerschneckenpumpe festgelegt. Das Ende wird mit dem Erreichen des Ausschaltpunktes definiert.

Die ausgewählten Regenereignisse erfüllen folgende Bedingungen:

- Der Wasserandrang ist so groß, dass während des gesamten Regenereignisses beide Exzentrerschneckenpumpen ein $Q_{h,max}=180 \text{ m}^3/\text{h}$ fördern
- Die Dauer reicht mindestens aus, um einen stationären Zustand hervorzurufen. Dies ist erreicht, wenn
 - beim MID der Kläranlage konstant $360 \text{ m}^3/\text{h}$ gemessen werden und
 - die Druckmessungen an der Druckleitung konstant sind

Die Auswertung erfolgt ausschließlich auf Stundenbasis. Überschneidet sich ein Regenereignis mit einer Druckluftspülung, wird diese nicht durchgeführt und hat daher auf die Kennzahlen keinen Einfluss. Die Schaltpunkte haben hierbei ebenfalls keinen Einfluss, da ein Zeitraum betrachtet wird in welchem bereits beide Pumpen aktiv sind.

Betriebsfall 4: Druckluftspülvorgang

Es werden die mittleren und maximalen Drücke sowie Durchflüsse während der Druckluftspülvorgänge sowie die Stromverbräuche untersucht. Als Datenbasis dienen jene Nachblasvorgänge, die im Zuge der behandelten Betriebsfälle aufgezeichnet wurden. Unterschieden wird dabei, ob davor die Pneumatik (BF 4a-Trockenwetter), oder die Hydraulik (BF4b-Regenwetter) aktiv war. Hierzu sind keine relevanten Einstellungen auf der SPS anzuführen. Es werden mindestens vier Regenwetterereignisse herangezogen. Zur Bestimmung des max. Durchflusses werden die Messwerte des MID bei der Kläranlage Traismauer (G08) herangezogen.

Um die Datensätze für BF 4b zu bekommen, ist folgendes zu beachten: Da bis September 2018 der Druckluftspülvorgang nachts (03:00-05:00) vorgenommen wurde, liegt das entscheidende Regenereignis möglicherweise am Vortag. Das Regenereignis des betreffenden Tages hat vielleicht erst nach dem Spülvorgang stattgefunden und somit keinen Einfluss darauf. Eine Betrachtung auf Tagesbasis ist daher nicht sinnvoll. Es erfolgt eine Gruppierung über einen Zeitraum vor dem Nachblasvorgang, in dem die Exzentrerschneckenpumpen eine Fördermenge aufweisen, die mindestens dem Leitungsvolumen (760 m^3) entspricht.

Beim Betriebsfall 4a werden Druckluftspülvorgänge jener Tage herangezogen, an denen die Förderung ausschließlich durch die Pneumatik erfolgt. Diesem Kriterium muss auch der Vortag entsprechen. Ausgedrückt wird das durch das Verhältnis $\Sigma Q_{Pn}/\Sigma Q$.

In Ergänzung zu den oben genannten Kennzahlen finden bei diesem Lastfall folgende Kennzahlen und deren Abkürzungen Verwendung:

$P_{NB,max}$	[bar]	Maximaler Druck
$Q_{NB,max}$	[m^3/h]	Maximaler Durchfluss
$t_{P,NB,max}$	[min]	Zeit bis zum Auftreten des maximalen Druckes
$t_{Q,NB,max}$	[min]	Zeit bis zum Auftreten des maximalen Durchflusses
T_{NB}	[min]	Dauer des Druckluftspülvorganges
$\Sigma Q_{h,NB}$	[m^3]	Fördermenge der Exzentrerschneckenpumpen im Zeitraum vor dem betreffenden Druckluftspülvorgang

4.4.5 Optimierung der Schaltpunkte

Hierbei werden folgende Kennzahlen betrachtet:

- Durchfluss [m^3/h]
- Stromverbrauch [kWh/h]
- Druck [bar]
- Volumensbezogener Stromverbrauch [kWh/m^3]
- Spezifischer Stromverbrauch [$\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$]
- $\text{H}_2\text{S}_\text{g}$ -Messung [ppm]

Randbedingungen, wie Tagesganglinien der Zulaufmengen, sowie Abwassermengen von Kaindorf und der Badsiedlung, werden aufgezeichnet. Sollten sie einen Einfluss auf die relevanten Kennwerte haben, kann der betreffende Zeitraum nicht zur Auswertung herangezogen werden.

Die Auswertung erfolgt auf Tagesbasis. Jeder Betriebsfall soll im Idealfall eine Woche, jedoch mindestens vier Tage getestet werden. Tritt während der Versuchsdurchführung der Trockenwetterbetriebsfälle ein Regenereignis auf, wird der Versuch für den betreffenden Tag abgebrochen. Die Fortsetzung erfolgt am darauffolgenden Tag, sofern das Regenereignis abgearbeitet wurde.

Zum Zeitpunkt der Erhebung der Betriebsfälle führen die betrachtete, sowie sämtliche vorgeschaltete Abwasserpumpstationen, täglich eine Druckluftspülung durch.

Die Auswertung der Betriebsfälle erfolgt mithilfe eines R-Codes, welcher die oben beschriebenen Methoden zur Ermittlung der Kennzahlen umsetzt. Der verwendete Code befindet sich in Anhang A unter „R-Code Betriebsfälle vor 1.8.2018“, bzw. „R-Code Betriebsfälle nach 1.8.2018“. Die beiden Codes unterscheiden sich bei der Ermittlung des Stromverbrauches (siehe 4.4.2.2).

Betriebsfall 5: 1 Kompressor

Der Betriebsfall 5 beschreibt eine kombinierte Förderung im klassischen Sinne. Hierfür kommt jedoch nur ein Kompressor zum Einsatz. Übersteigt der Zufluss die Förderkapazität der pneumatischen Anlage, betrieben mit nur einem Kompressor, aktiviert sich die Exzentrerschneckenpumpe. Hierzu werden die Einschaltpunkte des zweiten und dritten Kompressors höher gesetzt, als jene der ersten Exzentrerschneckenpumpe.

Generell haben die hydraulischen Pumpen Vorrang gegenüber der pneumatischen Anlage. Gleichen sich beispielsweise die Einschaltpunkte der ersten Pumpe und des zweiten Kompressors, wird die Exzentrerschneckenpumpe anlaufen und die Förderung übernehmen.

Folgende förderrelevante Einstellungen werden hierfür in der SPS getroffen:

Tabelle 4.12: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 5

Schaltpunkte Niveau Vorschacht	Weitere relevante Einstellungen
• 2. Kompressor anfordern 2,2 m	<ul style="list-style-type: none"> • Pneumatische Anlage <ul style="list-style-type: none"> ◦ Druckabhängige Entleerungszeit aktiv ◦ Vorschachtregelung aus • Druckluftspülung <ul style="list-style-type: none"> ◦ Dauer: 120 min ◦ Start: 03:00 Uhr
• 3. Kompressor anfordern 2,5 m	
• 1. Pumpe ein 1,5 m	
• 1. Pumpe aus 0,8 m	
• 2. Pumpe ein 3,0 m	
(Regenwetterfall – Abbruch Versuch)	

Die detaillierten Angaben zu den Schaltpunkten in diesem Betriebsfall sind in Anhang F zu finden.

Betriebsfall 6: 1 Kompressor + Vorschachtregelung

Betriebsfall 6 ergänzt Betriebsfall 5 um die sogenannte Vorschachtregelung. Hierzu folgende Erläuterung:

Zu Zeiten geringen Abwasserzuflusses fließt das Wasser durch den Vorschacht direkt in einen Arbeitsbehälter der Pneumatik. Die Sohle des Zulaufes liegt niedriger, als der Scheitel des Arbeitsbehälters. Dadurch ist eine Vollfüllung eines Behälters ohne Aufstau im Vorschacht möglich. Sobald der Kessel vollständig gefüllt ist, startet die SPS einen Kompressor, der den Entleerungsvorgang vollzieht.

In der Zwischenzeit wird der zweite Arbeitsbehälter gefüllt. Dauert dieser Füllvorgang jedoch aufgrund des geringen Zuflusses länger, als der Entleerungsvorgang und darüber hinaus, wird der Kompressor wieder deaktiviert. Dazu muss der Schraubenkompressor den intern aufgebauten Druck wieder abbauen. Diesen Prozess nennt man „nachlaufen“, oder „Flex-Betrieb“. Dieser Zustand verursacht Energieverbrauch, ohne dass eine Abwasserförderung erfolgt.

Um dies zu vermeiden, sieht die Anlagensteuerung die sogenannte Vorschachtregelung vor. Dabei erfolgt ein geringfügiger Aufstau des Abwassers im Vorschacht, sodass der Kompressor mehrere Hübe abzarbeiten hat, bevor er wieder deaktiviert wird und seine Arbeit einstellt. Hierzu sind ein Einschalt- und Ausschaltpunkt für den ersten Kompressor zu definieren. Darüber hinaus muss die Anzahl der Hübe zur Komplettentleerung definiert werden, die die pneumatische Anlage nach Erreichen des Ausschaltpunktes vollzieht. Wird der Ausschaltpunkt zu niedrig gewählt, dauert der Füllvorgang wieder zu lange und die Vorschachtregelung erzielt keinen Effekt. Die Einstellungen wurden mithilfe des Anlagenherstellers ausgetestet.

Folgende förderrelevante Einstellungen werden hierfür in der SPS getroffen:

Tabelle 4.13: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 6

Schaltpunkte Niveau Vorschacht		Weitere relevante Einstellungen
• 1. Kompressor anfordern	0,9 m	<ul style="list-style-type: none"> • Pneumatische Anlage <ul style="list-style-type: none"> ◦ Druckabhängige Entleerungszeit aktiv ◦ Vorschachtregelung ein: Anzahl der Hübe zur Komplettentleerung 2 • Druckluftspülung <ul style="list-style-type: none"> ◦ Dauer: 120 min ◦ Start: 03:00 Uhr
• 1. Kompressor abwählen	0,2 m	
• 2. Kompressor anfordern	2,2 m	
• 3. Kompressor anfordern	2,5 m	
• 1. Pumpe ein	1,5 m	
• 1. Pumpe aus	0,8 m	
• 2. Pumpe ein	3,0 m	
(Regenwetterfall – Abbruch Versuch)		

Die detaillierten Angaben zu den Schaltpunkten in diesem Betriebsfall sind in Anhang G zu finden.

4.4.6 Ablauf und Reihenfolge der Druckluftspülvorgänge

Ziel dieses Optimierungspunktes ist es, den Vorgang der Druckluftspülung möglichst energieeffizient zu vollziehen. Der Spülvorgang des Hauptpumpwerkes übt Einfluss auf folgende Punkte:

- Entfernung der Sielhaut
- Entfernung von Ablagerungen
- Durchfluss- und damit auch meist Frachtpitze an Trockenwettertagen

Die Optimierung der Reihenfolge bezieht sich auf die Koordinierung der Zeitpunkte der vorgeschalteten Abwasserpumpsysteme und des Hauptpumpwerkes selbst. Somit haben folgende Stellgrößen der Anlage einen Einfluss auf den Druckluftspülvorgang:

- Intervall: Abstand der Spülvorgänge zueinander
- Zeitpunkt: Uhrzeit des Beginns
- Energieeintrag: Anzahl der Kompressoren, kontinuierlich, gestaffelt, intermittierend

Im folgenden Unterpunkt 4.4.6.1 wird eine Methode für den Standardfall beschrieben. Im Zeitraum der Erstellung der vorliegenden Arbeit wurden jedoch aufgrund der besonderen Abwasserzusammensetzung Anforderungen an den Nachblasprozess gestellt, die sich vom Standardfall unterscheiden. Die Methodik zur Erfüllung dieser sei unter Punkt 4.4.6.2 beschrieben.

4.4.6.1 Standardfall

Das Vorgehen soll in drei Schritten erfolgen:

Schritt 1 – Staffelung der vorgeschalteten Druckluftspülvorgänge

Im ersten Schritt sollen die Zeitpunkte der Druckluftspülvorgänge der vorgeschalteten Pumpwerke koordiniert werden.

Werden alle vorgeschalteten Druckleitungen vor dem Druckluftspülvorgang des Hauptpumpwerkes gespült, erfolgt danach ein Zeitraum, in dem kein Zufluss aus diesen Druckleitungen erfolgt, ausgenommen aus dem Freispiegelkanal. Erfolgt die Durchführung nachts, ist die Menge aus Dürnrohr äußerst gering (Siedlungsgebiet, Trennsystem). Dies hat zwei positive Effekte:

- Es erfolgt kein Aufstau im Vorschacht, der eine Unterbrechung des Druckluftspülvorganges erfordert
- Nach erfolgter Druckluftspülung der Hauptdruckleitungen folgt ein Zeitraum ohne Abwasserzufluss, also auch ohne Energieverbrauch

Daher werden alle vorgeschalteten Druckleitungen vor der Hauptdruckleitung gespült. Dies sollte möglichst zeitgleich erfolgen, sodass sich das Abwasser im Vorschacht anstaut und dadurch die erste Exzentrerschneckenpumpe aktiviert wird. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass der Zufluss nicht den Einschaltpunkt der zweiten Pumpe erreicht, da sonst die zweite Druckleitung in Betrieb genommen wird. Folgende Datenpunkte werden zur Beurteilung herangezogen:

- Füllstand im Vorschacht des Hauptpumpwerkes
 - G01_VS1_L1_mWS.Status.Messwert.value
- Fördermenge der Exzentrerschneckenpumpen
 - G01_Foerdermenge_P1.Status.Wert.value
 - G01_Foerdermenge_P2.Status.Wert.value

Die Beobachtung soll sich mindestens über vier Nachblasvorgänge erstrecken.

Schritt 2 - Energieeintrag

Im zweiten Schritt wird der Energieeintrag abgestimmt. Auf der einen Seite muss eine Mindestfließgeschwindigkeit erreicht werden, um eine Entfernung der Sielhaut zu erreichen. Auf der anderen Seite will man den Energieeintrag aus wirtschaftlichen Gründen möglichst geringhalten. Weiters wird durch eine hohe Fließgeschwindigkeit eine Durchflussspitze am Ende der Druckleitung provoziert, die eine Konsensüberschreitung darstellen kann. Dieser Schritt erfordert viel Erfahrung, um durch die Änderung der Einstellung die Reinigungsleistung nicht zu schmälern. Es empfiehlt sich daher, auf die Erfahrung des Anlagenherstellers zurückzugreifen!

Die SPS bietet drei Möglichkeiten zur Durchführung des Nachblasprozesses. Diese sind in Tabelle 4.14 beschrieben.

Tabelle 4.14: Möglichkeiten der Druckluftspülung

Kontinuierlich	Intermittierend	Gestaffelt
<ul style="list-style-type: none"> • Drei Kompressoren fördern kontinuierlich Luft in die Druckleitung, bis die angegebene Spüldauer erreicht ist 	<ul style="list-style-type: none"> • Es wird eine Nachblasdauer und eine Pausendauer angegeben. • Während des Nachblasvorganges arbeiten alle drei Kompressoren, danach folgt eine Pause • Erreicht die Summe der Nachblasintervalle die angegebene Dauer, ist der Vorgang beendet 	<ul style="list-style-type: none"> • Es beginnen alle drei Kompressoren mit dem Nachblasvorgang. • Nach einem zu definierenden Zeitintervall wird der erste und dann der zweite Kompressor abgestellt. • Den Rest der Zeit arbeitet nur ein Kompressor, bis die eingestellte Gesamtdauer erreicht ist

Abbildung 4.13 zeigt den schematischen Verlauf des Durchflusses gemessen am Ende der Druckleitung (Kläranlage Traismauer) sowie des Rohrleitungsdruckes beim Hauptpumpwerk während eines kontinuierlichen Druckluftspülvorganges. Ein erfolgreicher Spülvorgang charakterisiert sich somit folgendermaßen:

- Der Systemdruck erreicht ein konstantes Niveau
- Der Durchfluss beim MID am Ende der Druckleitung beträgt $0,0 \text{ m}^3/\text{h}$

In beiden Fällen muss dies vor dem Ende des Spülvorganges erreicht werden. Wird der Vorgang längere Zeit darüber hinaus fortgesetzt, erfolgt ein unnötiger Verbrauch an Energie.

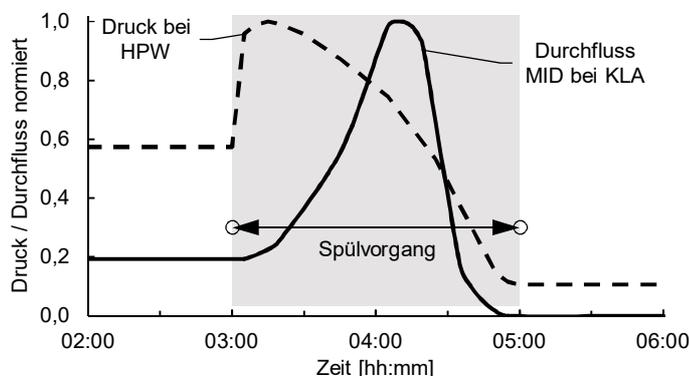


Abbildung 4.13: Schematischer Verlauf Durchfluss sowie des Rohrleitungsdruckes während der Druckluftspülung

Nach einem Regenereignis sind nahezu keine Lufteinschlüsse in der Druckleitung zu erwarten. Daher wird der Durchfluss im Zuge des Nachblasvorganges in diesem Fall am größten sein.

Die drei Möglichkeiten sollen daher der Reihe nach ausgetestet werden. Nach dem Einstellen der Betriebsdauer und des Durchflusses, sofern dies die Methode zulässt, erfolgt ein Test über vier Druckluftspülvorgänge. Danach werden die Stromverbräuche verglichen. Es werden folgende Kennzahlen betrachtet und wie unter 4.4.2 beschrieben ermittelt:

- Durchfluss [m^3/h] beim MID der Kläranlage
- Stromverbrauch [kWh/h] der Schraubenkompressoren
- Druck [bar] in der Druckleitung beim Hauptpumpwerk Dürrohr

Schritt 3 – Intervall

Im dritten Schritt erfolgt die Festlegung, in welchen Zeitabständen die Druckluftspülung wiederholt werden muss. Das Intervall ist abhängig von den Ablagerungen, welche sich durch eine Erhöhung des Förderdruckes bemerkbar machen, sowie von einer H₂S-Bildung einer wachsenden Sielhaut. Der zweite Prozess ist stark abhängig von der Temperatur und somit von der Jahreszeit. Der „worst case“ ist daher in den Sommermonaten zu erwarten.

Es werden folgende Kennzahlen betrachtet und wie unter 4.4.2 beschrieben ermittelt:

- Stromverbrauch [kWh/h]
- Druck [bar] in der Druckleitung beim Hauptpumpwerk Dürnrohr
- Schwefelwasserstoffgehalt, gemessen in der Gasphase H₂S_g in [ppm] am Ende der Druckleitung

Die Anlagensteuerung erlaubt das Festlegen bestimmter Wochentage, an denen ein Nachblasvorgang stattfinden soll. Die Beobachtung soll mindestens einen Trockenwetterzyklus umfassen. Folgende Intervalle sollen untersucht werden:

- täglich
- dienstags, donnerstags, samstags
- mittwochs
- manuell, jeden zweiten Mittwoch

4.4.6.2 Besondere Abwasserzusammensetzung – Betriebsfall 7

Seitens des Betreibers der Abwasserreinigungsanlage des AV an der Traisen und des Anlagenbetreibers wurde aufgrund der zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit Anforderungen an das Abwasserpumpsystem und im Speziellen an den Nachblasvorgang gestellt, die sich teilweise vom Standardfall unterscheiden:

- intensives Belüften des Abwassers im Zuge der Förderung
- Vermeidung des Luftaustrages durch Aktivierung der Pumpen im Trockenwetterfall
- Durchführung des Nachblasvorganges tagsüber, während des Hochlastbetriebes, um möglichst gute Verdünnung mit den weiteren Abwässern zu erreichen
- Gleichmäßiger Abwasserzufluss, um hohe Konzentrationen, die punktuell ins Kanalnetz eingetragen werden, zu vergleichmäßigen. Durch die Druckluftentleerung wird die gesamte Fracht ohne Verdünnung mit dem kommunalen Abwasser weitertransportiert.
- Einhaltung des mengenmäßigen Konsenses. Anlassfall: Druckluftspülung nach einem Regenereignis: Beide Druckleitungen sind gefüllt. Eine davon wird nachgeblasen. Zeitgleich steigt der Füllstand im Vorschacht, sodass der Einschaltpunkt der ersten Pumpe erreicht wird. Die Exzentrerschneckenpumpe beginnt mit dem eingestellten Durchfluss von 180 m³/h zu fördern. Diese Abwassermenge überlagert sich mit der Durchflussspitze des Nachblasvorganges und verursacht einen Rückstau im Stauraumkanal sowie einen Durchfluss von 470 m³/h und somit eine Konsensüberschreitung.
- Eine etwaige Bildung von Schwefelwasserstoff in der Druckleitung selbst, sowie ein erhöhter Energieverbrauch können zum Erreichen der oben genannten Ziele in Kauf genommen werden.

Um diese Ziele zu erreichen, sollen nach Absprache mit dem Kläranlagenbetreiber folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Aufteilung der Nachblasvorgänge über die gesamte Nachtzeit, sodass ein kontinuierlicher Zufluss gegeben ist
- Der Nachblasvorgang des PW Kleinschönbichl (Z15) soll vormittags erfolgen, sodass eine Durchmischung mit dem kommunalen Abwasser der beiden Marktgemeinden gegeben ist. Weiters soll eine Druckluftspülung der Leitung zum Hauptpumpwerk nur an jenen Tagen erfolgen, an denen die Hauptdruckleitung nicht gespült wird.
- Durchführung des Nachblasvorganges der Hauptdruckleitung tagsüber, sodass die mengenmäßige Spitze gegen 11:30 Uhr bei der Kläranlage eintrifft.
- Verringerung des Energieeintrags der vorgeschalteten Pumpwerke, wie unter Punkt 4.4.6.1 beschrieben, um die Spitzenmengen ausschließlich pneumatisch fördern zu können
- Pneumatische Förderung im Trockenwetterfall. Um die Förderkapazität zu erhöhen, wird, sofern erforderlich, ein zweiter Kompressor eingesetzt.
- Schaltpunkt „Nachblasvorgang unterbrechen“ niedriger setzen, als den Eischaltpunkt der ersten Pumpe, sodass die Überlagerung der beiden Durchflüsse verringert wird.

Diese Einstellungen finden unter Betriebsfall 7 ihre Umsetzung. Folgende förderrelevante Einstellungen werden hierfür in der SPS getroffen:

Tabelle 4.15: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 7

Schaltpunkte Niveau Vorschacht		Weitere relevante Einstellungen
• 1. Kompressor anfordern	0,9 m	• Pneumatische Anlage ◦ Druckabhängige Entleerungszeit aktiv ◦ Vorschachtregelung ein: Anzahl der Hübe zur Komplettentleerung 2
• 1. Kompressor abwählen	0,2 m	
• 2. Kompressor anfordern	2,2 m	
• 3. Kompressor anfordern	2,5 m	• Druckluftspülung ◦ Siehe Anhang H
• 1. Pumpe ein	1,5 m	
• 1. Pumpe aus	0,8 m	
• 2. Pumpe ein	3,0 m	

Die detaillierten Angaben zu den Schaltpunkten sowie zu den Einstellungen des Nachblasvorganges in diesem Betriebsfall sind in Anhang H zu finden.

In der oberen Hälfte Abbildung 4.14 ist der Zeitplan für die Druckluftspülung aller am Hauptpumpwerk angeschlossenen Abwasserpumpsysteme sowie des HPW selbst zu sehen. Im unteren Bereich ist das Intervall der Druckluftspülung und der damit verbundene Wechsel der aktiven Druckleitung abgebildet. Der Wechsel, bzw. der Nachblasvorgang erfolgt, dienstags, donnerstags und samstags. Daraus resultiert ein zweiwöchiger Rhythmus.

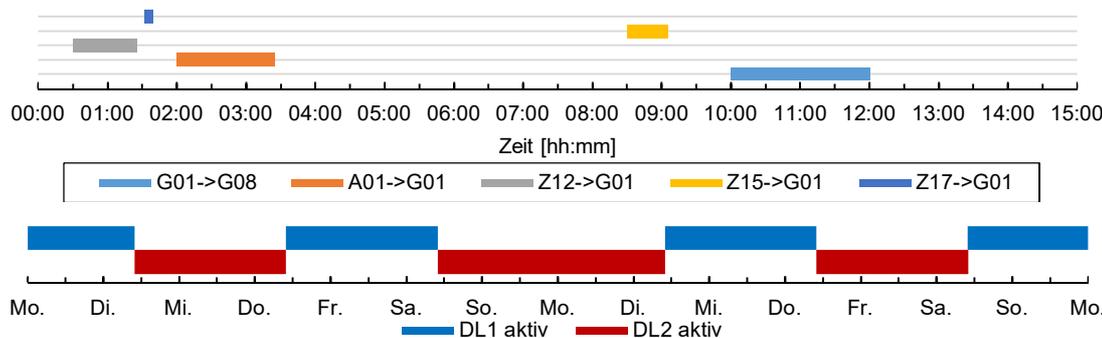


Abbildung 4.14: Zeitplan für die Druckluftspülvorgänge des APS

Im Zuge der Auswertung soll beurteilt werden, ob die oben genannten Ziele durch die gesetzten Maßnahmen erreicht werden können. Weiters wird durch die Änderung des Intervalls der Druckluftspülung auch ein Schritt im Sinne eines standardmäßigen Optimierungsprozesses umgesetzt. Daher sollen die Daten durch die Ermittlung der Kennzahlen mit jenen der vorher beschriebenen verglichen werden. Es werden folgende Kennzahlen betrachtet:

- Durchfluss [m^3/h] der einzelnen Förderaggregate sowie des MID auf der Kläranlage
- Stromverbrauch [kWh/h]
- Druck [bar] in der Druckleitung beim Hauptpumpwerk Dürnrohr
- Volumensbezogener Stromverbrauch [kWh/m^3]
- Spezifischer Stromverbrauch [$\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$]

Die Auswertung erfolgt mit dem R-Code in Anhang A unter „R-Code Betriebsfälle nach 1.8.2018“.

4.4.7 Veränderung der Druckverhältnisse durch Entlüftungsventile und Verbindungsleitungen

Der Einfluss der Entlüftungsventile sowie der Verbindungsleitung auf die Druckverhältnisse kann getrennt betrachtet werden.

Folgende Kennzahlen werden zur Auswertung herangezogen:

- Durchfluss [m^3/h] der einzelnen Förderaggregate sowie des MID auf der Kläranlage
- Stromverbrauch [kWh/h]
- Druck [bar] in der Druckleitung beim Hauptpumpwerk Dürnrohr
- Volumensbezogener Stromverbrauch [kWh/m^3]
- Spezifischer Stromverbrauch [$\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$]

Die Kennzahlen sollen für den Betrieb beider Pumpen angegeben werden. Wird also ein Betriebsfall mit nur einer Exzentrerschneckenpumpe durchgeführt, soll das Ergebnis auf zwei hochgerechnet werden.

Es ergeben sich vier Betriebsfälle, die nun beschrieben werden. Je Betriebsfall sind mindestens vier voneinander unabhängige Versuche durchzuführen.

Verbindungsleitung aktiv

Der Plattenschieber in der Verbindungsleitung im Vereinigungsschacht Kaindorf (G02) ist geöffnet. Beide Pumpen fördern konstant je $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Entlüftungsventile sind dabei geöffnet.

Der Versuch ist mindestens so lange durchzuführen, bis sich konstante Druckverhältnisse einstellen und der Durchfluss beim MID der Kläranlage den Wert der Förderaggregate annimmt (zuzüglich der Fördermenge von Z17 und Z18).

Verbindungsleitung inaktiv

Der Plattenschieber in der Verbindungsleitung im Vereinigungsschacht Kaindorf (G02) ist geschlossen. Eine oder zwei Pumpen laufen mit konstanter Förderleistung von je $180 \text{ m}^3/\text{h}$ in die Druckleitungen.

Der Versuch ist mindestens so lange durchzuführen, bis sich konstante Druckverhältnisse einstellen und der Durchfluss beim MID der Kläranlage den Wert der Förderaggregate annimmt (zuzüglich der Fördermenge von Z17 und Z18).

Entlüftungsventile aktiv

Die pneumatischen Plattenschieber vor den Entlüftungsventilen sind geöffnet. Eine oder zwei Pumpen laufen mit konstanter Förderleistung von je 180 m³/h in die Druckleitungen.

Der Versuch ist mindestens so lange durchzuführen, bis sich konstante Druckverhältnisse einstellen und der Durchfluss beim MID der Kläranlage den Wert der Förderaggregate annimmt (zuzüglich der Fördermenge von Z17 und Z18). Sinkt der Druck bei konstant gehaltenem Durchfluss, wird dies durch Entweichen eingeschlossener Luft in der Druckleitung verursacht.

Entlüftungsventile inaktiv

Die pneumatischen Plattenschieber vor den Entlüftungsventilen sind geschlossen. Eine oder zwei Pumpen laufen mit konstanter Förderleistung von je 180 m³/h in die Druckleitungen.

Der Versuch ist mindestens so lange durchzuführen, bis sich konstante Druckverhältnisse einstellen und der Durchfluss beim MID der Kläranlage den Wert der Förderaggregate annimmt (zuzüglich der Fördermenge von Z17 und Z18).

Alternative zur Beurteilung des Einflusses der Entlüftungsventile auf die Druckverhältnisse

Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens der zur Erstellung der vorliegenden Arbeit zur Verfügung steht, können die oben angeführten Betriebsfälle nicht mehr untersucht werden.

Es kann jedoch versucht werden, eine Aussage betreffend den Einfluss der Entlüftungsventile auf die Druckverhältnisse mithilfe der bereits gesammelten Datensätze zu tätigen. Bei pneumatischer Förderung sind die Entlüftungsventile immer deaktiviert. Während der Erstellung der Arbeit waren die Entlüftungsventile während des Betriebes der Exzentrerschneckenpumpen immer geöffnet.

Es kommen folgende Filterkriterien zum Einsatz:

- Q_{Hy}/Q [-]: Verhältnis des Durchflusses der Exzentrerschneckenpumpen und dem Gesamtdurchfluss. Bei einem hohen Verhältnis erfolgt kaum Lufteintrag durch die pneumatische Anlage.
- $\Delta(Q_{Hy}/Q)$ [-]: Veränderung der oben beschriebenen Verhältniszahl. Geht der Wert gegen eins, war die pneumatische Anlage in der vorangegangenen Stunde vorwiegend in Betrieb und man kann davon ausgehen, dass noch Luft in der Druckleitung vorhanden ist.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Analyse der Anlage

5.1.1 Speicherkapazität des Vorschachtes

Mithilfe der Bestandspläne des Hauptpumpwerkes wurde das füllstandabhängige Vorschachtvolumen ermittelt. Das linke Diagramm in Abbildung 5.1 zeigt das Ergebnis. Sämtliche, im folgenden Text angegebenen Höhen beziehen sich auf die Füllstandsonde. Bis zum Erreichen der Unterkante des Vorschachtdeckels, das entspricht einer Höhe von 6,695 m können theoretisch 140 m³ Abwasser zwischengespeichert werden.

Im Zeitraum der Erstellung der vorliegenden Arbeit mündet der Freispiegelkanal Dürnrrohr bei 1,97 m ein. Da kein Rückstau vom Vorschacht in den Kanal erfolgen darf, begrenzt dieser Zulauf das nutzbare Volumen im Trockenwetterfall auf etwa 32 m³.

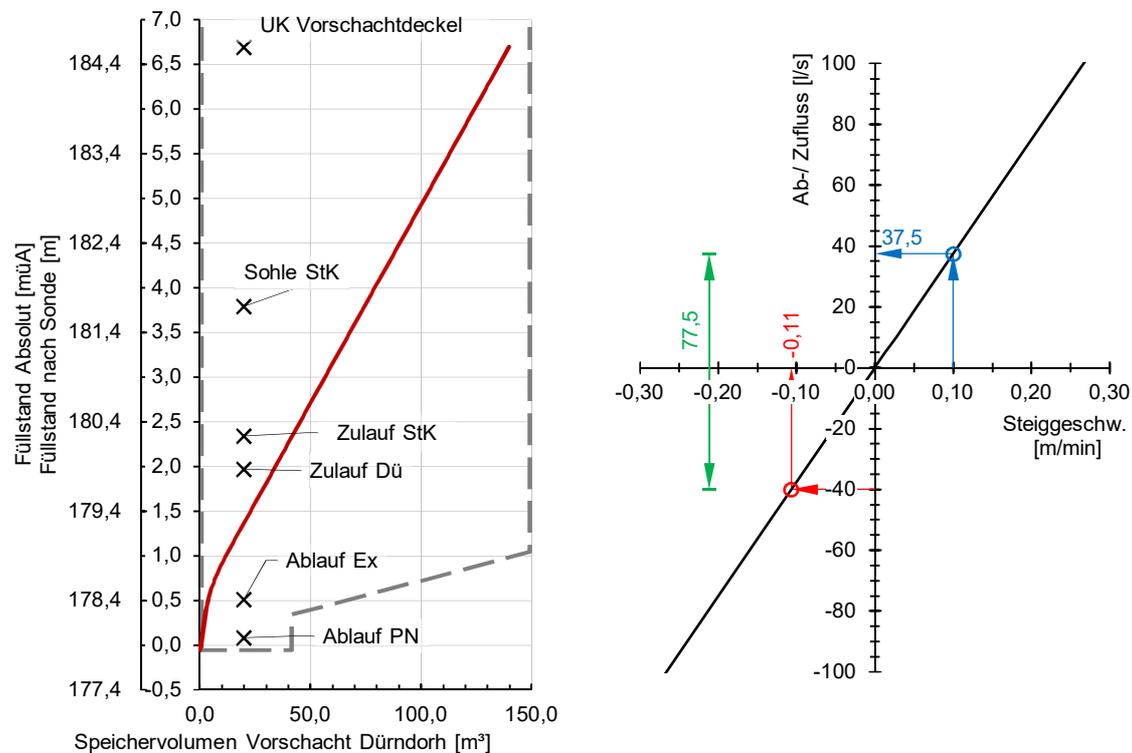


Abbildung 5.1: links: füllstandabhängiges Vorschachtvolumen; rechts: Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Durchflusses.

Das rechte Diagramm der Abbildung 5.1 dient zur Abschätzung des aktuellen Zuflusses zum Hauptpumpwerk. Die farbigen Pfeile markieren folgendes Beispiel: innerhalb von 5 Minuten steigt der

Füllstand im Vorschacht um 50 cm. Das entspricht einem Zufluss von 37,5 l/s wenn keine Entnahme erfolgt (blaue Markierungen). Eine Pumpe fördert eine Menge von 40 l/s. Erfolgt kein Zufluss in den Vorschacht, würde der Wasserspiegel um 0,11 m/min sinken (rote Markierungen). Wird der beschriebene Anstieg während der Förderung einer Pumpe mit 40 l/s beobachtet, entspricht die vertikale Differenz der beiden Schnittpunkte im Diagramm dem aktuellen Zufluss.

5.1.2 Tagesganglinie und Stromverbrauch

Die Tagesganglinie wurde für den Zeitraum April bis Mai 2018 anhand der Trockenwettertage erstellt. Abbildung 5.2 zeigt den Verlauf der Tagesfördermengen sowie des Stromverbrauches über den genannten Zeitraum. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der Förderung durch die Exzentrerschneckenpumpen äußerst gering ist. Dies ist dadurch begründet, dass alle drei Kompressoren der pneumatischen Anlage eingesetzt werden sowie durch einen hohen Einschaltpunkt der ersten Pumpe.

Sämtliche Tageswerte können dem Anhang I entnommen werden. Die zur Auswertung herangezogenen Stundenwerte sind zu umfangreich und befinden sich daher nicht im Anhang.

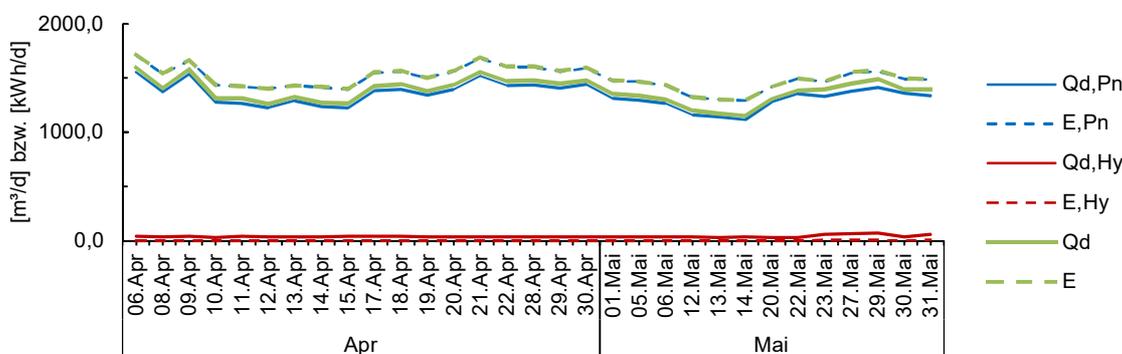


Abbildung 5.2: Ganglinien der Trockenwettertage während des Untersuchungszeitraumes April und Mai 2018

In Abbildung 5.3 ist die Ganglinie der Fördermenge an Trockenwettertagen zu sehen. Die zur jeweiligen Stunde gehörige Fördermenge bezieht sich immer auf den Durchfluss in der folgenden Stunde. Die Spitzen mit etwa 90 m³/h ergeben sich gegen 01:00 bis 02:00 Uhr nachts. Diese werden durch die Druckluftspülung der vorgeschalteten Pumpwerke verursacht.

Nach dem Abarbeiten dieser Wassermenge erfolgt ein Zeitraum mit nahezu keinem Zufluss, da sämtliche vorgeschaltete Druckleitungen leer sind und erst wieder gefüllt werden müssen. Der Zufluss von Dürnrohr (Siedlungsgebiet) ist zu dieser Zeit ebenfalls verschwindend gering. Gegen 05:00 Uhr ist der Nachblasvorgang beendet und das in der Zwischenzeit angestaute Abwasser wird nun gefördert. In den Vormittagsstunden steigt die Fördermenge dann auf ein Plateau von 60-80 m³/h. Leichte Spitzen sind um den frühen Nachmittag und den späten Abend zu erkennen.

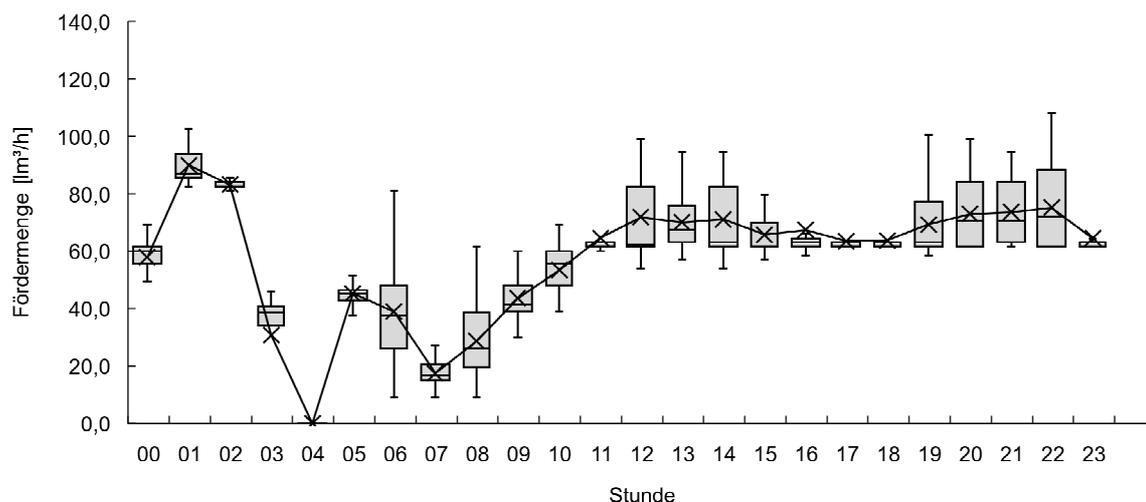


Abbildung 5.3: Tagesganglinie Trockenwettertage im Untersuchungszeitraum April und Mai 2018

In Abbildung 5.4 ist der kumulierte Verlauf der Tagesganglinie in Prozent dargestellt. Ab dem Vormittag zeigt sich eine sehr einheitliche Steigung.

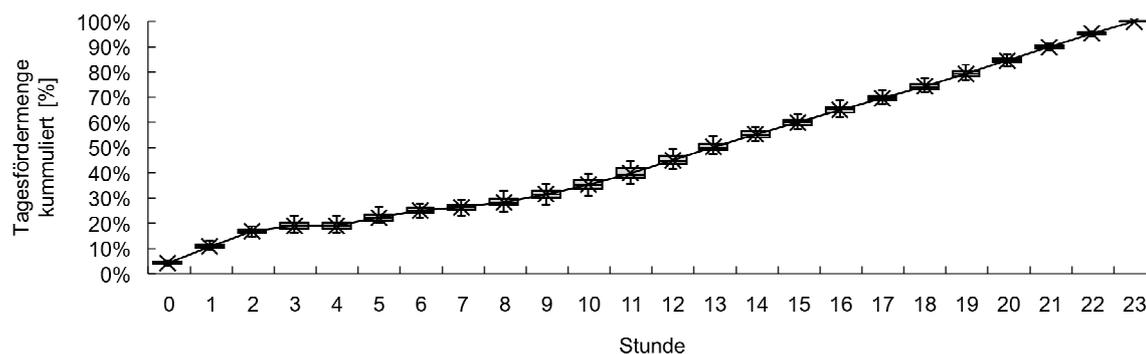


Abbildung 5.4: Tagesganglinie in %, kumuliert, Trockenwettertage im Untersuchungszeitraum April und Mai 2018

Fasst man die Tagesfördermengen der Trockenwettertage zusammen, so ergibt sich ein Mittelwert von etwa $1400 \text{ m}^3/\text{d}$. Der volumensbezogene Stromverbrauch inklusive Nachblasvorgang und dem Grundverbrauch (Server, Licht, Lüftung) liegt bei $1,1 \text{ kWh}/\text{m}^3$ (siehe Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1: Median von Q_d , E , e_{bez} an Trockenwettertagen im Untersuchungszeitraum April und Mai 2018

Kennwert	Q_d [m^3/d]	E [kWh/d]	e_{bez} [kWh/m^3]
Median	1397,3	1496,8	1,09
Q25%	1312,5	1433,7	1,07
Q75%	1477,2	1573,0	1,10
IQA	164,7	139,4	0,03
min	1153,4	1297,7	0,88
max	1816,0	1992,6	1,13
n	41	41	41

In Tabelle 5.2 ist der volumensbezogene Stromverbrauch in Abhängigkeit des Fördersystems angeführt. Diese Werte werden aus den Stundenwerten generiert. Der Druckluftspülvorgang ist daher nicht berücksichtigt. Es werden wieder nur Trockenwettertage herangezogen.

Tabelle 5.2: volumensbezogener Stromverbrauch abh. vom Fördersystem

Kennwert	$c_{\text{bez,Pn}}$ [kWh/m ³]	$c_{\text{bez,Hy}}$ [kWh/m ³]	c_{bez} [kWh/m ³]
Median	0,82	0,16	0,82
Q25%	0,79	0,11	0,78
Q75%	0,87	0,19	0,87
IQA	0,08	0,07	0,09
min	0,47	0,00	0,12
max	1,37	1,16	131,89
n	1137	174	1282

Zusammenfassend ist festzustellen, dass vor Beginn der Optimierungsphase die durchschnittliche Tagesfördermenge an Trockenwettertagen bei etwa $Q_d=1400 \text{ m}^3/\text{d}$ liegt. Der volumensbezogene Stromverbrauch beträgt etwa $1,1 \text{ kWh/m}^3$. Dieser beinhaltet den Grundverbrauch sowie die Energie für eine tägliche Druckluftspülung.

5.1.3 Abwasserzusammensetzung – H₂S-Messungen

Als Zeitraum zur Beurteilung der H₂S – Belastung im Zulauf und am Ende der Druckleitung vor Beginn der Optimierungsphase wird der Juni 2018 gewählt. Hier sind die Temperaturen bereits höher, als im April oder Mai, das Sulfid-Bildungspotential also größer. Die Auswertung der Messung ist in Anhang I zu finden.

Es, besteht bereits im Zulauf zum Hauptpumpwerk eine erhebliche H₂S_g-Belastung mit Spitzen von bis zu 150 ppm. Eine Regelmäßigkeit lässt sich anhand der Spitzen nicht ableiten. Die niedrigen Messwerte von 13.6.-15.6.2018 sind auf größere Regenereignisse zurückzuführen.

Aufgrund der Belastung im Zulauf kann die Kennzahl H₂S_g nicht zur Quantifizierung der gesetzten Optimierungsmaßnahmen herangezogen werden! Eine quantitative Aussage zu treffen wäre nur möglich, wenn die Belastung im Zulauf gegen Null geht.

Die Ingenieurbüro Henninger & Partner GmbH hat eine Messkampagne gestartet, aus der der Emitter der massiven H₂S-Belastung hervorgehen soll. Diese ist jedoch nicht Teil der vorliegenden Arbeit.

5.2 Druckabhängige Entleerungszeit der Förderkessel

Die folgenden Betrachtungen gründen auf Stundenbasis. Es werden die Zeiten des Nachblasens herausgefiltert. Weiters wird auf folgendes Erscheinungsbild in den Daten eingegangen: Drei Kompressoren laufen eine Stunde durchgehend. Kurz nach Beginn der darauffolgenden Stunde wird auf hydraulischen Betrieb umgeschaltet. Die Kompressoren beenden die Förderung und laufen nach. Der Strom der Nachlaufzeit von drei Kompressoren wird so der vergleichsweise geringen Fördermenge der Pneumatik in dieser Stunde zugeteilt. Diese Werte machen sich durch einen hohen volumensbezogenen Stromverbrauch bemerkbar und sind als Ausreißer zu bezeichnen. Es werden daher nur jene Stunden zur Auswertung herangezogen, in denen unmittelbar nachfolgend pneumatisch gefördertes Abwasser enthalten ist.

Der Untersuchungszeitraum für die variable Entleerungszeit der Förderkessel erstreckt sich von 12.7.2018 bis 23.7.2018 und liefert mit den oben angewendeten Filterkriterien 172 Stunden mit verwertbaren Daten. 225 Datensätze konnten im Zeitraum zwischen 1.6.2018 und 26.6.2018 für die konstante Entleerungszeit gewonnen werden.

Die Ergebnisse können als unabhängig von den eingestellten Schaltpunkten betrachtet werden, da sie sich auf ein einzelnes Fördersystem beziehen. Die Schaltpunkte beeinflussen die mengenmäßige Zuteilung zu den einzelnen Fördersystemen und haben daher nur Einfluss auf die Zusammensetzung des Gesamtstromverbrauches.

In Abbildung 5.5 werden die maximalen Förderkapazitäten in Abhängigkeit der Anzahl der eingesetzten Kompressoren dargestellt. Die Maxima werden durch Mittelung der drei Höchstwerte ermittelt. Im Untersuchungszeitraum der druckabhängigen Laufzeit befanden sich keine Datensätze, die einen durchgehenden Betrieb von allen 3 Kompressoren enthalten, lediglich 2,9. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Förderkapazität von drei Kompressoren noch geringfügig höher liegt.

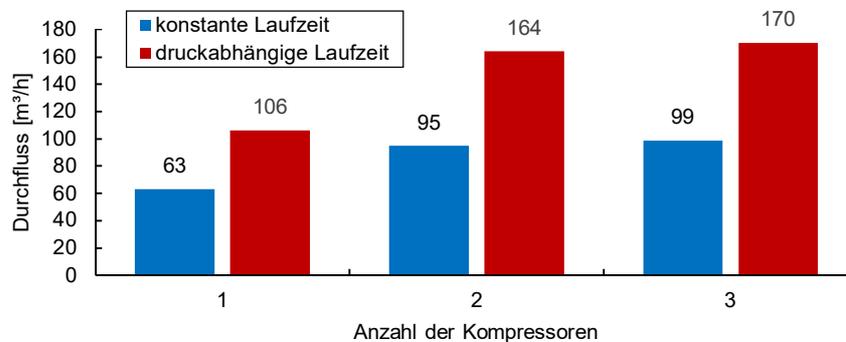


Abbildung 5.5: Maximale Förderleistung bei konstanter Laufzeit und variabler Laufzeit in Abhängigkeit der Anzahl der Kompressoren

Neben der Erhöhung des Durchflusses wird durch die verkürzte Entleerungszeit erwartungsgemäß auch der Stromverbrauch (Abbildung 5.6) verringert. Der Zusammenhang zwischen den beiden Kennzahlen folgt beim Betriebsfall konstante Laufzeit einer Geraden.

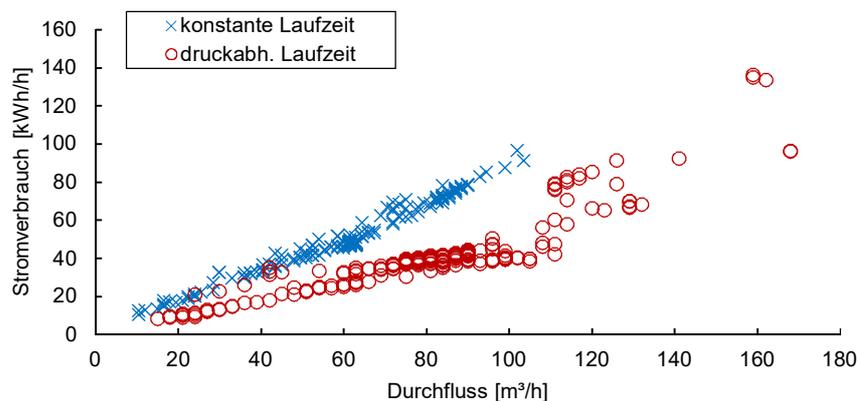


Abbildung 5.6: Gegenüberstellung der Fördermengen und des Stromverbrauches für konstante und druckabhängige Entleerungszeiten beim Betrieb der pneumatischen Anlage

Bis zu 100 m³/h folgt der Verlauf beim Betriebsfall druckabhängige Laufzeit ebenso in etwa einer Geraden. Danach ist ein sprunghafter Anstieg des Stromverbrauches bei etwa 105 m³/h zu erkennen.

Diese Fördermenge entspricht in etwa der maximalen Förderleistung eines Kompressors (Abbildung 5.5). Weiters lässt der danach steilere Anstieg den Schluss zu, dass sich der volumensbezogene Stromverbrauch erhöht und somit die Effizienz sinkt.

In Abbildung 5.7 ist zu sehen, dass das Niveau des volumensbezogenen Stromverbrauches durch die Einstellung einer druckabhängigen Laufzeit wesentlich gesunken ist. Bei einem Systemdruck von 2,5 bar konnte eine Reduktion von rund 0,35 kWh/m³ erreicht werden.

Die Werte der druckabhängigen Laufzeit erreichen ein Minimum mit 0,38 kWh/m³ bei etwa 1,7 bar. Dies ist ein Hinweis auf den optimalen Betriebszustand der Kompressoren. Eine weitere Erhöhung des Druckes resultiert jedoch in nur einer geringfügigen Erhöhung von e_{bez} .

Die höheren Druckverhältnisse werden durch einen erhöhten Durchfluss erzwungen. Der Anstieg des spezifischen Stromverbrauches bei höherem Systemdruck ist daher wieder auf die Zuhilfenahme eines weiteren Kompressors zurückzuführen.

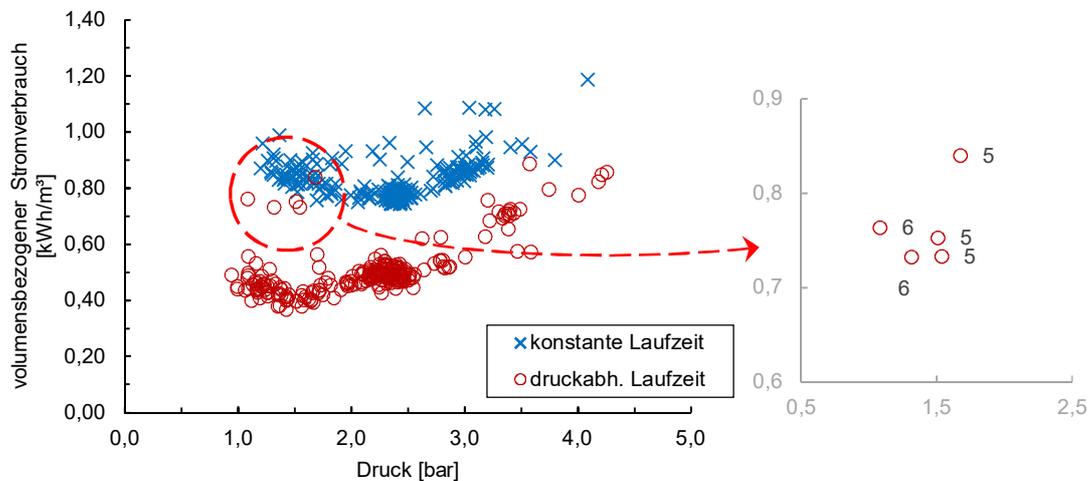


Abbildung 5.7: Gegenüberstellung des Systemdruckes und des volumensbezogenen Stromverbrauches für konstante und druckabhängige Laufzeiten zur Entleerung des Arbeitsbehälters der pneum. Anlage. Rechts: hoher volumensbezogener Stromverbrauch in den Morgenstunden (Beschriftung im Diagramm sind Tagesstunden)

Auffällig sind erhöhte volumensbezogene Stromverbräuche bei niedrigem Systemdruck. Bei näherer Betrachtung lässt sich feststellen, dass diese Zustände stets in den Morgenstunden auftreten. Abbildung 5.8 zeigt den Verlauf der Stromaufnahme der Kompressoren am Beispiel des 15.7.2018 von 06:00 bis 07:00 (rote Linie). Die blaue Linie markiert den Verlauf des Wasserspiegels im Vorschacht. Ist ein Arbeitsbehälter voll, schließt der Zulaufschieber, der Wasserspiegel beginnt zu steigen. Die Stromaufnahme steigt bei Inbetriebnahme des Kompressors an. Nach dem Entleerungsvorgang öffnet der Zulaufschieber wieder. Dieser Zeitpunkt ist durch ein Sinken des Wasserspiegels markiert. Trotz Beendigung des Fördervorganges läuft der Kompressor mit verringerter, in etwa halber, Stromaufnahme weiter, um den intern aufgebauten Druck wieder abzubauen und abschalten zu können. Der Zeitbedarf hierfür entspricht jenem, der zur Entleerung des Arbeitsbehälters erforderlich ist. Der Stromverbrauch dieser Nachlaufzeit wird in der Auswertung der pneumatisch geförderten Abwassermenge zugeteilt und verursacht so einen erhöhten volumensbezogenen Stromverbrauch.

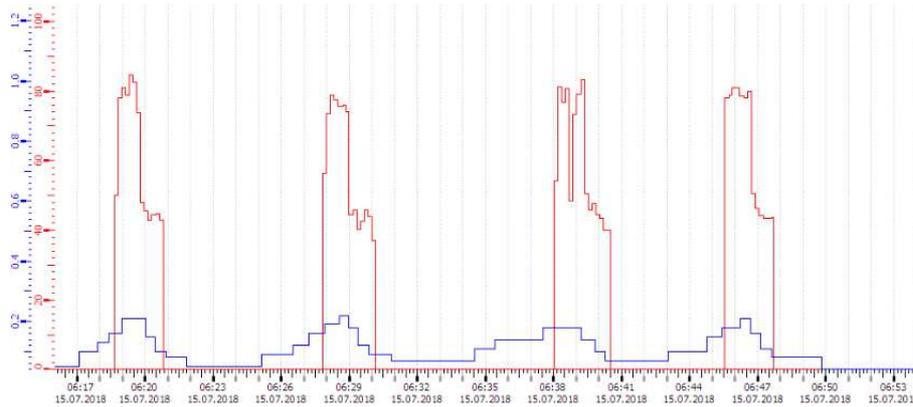


Abbildung 5.8: wiederholtes Nachlaufen der Kompressoren nach dem Entleeren eines einzelnen Förderkessels und dadurch erhöhter Stromverbrauch bei wenig Zufluss, Ausschnitt aus SPS (Rot=Stromaufnahme [A], Blau= mWs im Vorschacht [m])

Dieses Erscheinungsbild wird im Zuge der vorliegenden Arbeit in den Betriebsfällen 5 und 6 behandelt. Das methodische Vorgehen wird unter Punkt 4.4.5 beschrieben.

5.3 Bandbreite des Energieverbrauches und Optimierung der Schaltpunkte

Um die Ergebnisse der untersuchten Betriebsfälle zusammenhängend betrachten zu können, werden die in der Überschrift genannten Punkte zusammengelegt.

5.3.1 Betriebsfall 1 - Maximalvariante

Der Untersuchungszeitraum des ersten Betriebsfalles erstreckt sich vom 13.7.2018 bis 23.7.2018. In Abbildung 5.9 sind die zentralen Ganglinien des Untersuchungszeitraumes dargestellt. Beginn und Ende waren begleitet von Regenereignissen.

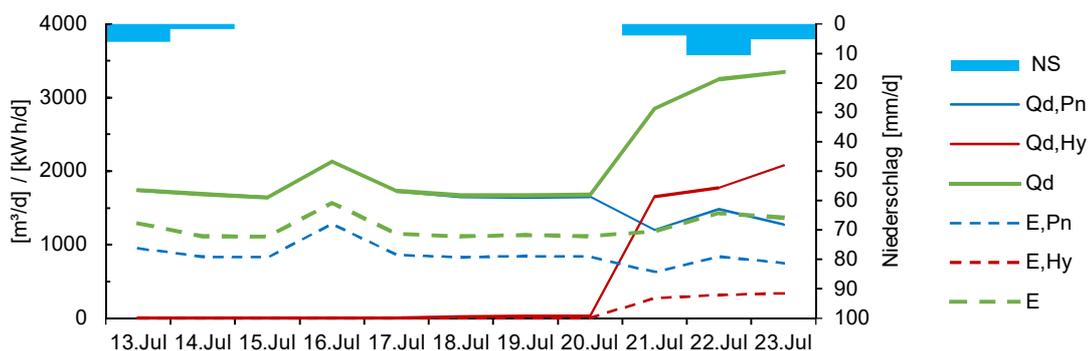


Abbildung 5.9: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF1

Auffällig ist die hohe Tagesfördermenge von über 2000 m³/d am 16.7.2018. Betrachtet man hier die Fördermengen der vorgeschalteten Pumpwerke, ist festzustellen, dass das Pumpwerk Atzenbrugg um ca. 450 m³ mehr Abwasser liefert, als gewöhnlich (siehe Anhang B). Dies wurde möglicherweise durch ein lokales Regenereignis verursacht. Da sich das Verhältnis Q_{PN}/Q_{HY} nicht von den restlichen

Trockenwettertagen unterscheidet (Abbildung 5.10, rechts), können die Daten dieses Tages zur Auswertung verwendet werden.

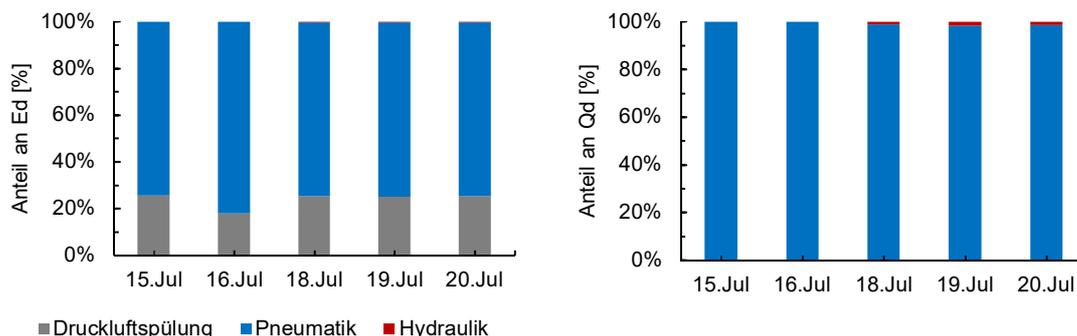


Abbildung 5.10: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF1

Im linken Diagramm der Abbildung 5.10 ist zu erkennen, dass sich der Stromverbrauch homogen auf den pneumatischen Betrieb (75%) und den Druckluftspülvorgang (25%) aufteilt.

Das rechte Diagramm zeigt, dass die Vorgabe, vorrangig pneumatisch zu fördern, erreicht wurde.

Tabelle 5.3: Auswertung BF1 Q, E und P getrennt nach Fördersystem

	$Q_{h,Pn}$ [m ³ /h]	E_{Pn} [kWh/h]	P_{Pn} [bar]	$Q_{h,Hy}$ [m ³ /h]	E_{Hy} [kWh/h]	P_{Hy} [bar]	E_{NB} [kWh/h]	P_{NB} [bar]
Median	81,0	39,0	2,2	24,0	3,0	0,8	140,9	3,8
Q25%	62,3	32,3	1,5	22,0	2,9	0,8	137,8	3,5
Q75%	90,0	41,2	2,4	26,0	3,5	0,8	143,7	4,3
IQA	27,8	8,9	1,0	4,0	0,5	0,0	5,9	0,8
min	3,0	4,8	0,9	20,0	2,9	0,8	137,2	3,4
max	168,0	136,6	4,3	28,0	4,0	0,8	144,4	4,5
n	136	136	136	3	3	3	12	12

Tabelle 5.4: Auswertung BF1 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem

	$e_{bez,Pn}$ [kWh/m ³]	$e_{spez,Pn}$ [Wh/(m ³ ·m)]	$e_{bez,Hy}$ [kWh/m ³]	$e_{spez,Hy}$ [Wh/(m ³ ·m)]
Median	0,49	22,8	0,14	18,1
Q25%	0,45	20,5	0,13	16,4
Q75%	0,53	29,5	0,14	18,1
IQA	0,08	8,9	0,01	1,7
min	0,37	16,0	0,12	14,6
max	1,59	169,8	0,15	18,1
n	136	136	3	3

Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 zeigen die Ergebnisse der Auswertung auf Stundenbasis. Der volumensbezogene Energieverbrauch der pneumatischen Anlage von 0,49 kWh/m³ kann als repräsentativ für die Förderung in der Maximalvariante angesehen werden. Der Betrieb der Hydraulik liefert im Betrachtungszeitraum nur drei verwertbare Datensätze und ist daher als nicht repräsentativ einzustufen. Auf das Tagesergebnis hat dies jedoch vernachlässigende Auswirkungen, da die mit den Exzenter-schneckenpumpen geförderte Menge äußerst gering ist.

Der geringe Betriebsdruck bei hydraulischer Förderung resultiert aus der Förderung in eine leere Druckleitung. Dies geschieht während des Druckluftspülvorganges der bisher aktiven Leitung. Währenddessen steht die pneumatische Anlage nicht zur Förderung zur Verfügung. Daher fördert die hydraulische Pumpe.

Durch Betrachtung des 75%-Quantil-Wertes von $Q_{h,Pn}$ lässt sich feststellen, dass, nach den Ergebnissen von Punkt 5.2, mindestens 75 % der Trockenwettermenge mit nur einem Kompressor gefördert werden könnten.

Tabelle 5.5: Auswertung BF1 auf Tagesbasis

	$Q_{d,Pn}$	$Q_{d,Hy}$	Q_d	E_{Pn}	E_{Hy}	E	P	e_{bez}	e_{spez}
	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[bar]	[kWh/m ³]	[Wh/(m ³ ·m)]
Median	1653,0	24,0	1676,0	839,5	3,0	1124,7	2,2	0,67	30,6
Q25%	1645,5	22,0	1670,5	828,1	2,9	1113,5	2,2	0,67	30,1
Q75%	1714,5	26,0	1720,5	859,4	3,5	1145,2	2,2	0,68	30,8
IQA	69,0	4,0	50,0	31,3	0,5	31,7	0,0	0,01	0,7
min	1641,0	20,0	1641,0	823,3	2,9	1109,4	2,2	0,66	25,2
max	2130,0	28,0	2130,0	1280,8	4,0	1566,2	2,9	0,74	31,1
n	6	3	6	6	3	6	6	6	6

Das Ergebnis des volumensbezogenen Stromverbrauches auf Tagesbasis mit 0,67 kWh/m³ ist aufgrund der geringen Schwankungen als repräsentativ einzustufen.

5.3.2 Betriebsfall 2 - Minimalvariante

Der Untersuchungszeitraum des Betriebsfalles 2 erstreckt sich vom 25.7.18 vormittags bis 27.7.18 vormittags. Hier musste der Versuch abgebrochen werden, da nach Einstufung des Betriebspersonales das Gefahrenpotential aufgrund der Abwasserzusammensetzung im Zufluss zu groß wäre und eine Belüftung im Förderprozess erforderlich sei. Daher ergibt sich für die Betrachtung auf Tagesbasis als einzig verwertbarer Tag der 26.7.2018.

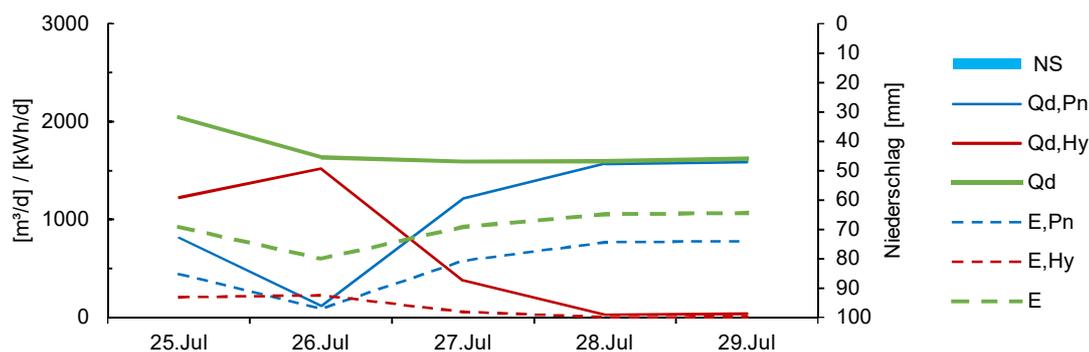


Abbildung 5.11: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF2

Die Tagesfördermenge am 25.7.2018 ist leicht erhöht, obwohl an diesem Tag kein Niederschlag bei den Messstationen zu verzeichnen ist (Abbildung 5.11). Am 24.7. wurden 5,3 mm Niederschlag gemessen. Daher kann die erhöhte Tagesmenge auf die Abarbeitung der Regenmengen vom Vortag zurückgeführt werden.

Der Verlauf der Ganglinien spiegelt die Änderungen der Schaltpunkte von BF1 auf BF2 und wieder zurück auf BF1 wieder.

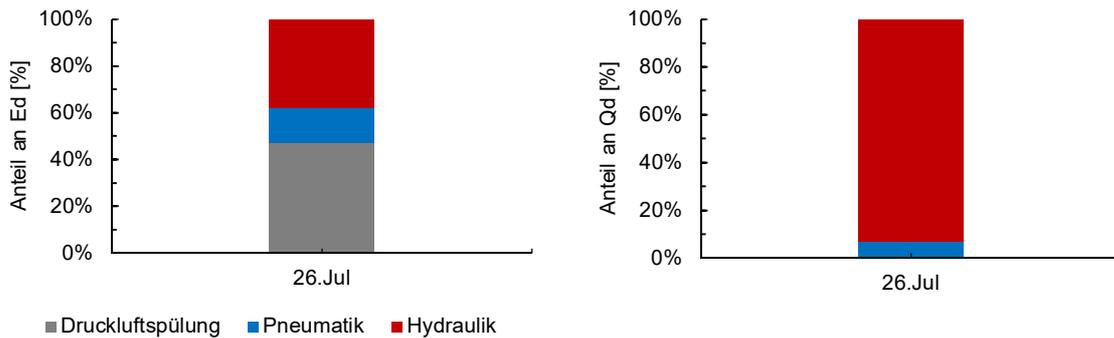


Abbildung 5.12: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF2

Im rechten Teil der Abbildung 5.12 ist zu sehen, dass das Ziel, vorrangig hydraulisch zu fördern, erreicht wurde. Der Förderanteil der Pneumatik wird durch die unter Punkt 4.4.4.4 beschriebenen Gründe (mechanischer Schutz) erforderlich. Im linken Teil ist zu erkennen, dass bei diesem Lastfall 40 % des Tagesstrombedarfes für den Druckluftspülvorgang verwendet werden.

Tabelle 5.6: Auswertung BF2 Q, E und P getrennt nach Fördersystem

	$Q_{h,Pn}$ [m ³ /h]	E_{Pn} [kWh/h]	P_{Pn} [bar]	$Q_{h,Hy}$ [m ³ /h]	E_{Hy} [kWh/h]	P_{Hy} [bar]	E_{NB} [kWh/h]	P_{NB} [bar]
Median	27,0	20,3	3,1	56,0	7,4	2,8	141,1	3,9
Q25%	24,0	14,7	1,4	42,0	3,9	2,1	140,5	3,7
Q75%	30,0	24,2	3,4	94,0	15,5	3,5	141,7	4,2
IQA	6,0	9,6	2,1	52,0	11,6	1,3	1,2	0,5
min	6,0	2,3	0,9	4,0	1,1	0,9	139,9	3,5
max	30,0	27,0	3,5	168,0	31,1	4,2	142,3	4,4
n	5	5	5	21	21	21	2	2

Tabelle 5.7: Auswertung BF2 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem

	$e_{bez,Pn}$ [kWh/m ³]	$e_{spez,Pn}$ [Wh/(m ³ ·m)]	$e_{bez,Hy}$ [kWh/m ³]	$e_{spez,Hy}$ [Wh/(m ³ ·m)]
Median	0,68	26,2	0,13	4,7
Q25%	0,61	25,9	0,10	4,2
Q75%	0,90	44,4	0,17	4,8
IQA	0,29	18,5	0,08	0,6
min	0,39	22,0	0,07	3,3
max	0,90	45,4	0,49	34,2
n	5	5	21	21

Der volumensbezogene Stromverbrauch kann als Richtwert für die hydraulische Förderung im Trockenwetterfall angesehen werden, es besteht jedoch eine sehr große Schwankungsbreite.

Der Systemdruck beträgt hier 2,8 bar. Verursacht ist dieser dadurch, dass die Pumpen unabhängig von der Intensität des Zuflusses immer mit der eingestellten Förderleistung von 180 m³/h fördern, sobald der Einschaltpunkt erreicht ist.

Bei pneumatischer Förderung ist er geringfügig erhöht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich im Zuge des Förderzyklus im Arbeitsbehälter ein höherer Druck aufbauen muss, um den Widerstand des Rückflussverhinderers zu überwinden. Ist dies geschehen, herrscht in der Druckleitung kurzfristig derselbe erhöhte Druck.

Tabelle 5.8: Auswertung BF2 auf Tagesbasis

	Q _{d,Pn}	Q _{d,Hy}	Q _d	E _{Pn}	E _{Hy}	E	P	e _{bez}	e _{spez}
	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[bar]	[kWh/m ³]	[Wh/(m ³ ·m)]
Wert	117,0	1518,0	1635,0	88,6	226,5	599,6	3,2	0,37	11,5
n	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Betrachtet man die Tageswerte, so steht lediglich ein Tag zur Auswertung zur Verfügung (Tabelle 5.8). Daher wird auf die Angabe der statistischen Werte (Q25%, Q75%, IQA, min, max) verzichtet.

Das Ergebnis des volumensbezogenen und des spezifischen Stromverbrauches können als erster Richtwert für die hydraulische Förderung im Trockenwetterfall angesehen werden.

Zum Vergleich mit den unter BF 4 angeführten Druckluftspülganglinien zeigt Abbildung 5.13 jenen während des BF2. Ab dem Beginn ist ein stetiger Anstieg des Durchflusses zu verzeichnen, bis er nach ca. 90 min das Maximum erreicht. Der maximale Druck wird innerhalb der ersten 10 min erreicht.

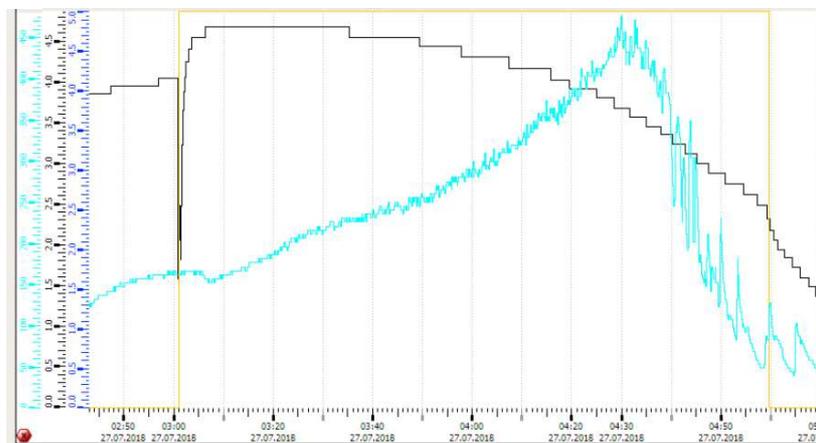


Abbildung 5.13: Verlauf des Durchflusses (G08) und des Systemdruckes (G01) während der Druckluftspülung, Ausschnitt aus SPS (Schwarz=Druck [bar], Cyan=Durchfluss [m³/h], Gelb=Zeitraum des Druckluftspülvorganges)

5.3.3 Betriebsfall 3 – Regenerereignis

Zur Auswertung des Betriebsfalles 3 wurden 5 Regenerereignisse nach den unter Punkt 4.4.4.4 beschriebenen Methoden ausgewählt und ausgewertet. Die Rohdaten befinden sich in Anhang D.

In Tabelle 5.9 befindet sich die Zusammenfassung der Auswertung. Die durchschnittliche Zeit $t_{P,const}$ vom Zuschalten der zweiten Pumpe bis zum Erreichen eines konstanten Systemdruckes, welcher ca. 4,4 bar beträgt, ist 18 min.

Der Durchfluss der Exzentrerschneckenpumpen ist mithilfe der nachgeschalteten MIDs geregelt. Die Quantil-Werte zeigen eine gut funktionierende Regelung. Zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit wurde auf einen Durchfluss von 180 m³/h je Druckleitung geregelt.

Sämtliche Kennzahlen weisen eine sehr geringe Schwankungsbreite auf. Sie sind daher als repräsentativ für den Regenwetterfall mit zwei Exzentrerschneckenpumpen anzusehen.

Tabelle 5.9: Auswertung BF3 auf Stundenbasis

	$t_{p,const}$ [min]	$Q_{h,Hy}$ [m ³ /h]	E_{Hy} [kWh/h]	P_{Hy} [bar]	$\epsilon_{bez,Hy}$ [kWh/m ³]	$\epsilon_{spez,Hy}$ [Wh/(m ³ ·m)]
Median	18	359,5	60,9	4,4	0,17	3,9
Q25%	17	359,4	58,7	4,3	0,16	3,8
Q75%	19	359,8	61,7	4,5	0,17	4,0
IQA	2	0,4	3,0	0,2	0,01	0,2
min	16	359,1	58,4	4,3	0,16	3,7
max	19	360,9	67,3	4,7	0,19	4,4
n	5	5	5	5	5	5

5.3.4 Betriebsfall 4 – Druckluftspülung

Bei der Untersuchung der Druckluftspülung wurden jene Ereignisse im Trockenwetterfall (Tabelle 5.10) mit jenen nach dem Betrieb von Exzentrerschneckenpumpen (Tabelle 5.11) verglichen.

Die Rohdaten befinden sich in Anhang E, wobei hier zu erkennen ist, dass die den Spülvorgängen des Betriebsfalles 4b vorausgegangene, hydraulische Fördermenge, weit größer ist als der Leitungsinhalt (760 m³). Dadurch ist sichergestellt, dass dieser vollständig durch die Exzentrerschneckenpumpen gefördert wurde.

Tabelle 5.10: Auswertung BF 4a

	t_{NB} [min]	ΣE_{NB} [kWh]	P_{NB} [bar]	$P_{NB,max}$ [bar]	$t_{p,NB,max}$ [min]	$Q_{NB,max}$ [m ³ /h]	$t_{Q,NB,max}$ [min]
Median	118	268	4,0	4,7	25	457	89
Q25%	118	267	3,9	4,6	24	446	87
Q75%	118	281	4,0	4,7	30	460	89
IQA	0	14	0,1	0,1	6	14	2
min	118	266	3,8	4,4	23	430	86
max	118	281	4,0	4,7	37	460	90
n	10	10	10	10	10	10	10

Tabelle 5.11: Auswertung BF 4b

	t_{NB} [min]	ΣE_{NB} [kWh]	P_{NB} [bar]	$P_{NB,max}$ [bar]	$t_{p,NB,max}$ [min]	$Q_{NB,max}$ [m ³ /h]	$t_{Q,NB,max}$ [min]
Median	118	280	4,0	4,7	9	463	89
Q25%	118	271	4,0	4,6	8	460	88
Q75%	118,75	282	4,0	4,7	9	464	90
IQA	0,75	11	0,1	0,1	2	4	2
min	118	268	3,9	4,6	6	460	86
max	119	282	4,2	4,7	10	498	90
n	6	6	6	6	6	6	6

In beiden Fällen betrug die Nachblaszeit 118 min. Der Stromverbrauch ist mit 280 kWh für die genannte Zeitspanne bei BF 4b im Vergleich zu BF 4a um etwa 10 kWh erhöht. Der mittlere Druck P_{NB} und der maximal erreichte Druck $P_{NB,max}$ unterscheiden sich bei den betrachteten Fällen nicht.

Beim Betriebsfall 4b wird der Maximaldruck jedoch um 16 min schneller erreicht. Wurde der Druckleitungsinhalt pneumatisch gefördert, müssen die in großer Anzahl vorhandenen Luftpolster erst komprimiert werden, bis sich die Wassersäule in Bewegung setzt. Das bedingt die oben angeführte Verzögerung der Druckspitze.

Der maximale Durchfluss, sowie dessen Zeitpunkt ab dem Beginn, weist keinen markanten Unterschied auf. Der Maximalwert im BF 4b ist auf ein zeitgleiches Regenereignis zurückzuführen, wobei die zweite Druckleitung bereits vollgefüllt ist. Ein Zuschalten der Exzentrerschneckenpumpe während der Druckluftspülung bewirkt somit eine Erhöhung des in Traismauer gemessenen Durchflusses durch die Überlagerung beider Ströme.

Ein wesentlicher Unterschied zeigt sich, wenn man den gesamten Verlauf des Durchflusses betrachtet (Abbildung 5.14). Der rechte Verlauf beschreibt annähernd eine Trapezform, wohingegen der linke einem Dreieck folgt. Demnach ist die Gesamtmenge des ausgetragenen Abwassers beim BF 4b wesentlich größer. Dies ist auf die zahlreichen Lufteinschlüsse zurückzuführen.

Bei BF 4a ist etwa 60 min nach Beginn ein plötzlicher Rückgang des Durchflusses zu verzeichnen. Dies deutet auf eine voluminöse Luftblase hin, welche von einem Hochpunkt stammen kann. Im rechten Bild ist ebenfalls ein leichter Rückgang zu verzeichnen.

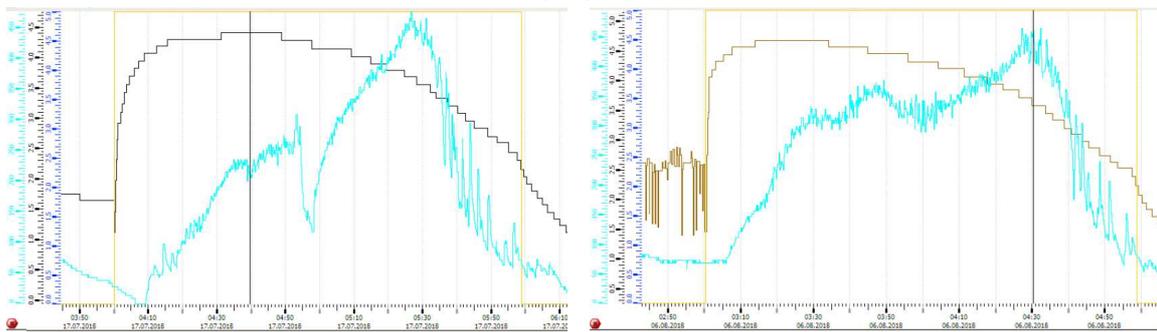


Abbildung 5.14: Verlauf des Durchflusses (G08) und des Systemdruckes (G01) während der Druckluftspülung, links BF 4a, rechts BF 4b, Ausschnitt aus SPS (Schwarz bzw. Braun=Druck [bar], Cyan=Durchfluss [m^3/h], gelb= Zeitraum des Druckluftspülvorganges)

5.3.5 Betriebsfall 5 – 1 Kompressor

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 31.7. bis zum 7.8. 2018. In Abbildung 5.15 sind die Tagesganglinien des Zeitraumes dargestellt. Sie weisen einen konstanten Verlauf auf. Am 5.8. ist ein Niederschlagsereignis zu verzeichnen. Dies ist ebenfalls anhand der Ganglinien zu erkennen. Die Berechnungsergebnisse des angewendeten R-Codes befinden sich in Anhang F.

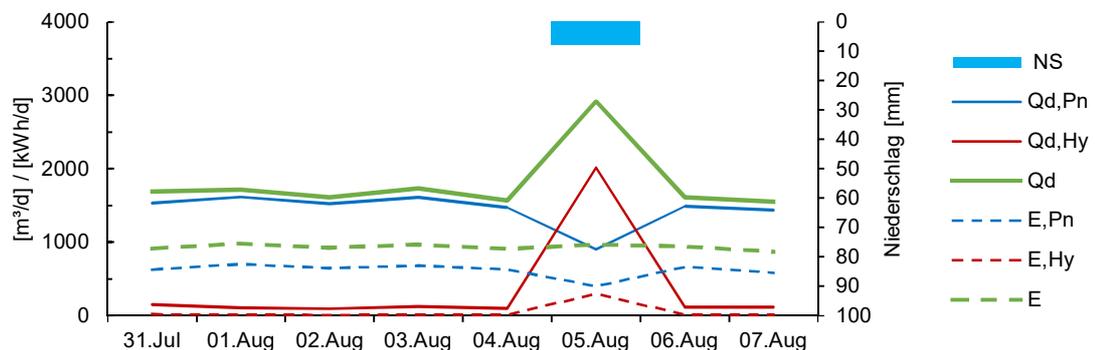


Abbildung 5.15: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF5

In Abbildung 5.16 ist zu erkennen, dass die Aufteilung des Energieverbrauches an Trockenwettertagen über den ganzen Untersuchungszeitraum konstant ist. Der Anteil für den Druckluftspülvorgang beträgt 30 %.

Die pneumatische Anlage hat einen Anteil von 92 % an der Gesamtförderung. Dies bestätigt, dass annähernd der gesamte Tagesgang mithilfe eines Kompressors abgedeckt werden kann. Die Hydraulik fördert in den Spitzenstunden welche durch den Abwasserzufluss im Zuge der Druckluftspülung der vorgeschalteten Abwasserpumpensysteme entsteht (siehe 5.1.2 Tagesganglinie). Weiters erfolgt eine hydraulische Förderung während des Druckluftspülvorganges, da hier die pneumatische Anlage nicht in Betrieb genommen werden kann.

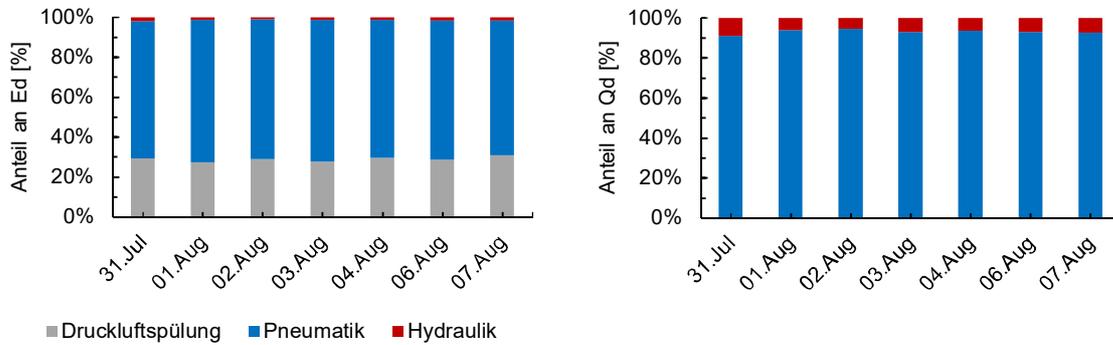


Abbildung 5.16: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF5

Der volumensbezogene Stromverbrauch der pneumatischen Anlage beträgt bei diesem Lastfall $0,43 \text{ kWh/m}^3$ (siehe Tabelle 5.12 und Tabelle 5.13). Das Maximum von $1,5 \text{ kWh/m}^3$ kann auf das Abschalten eines Kompressors kurz nach Beginn einer Stunde zugeschrieben werden. Hier wird dann einer geringen Fördermenge der Stromverbrauch für die Nachlaufzeit zugeteilt.

Der spezifische Stromverbrauch für den Betrieb der Pneumatik beträgt bei diesem Lastfall $20,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$. Die Hydraulik weist ein $e_{\text{bez,Hy}}$ von $0,11 \text{ kWh/m}^3$ und ein $e_{\text{spez,Hy}}$ von $4,6 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ auf.

Tabelle 5.12: Auswertung BF5 Q, E und P getrennt nach Fördersystem

	$Q_{h,Pn}$ [m ³ /h]	E_{Pn} [kWh/h]	P_{Pn} [bar]	$Q_{h,Hy}$ [m ³ /h]	E_{Hy} [kWh/h]	P_{Hy} [bar]	E_{NB} [kWh/h]	P_{NB} [bar]
Median	75,0	33,0	2,2	51,0	4,5	1,8	133,7	4,0
Q25%	57,8	24,0	1,5	41,5	3,3	0,9	130,5	3,5
Q75%	84,0	36,0	2,4	56,0	9,0	3,8	137,0	4,5
IQA	26,3	12,0	0,8	14,5	5,8	2,9	6,5	0,9
min	3,0	2,0	0,9	10,0	1,0	0,8	129,5	3,5
max	102,0	44,0	2,6	68,0	10,0	3,9	137,0	4,5
n	158	158	158	18	18	18	14	14

Tabelle 5.13: Auswertung BF5 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem

	$e_{\text{bez,Pn}}$ [kWh/m ³]	$e_{\text{spez,Pn}}$ [Wh/(m ³ ·m)]	$e_{\text{bez,Hy}}$ [kWh/m ³]	$e_{\text{spez,Hy}}$ [Wh/(m ³ ·m)]
Median	0,43	20,4	0,11	4,6
Q25%	0,40	19,0	0,08	4,1
Q75%	0,46	24,1	0,15	8,3
IQA	0,06	5,1	0,07	4,2
min	0,33	16,3	0,05	3,9
max	1,50	94,9	0,16	10,6
n	158	158	18	18

In Abbildung 5.17 wird die Tagesganglinie des spezifischen Stromverbrauches dargestellt. Bei Betrachtung fällt auf, dass erhöhte Werte speziell in den Morgenstunden zu verzeichnen sind. Dieses Erscheinungsbild ist auf den intermittierenden Betrieb der Kompressoren zu Zeiten geringen Abwasserzuflusses zurückzuführen und wurde bereits unter Punkt 5.2 ausführlich beschrieben. Um eine Senkung des spezifischen Stromverbrauches in diesen Stunden zu erreichen, kann das Abwasser im Vorschacht geringfügig angestaut werden. Dies wird bei Betriebsfall 6 untersucht.

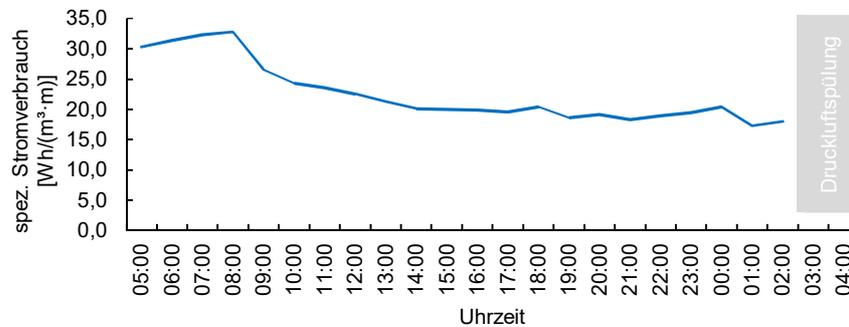


Abbildung 5.17: Tagesgang von $e_{\text{spez,Pn}}$ im BF5

Betrachtet man den BF 5 auf Tagesbasis, so ist ein volumensbezogener Stromverbrauch von $0,56 \text{ kWh/m}^3$ zu verzeichnen. Der spezifische Stromverbrauch beträgt $26,8 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$. Durch die geringe Schwankungsbreite der Kennzahlen kann das Ergebnis als repräsentativ angesehen werden.

Tabelle 5.14: Auswertung BF5 auf Tagesbasis

	$Q_{d,Pn}$	$Q_{d,Hy}$	Q_d	E_{Pn}	E_{Hy}	E	P	e_{bez}	e_{spez}
	[m³/d]	[m³/d]	[m³/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[bar]	[kWh/m³]	[Wh/(m³·m)]
Median	1528,5	106,0	1650,0	638,3	14,0	922,5	2,1	0,56	26,8
Q25%	1482,8	102,0	1582,3	628,1	13,0	910,8	2,1	0,55	25,1
Q75%	1590,0	126,0	1711,8	673,9	14,0	957,5	2,1	0,57	27,5
IQA	107,3	24,0	129,5	45,8	1,0	46,8	0,0	0,03	2,4
min	1155,0	92,0	1155,0	493,0	11,0	493,0	2,0	0,43	20,6
max	1614,0	151,0	1734,0	701,5	17,0	982,0	2,3	0,58	27,6
n	6	5	6	6	5	6	6	6	6

5.3.6 Betriebsfall 6 – 1 Kompressor + Vorschachtregelung

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 9.8. bis zum 19.8.2018. In Abbildung 5.18 sind die Tagesganglinien des Zeitraumes dargestellt. Sie weisen einen konstanten Verlauf auf. Am 10.8. ist ein Niederschlagsereignis zu verzeichnen. Dies ist ebenfalls anhand der Ganglinien zu erkennen. Die Berechnungsergebnisse des angewendeten R-Codes befinden sich in Anhang G.

Im Zuge dieses Lastfalles wurde die Vorschachtregelung aktiviert. Durch Versuche und folgende Überlegung wurde die Anzahl der Hübe bis zur Komplettentleerung ab dem Ausschaltpunkt mit 2 festgelegt: Ist der Ausschaltpunkt erreicht, befinden sich noch $1,6 \text{ m}^3$ Abwasser im Vorschacht (Füllstand $0,2 \text{ m}$). Die Sohle des Zulaufes zu den Kesseln liegt bei einem Füllstand von $0,09 \text{ m}$. Bei einer Förderleistung von $1,5 \text{ m}^3$ je Hub sollen zwei Hübe jedenfalls ausreichen.

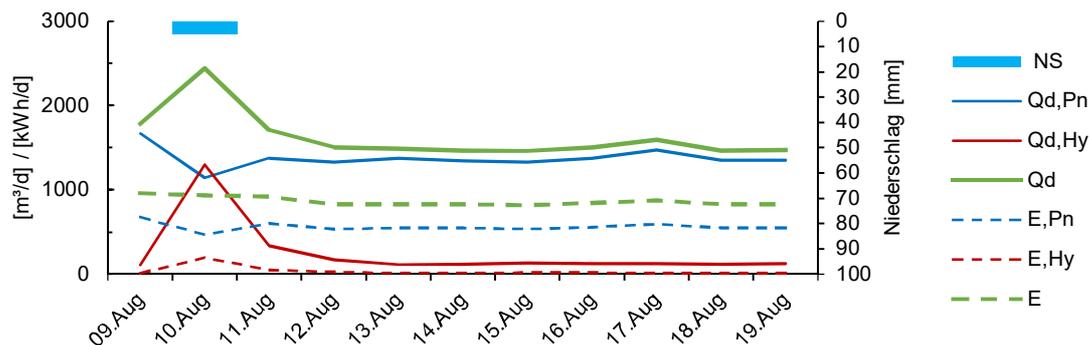


Abbildung 5.18: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF6

In Abbildung 5.19 ist zu erkennen, dass die Aufteilung des Energieverbrauches an Trockenwettertagen über den ganzen Untersuchungszeitraum konstant ist. Der Anteil für den Druckluftspülvorgang beträgt 32 %.

Die pneumatische Anlage hat einen Anteil von 91 % an der Gesamtförderung. Dies bestätigt die Ergebnisse des Betriebsfalles 5, dass annähernd der gesamte Tagesgang mithilfe eines Kompressors abgedeckt werden kann.

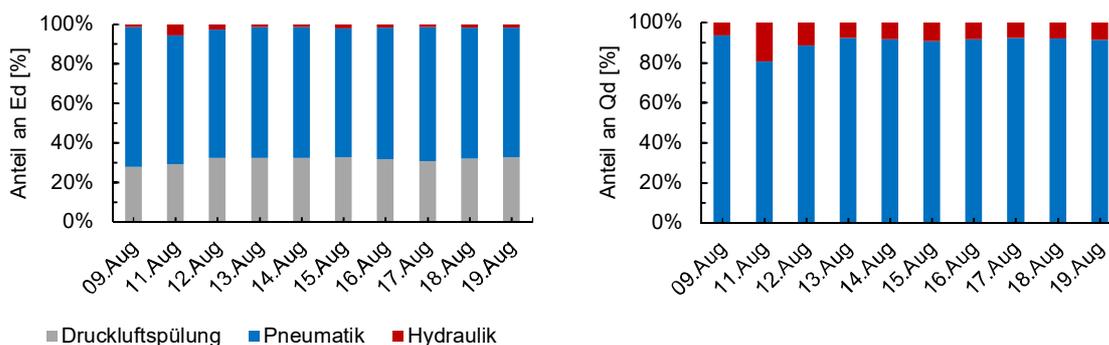


Abbildung 5.19: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF6

Der volumensbezogene Stromverbrauch der pneumatischen Anlage beträgt bei diesem Lastfall $0,41 \text{ kWh/m}^3$ (siehe Tabelle 5.16). Das Maximum von $1,5 \text{ kWh/m}^3$ kann wieder auf das Abschalten eines Kompressors kurz nach Beginn einer Stunde zugeschrieben werden. Hier wird dann einer geringen Fördermenge der Stromverbrauch für die Nachlaufzeit zugeteilt.

Der spezifische Stromverbrauch für den Betrieb der Pneumatik beträgt bei diesem Lastfall $19,0 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$. Die Hydraulik weist ein $e_{\text{bez,Hy}}$ von $0,13 \text{ kWh/m}^3$ und ein $e_{\text{spez,Hy}}$ von $4,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ auf.

Der höhere Druck bei hydraulischer Förderung ist auf Auswirkungen des Regenereignisses vom 10.8. auf den 11.8. zurückzuführen. In den Nachtstunden wurde die hydraulische Anlage auf die durch das Regenwasser vollgefüllte Druckleitung gefahren. Dies führte zu einem hohen Systemdruck für einige Stunden. Da die Summe der verwertbaren Datensätze für die hydraulische Förderung aufgrund der Einstellungen in diesem Betriebsfall bei Trockenwetter gering ist, haben diese Stunden mit hohem Druck größeren Einfluss auf die statistischen Kennwerte.

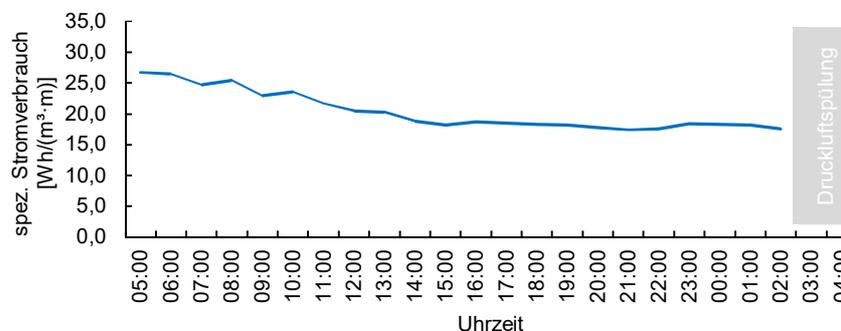
Tabelle 5.15: Auswertung BF6 Q, E und P getrennt nach Fördersystem

	Q _{h,Pn} [m ³ /h]	E _{Pn} [kWh/h]	P _{Pn} [bar]	Q _{h,Hy} [m ³ /h]	E _{Hy} [kWh/h]	P _{Hy} [bar]	E _{NB} [kWh/h]	P _{NB} [bar]
Median	69,0	28,0	2,2	58,0	6,0	2,2	134,4	4,0
Q25%	48,0	19,0	1,5	50,0	4,0	0,9	131,2	3,5
Q75%	78,0	32,0	2,4	64,0	11,0	3,8	137,0	4,5
IQA	30,0	13,0	0,9	14,0	7,0	2,9	5,8	1,0
min	3,0	4,5	1,0	18,0	1,0	0,8	128,6	3,5
max	99,0	41,0	4,5	146,0	24,0	4,3	138,0	4,6
n	226	226	224	25	25	25	20	20

Tabelle 5.16: Auswertung BF6 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem

	e _{bez,Pn} [kWh/m ³]	e _{spez,Pn} [Wh/(m ³ ·m)]	e _{bez,Hy} [kWh/m ³]	e _{spez,Hy} [Wh/(m ³ ·m)]
Median	0,41	19,0	0,13	4,4
Q25%	0,37	17,9	0,08	4,0
Q75%	0,44	22,8	0,16	8,0
IQA	0,07	4,9	0,08	4,0
min	0,28	15,6	0,06	3,9
max	1,51	142,6	0,17	10,4
n	226	224	25	25

In Abbildung 5.20 wird die Tagesganglinie des spezifischen Stromverbrauches der pneumatischen Anlage des BF 6 dargestellt. Die Werte bewegen sich zwischen 25,7 Wh/(m³·m) in den Morgenstunden und 17,2 Wh/(m³·m) in den Abendstunden.

Abbildung 5.20: Tagesgang von e_{spez,Pn} im BF6

Die Aktivierung der Vorschachtregelung erfolgte am 7.8.2018 gegen 08:50 Uhr. In Abbildung 5.21 ist die Veränderung des Verlaufes der Wasserspiegellhöhe im Vorschacht zu sehen.

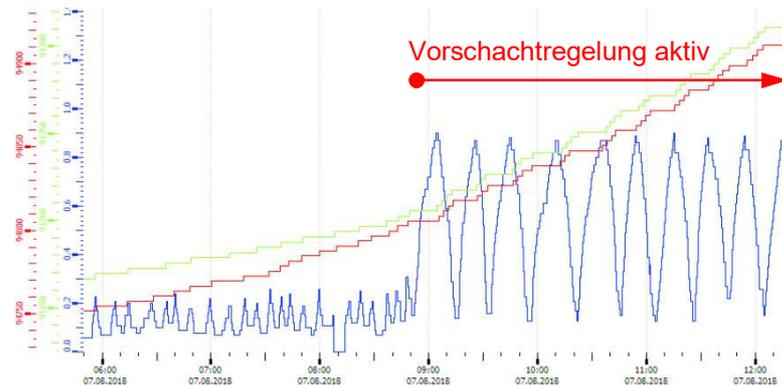


Abbildung 5.21: Verlauf des Wasserspiegels im Vorschacht vor und nach der Aktivierung der Vorschachtregelung (Blau=mWs, Rot=Fördermenge B1, Grün=Fördermenge B2)

Betrachtet man den BF 6 auf Tagesbasis, so ist ein volumensbezogener Stromverbrauch von $0,56 \text{ kWh/m}^3$ zu verzeichnen (Tabelle 5.17). Der spezifische Stromverbrauch beträgt $25,2 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$. Durch die geringe Schwankungsbreite der Kennzahlen kann das Ergebnis als repräsentativ angesehen werden.

Tabelle 5.17: Auswertung BF6 auf Tagesbasis

	Q _{d,Pn}	Q _{d,Hy}	Q _d	E _{Pn}	E _{H_y}	E	P	e _{bez}	e _{spez}
	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[bar]	[kWh/m ³]	[Wh/(m ³ ·m)]
Median	1362,0	127,0	1494,5	548,2	15,5	831,0	2,2	0,56	25,2
Q25%	1347,8	115,5	1471,8	539,3	13,5	828,3	2,1	0,54	24,1
Q75%	1376,3	164,0	1658,3	588,4	22,0	899,0	2,3	0,56	26,2
IQA	28,5	48,5	186,5	49,1	8,5	70,8	0,1	0,02	2,1
min	1329,0	112,0	1463,0	532,0	13,0	819,0	2,1	0,54	19,8
max	1668,0	336,0	1782,0	674,0	51,0	959,0	2,7	0,56	26,4
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10

5.4 Ablauf und Reihenfolge der Nachblasprozesse

5.4.1 Betriebsfall 7 – 2 Kompressoren, zweitägige Druckluftspülung

Zur Auswertung des Betriebsfalles 7 wurde der Zeitraum vom 8.9.2018 bis zum 30.9.2018 gewählt. Davor wurden die Einstellungen beim Nachblasvorgang mehrmals geändert um das in Folge präsentierte Ergebnis zu erreichen.

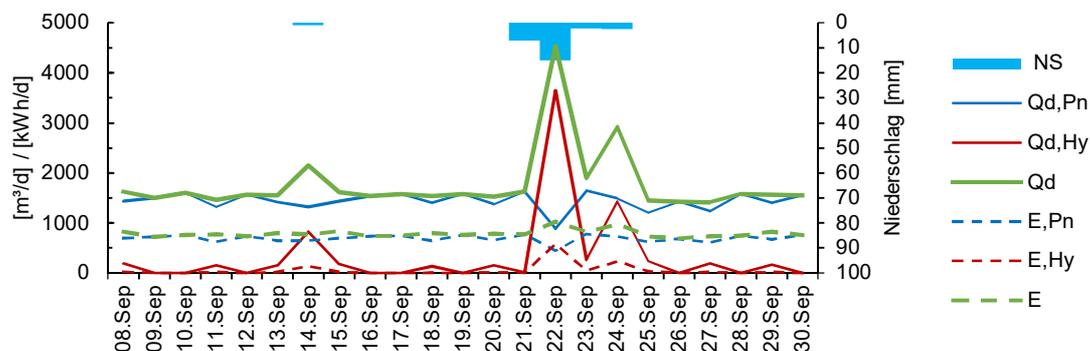


Abbildung 5.22: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF7

In Abbildung 5.22 sind die Ganglinien des BF7 dargestellt. Insgesamt gab es 5 Tage mit einem Niederschlagsereignis. Diese können nicht zur Auswertung herangezogen werden.

Anders, als bei den zuvor untersuchten Betriebsfällen existieren leichte Schwankungen in den Ganglinien der Stromverbräuche (Abbildung 5.23 links). Diese resultieren aus dem geänderten Zeitplan für die Druckluftspülung. Der Tagesgang der hydraulischen Förderung ist ebenfalls wechselhaft (Abbildung 5.23 rechts). An Tagen, an denen ein Spülvorgang stattfand, wurde währenddessen mit den Exzentrerschneckenpumpen gefördert. Andernfalls wurde die gesamte Tagesmenge durch die pneumatische Anlage gefördert.

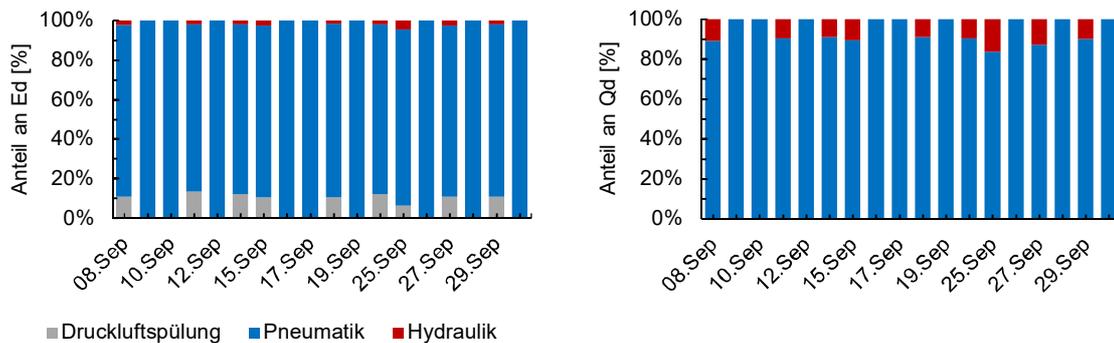


Abbildung 5.23: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF7

Der volumensbezogene Stromverbrauch der pneumatischen Anlage beträgt bei diesem Lastfall $0,47 \text{ kWh/m}^3$ (siehe Tabelle 5.19). Das Maximum von $1,16 \text{ kWh/m}^3$ kann wieder auf das Abschalten eines Kompressors kurz nach Beginn einer Stunde zugeschrieben werden. Hier wird dann einer geringen Fördermenge der Stromverbrauch für die Nachlaufzeit zugeteilt.

Der spezifische Stromverbrauch für den Betrieb der Pneumatik beträgt bei diesem Lastfall $19,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$. Die Hydraulik weist ein $e_{\text{bez,Hy}}$ von $0,10 \text{ kWh/m}^3$ und ein $e_{\text{spez,Hy}}$ von $5,1 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ auf.

Die Stundenwerte des Stromverbrauches während des Druckluftspülvorganges sind durch die Einstellung einer Staffelung sowie durch die Änderung der Schaltpunkte einer starken Streuung unterworfen. Dies gilt ebenso für die Druckverhältnisse des Nachblasvorganges.

Tabelle 5.18: Auswertung BF7 Q, E und P getrennt nach Fördersystem

	$Q_{h,Pn}$ [m ³ /h]	E_{Pn} [kWh/h]	P_{Pn} [bar]	$Q_{h,Hy}$ [m ³ /h]	E_{Hy} [kWh/h]	P_{Hy} [bar]	E_{NB} [kWh/h]	P_{NB} [bar]
Median	69,0	32,0	2,4	56,0	6,0	2,1	15,0	2,8
Q25%	45,0	22,0	2,1	36,0	4,5	1,7	10,0	1,7
Q75%	84,0	39,0	2,5	72,0	7,5	2,3	35,5	3,9
IQA	39,0	17,0	0,4	36,0	3,0	0,6	25,5	2,2
min	3,0	2,0	1,6	1,0	2,0	1,2	6,5	1,2
max	126,0	69,0	3,5	88,0	12,0	3,5	72,6	4,4
n	419	419	418	28	27	28	27	27

Tabelle 5.19: Auswertung BF7 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem

	$e_{bez,Pn}$ [kWh/m ³]	$e_{spez,Pn}$ [Wh/(m ³ ·m)]	$e_{bez,Hy}$ [kWh/m ³]	$e_{spez,Hy}$ [Wh/(m ³ ·m)]
Median	0,47	19,4	0,10	5,1
Q25%	0,44	18,4	0,09	4,7
Q75%	0,49	20,8	0,12	6,2
IQA	0,05	2,4	0,02	1,4
min	0,22	11,1	0,06	4,0
max	1,16	33,3	0,13	7,3
n	419	418	27	27

Betrachtet man den BF 7 auf Tagesbasis, so ist ein volumensbezogener Stromverbrauch von 0,50 kWh/m³ zu verzeichnen (Tabelle 5.20). Der spezifische Stromverbrauch beträgt 19,3 Wh/(m³·m).

Tabelle 5.20: Auswertung BF7 auf Tagesbasis

	$Q_{d,Pn}$ [m ³ /d]	$Q_{d,Hy}$ [m ³ /d]	Q_d [m ³ /d]	E_{Pn} [kWh/d]	E_{Hy} [kWh/d]	E [kWh/d]	P [bar]	e_{bez} [kWh/m ³]	e_{spez} [Wh/(m ³ ·m)]
Median	1443,0	160,0	1551,0	701,3	16,0	754,5	2,5	0,50	19,3
Q25%	1399,5	144,0	1504,3	646,4	15,0	735,3	2,4	0,48	18,7
Q75%	1561,5	180,0	1574,3	744,3	19,0	793,5	2,6	0,51	21,9
IQA	162,0	36,0	70,0	97,9	4,0	58,3	0,2	0,04	3,1
min	1206,0	140,0	1412,0	605,5	13,0	690,0	2,2	0,47	18,6
max	1599,0	238,0	1623,0	765,0	33,0	834,0	2,6	0,53	22,9
n	18	9	18	18	9	18	18	18	18

Es ist sinnvoll die Betrachtung auf Tagesbasis für Tage mit und ohne Druckluftspülvorgang getrennt durchzuführen. Tabelle 5.21 fasst die Ergebnisse zusammen. Demnach beträgt der Unterschied des spezifischen Stromverbrauches lediglich 0,05 kWh/m³. Dies liegt daran, dass im Falle einer Druckluftspülung das währenddessen anfallende Wasser hydraulisch gefördert wird. Hierbei handelt es sich um eine Menge von etwa 160 m³. Würde der Spülvorgang nachts durchgeführt werden, wäre der Abwasserzufluss geringer und die 160 m³, die vormittags verteilt auf zwei Stunden zufließen, würden pneumatisch gefördert werden.

Tabelle 5.21: Auswertung BF7 Tage mit und ohne Nachblasvorgang

	$Q_{d,Pn}$ [m ³ /d]	$Q_{d,Hy}$ [m ³ /d]	Q_d [m ³ /d]	E_{Pn} [kWh/d]	E_{Hy} [kWh/d]	E [kWh/d]	P [bar]	e_{bez} [kWh/m ³]	e_{spez} [Wh/(m ³ ·m)]
Mit NB	1398,0	160,0	1538,0	643,3	16,0	797,0	2,3	0,52	21,9
Ohne NB	1566,0	---	1566,0	747,0	---	747,0	2,5	0,47	18,7

Zur Beschreibung der Druckverhältnisse während des Spülvorganges reichen die statistischen Kennwerte nicht aus. Es muss der gesamte Verlauf von Druck und Durchfluss betrachtet werden. In Abbildung 5.24 ist der Druckluftspülvorgang vom 13.9.2018 abgebildet.

Die säulenförmigen, gelben Linien beschreiben jene Zeiträume in denen der Spülvorgang aktiv war. Nach dem Absenken des Wasserspiegels im Vorschacht (blaue Linie), beginnt die Anlage mit dem Druckluftspülvorgang. Nach etwa 18 min ist der maximale Druck (braune Linie) bei 4,5 bar erreicht und nach weiteren 15 min überschritten. Seit Beginn ist ein steigender Durchfluss beim MID bei G08 zu verzeichnen (cyan Linie). Währenddessen steigt der Wasserspiegel im Vorschacht, sodass

zuerst bei 1,6 m der Nachblasvorgang unterbrochen wird und bei Erreichen von 1,8 m die erste Exzentrerschneckenpumpe aktiviert wird. Diese fördert das angefallene Abwasser in die zweite, noch leere Druckleitung.

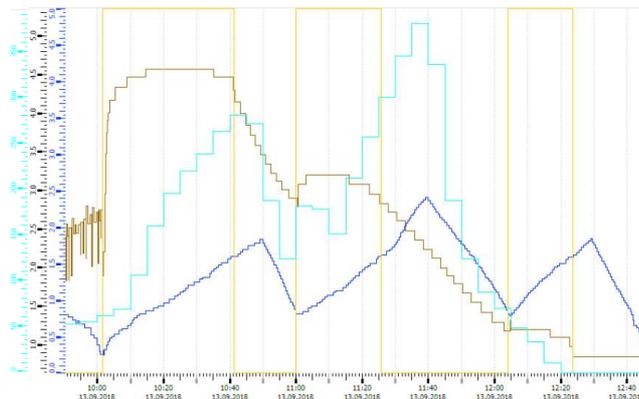


Abbildung 5.24: Verlauf des Durchflusses (G08) und des Systemdruckes (G01) während der Druckluftspülung, Ausschnitt aus SPS (Braun=Druck [bar], Cyan=Durchfluss [m^3/h], gelb= Zeitraum des Druckluftspülvorganges, Blau=mWs im Vorschacht)

Beim Erreichen von 0,85 m werden die Kompressoren wieder in Betrieb genommen, um die Druckluftspülung fortzusetzen. Bei 0,8 m ist der Ausschaltpunkt der Exzentrerschneckenpumpen erreicht. Während der Unterbrechung baut sich der Druck in der im Nachblasvorgang befindlichen Leitung wieder ab und der Durchfluss geht zurück. Mit Wiederaufnahme des Spülvorganges erhöht sich der Druck wieder. Das Niveau vom ersten Teil wird jedoch mit 3,2 bar weit unterschritten. Der Durchfluss hingegen steigt rasant an.

Nach weiteren 25 min muss bedingt durch den gestiegenen Wasserspiegel erneut unterbrochen und abgesenkt werden. Obwohl die Kompressoren den Betrieb einstellen, steigt der Durchfluss weiter rasant an und erreicht nach 12 min mit $360 \text{ m}^3/\text{h}$ das Maximum. Grund dafür ist die in Bewegung geratene Wassersäule sowie der abnehmende Druck. Durch die Druckverringerung dehnt sich die eingebrachte Luft immer weiter aus und beschleunigt das Austreten des Wassers aus der zu spülenden Leitung.

Nach 38 min kann der Druckluftspülvorgang wieder fortgesetzt werden. Weder beim Systemdruck noch beim Durchfluss kann ein erneuter Anstieg durch den Energieeintrag provoziert werden. Insgesamt 144 min nach dem Start erreicht der Durchfluss $0,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei 148 min wird er Spülvorgang erneut bedingt durch das Vorschachtniveau unterbrochen. Der Druck nimmt ein konstantes Niveau ein und verändert sich nicht mehr. Der Spülvorgang konnte erfolgreich beendet werden.

Die Druckluftspülung dauerte 78 min. Dies liegt weit unter der eingestellten Zeit von 150 min. Jedoch ist die Endzeit von 12:30 (10:00 Uhr + 150 min) bei Erreichen des Vorschachtlevels von 0,85 m bereits überschritten und die Anlage wechselt nicht mehr in den Druckluftspülmodus.

5.5 Veränderung der Druckverhältnisse durch Entlüftungsventile

Wie bereits unter Punkt 4.4.7 beschrieben, erfolgt die Betrachtung der Veränderung der Druckverhältnisse durch den Einsatz von Entlüftungsventilen im hydraulischen Betrieb basierend auf den im Zuge der Untersuchung der Betriebsfälle erhobenen Datensätzen.

Es erfolgt eine Aufteilung der Daten in „entlüftete“ und „nicht entlüftete“ Zustände. Tabelle 5.22 zeigt die eingesetzten Filterkriterien. Die folgenden Ergebnisse betreffen lediglich den Betrieb der

Exzentrerschneckenpumpen, da bei pneumatischer Förderung die Entlüftungsventile ohnehin deaktiviert sind.

Tabelle 5.22: Filterkriterien für entlüfteten und nicht entlüfteten, hydraulischen Förderbetrieb

Zustand	Q_{Hy}/Q [-]	$\Delta(Q_{Hy}/Q)$ [-]
entlüftet	$> 0,85$	$< 0,5$
nicht entlüftet	$< 0,85$	> 0

In Abbildung 5.25 wird der Druck in Abhängigkeit des Durchflusses für den entlüfteten und nicht entlüfteten Betrieb dargestellt. Der Betriebsdruck mit Lufteinschlüssen ist annähernd unabhängig vom Durchfluss. Ohne Lufteinschlüsse ist ein steigender Druck zu beobachten.

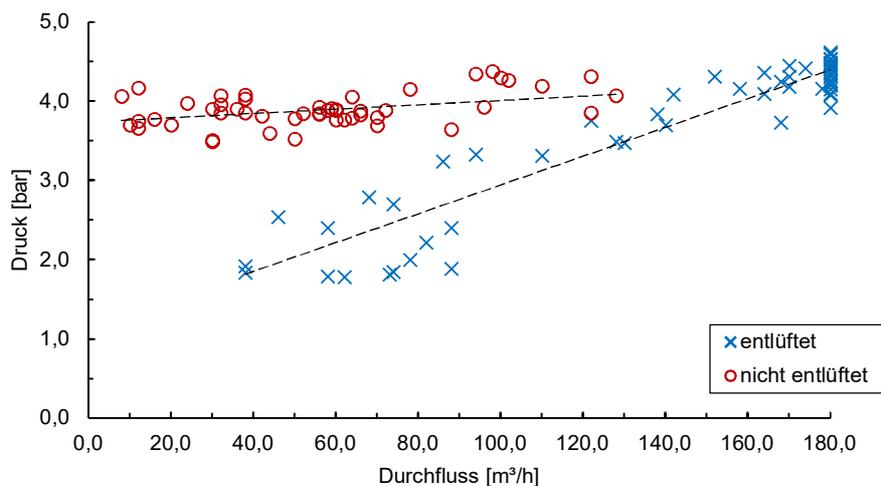


Abbildung 5.25: Druck abhängig vom Durchfluss bei Betrieb der hydraulischen Anlage

Aufgrund des erhöhten Druckes ist der Stromverbrauch bei Lufteinschlüssen erwartungsgemäß höher. Abbildung 5.26 zeigt den Zusammenhang des volumensbezogenen Stromverbrauches mit dem Durchfluss. Im Bereich einer Trockenwetterstunde ($Q_h=70 \text{ m}^3/\text{h}$) beträgt die Differenz etwa $0,05 \text{ kWh}/\text{m}^3$.

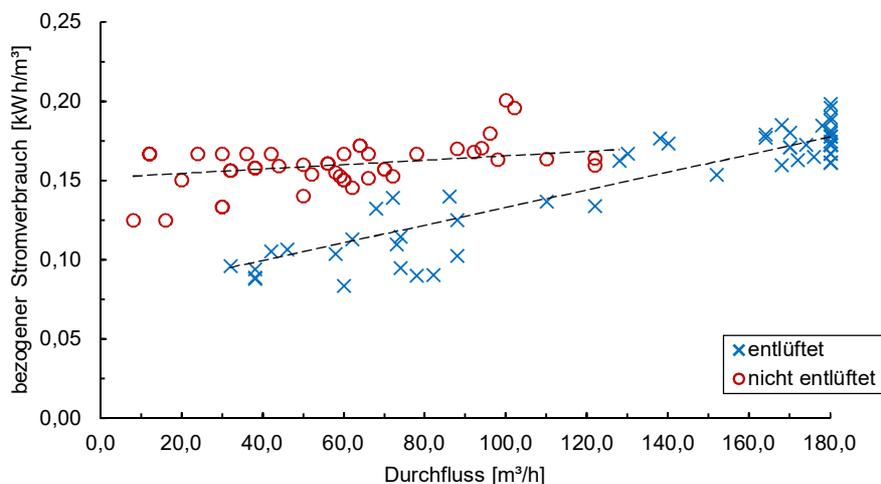


Abbildung 5.26: volumensbezogener Stromverbrauch abhängig vom Durchfluss bei Betrieb der hydraulischen Anlage

6. Interpretation

6.1 Analyse

Vorschacht

Durch die direkte Einbindung des Freispiegelkanales aus der Ortschaft Dürnröhr geht viel nutzbares Speichervolumen im Vorschacht verloren.

Werden künftig Maßnahmen zur Rückflussverhinderung in den Freispiegelkanal Dürnröhr gesetzt, kann erstens das gesamte Vorschachtvolumen ausgenutzt werden und zweitens das Volumen des Stauraumkanales miteinbezogen werden. Bei einem Füllstand von 6,165 m (=Scheitel Stauraumkanal) stünden so 232 m³ zur Verfügung. Abbildung 6.1 zeigt das potentiell nutzbare Speichervolumen.

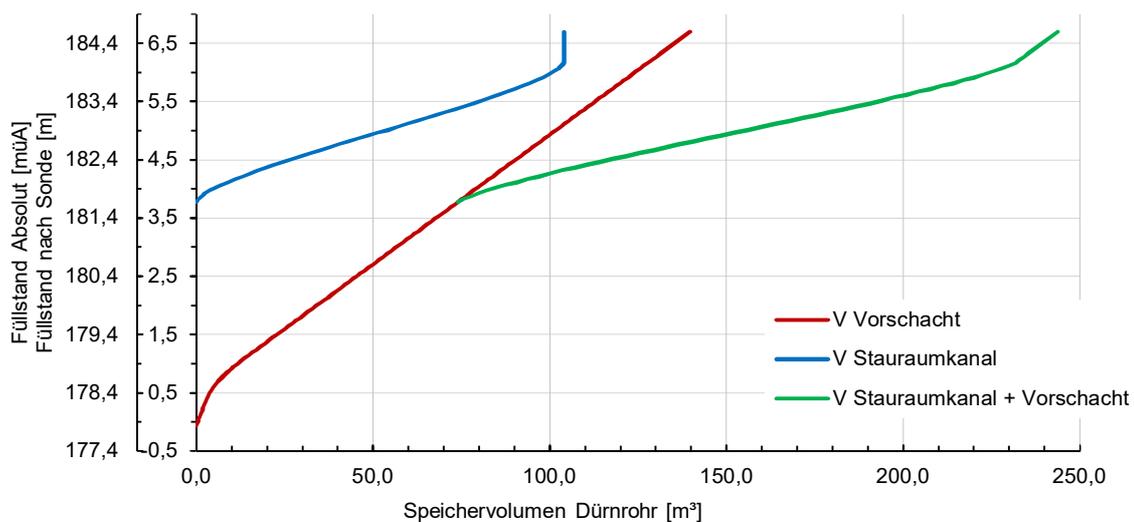


Abbildung 6.1: Nutzbares Speichervolumen des Vorschachtes und des Stauraumkanales beim Hauptpumpwerk

Dies hätte folgende Auswirkungen:

- Verringerung der Pumpzyklen, speziell während des Betriebes der hydraulischen Anlage. Dadurch werden Anlaufzeiten und somit Energie gespart.
- Vermeidung von Unterbrechungen im Druckluftspülvorgang. Bei einem zweistündigen Spülvorgang besteht ein Speicherbedarf von 100-160 m³. Dieser kann ohne Probleme durch die Miteinbindung des Stauraumkanales zur Verfügung gestellt werden.
- Durch einen höheren Anstau kann es besonders während der Schwachlast zu langen Aufenthaltszeiten und dadurch zur Sauerstoffzehrung kommen. Dies sollte besonders in den Sommermonaten beobachtet werden.

Tagesganglinie und Stromverbrauch

Die Tagesganglinie wird wesentlich durch die Druckluftspülvorgänge der vorgeschalteten Pumpwerke beeinflusst. Werden diese Zeitpunkte geändert, ändern sich die Belastungsspitzenstunden im Trockenwetterfall. Das hat Auswirkungen auf den Energiebedarf des Hauptpumpwerkes.

Der volumensbezogene Stromverbrauch $e_{bez}=1,09 \text{ kWh/m}^3$ ist um $0,34 \text{ kWh/m}^3$ höher, als die Annahmen in der Kalkulation der Betriebskosten in der Planungsphase. Beim Beobachtungszeitraum handelt es sich allerdings um die ersten beiden Monate nach Inbetriebnahme der Anlage, also um die Einfahrphase.

6.2 Druckabhängige Entleerungszeit

Die Anlagensteuerung sieht die Option der druckabhängigen Entleerungszeit beim Hauptpumpwerk Dürnrohr bereits vor. Durch die Aktivierung konnte die maximale Förderleistung der pneumatischen Anlage um rund 70% erhöht werden. Die Erhöhung der maximalen Förderleistung von einem Kompressor auf $106 \text{ m}^3/\text{h}$ lässt anhand der Tagesganglinie den Schluss zu, dass annähernd der gesamte Trockenwetterfall pneumatisch gefördert werden kann – dies wurde unter Betriebsfall 5 getestet.

Der Stromverbrauch konnte bei einem Systemdruck von 2,0 bar um 40 % gesenkt werden. An einem Trockenwettertag, bei vorrangig pneumatischem Betrieb ($Q_d=1500 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{pn}:Q_{Hy} = 10:1$, $e_{bez, pn}=0,45 \text{ kWh}$, $P=2 \text{ bar}$) entspricht dies 410 kWh . Wird am selben Tag noch eine Druckluftspülung durchgeführt ($E_{NB}=280 \text{ kWh}$) entspricht die Einsparung 45 % des Tagesstromverbrauches.

6.3 Betriebsfälle

Die Bewertung der getesteten Betriebsfälle soll hier gesammelt erfolgen. Tabelle 6.1 bietet einen Überblick zum Vergleich der ermittelten Kennzahlen.

Tabelle 6.1: Zusammenfassung der Betriebsfälle

Kennzahl	Analyse	BF1	BF2	BF3	BF4a	BF4b	BF5	BF6	BF7	
Stunden	P_{Pn} [bar]	---	2,2	3,1	---	---	---	2,2	2,2	2,4
	$e_{bez,Pn}$ [kWh/m ³]	0,82	0,49	0,68	---	---	---	0,43	0,41	0,47
	$e_{spez,Pn}$ [Wh/(m ³ ·m)]	---	22,8	26,2	---	---	---	20,4	19,0	19,4
	P_{Hy} [bar]	---	0,8	2,8	4,4	---	---	1,8	2,2	2,1
	$e_{bez,Hy}$ [kWh/m ³]	0,16	0,14	0,13	0,17	---	---	0,11	0,13	0,10
	$e_{spez,Hy}$ [Wh/(m ³ ·m)]	---	18,1	4,7	3,9	---	---	4,6	4,4	5,1
	P_{NB} [bar]	---	3,8	3,9	---	4,0	4,0	4,0	4,0	2,8
	E_{NB} [kWh/h]	---	140,9	141,1	---	136,3	142,3	133,7	134,4	28,6
	$Q_{d,Pn} : Q_{d,Hy}$ [--]	32:1	69:1	1:14	---	---	---	14:1	11:1	9:1 1:0
Tage	P [bar]	---	2,2	3,2	---	---	---	2,1	2,2	2,5
	e_{bez} [kWh/m ³]	1,09	0,67	0,37	---	---	---	0,56	0,56	0,50
	e_{spez} [Wh/(m ³ ·m)]	---	30,6	11,5	---	---	---	26,8	25,2	19,3

Mittlerer Druck bei pneumatischer Förderung – P_{Pn}

Der durchschnittliche Druck während der pneumatischen Förderung zeigt über die Betriebsfälle 1, 5 und 6 einen konstanten Verlauf. Der erhöhte Druck bei BF2 ist darauf zurückzuführen, dass hier mit der Minimalvariante gefördert wurde. Die Steuerung der Exzentrerschneckenpumpen sieht eine Förderung von 180 m³/h unabhängig von der Größe des Abwasserzuflusses vor. Der größere, plötzlich auftretende Durchfluss, als jener der Pneumatik erzeugt dann einen höheren Druck.

Zur pneumatischen Förderung und deren Luft einschüsse wurde folgendes beobachtet: Findet kein Abwassereintrag durch das Pumpwerk statt, sinkt der Druck durch das Bestreben des Wassers einen Gleichgewichtszustand (Druckausgleich) zu erreichen. Dadurch dehnen sich die Luftblasen aus und bewirken eine weitere Förderung, trotz deaktivierter Förderaggregate.

Der erhöhte Druck bei BF7 ist auf den veränderten Takt der Druckluftspülung zurückzuführen. Nach einem Druckluftspülvorgang wird eine leere Leitung befüllt, es dauert daher, bis der durchschnittliche Förderdruck erreicht ist. Geschieht dies nun nicht mehr täglich, bleibt der Systemdruck länger auf einem konstanten Niveau und der durchschnittliche Druck steigt an.

Volumensbezogener und spezifischer Stromverbrauch der pneumat. Anlage – $e_{\text{bez,Pn}}$ und $e_{\text{spez,Pn}}$

Der volumensbezogene Stromverbrauch der pneumatischen Anlage ist abhängig von der Anzahl der Kompressoren, die zur Förderung herangezogen wurden.

Im BF1 wurden alle drei Kompressoren verwendet. Der dritte Kompressor war allerdings selten in Betrieb. Der tatsächliche volumensbezogene Strombedarf wird vermutlich etwas höher liegen. Im BF5 und 6 wurde nur ein Kompressor verwendet, wobei die Reduktion von $0,02 \text{ kWh/m}^3$ auf die Aktivierung der Vorschachtregelung zurückzuführen ist. Diese fällt überraschend gering aus. Der Grund dafür liegt in der geringen Abwasserfördermenge zur Schwachlastzeit. Dadurch ist die Gewichtung des Einsparungspotentiales eher gering.

Um das Ziel, das gesamte Abwasser pneumatisch zu fördern, zu erreichen, wurde im BF7 ein zweiter Kompressor zur Förderung herangezogen. Daraus resultiert ein erhöhter spezifischer Stromverbrauch.

Die Reduktion von $0,8 \text{ kWh/m}^3$ im Zeitraum der Analyse auf rund 45 kWh/m^3 wurde durch die Aktivierung der druckabhängigen Entleerungszeit erreicht.

Betrachtet man den spezifischen Stromverbrauch, so bietet sich ein ähnliches Bild. Aufgrund des höheren Systemdruckes ist der spezifische Stromverbrauch bei BF7 niedriger als jener bei BF5 und BF6. Um zu überprüfen, ob das Ziel, den Stromverbrauch durch die Aktivierung der Vorschachtregelung zu senken, erreicht wurde, wird in Abbildung 6.2 die Tagesganglinie von $e_{\text{spez,Pn}}$ der Lastfälle BF5 und BF6 überlagert. Wie hier zu sehen ist, wurde der spezifische Stromverbrauch in den Morgenstunden (Schwachlast) deutlich gesenkt.

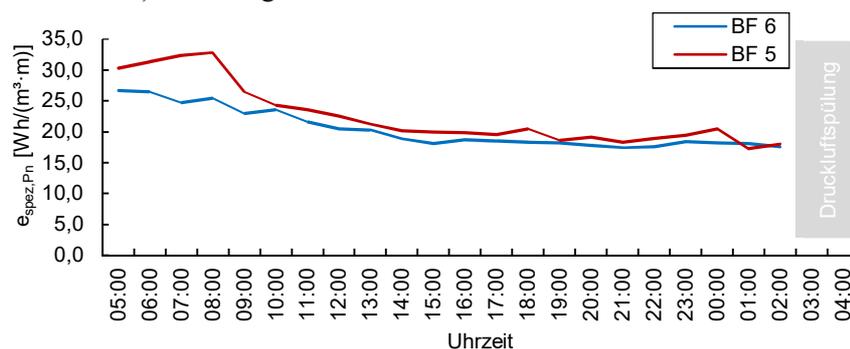


Abbildung 6.2: Vergleich der Tagesganglinien von $e_{\text{spez,Pn}}$ in BF5 und 6

Mittlerer Druck bei hydraulischer Förderung P_{Hy}

Bei den Betriebsfällen BF1, 5, 6 und 7 wurde vorrangig pneumatisch gefördert. Die Exzentrerschneckenpumpen kamen nur zur Abarbeitung der Zulaufspitzen zum Einsatz. Während der Druckluftspülung förderten die Exzentrerschneckenpumpen in eine leere Leitung. Daher ist das Druckniveau sehr niedrig.

Wie bereits beschrieben, wird der höhere Druck bei BF2 dadurch begründet, dass die Exzentrerschneckenpumpe unabhängig vom Abwasserzufluss immer mit der eingestellten Sollmenge von $180 \text{ m}^3/\text{h}$ ab Erreichen des Einschaltpunktes fördern. Die Laufzeit reicht jedoch nicht aus, um einen stationären Zustand zu erreichen, da vorher schon der Ausschaltpunkt erreicht ist.

BF3 bezieht sich auf die Auswertung von Regenereignissen, während derer beide Exzentrerschneckenpumpen mit je $180 \text{ m}^3/\text{h}$ fördern, wodurch sich ein durchschnittlicher Druck von $4,4 \text{ bar}$ nach einer Laufzeit von etwa 20 min ab Erreichen des Einschaltpunktes der zweiten Pumpe einstellt.

Volumensbezogener und spezifischer Stromverbrauch der hydraul. Anlage – $e_{\text{bez,Hy}}$ und $e_{\text{spez,Hy}}$

In Abhängigkeit des Abwasserzuflusses, bzw. der aktuellen Förderleistung des Hauptpumpwerkes, ergibt sich ein volumensbezogener Energieverbrauch von 0,10 bis 0,17 kWh/m³. Die Schwankungen ergeben sich durch den unterschiedlichen Druck.

Der spezifische Stromverbrauch kann im Regenwetterfall mit 3,9 Wh/(m³·m) angegeben werden. Durch Vergleich mit dem idealen, spezifischen Stromverbrauch ($\eta_{\text{ges}}=1,0$) kann der Gesamtwirkungsgrad der Pumpstation abgeschätzt werden.

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{e_{\text{spez,ideal}}}{e_{\text{spez}}} = \frac{2,73}{3,9} = 0,70 = 70\% \quad (6.1)$$

$$e_{\text{spez,ideal}} = \rho \cdot g \cdot h_{\text{man}} \cdot Q = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{3600} = 2,73 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{m} \quad (6.2)$$

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Pumpe}} \quad (6.3)$$

e_{spez}	[Wh/(m ³ ·m)]	Spezifischer Stromverbrauch des Abwasserpumpwerkes
$e_{\text{spez,ideal}}$	[Wh/(m ³ ·m)]	Spezifischer Stromverbrauch zur Förderung von Q=1 m ³ /h und h=1 m bei einem idealen Wirkungsgrad von 1,0
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
h_{man}	[m]	Manometrische Förderhöhe
Q	[m ³ /s]	Durchfluss
η_{ges}	[-]	Gesamtwirkungsgrad der Abwasserpumpe
η_{Motor}	[-]	Wirkungsgrad des Motors (Kraftübertragung auf die Welle)
η_{Pumpe}	[-]	Wirkungsgrad der Pumpe (Kraftübertragung auf das Fluid)
ρ	[kg/m ³]	Dichte des Wassers, idealisiert mit 1000 kg/m ³

Das DWA-A 216 [31] gibt im Anhang A.7 Zielwerte für die mittleren Gesamtwirkungsgrade von Pumpen an. Die Angaben für Exzentrerschneckenpumpen betragen 50-65%, allerdings für Schlämme. Kreiselpumpen liefern für Rohabwasser einen mittleren Gesamtwirkungsgrad von 45-60 %, das entspricht einem e_{spez} von 4,5-6,0 Wh/(m³·m). Der Wirkungsgrad der eingesetzten Pumpen kann daher als überdurchschnittlich eingestuft werden.

Das Herunterbrechen auf einen Wirkungsgrad empfiehlt sich nicht für die pneumatische Anlage, da der höhere Stromverbrauch, der die Vorteile (aerobe Förderung, usw.) ermöglicht, zwar in die Berechnung miteingeht, jedoch die Bewertung der Vorteile verloren geht. Fehlinterpretationen wären die Folge.

Mittlerer Druck und Energieverbrauch während des Nachblasprozesses – P_{NB} und E_{NB}

Über die Betriebsfälle 1 bis 6 wurden die, den Druckluftspülvorgang betreffenden, Einstellungen konstant gehalten. Hier waren 3 Kompressoren für ca. 2 Stunden aktiv. Der durchschnittliche Betriebsdruck ist dabei, unabhängig von der Betriebsweise, mit 4 bar anzugeben.

Der Stromverbrauch je Stunde Spülvorgang beträgt bei den oben genannten Betriebsfällen konstant 140 kWh/h. Der niedrige Wert bei BF7 wird durch folgende Faktoren verursacht:

- Gestaffelter Kompressoreinsatz
- Mehrmaliges Unterbrechen, diese Zeiten fehlen auf die angegebene Gesamtzeit durch
 - Verschieben der Druckluftspülvorgänge der vorgeschalteten Pumpwerke
 - Verschiebung des Zeitpunktes auf Zeiten größeren Abwasserzuflusses

Anhand der Ganglinie des BF7 (Abbildung 5.24) ist zu sehen, dass ein abruptes Stoppen des Durchflusses im Zuge des Nachblasvorganges nicht möglich ist. Ein Schließen eines Schiebers würde in dieser Situation einen heftigen Druckstoß verursachen und die Sicherheit der Anlage gefährden. Von einem Einsatz eines Absperrorgans am Ende ist daher abzusehen. Beim betrachteten System befindet sich das Absperrorgan daher erst nach dem Entspannungsbauwerk.

Fördermengenverhältnis $Q_{d,Pn} : Q_{d,Hv}$

Das Verhältnis der pneumatisch zu hydraulisch geförderten, täglichen Abwassermengen spiegelt die Kurzbeschreibungen der Betriebsfälle wieder. Bei BF1 wurde beabsichtigt, vorrangig pneumatisch, durch den Einsatz aller 3 Kompressoren zu fördern. Die Reduktion der Anzahl der laufenden Kompressoren bewirkt eine Verschiebung auf 11:1. Wird eine Förderung nach der Minimalvariante ausgeführt, stellt sich das Verhältnis auf 1:14 ein.

Die weitere Verringerung des Verhältnisses bei BF7 steht dazu im Widerspruch, da hier zwei Kompressoren zur pneumatischen Förderung herangezogen wurden. Allerdings verursacht die Änderung der Druckluftspülvorgänge währenddessen einen erhöhten Abwasseranfall, da dieser anstatt nachts, nun vormittags erfolgt. Dieser muss dann hydraulisch gefördert werden.

Mittlerer Druck – P

Im Zuge der Betriebsfälle 1, 5, 6 und 7 wurde vorrangig pneumatisch gefördert. Der höhere, durchschnittliche Druck bei BF7 ist durch die Verlängerung der Abstände der Druckluftspülvorgänge auf mindestens 2 Tage zurückzuführen.

Wie bereits bei der Kennzahl P_{Pn} beschrieben, ist der höhere Systemdruck bei BF2 durch den Betrieb der Minimalvariante begründet.

Volumensbezogener und spezifischer Stromverbrauch – e_{bez} und e_{spez}

Der Kalkulation für die Betriebskosten liegt ein volumensbezogener Stromverbrauch von 0,65 kWh/m³ in der Planung zugrunde. Dieser Ansatz beinhaltet Regenereignisse, die sich mindernd auf den volumensbezogenen Stromverbrauch auswirken. Bei den Werten der Analyse sowie der BF1, 2, 5, 6 und 7 wurden zur Ermittlung nur Trockenwettertage herangezogen. Bis auf den BF 7 wurde im Zuge sämtlicher Betriebsfälle eine tägliche Druckluftspülung durchgeführt.

Bereits nach der Aktivierung der druckabhängigen Entleerungszeit konnten bei Betrieb mit der Maximalvariante die Ansätze der Planungsphase unterboten werden. Bei der Minimalvariante (BF2) konnte ein volumensbezogener Stromverbrauch von 0,37 kWh/m³ erreicht werden. Durch die Reduktion auf den Betrieb nur eines Kompressors wird ein e_{bez} von 0,56 kWh/m³ erreicht. Eigentlich wäre eine sichtbare Reduktion von BF5 auf BF6 zu erwarten. Diese bleibt durch folgende Gründe aus:

- Erhöhung des Förderdruckes
- Geringer Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf, da die Einstellung der Vorschachtregelung nur während der Schwachlast, also auf nur einen geringen Teil der Tagesgesamtfördermenge, eine Auswirkung hat.

Aufgrund der Reduktion der Anzahl Druckluftspülvorgänge würde man ein größeres Einsparungspotential, als 0,06 kWh/m³ von BF6 auf BF7 vermuten. Als Grund dafür ist der Einsatz eines zweiten Kompressors zu nennen. Das hat einen geringeren Wirkungsgrad der Pneumatik zur Folge.

Betrachtet man den spezifischen Stromverbrauch, so bietet sich ein ähnliches Bild. Hier macht sich allerdings die Aktivierung der Vorschachtregelung mit einer geringfügigen Reduktion bemerkbar. In Abbildung 6.3 sind die spezifischen Stromverbräuche sämtlicher zur Untersuchung verwendeter Tage abgebildet. Weiters gibt das Diagramm einen Einblick auf das Verhalten bei Regenwetter.

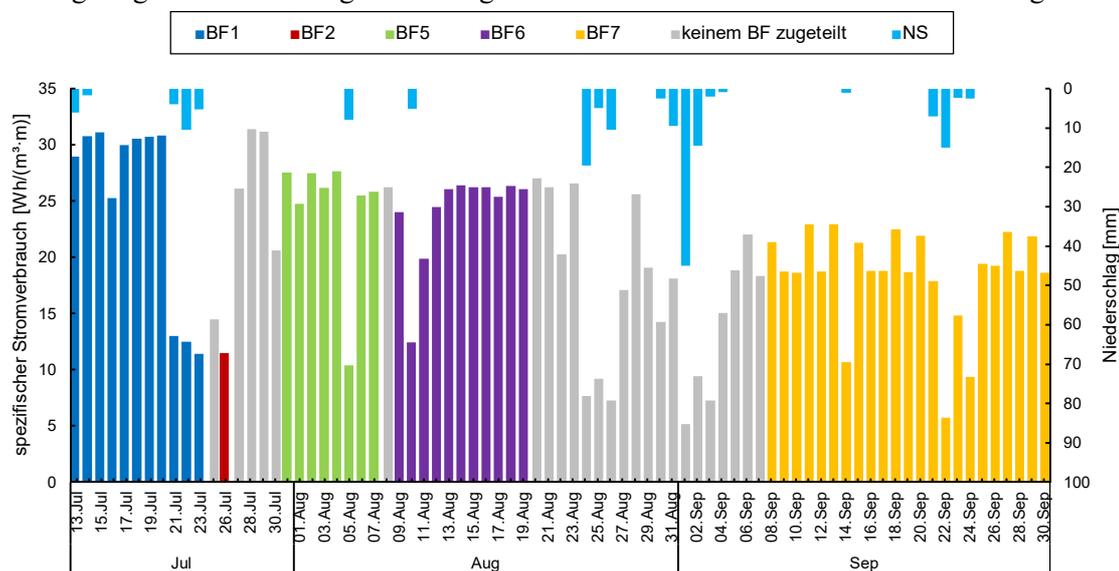


Abbildung 6.3: spezifischer Stromverbrauch auf Tagesbasis der einzelnen Tage der untersuchten Betriebsfälle

6.4 Ablauf und Reihenfolge der Nachblasprozesse

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurden, wie unter Punkt 4.4.6.2 beschrieben, besondere Anforderungen an den Betrieb und im Speziellen an den Druckluftspülvorgang gestellt. Es wurde versucht, diese im BF7 umzusetzen.

Wie bereits unter Punkt 4.4.6.2 beschrieben, wurden sämtliche Druckluftspülvorgänge der vorgeschalteten Pumpwerke über die ganze Nacht verteilt angesetzt. Um sicherzustellen, dass bereits morgens wieder Abwasser zufließt, wird die Druckleitung vom PW Zwentendorf (Z12) bereits um 0:30 gespült.

Beim Druckluftspülvorgang des PW Zwentendorf wurde ebenfalls auf die gestaffelte Methode gewechselt. Dadurch gestaltet sich die ankommende Abwasserspitze „flacher“. Weiters wurde zur Erhöhung der Förderleistung der pneumatischen Anlage ein zweiter Kompressor eingesetzt. Diese beiden Maßnahmen führen dazu, dass die gesamte Trockenwettermenge mit der pneumatischen Anlage gefördert wird und so das Wasser intensiv belüftet wird.

Der Spitzenabfluss wird bei der Kläranlage gegen 11:35 Uhr registriert. 5 min Abweichung vom Soll (11:30 Uhr) können toleriert werden. Die kurzfristig aufgetretene Spitze beträgt ca. 350 m³/h. Betrachtet man die unter Punkt 5.3.4 gezeigten Kennlinien, so ist festzustellen, dass eine Reduktion von 100 m³/h in der Spitze erreicht wurde. Der Einschaltzeitpunkt der ersten Exzentrerschneckenpumpe wurde mit Abstand über den Schaltzeitpunkt „Nachblasvorgang unterbrechen“ gesetzt, um der Wassersäule Zeit zu geben, sich zu entspannen. Jedoch muss hier wieder auf den niedrigen Zulauf des Freispiegelkanals Dürnrohr Rücksicht genommen werden.

Aufgrund der Tatsache, dass der Abwassertransport während der Druckluftspülung nicht abrupt unterbrochen werden kann, kann jedoch mit der aktuellen Einstellung nicht garantiert werden, dass es nicht erneut zu einer Überlagerung mit der Fördermenge der Exzentrerschneckenpumpen kommt.

6.5 Veränderung der Druckverhältnisse durch die Entlüftungsventile

Die Ergebnisse zeigen einen niedrigeren Druck bei gleicher Förderleistung, wenn keine Lufteinschlüsse vorhanden sind. Dies spiegelt sich auch im Energiebedarf wieder. Bei einem Durchfluss von 80 m³/h ist der volumensbezogene Stromverbrauch um etwa 0,05 kWh/m³ niedriger, als bei Förderung mit Lufteinschlüssen. Die Senkung der Druckhöhe beträgt 1,25 bar.

Dieses Ergebnis kann jedoch nicht zum Vergleich mit hydraulisch betriebenen Abwasserpumpensystemen verwendet werden. Aufgrund der gewählten Filterkriterien beinhalten die ausgewählten Datensätze des „nicht entlüfteten“ Zustandes mittlere bis große Mengen an Lufteintrag durch den vorausgehenden Einsatz der pneumatischen Anlage. Diese Luftmenge geht mit großer Wahrscheinlichkeit über jene, die mit hydraulischen Pumpen eingebracht wird, hinaus. Die Druckverluste sind im gezeigten Fall also höher.

6.6 Abwasserzusammensetzung - H₂S_g-Messung

Wie unter Punkt 5.1.3 beschrieben, wurden während des Betrachtungszeitraumes im Vorschacht sehr hohe H₂S_g-Konzentrationen gemessen. Daher kann die Kennzahl nicht zur Quantifizierung der gesetzten Optimierungsmaßnahmen herangezogen werden. Mit der gewählten Messmethode kann so keine quantitative Aussage über die Bildung in der Hauptdruckleitung getätigt werden.

Jedoch ist aufgrund des Kurvenverlaufes folgende Aussage möglich: Betrachtet man die Messwerte am Ende der Druckleitung, so zeigt sich eine wesentlich verringerte Belastung. Auch sind die Spitzen am Ende der Druckleitung immer einer erhöhten Belastung im Vorschacht des Hauptpumpwerkes zuordenbar. Aufgrund dessen und an der Form der Belastungskurve bei der Kläranlage (abrupter Anstieg und Abfall) kann jedoch darauf geschlossen werden, dass die H₂S-Emission ihren Ursprung nicht in der Hauptdruckleitung findet. Es kommt also zu keiner biologischen Bildung von Schwefelwasserstoff.

Auch ist aufgrund der vorrangig pneumatischen Förderung ($Q_{d,Ph} : Q_{d,Hy} = 10:1$) bei allen länger getesteten Betriebsfällen, sowie einer regelmäßigen Druckluftspülung, keine biogene H₂S-Bildung in der Sielhaut zu erwarten.

Durch die Abwasserzusammensetzung wurden einige Störfälle, im Speziellen bei der Kläranlage, verursacht. Die betreffenden Inhaltsstoffe konnten jedoch nicht ermittelt werden. Diese Störfälle lassen die Auswirkungen einer möglichen H₂S-Bildung in den Hintergrund rücken.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Stand des Wissens

Im Zuge des Grundlagenkapitels wurden verschiedene Pumpentypen, deren Aufstellungsarten und Anwendungsgebiete erläutert. Speziell im Hinblick auf die kombinierten Systeme ist zu erkennen, dass es eine große Anzahl an unterschiedlichen Förderaggregaten gibt. Aufgrund der großen Auswahl kann für jede Problemstellung durch sorgfältige Diskussion eine wirtschaftliche Lösung gefunden werden. Aussagekräftige Angaben den Energieverbrauch betreffend konnten der Literatur jedoch nicht entnommen werden.

Im Zuge der Anlagenbesichtigung des Abwasserpumpensystems Gerstetten konnten wertvolle Erfahrungen betreffend pneumatisch-hydraulisch kombinierter Fördersysteme gesammelt werden. Diese wurden in die Erläuterungen unter Punkt 3.2.2.2 eingearbeitet.

Lufteinschlüsse sammeln sich in Druckleitungen immer in den absteigenden Leitungsabschnitten nach Hochpunkten. Die Luftblase nimmt hier den Systemdruck an, komprimiert sich und verursacht eine Querschnittsverminderung. Das Druckliniengefälle folgt in diesem Bereich der Rohrsohle. Um diese Strecken zu überwinden, muss ein höherer Förderdruck und somit ein höherer Energieverbrauch aufgewendet werden. Dieser Theorie folgend sind Druckleitungen in einem definierten Gefälle, im Längsschnitt einem Sägezahnmuster folgend, zu verlegen. So werden gezielt Hochpunkte geschaffen, an denen mithilfe von Entlüftungsventilen die angestaute Luft abgelassen werden kann.

Zum Verständnis der Schwefelwasserstoffbildung und Vermeidung in Abwasserdruckleitungen, sowie die Beschreibung adäquater Messmethoden, sind in der Literatur solide Unterlagen zu finden. Hier sind speziell Saračević [21] und Weismann & Walter [24] hervorzuheben.

Anlagenbeschreibung und Analyse der Vorschachtbewirtschaftung

Bei der betrachteten Abwasserpumpenanlage handelt es sich um ein komplexes System aus mehreren einzelnen Pumpwerken mit intelligenter Steuerung. Um dieses System und dessen Verhalten zu verstehen, ist eine detaillierte Kenntnis der Anlagenteile unumgänglich.

Weiters wurde festgestellt, dass durch die tiefe Einbindung des Freispiegelkanals aus Dürnrohr in den Vorschacht viel nutzbares Volumen verloren geht. Daher sollte eine Rückflussverhinderung angedacht werden.

Die Rückflussverhinderung kann durch das Schließen des Zulaufschiebers von Dürnrohr bei Erreichen der Zulaufsohle erfolgen. Das von Dürnrohr anfallende Abwasser könnte dann gepumpt werden. Der dadurch entstehende, zusätzliche Stromverbrauch kann mit 3 kWh/h in der Spitzenstunde (Regenwetter) abgeschätzt werden. Mit denselben Annahmen kann bei einem $Q_{d,TW}=150 \text{ m}^3/\text{h}$ ein Stromverbrauch von rund 8 kWh/d angenommen werden. (Der Berechnung liegen folgende Werte zugrunde: $h_{\text{man}}=9 \text{ m}$; $h_{\text{geo}}=4,2 \text{ m}$; $l_g=15 \text{ m}$; $k_b=1,5 \text{ mm}$; DN 80; $e_{\text{spez}}=5,5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$)

Der erhöhte Strombedarf wird durch das durch diese Maßnahme zu erwartende Einsparungspotential, besonders in den Wintermonaten, mehr als kompensiert.

Folgende zusätzliche Installationen und Schaltpunkte sind dafür erforderlich:

- Schaltpunkt im Vorschacht für die Freigabe des Pumpbetriebes im Drosselschacht des RÜB Dürnrohr
- Füllstandsmessung im Drosselschacht des RÜB Dürnrohr
- Ein- und Ausschaltpunkt der dort situierten Pumpe definieren
- Zusätzliche Abwasserpumpen sind nicht erforderlich, da bestehende Pumpen vorhanden und dort installiert sind. Sie dienten in der Vergangenheit zur Förderung des Abwassers aus Dürnrohr zur ehem. Kläranlage Zwentendorf.

Druckabhängige Entleerungszeit der Arbeitsbehälter

Durch die Aktivierung und Einstellung dieser Funktion, bei der die Laufzeit, die zur Entleerung eines Förderkessels erforderlich ist, vom aktuellen Systemdruck abhängig ist, konnte die Förderleistung um 70 % gegenüber dem Ausgangswert gesteigert werden. Die Pneumatik fördert nun mit einem Kompressor 106 m³/h.

Gleichzeitig wird der Stromverbrauch reduziert. An einem Trockenwettertag, bei vorrangig pneumatischem Betrieb ($Q_d=1500$ m³/d, $Q_{Pn}:Q_{Hy} = 10:1$, $e_{bez,Pn}=0,45$ kWh, $P=2$ bar) entspricht dies 410 kWh. Wird am selben Tag noch eine Druckluftspülung durchgeführt ($E_{NB}=280$ kWh) entspricht die Einsparung 45 % des Tagesstromverbrauches.

Untersuchung verschiedener Betriebsfälle

Abbildung 7.1 zeigt eine Übersicht über den volumensbezogenen und spezifischen Stromverbrauch, sowie über die Aufteilung der Fördermengen auf die Förderaggregate in Abhängigkeit der getesteten Betriebsfälle.

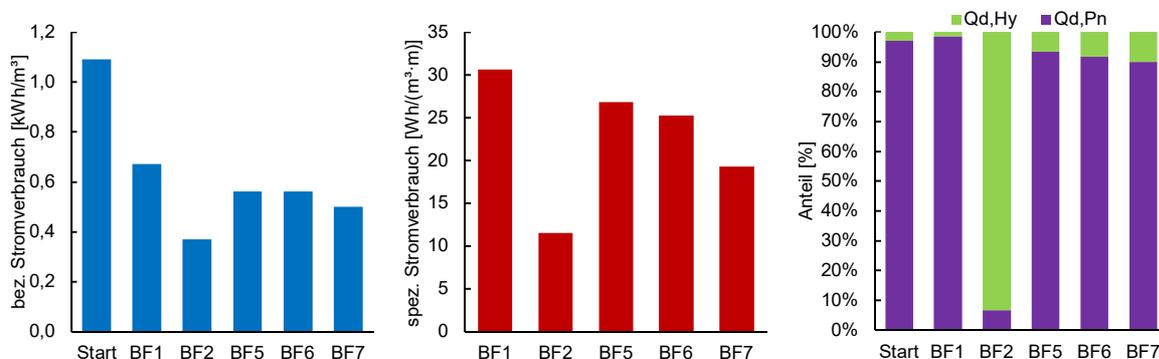


Abbildung 7.1: Links: volumensbezogener Stromverbrauch auf Tagesbasis; Mitte: spezifischer Stromverbrauch auf Tagesbasis; Anteilige Förderung von Pneumatik und Hydraulik in Abhängigkeit des Gesamtvolumens auf Tagesbasis

Der durchschnittliche Systemdruck bei vorrangig hydraulischer Förderung beträgt 2,1-2,5 bar. Im Regenwetterfall ($Q=360$ m³/h) stellt sich nach längerem Pumpbetrieb ein Gleichgewichtszustand bei 4,4 bar ein. Während intermittierender Förderung, also im Trockenwetter konnte beobachtet werden, dass der durchschnittliche Systemdruck höher ist, je mehr hydraulisch gefördert wird. Dies scheint im ersten Moment den oben angeführten Erläuterungen zu widersprechen. Dies liegt allerdings an der tatsächlichen Förderleistung. Die pneumatische Anlage passt sich hier an den aktuellen Zufluss an. Die Exzentrerschneckenpumpen fördern unabhängig von der Zuflussmenge immer 180 m³/h.

Durch die im Zuge der pneumatischen Förderung zusätzlich eingebrachte Luft wird das Abwasser auch zwischen den Hüben gefördert, da der Druck in der Leitung sinkt und sich dadurch die Luftblasen ausdehnen.

Die Betriebsfälle 1, 2, 5, 6 und 7 wurden der Reihe nach getestet. Wie in Abbildung 7.1 links zu sehen ist, konnte der volumensbezogene Stromverbrauch stetig gesenkt werden. Erfolgt ein täglicher Druckluftspülvorgang kann mit $e_{bez}=0,35$ bis $0,55$ kWh/m³, in Abhängigkeit der Aufteilung auf Pneumatik und Hydraulik, gerechnet werden. Für die Hydraulik kann mit $0,11$ kWh/m³ bei Trockenwetter und mit $0,13$ kWh/m³ bei Regenwetter gerechnet werden. Die Pneumatik liegt beim Einsatz von einem Kompressor zur Förderung bei $0,40$ kWh/m³.

Erfolgt die Betrachtung auf Tagesbasis, konnte durch die Aktivierung der Vorschachtregelung bei der betrachteten Anlage keine merkbare Senkung des volumensbezogenen Stromverbrauches erzielt werden. Dies liegt daran, dass sich ein Aufstau nur dann auswirkt, wenn die Befüllung eines Kessels sehr langsam und über einen größeren Zeitraum erfolgt. Beim Hauptpumpwerk sind nur die Morgenstunden (=Schwachlast) betroffen. Auf den Gesamtstromverbrauch hat diese Verbesserung daher nur geringe Auswirkungen.

Der spezifische Stromverbrauch der pneumatischen Anlage kann mit 20 Wh/(m³*m) angegeben werden. Jener der Exzentrerschneckenpumpen liegt zwischen $3,9$ und $5,0$ Wh/(m³*m).

Für den Betriebsfall 7 wurden besondere Anforderungen gestellt. Diese konnten zur Gänze erfüllt werden. Möglich ist das durch die große Flexibilität, die ein kombiniertes Fördersystem bietet.

Eine Aussage, die die biogene Bildung von Schwefelwasserstoff der einzelnen Betriebsfälle beurteilt, konnte mit der gewählten Messmethode nicht durchgeführt werden. Grund dafür sind H₂S-Belastungen bereits im Zulaufpumpwerk, die über das zu erwartende, kommunale Potential hinausgehen. Aufgrund des abrupten Auftretens der Belastungen kann jedoch gesagt werden, dass die gemessene Schwefelwasserstoffbelastung am Ende der Druckleitung nicht in dem betrachteten Leitungsabschnitt entsteht. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass erstens beinahe täglich eine Druckluftspülung durchgeführt wurde und zweitens vorrangig pneumatisch gefördert wurde (siehe Abbildung 7.1 rechts).

Soll zukünftig ein höherer Prozentsatz hydraulisch gefördert werden, muss der maximale Durchfluss der Pneumatik begrenzt werden. Geschieht dies durch das Absenken des Einschaltpunktes der ersten Exzentrerschneckenpumpe, wird sich diese bei einem kurzfristig höheren Zufluss als 110 m³/h aktivieren. Erfolgt jedoch ein gleichmäßiger Zufluss, wird der Einschaltpunkt nicht erreicht. Das Umschalten auf hydraulische Förderung könnte unterhalb des ersten Einschaltpunktes von der Zuflussmenge abhängig gemacht werden. Beispielsweise könnte das Umschalten erfolgen, wenn der durchschnittliche Zufluss innerhalb der vergangenen 15 min 20 l/s überschritten hat. Diese könnte durch die Steiggeschwindigkeit des Vorschachtlevels innerhalb der vergangenen 15 min, wie unter Punkt 5.1.1 erläutert, abgeschätzt werden. Wird umgeschaltet, kann die Drehzahl der Pumpe gedrosselt werden, um nicht sofort den Ausschaltpunkt zu erreichen.

Die Entwicklung der Betriebsfälle dahingehend sollte allerdings erst dann erfolgen, wenn das ankommende Abwasser wieder einer kommunalen Zusammensetzung entspricht, bzw. keine großen Mengen an H₂S mittransportiert. Die Wahl der Betriebsfälle wird jahreszeitabhängig festgelegt werden können. Im Winter wird die Minimalvariante ausreichen. In den heißen Sommermonaten wird wieder vorrangig pneumatisch gefördert werden müssen.

Druckluftspülung

Im Zuge der dokumentierten Optimierungsphase konnte die erarbeitete Standardmethode zur Umsetzung der Verbesserung des Ablaufes und der Reihenfolge nicht umgesetzt werden. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass mithilfe der komplexen Anlagensteuerung vom Standardfall abweichende Anforderungen erfüllt werden können.

Als Eingangsgrößen für die SPS stehen für die Druckluftspülung die Methode und die Dauer, bzw. der Zeitraum zur Verfügung. Ist der Zeitraum überschritten, wird die Druckluftspülung beendet, unabhängig davon, ob er als erfolgreich zu beurteilen ist, oder nicht. Um eine Sicherheit zu bekommen, wird die Spülzeit also länger festgelegt als beobachtet (überdimensioniert). Möchte man hier Energie sparen, könnte ein gesteuerter Nachblasvorgang mithilfe der Durchflussmessung auf der Kläranlage (G08) und dem Druckverlauf der Druckaufnehmer angedacht werden.

Weiters wurde gezeigt, dass der während der Druckluftspülung stattfindende Abwassertransport nicht abrupt gestoppt werden kann. Dadurch kann nicht sichergestellt werden, dass sich die Abflussspitze nicht mit dem Zufluss aus der zweiten Druckleitung überlagert. Es sind daher weitere Maßnahmen zu treffen:

- Wird ein Abfluss des Abwassers aus Dürnrrohr wie oben beschrieben mit einer Pumpe realisiert, kann höher angestaut werden und der Schaltpunkt „Nachblasvorgang unterbrechen“ kann höher gesetzt werden. Ebenso der Einschaltpunkt der ersten Exzentrerschneckenpumpe. Dadurch erreicht man eine Vergrößerung des Zeitfensters zwischen Unterbrechung und Einschalten der Pumpe. In diesem kann sich nun die Wassersäule entspannen und die Durchflussspitze wird überschritten und geht zurück.
- Zusätzlich muss eine Drosselung der Pumpleistung der Exzentrerschnecken durch Drehzahlregelung erfolgen. Kommt es währenddessen zu einem Regenereignis und es wird der Einschaltpunkt der zweiten Pumpe erreicht, muss die Drehzahl der ersten Pumpe wieder erhöht werden und das Regenwetterereignis wird wie gewohnt abgefertigt.

Einfluss der Entlüftungsventile

Im Zuge der vorliegenden Arbeit konnte die ausgearbeitete Methode zur Beurteilung der Wirkungsweise der Entlüftungsventile im Hinblick auf die Verringerung des Energiebedarfes nicht mehr angewandt werden.

Aufgrund der bereits gesammelten Daten konnte jedoch festgestellt werden, dass auch abseits des Volllastfalles eine Reduktion des Stromverbrauches durch den Einsatz von Entlüftungsventilen erfolgt.

Es ist geplant den Versuch nach der ausgearbeiteten Methode gegen Ende des Jahres 2018 gemeinsam mit dem Anlagenbauer durchzuführen.

Kennzahlen Planungsansätze vs. Ist-Stand

Tabelle 7.1 zeigt einen Vergleich der Ansätze der Kennzahlen, wie sie in der Planung verwendet wurden, mit den derzeitigen Kosten auf Basis eines Trockenwettertages ($Q_d=1500 \text{ m}^3/\text{d}$). Die Strompreise beinhalten bereits alle Energiekosten, Netzkosten, gesetzlichen Abgaben und die Mehrwertsteuer. Im Vergleich zur Planung ergibt sich somit eine Reduktion der Energiekosten von 50 %.

Tabelle 7.1: Energiekostenvergleich Planung – Ist-Stand

Kennzahl	Einheit	Ist-Stand BF 7	Planung	
			Var. kombiniert	Var. hydraulisch
ebez	[kWh/m ³]	0,5	0,75	0,50
Strompreis	[€/kWh]	0,15	0,20	0,20
Preis chem. Dosierung	[€/m ³]	---	---	0,05
Spezifische Kosten	[€/m ³]	0,075	0,15	0,15

Kann H₂S-Bildung vermieden werden?

Aufgrund der erläuterten Zulaufsituation zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit ist diese Frage nicht vollends zu beantworten.

Es kann lediglich festgestellt werden, dass die gemessenen H₂S-Konzentrationen am Ende der Druckleitung nicht im betrachteten Leitungsabschnitt entstanden. Allerdings sind die in der bisherigen Optimierungsphase getesteten Betriebsfälle als konservativ zu bezeichnen.

Diese Frage ist jedoch zentral im Hinblick auf eine Weiterentwicklung der Betriebsfälle. Daher ist die Messung und Beobachtung unbedingt fortzuführen, bis sich künftig die Zulaufsituation wieder normalisiert hat. Dann kann mit der Weiterentwicklung begonnen werden. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass dabei auf die Jahreszeit Bedacht genommen werden muss.

8. Zusammenfassung

Mit April 2018 nahm das neu errichtete Abwasserpumpsystem der Marktgemeinden Atzenbrugg und Zwentendorf den Betrieb auf. Herzstück der Anlage ist das kombiniert pneumatisch-hydraulisch betriebene Hauptpumpwerk in Dürnröhr. Dieses fördert bis zu 360 m³/h über eine 13 km lange Druckleitung zur Verbandskläranlage des Abwasserverbandes „An der Traisen“.

Österreichweit existiert noch keine Anlage mit vergleichbarer Technik. In Deutschland arbeitet das Abwasserpumpsystem der Gemeinde Gerstetten auf ähnliche Weise, eine weitere vergleichbare Anlage existiert auch hier nicht. In der Literatur sucht man vergebens nach Referenzprojekten, oder Erfahrungsberichten.

Nach einem kurzen Probetrieb startete eine Optimierungsphase. Die vorliegende Arbeit beinhaltet die wissenschaftliche Dokumentation der in dieser Phase, im Frühjahr und Sommer 2018, gesetzten Schritte. Die Auswertung durch die Berechnung von Kennzahlen sowie die Ergebnisse sollen die Grundlage für weitere Verbesserungsmöglichkeiten bieten. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse dazu dienen, pneumatisch- hydraulisch betriebene Kombinationsanlagen künftig wirtschaftlicher bemessen zu können.

Die Schlussfolgerungen dieser Arbeit können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Die Aktivierung der druckabhängigen Entleerungszeit konnte den Tagesstromverbrauch eines Trockenwettertages bei vorrangig hydraulischer Förderung im Vergleich zu Betriebsweise mit konstanter Entleerungszeit um 45 % senken. Weiters wurde der maximale Durchfluss um 70% gesteigert. Wird die Pneumatik nun mit nur einem Kompressor betrieben, können 106 m³/h gefördert werden.
- Der volumensbezogene Energiebedarf für die pneumatische Förderung kann für den Trockenwetterfall mit 0,40 kWh/m³ und für die Exzentrerschneckenpumpen mit 0,13 kWh/m³ angegeben werden. Für die Förderung eines Trockenwettertages kann bei mindestens zweitägiger Druckluftspülung mit 0,50 kWh/m³ gerechnet werden. Betrachtet man die Entwicklung des volumensbezogenen Stromverbrauchs über den Untersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit (Abbildung 8.1), so zeigt sich, dass durch das systematische Vorgehen mehr als eine Halbierung im Vergleich zum Startwert erreicht wurde. Die Verbesserung der Betriebsfälle ist als ein iterativer, immer fortschreitender Prozess zu sehen.

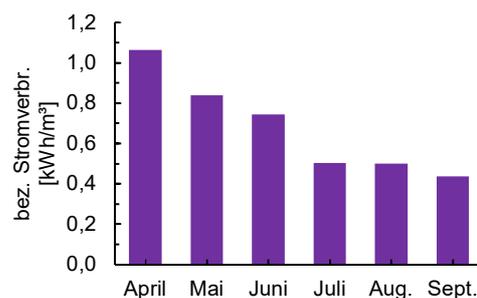


Abbildung 8.1: Entwicklung des volumensbezogenen Stromverbrauchs

- Durch die Aktivierung der Vorschachtregelung konnten der volumensbezogene und der spezifische Stromverbrauch zur Zeit der Schwachlast gesenkt werden. Beim betrachteten Beispiel sind hiervon nur die Morgenstunden betroffen. Damit hat diese Einstellung beim Hauptpumpwerk Dürnrohr nur einen sehr geringen Einfluss auf den Gesamtstromverbrauch.
- Es konnte gezeigt werden, dass die Druckluftspülung bei Durchführung nach der kontinuierlichen Methode, 2 Stunden mit 3 Verdichtern, erfolgreich ist und auf der sicheren Seite liegt. Jedoch tritt hier kurzfristig eine, den Durchfluss betreffende, Konsensüberschreitung auf. Dies kann durch den Einsatz der gestaffelten Methode vermieden werden. Hier laufen derzeit Versuche zur Optimierung. Der Energieverbrauch der Druckluftspülung bietet aktuell das größte Energieeinsparungspotential. Eine Erhöhung des Intervalls ist allerdings unter genauer Beobachtung der Sielhautbildung und möglicher Ablagerungen durchzuführen. Es empfiehlt sich, auf den Erfahrungsschatz des Herstellers zurückzugreifen.
- Eine Quantifizierung der gesetzten Schritte auf die biogene Schwefelwasserstoffbildung konnte aufgrund der zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit vorherrschenden Zulaufsituation nicht erfolgen. Es kann jedoch aufgrund der Messungen am Ende der Druckleitung davon ausgegangen werden, dass es zu keiner Neubildung in der betrachteten Leitung kommt.
- Durch eine Vergleichsrechnung konnte bewiesen werden, dass die Kostenansätze der Planung die Energiekosten betreffend, deutlich unterboten werden können.
- Aufgrund der bereits gesammelten Daten konnte festgestellt werden, dass auch abseits des Volllastfalles eine Reduktion des Stromverbrauches durch den Einsatz von Entlüftungsventilen erfolgt. Es ist geplant, den Versuch gemeinsam mit dem Anlagenbauer gemäß der ausgearbeiteten Methode gegen Ende des Jahres 2018 durchzuführen.
- Werden die Abwässer aus dem Freispiegelkanal Dürnrohr im Falle eines Überstaus des Zulaufes künftig gepumpt, kann das nutzbare Vorschachtvolumen von derzeit 32 m³ auf 140 m³ gesteigert werden. Wird der Stauraumkanal ebenfalls in die Vorschachtbewirtschaftung miteinbezogen, könnten bis zu 230 m³ genutzt werden. Durch das erhöhte Speichervermögen könnte der Druckluftspülvorgang ohne Unterbrechungen und somit effizienter gestaltet werden, da die Gesamtzeit verkürzt und somit Energie gespart werden kann. Weiters lassen sich die Pumpzyklen bei vorrangig hydraulischem Betrieb, und damit auch der Energiebedarf zum Anfahren der Pumpen reduzieren.
- Soll künftig die Erhöhung des Anteiles der Fördermenge der Exzentrerschneckenpumpen erwägt werden, muss die Förderkapazität der pneumatischen Anlage gedrosselt werden. Hierzu empfiehlt sich die Miteinbeziehung der Abschätzung der aktuellen Zulaufmenge.
- Ein Betrieb mit höherem Anteil an hydraulischer Förderung sowie einem erhöhten Intervall der Druckluftspülung sollte erst optimiert werden, wenn die Abwasserzusammensetzung wieder jener einer Kommune gleicht.

Literaturverzeichnis

- [1] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*, Wien, 1997.
- [2] ATV-DVWK, *Arbeitsblatt A 134: Planung und Bau von Abwasserpumpwerken*, Hennef, Deutschland: GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, 2000.
- [3] D. Weismann und T. Gutzeit, *Kommunale Abwasserpumpwerke*, 2. Auflage Hrsg., Essen, Deutschland: Vulkan-Verlag GmbH, 2006.
- [4] WILO, *Abwassertechnik für die Wasserwirtschaft - Grundlagen der Hydraulik und Elektrotechnik*, 2008.
- [5] T. Ertl, H. Plihal und W. Schnitter, *Endbericht: Optimierte Strategien der Instandhaltung von dezentralen Pumpstationen*, Wien: Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien, 2011.
- [6] D. Surek, *Pumpen für Abwasser- und Kläranlagen*, Merseburg, Deutschland: Springer Vieweg, 2014.
- [7] KSB, „KSB Pumpenlexikon“, 07 07 2018. [Online]. Available: <https://www.ksb.com/kreiselpumpenlexikon/kugeldurchgang/187366/>.
- [8] Hidrostal Pumpenbau GmbH, „www.hidrostal-borna.de“, 13 07 2018. [Online]. Available: <http://www.hidrostal-borna.de/index.php?/hydraulik/schraubenzentrifugalrad.html>.
- [9] Xylem, „https://www.xylem.com“, 13 07 2018. [Online]. Available: <https://www.xylem.com/en-ca/products-services/pumps-packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/n-technology-pumps/n-3153>.
- [10] FELUWA Pumpen GmbH, „www.feluwa.de“, 4 09. 2018. [Online]. Available: <https://www.feluwa.de/kolbenmembranpumpen/>.
- [11] W. Frey, *Maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Vorlesungsunterlagen*, 2018.
- [12] NETZSCH Pumpen GmbH, „https://pumpen.netzsch.com“, 09 Sept. 2018. [Online]. Available: <https://pumpen.netzsch.com/de/produkte-zubehoer/nemo-exzentrerschneckenpumpe/nemo-sy/>.
- [13] Ingenieurbüro Blumberg, „https://blumberg-engineers.com“, 09 Sept. 2018. [Online]. Available: <https://blumberg-engineers.com/de/14/vakuumkanalisation>.
- [14] hoelschertechnik-gorator GmbH & Co.KG., „Gulliver - pneumatische Abwasserförderung, Prospekt“, Gescher, Deutschland, 2014.

- [15] DWA-Regelwerk, *DWA-A 116-3: Besondere Entwässerungsverfahren Teil 3: Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen*, Hefen, Deutschland: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2013.
- [16] Walter + Partner GbR, *Bivalente Pumpentechnologie in der kommunalen Abwasserförderung bewährt sich*, Adelsheim, Deutschland, 2014.
- [17] K. Schmalz, *Berechnung der Rohrkenlinie für Abwasserdruckleitungen unter Berücksichtigung von Lufteinschlüssen mit dem Tabellenkalkulationsprogramm (c)Excel 97*, Rosenheim, Deutschland: Wasserwirtschaftsamt Rosenheim, 1999.
- [18] D. Aigner, *Lufttransport in (wasserführenden) Rohrleitungen*, Dresden, Deutschland, 2003.
- [19] M. Barjenburch und S. Rettig, *Verfahren zur Verminderung von Geruch und Korrosion*, Bd. Wiener Mitteilungen Band 237, N. Matsché und E. Saračević, Hrsg., Wien: Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien, 2015.
- [20] F.-B. Frech, *Grundlagen, Messtechnik, Strategie*, Bd. Wiener Mitteilungen Band 237, N. Matsché und E. Saračević, Hrsg., Wien: Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, 2015.
- [21] E. Saračević, *Zur Kenntnis der Schwefelwasserstoffbildung und -vermeidung in Abwasserdruckleitungen*, Bd. Wiener Mitteilungen Band 211, H. Kroiss, Hrsg., Wien: Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien, 2008.
- [22] Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien, *Korrosions- und Geruchsprobleme in Abwasserdruckleitungen (KUGPIA)*, Lebensministerium, Hrsg., Wien, 2005.
- [23] GKV, *Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und fortpflanzungsgefährdende (reproduktionsstoxische) Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2011 – GKV 2011)*, Wien, 2011.
- [24] D. Weismann und L. Walter, *Sulfid-Praxishandbuch der Abwassertechnik*, Essen, Deutschland: Vulkan-Verlag GmbH, 2007.
- [25] D. Kohr, *Bekämpfung von Geruch durch die Dosierung von Chemikalien*, Bd. Wiener Mitteilungen Band 237, N. Matsché und E. Saračević, Hrsg., Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien, 2015.
- [26] Henninger & Partner GmbH, *Technischer Bericht zur Wasserrechtlichen Bewilligung ABA Zwentendorf - Anschluss Abwasserverband "An der Traisen"*, Krems, Sept. 2015.
- [27] hoelschertechnik-gorator GmbH & Co.KG., *Pflichtenheft Elektro- und Maschinentechnische Ausrüstung Pumpsystem Zwentendorf und Atzenbrugg - Anschluss an den AV an der Traisen*, Aug. 2017.
- [28] PORR Bau GmbH, *Bestandslageplan ABA Zwentendorf - Anschluss AWW "An der Traisen"*, 2018.
- [29] Renner GmbH, *Renner Schraubenkompressoren RSF-PRO 55 - Technisches Datenblatt*, 2018.

- [30] NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH, *NEMO(R) Pumpe NMI48SY02D09Z, Angebot 10746111 REV.2*, Waldkraiburg, Deutschland, 2016.
- [31] DWA-Regelwerk, *DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen*, Hennef, Deutschland, 2015.
- [32] T. Ertl, *Entwicklung einer Methode für den technisch-wirtschaftlichen Vergleich von Kanalisationsunternehmen als Grundlage zur Optimierung ihrer Betriebsführung*, Wien: Institut für Siedlungswasserbau, Industriegewässerschutz und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur Wien, 2007.
- [33] AAEV, *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV) StF: BGBl. Nr. 186/1996*, Wien, 1996.
- [34] C. Wassermann, „www.schwefelwasserstoff.de“, 31 August 2018. [Online].
- [35] ÖSTAP Engineering & Consulting GmbH, *Technischer Bericht - Version 2 zum Bauvorhaben Anschluss an den Abwasserverband an der Traisen - Hydrologische Langzeitsimulation*, Wien, Sept. 2015.
- [36] W. Bischof und W. Hosang, *Abwassertechnik II. Auflage*, Leipzig: B.G. Teubner Stuttgart, 1998.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 3.1: Übersicht Pumpsysteme nach [3]
- Abbildung 3.2: Pumpwerksbauarten mit Pumpen in Nassaufstellung [2]
- Abbildung 3.3: Pumpwerksbauarten mit Pumpen in Trockenaufstellung [2]
- Abbildung 3.4: Pumpwerk mit trocken aufgestellten Strömungsmaschinen mit indirekter Förderung [4]
- Abbildung 3.5: geschlossenes Einschaufelrad [7]
- Abbildung 3.6: geschlossenes Dreischaufelrad [7]
- Abbildung 3.7: Schraubenzentrifugalrad [8]
- Abbildung 3.8: Freistromrad [7]
- Abbildung 3.9: N-Laufrad [9]
- Abbildung 3.10: Axialrad [7]
- Abbildung 3.11: Betriebskennlinien von Pumpen (Kreiselpumpe, Hubkolbenpumpe, rotierende Verdrängerpumpe) [6, p. 173]
- Abbildung 3.12: Links Membrankolbenpumpe, rechts Schlauchmembrankolbenpumpe [10]
- Abbildung 3.13: Prinzipskizze Schneckenpumpe [6, p. 224]
- Abbildung 3.14: Prinzipskizze Drehkolbenpumpe [11]
- Abbildung 3.15: Prinzipskizze Exzentrerschneckenpumpe [12]
- Abbildung 3.16: Rotor- und Statorgeometrien am Beispiel der Pumpenserie Nemo der Fa. Netzsch [11]
- Abbildung 3.17: Beispiel für einen Hausanschlusschacht bei Vakuumentwässerung [13]
- Abbildung 3.18: Skizze einer pneumatischen Überdruckanlage, System GULLIVER der Fa. Hoelscher [14]
- Abbildung 3.19: Beschreibung des Förderzyklus einer pneumatischen Überdruckanlage
- Abbildung 3.20: Berücksichtigung von Lufteinschlüssen in der Druckleitung bei der hydraulischen Berechnung [15]
- Abbildung 3.21: Oxidationszustände in einer Druckleitung und die dadurch ausgelösten Stoffumsetzungen [22], adaptiert
- Abbildung 3.22: Sulfid – Anteile in Abhängigkeit vom pH-Wert [20]
- Abbildung 3.23: Einflussmöglichkeiten und Kosten im Entstehungsprozess der Geruchsbelästigung [20], adaptiert
- Abbildung 4.1: Übersicht Entsorgungsgebiet und Anlage
- Abbildung 4.2: Systemübersichtsskizze aus [27]
- Abbildung 4.3: Hydraulischer Längenschnitt erstellt mithilfe des Programmes von Schmalz [17]
- Abbildung 4.4: Schnitt durch den Vorschacht des Hauptpumpwerkes

- Abbildung 4.5: Luftvolumenstrom unter atm. Druck in Abhängigkeit des Systemdruckes gemäß Produktdatenblatt RSF-PRO 55 [29]
- Abbildung 4.6: Förderkennlinie Exzentrerschneckenpumpen ($\rho=1 \text{ kg/dm}^3$, $TS=1-5 \%$, $pH=6-8$, $\eta=100-200 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, Korngröße 1-5 mm) [30]
- Abbildung 4.7: 2. Untergeschoß des HPW Dürnrohr (G01) mit zwei Exzentrerschneckenpumpen und einem von zwei Arbeitskesseln der pneumatischen Anlage
- Abbildung 4.8: 2. Grundriss Vereinigungsschacht Kaindorf (G02)
- Abbildung 4.9: Definition der Systemgrenze
- Abbildung 4.10: Vgl. Mittelwerte des berechneten Stromverbrauches für Pneumatik mit Messung des Stromanbieters, 1. April bis 30. Juni 2018, ausgenommen Stunden mit Pumpbetrieb
- Abbildung 4.11: Vgl. Mittelwerte des berechneten Stromverbrauches mit Messung des Stromanbieters als Tagesgang für August 2018
- Abbildung 4.12: Vgl. Gemittelte Druckverhältnisse je Stunde für Pneumatik (linkes Diagramm) und Hydraulik (rechtes Diagramm) mit den Messdaten der zum Zeitpunkt aktiven Druckleitung
- Abbildung 4.13: Schematischer Verlauf Durchfluss sowie des Rohrleitungsdruckes während der Druckluftspülung
- Abbildung 4.14: Zeitplan für die Druckluftspülvorgänge des APS
- Abbildung 5.1: links: füllstandabhängiges Vorschachtvolumen; rechts: Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Durchflusses.
- Abbildung 5.2: Ganglinien der Trockenwettertage während des Untersuchungszeitraumes April und Mai 2018
- Abbildung 5.3: Tagesganglinie Trockenwettertage im Untersuchungszeitraum April und Mai 2018
- Abbildung 5.4: Tagesganglinie in %, kumuliert, Trockenwettertage im Untersuchungszeitraum April und Mai 2018
- Abbildung 5.5: Maximale Förderleistung bei konstanter Laufzeit und variabler Laufzeit in Abhängigkeit der Anzahl der Kompressoren
- Abbildung 5.6: Gegenüberstellung der Fördermengen und des Stromverbrauches für konstante und druckabhängige Entleerungszeiten beim Betrieb der pneumatischen Anlage
- Abbildung 5.7: Gegenüberstellung des Systemdruckes und des volumensbezogenen Stromverbrauches für konstante und druckabhängige Laufzeiten zur Entleerung des Arbeitsbehälters der pneum. Anlage. Rechts: hoher volumensbezogener Stromverbrauch in den Morgenstunden (Beschriftung im Diagramm sind Tagesstunden)
- Abbildung 5.8: wiederholtes Nachlaufen der Kompressoren nach dem Entleeren eines einzelnen Förderkessels und dadurch erhöhter Stromverbrauch bei wenig Zufluss, Ausschnitt aus SPS (Rot=Stromaufnahme [A], Blau= mWs im Vorschacht [m])
- Abbildung 5.9: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF1
- Abbildung 5.10: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF1
- Abbildung 5.11: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF2
- Abbildung 5.12: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF2

- Abbildung 5.13: Verlauf des Durchflusses (G08) und des Systemdruckes (G01) während der Druckluftspülung, Ausschnitt aus SPS (Schwarz=Druck [bar], Cyan=Durchfluss [m³/h], Gelb= Zeitraum des Druckluftspülvorganges)
- Abbildung 5.14: Verlauf des Durchflusses (G08) und des Systemdruckes (G01) während der Druckluftspülung, links BF 4a, rechts BF 4b, Ausschnitt aus SPS (Schwarz bzw. Braun=Druck [bar], Cyan=Durchfluss [m³/h], gelb= Zeitraum des Druckluftspülvorganges)
- Abbildung 5.15: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF5
- Abbildung 5.16: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF5
- Abbildung 5.17: Tagesgang von e_{spez,P_n} im BF5
- Abbildung 5.18: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF6
- Abbildung 5.19: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF6
- Abbildung 5.20: Tagesgang von e_{spez,P_n} im BF6
- Abbildung 5.21: Verlauf des Wasserspiegels im Vorschacht vor und nach der Aktivierung der Vorschachtregelung (Blau=mWs, Rot=Fördermenge B1, Grün=Fördermenge B2)
- Abbildung 5.22: Ganglinien während des Untersuchungszeitraumes im BF7
- Abbildung 5.23: Prozentanteile an Gesamtfördermenge und Gesamtstromverbrauch HPW im BF7
- Abbildung 5.24: Verlauf des Durchflusses (G08) und des Systemdruckes (G01) während der Druckluftspülung, Ausschnitt aus SPS (Braun=Druck [bar], Cyan=Durchfluss [m³/h], gelb= Zeitraum des Druckluftspülvorganges, Blau=mWs im Vorschacht)
- Abbildung 5.25: Druck abhängig vom Durchfluss bei Betrieb der hydraulischen Anlage
- Abbildung 5.26: volumensbezogener Stromverbrauch abhängig vom Durchfluss bei Betrieb der hydraulischen Anlage
- Abbildung 6.1: Nutzbares Speichervolumen des Vorschachtes und des Stauraumkanales beim Hauptpumpwerk
- Abbildung 6.2: Vergleich der Tagesganglinien von e_{spez,P_n} in BF5 und 6
- Abbildung 6.3: spezifischer Stromverbrauch auf Tagesbasis der einzelnen Tage der untersuchten Betriebsfälle
- Abbildung 7.1: Links: volumensbezogener Stromverbrauch auf Tagesbasis; Mitte: spezifischer Stromverbrauch auf Tagesbasis; Anteilige Förderung von Pneumatik und Hydraulik in Abhängigkeit des Gesamtvolumens auf Tagesbasis
- Abbildung 8.1: Entwicklung des volumensbezogenen Stromverbrauchs

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 3.1: Laufräder, die in Strömungsmaschinen für kommunales Abwasser zum Einsatz kommen und deren Haupteinsatzgebiete
- Tabelle 3.2: Verdrängermaschinen [5]
- Tabelle 3.3: Überblick möglicher Auswirkungen von Schwefelwasserstoff auf den Menschen [21]
- Tabelle 4.1: Katastralgemeinden und Einwohner
- Tabelle 4.2: Abwassermengen nach [26]
- Tabelle 4.3: Leitungsabschnitte
- Tabelle 4.4: Anlagenteile innerhalb der Systemgrenze und deren gemessenen Datenpunkttypen
- Tabelle 4.5: Datenpunkttypen der Anlagenteile innerhalb d. Systemgrenze und deren Schwellwerte
- Tabelle 4.6: Archive und deren Speicherzeiten
- Tabelle 4.7: Vergleich Stromverbrauch gemessen – berechnet für Kompressoren
- Tabelle 4.8: Vergleich Stromverbrauch gemessen durch den Energieanbieter – berechnet
- Tabelle 4.9: H₂S_g-Messung
- Tabelle 4.10: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 1 (detaillierte Angaben in Anhang B)
- Tabelle 4.11: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 2 (detaillierte Angaben in Anhang C)
- Tabelle 4.12: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 5
- Tabelle 4.13: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 6
- Tabelle 4.14: Möglichkeiten der Druckluftspülung
- Tabelle 4.15: relevante Einstellungen SPS Betriebsfall 7
- Tabelle 5.1: Median von Q_d, E, e_{bez} an Trockenwettertagen im Untersuchungszeitraum April und Mai 2018
- Tabelle 5.2: volumensbezogener Stromverbrauch abh. vom Fördersystem
- Tabelle 5.3: Auswertung BF1 Q, E und P getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.4: Auswertung BF1 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.5: Auswertung BF1 auf Tagesbasis
- Tabelle 5.6: Auswertung BF2 Q, E und P getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.7: Auswertung BF2 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.8: Auswertung BF2 auf Tagesbasis
- Tabelle 5.9: Auswertung BF3 auf Stundenbasis
- Tabelle 5.10: Auswertung BF 4a
- Tabelle 5.11: Auswertung BF 4b
- Tabelle 5.12: Auswertung BF5 Q, E und P getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.13: Auswertung BF5 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.14: Auswertung BF5 auf Tagesbasis
- Tabelle 5.15: Auswertung BF6 Q, E und P getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.16: Auswertung BF6 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem
- Tabelle 5.17: Auswertung BF6 auf Tagesbasis
- Tabelle 5.18: Auswertung BF7 Q, E und P getrennt nach Fördersystem

Tabelle 5.19: Auswertung BF7 e_{bez} und e_{spez} getrennt nach Fördersystem

Tabelle 5.20: Auswertung BF7 auf Tagesbasis

Tabelle 5.21: Auswertung BF7 Tage mit und ohne Nachblasvorgang

Tabelle 5.22: Filterkriterien für entlüfteten und nicht entlüfteten, hydraulischen Förderbetrieb

Tabelle 6.1: Zusammenfassung der Betriebsfälle

Tabelle 7.1: Energiekostenvergleich Planung – Ist-Stand

Anhang A R-Codes

- R-Code Druckabhängige Entleerungszeit
- R-Code Betriebsfälle vor 1.8.2018
- R-Code Betriebsfälle nach 1.8.2018
- R-Code H₂S-Belastung


```

1 #####
2 #      Druckabhängige Laufzeit      #
3 #####
4
5 #-----Import Rohdaten-----
6 #vorher löschen von Zeile 2 und 3
7 #ersetze zwei od mehr Leerzeichen durch nichts
8 Rohdaten <- read.table("E:/Documents/TU Wien/DA/APS
Zwentendorf - Atzenbrugg/Daten/Druckabhängige
Entleerungszeiten/Daten Variable Leerzeit.csv",
9         sep=";", header=TRUE, fill = TRUE,
         na.strings = c(" ", " ", " ", " ", " ", " ", "
"))
10 Rohdaten2 <- read.table("E:/Documents/TU Wien/DA/APS
Zwentendorf - Atzenbrugg/Daten/Druckabhängige
Entleerungszeiten/Daten Variable Leerzeit_Teil 2.csv",
11         sep=";", header=TRUE, fill = TRUE,
         na.strings = c(" ", " ", " ", " ", " ", " ", "
"))
12
13 library(data.table)
14 library(zoo)
15 library(dplyr)
16 options(digits.secs=6)      # changing defaults: milli!
17 Sys.time()
18
19 setDT(Rohdaten)
20 setDT(Rohdaten2)
21 names(Rohdaten)[1]<-"DPE"
22 names(Rohdaten2)[1]<-"DPE"
23 #-----Maschineneigenschaften-----
24
25 Maschinen<-data.table(c(400,0.88),c(400,0.87),c(400,0.81))
26 names(Maschinen)[1]<-"Schraubenkompressor"
27 names(Maschinen)[2]<-"Exzentrerschneckenpumpe"
28 names(Maschinen)[3]<-"Mazerator"
29
30 #-----Berechnung Stromverbrauch-----
31 #Kompressor V1
32 Rohdaten$G01.V1.kW<-Rohdaten$G01_V1.Status.Strom*Maschinen[1,
Schraubenkompressor]*Maschinen[2,Schraubenkompressor]*sqrt(3
)/1000
33
34 G01.V1.kW<- zoo(Rohdaten$G01.V1.kW,
35         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
36 G01.V1.kW<-na.exclude(G01.V1.kW)
37 zeitdif.V1<-difftime(c(index(G01.V1.kW),max(index(G01.V1.kW
))),
38         c(min(index(G01.V1.kW),index(G01.V1.kW)),
units="hours", tz="GMT"))
39 zeitdif.V1<-zeitdif.V1[2:length(zeitdif.V1)]
40 G01.V1.kWh<-G01.V1.kW * as.numeric(zeitdif.V1)
41 G01.V1.kWh.minute<-aggregate(G01.V1.kWh, by=format(as.POSIXlt
(time(G01.V1.kWh)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
42 G01.V1.kWh.hour<-aggregate(G01.V1.kWh, by=format(as.POSIXlt(
time(G01.V1.kWh)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)

```

```

43
44 #Kompressor V2
45 Rohdaten$G01.V2.kW<-Rohdaten$G01_V2.Status.Strom*Maschinen[1,
Schraubenkompressor]*Maschinen[2,Schraubenkompressor]*sqrt(3
)/1000
46
47 G01.V2.kW<- zoo(Rohdaten$G01.V2.kW,
48               as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
49 G01.V2.kW<-na.exclude(G01.V2.kW)
50 zeitdif.V2<-difftime(c(index(G01.V2.kW),max(index(G01.V2.kW
51               c(min(index(G01.V2.kW),index(G01.V2.kW
)), units="hours", tz="GMT"))
52 zeitdif.V2<-zeitdif.V2[2:length(zeitdif.V2)]
53 G01.V2.kWh<-G01.V2.kW * as.numeric(zeitdif.V2)
54 G01.V2.kWh.minute<-aggregate(G01.V2.kWh, by=format(as.POSIXlt
(time(G01.V2.kWh)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
55 G01.V2.kWh.hour<-aggregate(G01.V2.kWh, by=format(as.POSIXlt(
time(G01.V2.kWh)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
56
57 #Kompressor V3
58 Rohdaten$G01.V3.kW<-Rohdaten$G01_V3.Status.Strom*Maschinen[1,
Schraubenkompressor]*Maschinen[2,Schraubenkompressor]*sqrt(3
)/1000
59
60 G01.V3.kW<- zoo(Rohdaten$G01.V3.kW,
61               as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
62 G01.V3.kW<-na.exclude(G01.V3.kW)
63 zeitdif.V3<-difftime(c(index(G01.V3.kW),max(index(G01.V3.kW
64               c(min(index(G01.V3.kW),index(G01.V3.kW
)), units="hours", tz="GMT"))
65 zeitdif.V3<-zeitdif.V3[2:length(zeitdif.V3)]
66 G01.V3.kWh<-G01.V3.kW * as.numeric(zeitdif.V3)
67 G01.V3.kWh.minute<-aggregate(G01.V3.kWh, by=format(as.POSIXlt
(time(G01.V3.kWh)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
68 G01.V3.kWh.hour<-aggregate(G01.V3.kWh, by=format(as.POSIXlt(
time(G01.V3.kWh)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
69
70 #Summe Kompressoren
71 G01.V.kWh.hour<- zoo(rowSums(merge(G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
72               time(merge(G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,all=
TRUE)))
73
74 #-----Berechnung Fördermengen-----
75 G01.Pn.B1<- zoo(Rohdaten$
G01_Foerdermenge_B1.Status.Wert.value,
76               as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
77 G01.Pn.B1<-na.exclude(G01.Pn.B1)
78 G01.Pn.B1.delta<-G01.Pn.B1- c(coredata(G01.Pn.B1[1]),
G01.Pn.B1)
79 G01.Pn.B1.hour<-aggregate(G01.Pn.B1.delta, by=format(

```

```

80 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B1.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
81 G01.Pn.B1.min<-aggregate(G01.Pn.B1.delta, by=format(
82 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
83
84 G01.Pn.B2<- zoo(Rohdaten$
85 G01_Foerdermenge_B2.Status.Wert.value,
86 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
87 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
88
89 G01.Pn.B2<-na.exclude(G01.Pn.B2)
90 G01.Pn.B2.delta<-G01.Pn.B2- c(coredata(G01.Pn.B2[1]),
91 G01.Pn.B2)
92 G01.Pn.B2.hour<-aggregate(G01.Pn.B2.delta, by=format(
93 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B2.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
94 G01.Pn.B2.min<-aggregate(G01.Pn.B2.delta, by=format(
95 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
96
97 G01.Pn.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.hour,
98 G01.Pn.B2.hour, all=TRUE), na.rm = TRUE),
99 time(merge(G01.Pn.B1.hour,
100 G01.Pn.B2.hour, all=TRUE)))
101
102 G01.Pn.min.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.min,
103 G01.Pn.B2.min, all=TRUE), na.rm = TRUE),
104 time(merge(G01.Pn.B1.min, G01.Pn.B2.min,
105 all=TRUE)))
106
107 #-----Druck-----
108 G01.P.DL1<- zoo(Rohdaten$G01_DL1_P1.Status.Messwert.value,
109 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
110 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
111
112 G01.P.DL1<-na.exclude(G01.P.DL1)
113 G01.P.DL1_mean.minute<-aggregate(G01.P.DL1, by=format(
114 as.POSIXlt(time(G01.P.DL1)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
115
116 G01.P.DL2<- zoo(Rohdaten$G01_DL2_P1.Status.Messwert.value,
117 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
118 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
119
120 G01.P.DL2<-na.exclude(G01.P.DL2)
121 G01.P.DL2_mean.minute<-aggregate(G01.P.DL2, by=format(
122 as.POSIXlt(time(G01.P.DL2)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
123
124 # Filtern der Drücke der Fördermethoden mithilfe der
125 Fördermengen XX in DLX
126 # Pneumatik
127 G01.Pn.DL1<- zoo(Rohdaten2$
128 G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL1.Status.Wert.value,
129 as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
130 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
131
132 G01.Pn.DL1<-na.exclude(G01.Pn.DL1)
133 G01.Pn.DL1.delta<-G01.Pn.DL1- c(coredata(G01.Pn.DL1[1]),
134 G01.Pn.DL1)
135 G01.Pn.DL1.minute<-aggregate(G01.Pn.DL1.delta, by=format(
136 as.POSIXlt(time(G01.Pn.DL1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
137 G01.Pn.P.DL1<-merge.zoo(G01.P.DL1_mean.minute,
138 G01.Pn.DL1.minute)
139 G01.Pn.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute<-na.locf(G01.Pn.P.DL1$
140 G01.P.DL1_mean.minute)
141 G01.Pn.P.DL1<-na.omit(G01.Pn.P.DL1, cols=2)

```

```

115 G01.Pn.P.DL1_mean.minute<-G01.Pn.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute
116
117 G01.Pn.DL2<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL2.Status.Wert.value,
118 as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
119 G01.Pn.DL2<-na.exclude(G01.Pn.DL2)
120 G01.Pn.DL2.delta<-G01.Pn.DL2- c(coredata(G01.Pn.DL2[1]),
G01.Pn.DL2)
121 G01.Pn.DL2.minute<-aggregate(G01.Pn.DL2.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Pn.DL2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
122 G01.Pn.P.DL2<-merge.zoo(G01.P.DL2_mean.minute,
G01.Pn.DL2.minute)
123 G01.Pn.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute<-na.locf(G01.Pn.P.DL2$
G01.P.DL2_mean.minute)
124 G01.Pn.P.DL2<-na.omit(G01.Pn.P.DL2, cols=2)
125 G01.Pn.P.DL2_mean.minute<-G01.Pn.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute
126
127 G01.Pn.P.DL_mean.minute<-merge.zoo(G01.Pn.P.DL1_mean.minute,
G01.Pn.P.DL2_mean.minute)
128 G01.Pn.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.Pn.P.DL_mean.minute$
G01.Pn.P.DL1_mean.minute,
129 G01.Pn.P.DL_mean.minute$
G01.Pn.P.DL2_mean.minute, na.rm
= TRUE)
130
131 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-aggregate(G01.Pn.P.DL_mean.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.Pn.P.DL_mean.minute)), format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
132 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-merge.zoo(G01.Pn.P.DL_mean.hour,
G01.Pn.hour.sum)
133 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-na.omit(G01.Pn.P.DL_mean.hour, cols=2)
134 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-G01.Pn.P.DL_mean.hour$
G01.Pn.P.DL_mean.hour
135
136 #-----Zusammenfassung-----
137 zus_hour<-merge(G01.Pn.hour.sum,G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,G01.Pn.P.DL_mean.hour
138
zeitdif.Pn.V1.hour,zeitdif.Pn.V2.hour,zeitdif
.Pn.V3.hour)
139 zus_hour <- merge(zoo(coredata(zus_hour),as.POSIXlt(index(
zus_hour),format="%Y.%m.%d %H"))
140 ,zoo(,as.character(seq(as.POSIXlt(start(
zus_hour),format="%Y.%m.%d %H"),
141 as.POSIXlt(end(
zus_hour),format=
"%Y.%m.%d %H"),by=
"hour")))
142 ,all=TRUE)
143
144 #-----Export-----
145 zus_hour<-data.table(index(zus_hour),coredata(zus_hour))
146 write.table(zus_hour,file=paste(as.character(as.Date(min(
zus_hour$V1))),"-",as.character(as.Date(max(zus_hour$V1))),
"DA_Variable_Leerzeit_V2.csv"),na="#NV",row.names=TRUE,
sep = ";")

```

```

1 #####
2 #      Auswertung Betriebsfälle vor 1.8.18      #
3 #####
4
5 #-----Import Rohdaten-----
6 #vorher löschen von Zeile 2 und 3
7 #ersetze zwei od mehr Leerzeichen durch nichts
8 Rohdaten <- read.table("E:/Documents/TU Wien/DA/APS
Zwentendorf - Atzenbrugg/Daten/Stromverbrauch prüfen/Strom
August Vergleich Berechnung - Messung/20180903_2211_12.csv",
9         sep=";", header=TRUE, fill = TRUE,
         na.strings = c(" ", " ", " ", " ", " ", " ", "
"))
10 Rohdaten2 <- read.table("E:/Documents/TU Wien/DA/APS
Zwentendorf - Atzenbrugg/Daten/Stromverbrauch prüfen/Strom
August Vergleich Berechnung - Messung/20180903_2214_03.csv",
11         sep=";", header=TRUE, fill = TRUE,
         na.strings = c(" ", " ", " ", " ", " ", " ", "
"))
12
13 library(data.table)
14 library(zoo)
15 library(dplyr)
16 options(digits.secs=6)      # changing defaults: milli!
17 Sys.time()
18
19 setDT(Rohdaten)
20 setDT(Rohdaten2)
21 names(Rohdaten)[1]<-"DPE"
22 names(Rohdaten2)[1]<-"DPE"
23 #-----Maschineneigenschaften-----
24
25 Maschinen<-data.table(c(400,0.88),c(400,0.87),c(400,0.81))
26 names(Maschinen)[1]<-"Schraubenkompressor"
27 names(Maschinen)[2]<-"Exzentrerschneckenpumpe"
28 names(Maschinen)[3]<-"Mazerator"
29
30 #-----Berechnung Stromverbrauch-----
31 #Kompressor V1
32 Rohdaten$G01.V1.kW<-Rohdaten$G01_V1.Status.Strom*Maschinen[1,
Schraubenkompressor]*Maschinen[2,Schraubenkompressor]*sqrt(3
)/1000
33
34 G01.V1.kW<- zoo(Rohdaten$G01.V1.kW,
35         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
36 G01.V1.kW<-na.exclude(G01.V1.kW)
37 zeitdif.V1<-difftime(c(index(G01.V1.kW),max(index(G01.V1.kW
))),
38         c(min(index(G01.V1.kW),index(G01.V1.kW)),
units="hours", tz="GMT"))
39 zeitdif.V1<-zeitdif.V1[2:length(zeitdif.V1)]
40 G01.V1.kWh<-G01.V1.kW * as.numeric(zeitdif.V1)
41 G01.V1.kWh.minute<-aggregate(G01.V1.kWh, by=format(as.POSIXlt
(time(G01.V1.kWh)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
42 G01.V1.kWh.hour<-aggregate(G01.V1.kWh, by=format(as.POSIXlt(
time(G01.V1.kWh)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)

```

```

43
44 #Kompressor V2
45 Rohdaten$G01.V2.kW<-Rohdaten$G01_V2.Status.Strom*Maschinen[1,
Schraubenkompressor]*Maschinen[2,Schraubenkompressor]*sqrt(3
)/1000
46
47 G01.V2.kW<- zoo(Rohdaten$G01.V2.kW,
48               as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
49 G01.V2.kW<-na.exclude(G01.V2.kW)
50 zeitdif.V2<-difftime(c(index(G01.V2.kW),max(index(G01.V2.kW
51               c(min(index(G01.V2.kW),index(G01.V2.kW
)), units="hours", tz="GMT"))
52 zeitdif.V2<-zeitdif.V2[2:length(zeitdif.V2)]
53 G01.V2.kWh<-G01.V2.kW * as.numeric(zeitdif.V2)
54 G01.V2.kWh.minute<-aggregate(G01.V2.kWh, by=format(as.POSIXlt
(time(G01.V2.kWh)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
55 G01.V2.kWh.hour<-aggregate(G01.V2.kWh, by=format(as.POSIXlt(
time(G01.V2.kWh)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
56
57 #Kompressor V3
58 Rohdaten$G01.V3.kW<-Rohdaten$G01_V3.Status.Strom*Maschinen[1,
Schraubenkompressor]*Maschinen[2,Schraubenkompressor]*sqrt(3
)/1000
59
60 G01.V3.kW<- zoo(Rohdaten$G01.V3.kW,
61               as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
62 G01.V3.kW<-na.exclude(G01.V3.kW)
63 zeitdif.V3<-difftime(c(index(G01.V3.kW),max(index(G01.V3.kW
64               c(min(index(G01.V3.kW),index(G01.V3.kW
)), units="hours", tz="GMT"))
65 zeitdif.V3<-zeitdif.V3[2:length(zeitdif.V3)]
66 G01.V3.kWh<-G01.V3.kW * as.numeric(zeitdif.V3)
67 G01.V3.kWh.minute<-aggregate(G01.V3.kWh, by=format(as.POSIXlt
(time(G01.V3.kWh)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
68 G01.V3.kWh.hour<-aggregate(G01.V3.kWh, by=format(as.POSIXlt(
time(G01.V3.kWh)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
69
70 #Summe Kompressoren
71 G01.V.kWh.hour<- zoo(rowSums(merge(G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
72               time(merge(G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,all=
TRUE)))
73
74 #-----Berechnung Fördermengen-----
75 G01.Pn.B1<- zoo(Rohdaten$
G01_Foerdermenge_B1.Status.Wert.value,
76               as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
77 G01.Pn.B1<-na.exclude(G01.Pn.B1)
78 G01.Pn.B1.delta<-G01.Pn.B1- c(coredata(G01.Pn.B1[1]),
G01.Pn.B1)
79 G01.Pn.B1.hour<-aggregate(G01.Pn.B1.delta, by=format(

```

```

80 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B1.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
81 G01.Pn.B1.minute<-aggregate(G01.Pn.B1.delta, by=format(
82 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
83
84 G01.Pn.B2<- zoo(Rohdaten$
85 G01_Foerdermenge_B2.Status.Wert.value,
86 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
87 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
88
89 G01.Pn.B2<-na.exclude(G01.Pn.B2)
90 G01.Pn.B2.delta<-G01.Pn.B2- c(coredata(G01.Pn.B2[1]),
91 G01.Pn.B2)
92 G01.Pn.B2.hour<-aggregate(G01.Pn.B2.delta, by=format(
93 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B2.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
94 G01.Pn.B2.minute<-aggregate(G01.Pn.B2.delta, by=format(
95 as.POSIXlt(time(G01.Pn.B2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
96
97 G01.Hy.P1<- zoo(Rohdaten$
98 G01_Foerdermenge_P1.Status.Wert.value,
99 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
100 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
101 G01.Hy.P1<-na.exclude(G01.Hy.P1)
102 G01.Hy.P1.delta<-G01.Hy.P1- c(coredata(G01.Hy.P1[1]),
103 G01.Hy.P1)
104 G01.Hy.P1.hour<-aggregate(G01.Hy.P1.delta, by=format(
105 as.POSIXlt(time(G01.Hy.P1.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
106
107 G01.Hy.P2<- zoo(Rohdaten$
108 G01_Foerdermenge_P2.Status.Wert.value,
109 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
110 %H:%M:%OS", tz="GMT"))
111 G01.Hy.P2<-na.exclude(G01.Hy.P2)
112 G01.Hy.P2.delta<-G01.Hy.P2- c(coredata(G01.Hy.P2[1]),
113 G01.Hy.P2)
114 G01.Hy.P2.hour<-aggregate(G01.Hy.P2.delta, by=format(
115 as.POSIXlt(time(G01.Hy.P2.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
116
117 G01.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.hour,
118 G01.Pn.B2.hour,G01.Hy.P1.hour,G01.Hy.P2.hour,all=TRUE), na.rm
119 = TRUE),
120 time(merge(G01.Pn.B1.hour,G01.Pn.B2.hour,
121 G01.Hy.P1.hour,G01.Hy.P2.hour,all=TRUE)))
122 G01.Hy.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Hy.P1.hour,
123 G01.Hy.P2.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
124 time(merge(G01.Hy.P1.hour,
125 G01.Hy.P2.hour,all=TRUE)))
126 G01.Pn.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.hour,
127 G01.Pn.B2.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
128 time(merge(G01.Pn.B1.hour,
129 G01.Pn.B2.hour,all=TRUE)))
130
131 #G01.Pn.minute.sum<-
132 zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.minute,G01.Pn.B2.minute,all=TRUE),
133 na.rm = TRUE),
134 #
135 time(merge(G01.Pn.B1.minute,G01.Pn.B2.minute,all=TRUE)))
136 #G01.Hy.minute.sum<-
137 zoo(rowSums(merge(G01.Hy.P1.minute,G01.Hy.P2.minute,all=TRUE),

```

```

    na.rm = TRUE),
111 #
    time(merge(G01.Hy.P1.minute,G01.Hy.P2.minute,all=TRUE)))
112
113 #-----Nachblasen aktiv-----
114 G01.nachblasen<- zoo(Rohdaten$
G01_Nachblasvorgang_aktiv.Status.Wert,
115         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format=
            "%Y.%m.%d %H:%M:%OS",tz="GMT"))
116 G01.nachblasen<-na.exclude(G01.nachblasen)
117 G01.nachblasen.minute<-aggregate(G01.nachblasen, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.nachblasen)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=max)
118 G01.nachblasen.minute <- merge(zoo(coredata(
G01.nachblasen.minute),as.POSIXlt(index(G01.nachblasen.minute
),format="%Y.%m.%d %H:%M")),
119         zoo(,as.character(seq(
            as.POSIXlt(start(
                G01.nachblasen.minute),format=
                    "%Y.%m.%d %H:%M"),
120
            as.POSIXlt(end(G01.nachblasen.minute),format="%Y.%m.%d %H:%M"
            ),by="mins")))
            ,all=TRUE)
121
122
123 G01.nachblasen.minute<-na.locf(G01.nachblasen.minute)
124 G01.nachblasen.hour<-aggregate(G01.nachblasen.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.nachblasen.minute),format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
125 G01.nachblasen.minute<-aggregate(G01.nachblasen.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.nachblasen.minute),format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
126
127 #-----Druck-----
128
129 G01.P.DL1<- zoo(Rohdaten$G01_DL1_P1.Status.Messwert.value,
130         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS",tz="GMT"))
131 G01.P.DL1<-na.exclude(G01.P.DL1)
132 G01.P.DL1_mean.minute<-aggregate(G01.P.DL1, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.P.DL1)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
133
134 G01.P.DL2<- zoo(Rohdaten$G01_DL2_P1.Status.Messwert.value,
135         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS",tz="GMT"))
136 G01.P.DL2<-na.exclude(G01.P.DL2)
137 G01.P.DL2_mean.minute<-aggregate(G01.P.DL2, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.P.DL2)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
138
139 # Filtern der Drücke der Fördermethoden mithilfe der
Fördermengen XX in DLX
140 # Pneumatik
141 G01.Pn.DL1<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL1.Status.Wert.value,
142         as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS",tz="GMT"))
143 G01.Pn.DL1<-na.exclude(G01.Pn.DL1)
144 G01.Pn.DL1.delta<-G01.Pn.DL1- c(coredata(G01.Pn.DL1[1]),

```

```

G01.Pn.DL1)
145 G01.Pn.DL1.minute<-aggregate(G01.Pn.DL1.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Pn.DL1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
146 G01.Pn.P.DL1<-merge.zoo(G01.P.DL1_mean.minute,
G01.Pn.DL1.minute)
147 G01.Pn.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute<-na.locf(G01.Pn.P.DL1$
G01.P.DL1_mean.minute)
148 G01.Pn.P.DL1<-na.omit(G01.Pn.P.DL1, cols=2)
149 G01.Pn.P.DL1_mean.minute<-G01.Pn.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute
150
151 G01.Pn.DL2<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL2.Status.Wert.value,
152 as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
153 G01.Pn.DL2<-na.exclude(G01.Pn.DL2)
154 G01.Pn.DL2.delta<-G01.Pn.DL2- c(coredata(G01.Pn.DL2[1]),
G01.Pn.DL2)
155 G01.Pn.DL2.minute<-aggregate(G01.Pn.DL2.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Pn.DL2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
156 G01.Pn.P.DL2<-merge.zoo(G01.P.DL2_mean.minute,
G01.Pn.DL2.minute)
157 G01.Pn.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute<-na.locf(G01.Pn.P.DL2$
G01.P.DL2_mean.minute)
158 G01.Pn.P.DL2<-na.omit(G01.Pn.P.DL2, cols=2)
159 G01.Pn.P.DL2_mean.minute<-G01.Pn.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute
160
161 G01.Pn.P.DL_mean.minute<-merge.zoo(G01.Pn.P.DL1_mean.minute,
G01.Pn.P.DL2_mean.minute)
162 G01.Pn.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.Pn.P.DL_mean.minute$
G01.Pn.P.DL1_mean.minute,
163 G01.Pn.P.DL_mean.minute$
G01.Pn.P.DL2_mean.minute, na.rm
= TRUE)
164
165 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-aggregate(G01.Pn.P.DL_mean.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.Pn.P.DL_mean.minute)), format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
166 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-merge.zoo(G01.Pn.P.DL_mean.hour,
G01.Pn.hour.sum)
167 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-na.omit(G01.Pn.P.DL_mean.hour, cols=2)
168 G01.Pn.P.DL_mean.hour<-G01.Pn.P.DL_mean.hour$
G01.Pn.P.DL_mean.hour
169
170 # Hydraulik
171 G01.Hy.DL1<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pumpen_in_DL1.Status.Wert.value,
172 as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
173 G01.Hy.DL1<-na.exclude(G01.Hy.DL1)
174 G01.Hy.DL1.delta<-G01.Hy.DL1- c(coredata(G01.Hy.DL1[1]),
G01.Hy.DL1)
175 G01.Hy.DL1.minute<-aggregate(G01.Hy.DL1.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Hy.DL1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
176 G01.Hy.P.DL1<-merge.zoo(G01.P.DL1_mean.minute,
G01.Hy.DL1.minute)
177 G01.Hy.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute<-na.locf(G01.Hy.P.DL1$
G01.P.DL1_mean.minute)

```

```

178 G01.Hy.P.DL1<-na.omit(G01.Hy.P.DL1, cols=2)
179 G01.Hy.P.DL1_mean.minute<-G01.Hy.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute
180
181 G01.Hy.DL2<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pumpen_in_DL2.Status.Wert.value,
182 as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
183 G01.Hy.DL2<-na.exclude(G01.Hy.DL2)
184 G01.Hy.DL2.delta<-G01.Hy.DL2- c(coredata(G01.Hy.DL2[1]),
G01.Hy.DL2)
185 G01.Hy.DL2.minute<-aggregate(G01.Hy.DL2.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Hy.DL2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
186 G01.Hy.P.DL2<-merge.zoo(G01.P.DL2_mean.minute,
G01.Hy.DL2.minute)
187 G01.Hy.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute<-na.locf(G01.Hy.P.DL2$
G01.P.DL2_mean.minute)
188 G01.Hy.P.DL2<-na.omit(G01.Hy.P.DL2, cols=2)
189 G01.Hy.P.DL2_mean.minute<-G01.Hy.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute
190
191 G01.Hy.P.DL_mean.minute<-merge.zoo(G01.Hy.P.DL1_mean.minute,
G01.Hy.P.DL2_mean.minute)
192 G01.Hy.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.Hy.P.DL_mean.minute$
G01.Hy.P.DL1_mean.minute,
193 G01.Hy.P.DL_mean.minute$
G01.Hy.P.DL2_mean.minute, na.rm
= TRUE)
194
195 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-aggregate(G01.Hy.P.DL_mean.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.Hy.P.DL_mean.minute)), format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
196 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-merge.zoo(G01.Hy.P.DL_mean.hour,
G01.Hy.hour.sum)
197 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-na.omit(G01.Hy.P.DL_mean.hour, cols=2)
198 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-G01.Hy.P.DL_mean.hour$
G01.Hy.P.DL_mean.hour
199
200 # Druck während Nachblasvorgang
201 G01.nachblasen.P<-merge.zoo(G01.nachblasen.minute,
G01.P.DL1_mean.minute,G01.P.DL2_mean.minute)
202 G01.nachblasen.P<-na.locf(G01.nachblasen.P, cols=c(2,3))
203 G01.nachblasen.P[G01.nachblasen.P$G01.nachblasen.minute==0]<-
NA
204 G01.nachblasen.P<-na.omit(G01.nachblasen.P)
205 G01.nachblasen.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.nachblasen.P$
G01.P.DL1_mean.minute,
206 G01.nachblasen.P$
G01.P.DL2_mean.minute,
na.rm = TRUE)
207 G01.nachblasen.P.DL_mean.hour<-aggregate(
G01.nachblasen.P.DL_mean.minute, by=format(as.POSIXlt(time(
G01.nachblasen.P.DL_mean.minute)), format="%Y.%m.%d %H:%M"),
"%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
208
209 #-----Zusammenfassung-----
210 zus_hour<-merge(G01.Pn.hour.sum,G01.Hy.hour.sum,G01.hour.sum,
211 G01.V1.kWh.hour,G01.V2.kWh.hour,
G01.V3.kWh.hour, G01.V.kWh.hour,

```

```

212         G01.P1.kWh.hour, G01.P2.kWh.hour,
213         G01.Hy.kWh.hour, G01.kWh.hour,
214         G01.Pn.P.DL_mean.hour, G01.Hy.P.DL_mean.hour
215         , G01.nachblasen.P.DL_mean.hour,
216         G01.nachblasen.hour
217     )
218 zus_hour <- merge(zoo(coredata(zus_hour), as.POSIXlt(index(
219     zus_hour), format="%Y.%m.%d %H"))
220     , zoo(, as.character(seq(as.POSIXlt(start(
221     zus_hour), format="%Y.%m.%d %H"))
222     , as.POSIXlt(end(
223     zus_hour), format=
224     "%Y.%m.%d %H"), by=
225     "hour")))
226     , all=TRUE)
227 #-----Export-----
228 zus_hour<-data.table(index(zus_hour), coredata(zus_hour))
229 write.table(zus_hour, file=paste(as.character(as.Date(min(
230     zus_hour$V1))), "-",
231     as.character(as.Date(max(
232     zus_hour$V1))),
233     "DA_BF4_neu.csv"), na="0",
234     row.names=TRUE, sep = ";")

```



```

43 G01.V2.kWh.hour<-aggregate(G01.V2.kWh.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.V2.kWh.delta)), "%Y.%m.%d %H"),FUN=sum)
44
45 #Kompressor V3
46 G01.V3.kWh<- zoo(Rohdaten$
G01_K3_Verbrauch.Status.Messwert.value,
47 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format=
"%Y.%m.%d %H:%M:%OS",tz="GMT"))
48 G01.V3.kWh<-na.exclude(G01.V3.kWh)
49 G01.V3.kWh.delta<-G01.V3.kWh-c(coredata(G01.V3.kWh[1]),
G01.V3.kWh)
50 G01.V3.kWh.hour<-aggregate(G01.V3.kWh.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.V3.kWh.delta)), "%Y.%m.%d %H"),FUN=sum)
51
52 #Summe Kompressoren
53 G01.V.kWh.hour<- zoo(rowSums(merge(G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
54 time(merge(G01.V1.kWh.hour,
G01.V2.kWh.hour,G01.V3.kWh.hour,all=
TRUE)))
55
56 #Pumpe P1
57 G01.P1.kWh<- zoo(Rohdaten$
G01_P1_Verbrauch.Status.Messwert.value,
58 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS",tz="GMT"))
59 G01.P1.kWh<-na.exclude(G01.P1.kWh)
60 G01.P1.kWh.delta<-G01.P1.kWh-c(coredata(G01.P1.kWh[1]),
G01.P1.kWh)
61 G01.P1.kWh.hour<-aggregate(G01.P1.kWh.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.P1.kWh.delta)), "%Y.%m.%d %H"),FUN=sum)
62
63 #Pumpe P2
64 G01.P2.kWh<- zoo(Rohdaten$
G01_P2_Verbrauch.Status.Messwert.value,
65 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS",tz="GMT"))
66 G01.P2.kWh<-na.exclude(G01.P2.kWh)
67 G01.P2.kWh.delta<-G01.P2.kWh-c(coredata(G01.P2.kWh[1]),
G01.P2.kWh)
68 G01.P2.kWh.hour<-aggregate(G01.P2.kWh.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.P2.kWh.delta)), "%Y.%m.%d %H"),FUN=sum)
69
70 #Summe Pumpen
71 G01.Hy.kWh.hour<- zoo(rowSums(merge(G01.P1.kWh.hour,
G01.P2.kWh.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
72 time(merge(G01.P1.kWh.hour,
G01.P2.kWh.hour,all=TRUE)))
73
74 #Summe
75 G01.kWh.hour<-zoo(rowSums(merge(G01.Hy.kWh.hour,
G01.V.kWh.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
76 time(merge(G01.Hy.kWh.hour,G01.V.kWh.hour,
all=TRUE)))
77
78 #-----Berechnung Fördermengen-----
79 G01.Pn.B1<- zoo(Rohdaten$

```

```

80     G01_Foerdermenge_B1.Status.Wert.value,
        as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS", tz="GMT"))
81     G01.Pn.B1<-na.exclude(G01.Pn.B1)
82     G01.Pn.B1.delta<-G01.Pn.B1- c(coredata(G01.Pn.B1[1]),
        G01.Pn.B1)
83     G01.Pn.B1.hour<-aggregate(G01.Pn.B1.delta, by=format(
        as.POSIXlt(time(G01.Pn.B1.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
84     G01.Pn.B1.minute<-aggregate(G01.Pn.B1.delta, by=format(
        as.POSIXlt(time(G01.Pn.B1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
85
86     G01.Pn.B2<- zoo(Rohdaten$
        G01_Foerdermenge_B2.Status.Wert.value,
87         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS", tz="GMT"))
88     G01.Pn.B2<-na.exclude(G01.Pn.B2)
89     G01.Pn.B2.delta<-G01.Pn.B2- c(coredata(G01.Pn.B2[1]),
        G01.Pn.B2)
90     G01.Pn.B2.hour<-aggregate(G01.Pn.B2.delta, by=format(
        as.POSIXlt(time(G01.Pn.B2.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
91     G01.Pn.B2.minute<-aggregate(G01.Pn.B2.delta, by=format(
        as.POSIXlt(time(G01.Pn.B2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
92
93     G01.Hy.P1<- zoo(Rohdaten$
        G01_Foerdermenge_P1.Status.Wert.value,
94         as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS", tz="GMT"))
95     G01.Hy.P1<-na.exclude(G01.Hy.P1)
96     G01.Hy.P1.delta<-G01.Hy.P1- c(coredata(G01.Hy.P1[1]),
        G01.Hy.P1)
97     G01.Hy.P1.hour<-aggregate(G01.Hy.P1.delta, by=format(
        as.POSIXlt(time(G01.Hy.P1.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
98
99     G01.Hy.P2<- zoo(Rohdaten$
        G01_Foerdermenge_P2.Status.Wert.value,
100        as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
            %H:%M:%OS", tz="GMT"))
101     G01.Hy.P2<-na.exclude(G01.Hy.P2)
102     G01.Hy.P2.delta<-G01.Hy.P2- c(coredata(G01.Hy.P2[1]),
        G01.Hy.P2)
103     G01.Hy.P2.hour<-aggregate(G01.Hy.P2.delta, by=format(
        as.POSIXlt(time(G01.Hy.P2.delta)), "%Y.%m.%d %H"), FUN=sum)
104
105     G01.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.hour,
        G01.Pn.B2.hour,G01.Hy.P1.hour,G01.Hy.P2.hour,all=TRUE), na.rm
        = TRUE),
106         time(merge(G01.Pn.B1.hour,G01.Pn.B2.hour,
            G01.Hy.P1.hour,G01.Hy.P2.hour,all=TRUE)))
107     G01.Hy.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Hy.P1.hour,
        G01.Hy.P2.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
108         time(merge(G01.Hy.P1.hour,
            G01.Hy.P2.hour,all=TRUE)))
109     G01.Pn.hour.sum<- zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.hour,
        G01.Pn.B2.hour,all=TRUE), na.rm = TRUE),
110         time(merge(G01.Pn.B1.hour,
            G01.Pn.B2.hour,all=TRUE)))
111

```

```

112 #G01.Pn.minute.sum<-
zoo(rowSums(merge(G01.Pn.B1.minute,G01.Pn.B2.minute,all=TRUE),
na.rm = TRUE),
113 #
time(merge(G01.Pn.B1.minute,G01.Pn.B2.minute,all=TRUE)))
114 #G01.Hy.minute.sum<-
zoo(rowSums(merge(G01.Hy.P1.minute,G01.Hy.P2.minute,all=TRUE),
na.rm = TRUE),
115 #
time(merge(G01.Hy.P1.minute,G01.Hy.P2.minute,all=TRUE)))
116
117 #-----Nachblasen aktiv-----
118 G01.nachblasen<- zoo(Rohdaten$
G01_Nachblasvorgang_aktiv.Status.Wert,
119 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format=
"%Y.%m.%d %H:%M:%OS",tz="GMT"))
120 G01.nachblasen<-na.exclude(G01.nachblasen)
121 G01.nachblasen.minute<-aggregate(G01.nachblasen, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.nachblasen)), "%Y.%m.%d %H:%M"),FUN=max)
122 G01.nachblasen.minute <- merge(zoo(coredata(
G01.nachblasen.minute),as.POSIXlt(index(G01.nachblasen.minute
),format="%Y.%m.%d %H:%M")),
123 zoo(,as.character(seq(
as.POSIXlt(start(
G01.nachblasen.minute),format=
"%Y.%m.%d %H:%M"),
124 as.POSIXlt(end(G01.nachblasen.minute),format="%Y.%m.%d %H:%M"
),by="mins")))
125 ,all=TRUE)
126
127 G01.nachblasen.minute<-na.locf(G01.nachblasen.minute)
128 G01.nachblasen.hour<-aggregate(G01.nachblasen.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.nachblasen.minute),format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"),FUN=sum)
129 G01.nachblasen.minute<-aggregate(G01.nachblasen.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.nachblasen.minute),format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H:%M"),FUN=sum)
130
131 #-----Druck-----
132
133 G01.P.DL1<- zoo(Rohdaten$G01_DL1_P1.Status.Messwert.value,
134 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS",tz="GMT"))
135 G01.P.DL1<-na.exclude(G01.P.DL1)
136 G01.P.DL1_mean.minute<-aggregate(G01.P.DL1, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.P.DL1)), "%Y.%m.%d %H:%M"),FUN=mean)
137
138 G01.P.DL2<- zoo(Rohdaten$G01_DL2_P1.Status.Messwert.value,
139 as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS",tz="GMT"))
140 G01.P.DL2<-na.exclude(G01.P.DL2)
141 G01.P.DL2_mean.minute<-aggregate(G01.P.DL2, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.P.DL2)), "%Y.%m.%d %H:%M"),FUN=mean)
142
143 # Filtern der Drücke der Fördermethoden mithilfe der
Fördermengen XX in DLX

```

```

144     # Pneumatik
145     G01.Pn.DL1<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL1.Status.Wert.value,
146         as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
147     G01.Pn.DL1<-na.exclude(G01.Pn.DL1)
148     G01.Pn.DL1.delta<-G01.Pn.DL1- c(coredata(G01.Pn.DL1[1]),
G01.Pn.DL1)
149     G01.Pn.DL1.minute<-aggregate(G01.Pn.DL1.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Pn.DL1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
150     G01.Pn.P.DL1<-merge.zoo(G01.P.DL1_mean.minute,
G01.Pn.DL1.minute)
151     G01.Pn.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute<-na.locf(G01.Pn.P.DL1$
G01.P.DL1_mean.minute)
152     G01.Pn.P.DL1<-na.omit(G01.Pn.P.DL1, cols=2)
153     G01.Pn.P.DL1_mean.minute<-G01.Pn.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute
154
155     G01.Pn.DL2<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pneumatik_in_DL2.Status.Wert.value,
156         as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
157     G01.Pn.DL2<-na.exclude(G01.Pn.DL2)
158     G01.Pn.DL2.delta<-G01.Pn.DL2- c(coredata(G01.Pn.DL2[1]),
G01.Pn.DL2)
159     G01.Pn.DL2.minute<-aggregate(G01.Pn.DL2.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Pn.DL2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
160     G01.Pn.P.DL2<-merge.zoo(G01.P.DL2_mean.minute,
G01.Pn.DL2.minute)
161     G01.Pn.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute<-na.locf(G01.Pn.P.DL2$
G01.P.DL2_mean.minute)
162     G01.Pn.P.DL2<-na.omit(G01.Pn.P.DL2, cols=2)
163     G01.Pn.P.DL2_mean.minute<-G01.Pn.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute
164
165     G01.Pn.P.DL_mean.minute<-merge.zoo(G01.Pn.P.DL1_mean.minute,
G01.Pn.P.DL2_mean.minute)
166     G01.Pn.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.Pn.P.DL_mean.minute$
G01.Pn.P.DL1_mean.minute,
167         G01.Pn.P.DL_mean.minute$
G01.Pn.P.DL2_mean.minute, na.rm
= TRUE)
168
169     G01.Pn.P.DL_mean.hour<-aggregate(G01.Pn.P.DL_mean.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.Pn.P.DL_mean.minute)), format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
170     G01.Pn.P.DL_mean.hour<-merge.zoo(G01.Pn.P.DL_mean.hour,
G01.Pn.hour.sum)
171     G01.Pn.P.DL_mean.hour<-na.omit(G01.Pn.P.DL_mean.hour, cols=2)
172     G01.Pn.P.DL_mean.hour<-G01.Pn.P.DL_mean.hour$
G01.Pn.P.DL_mean.hour
173
174     # Hydraulik
175     G01.Hy.DL1<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pumpen_in_DL1.Status.Wert.value,
176         as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
177     G01.Hy.DL1<-na.exclude(G01.Hy.DL1)
178     G01.Hy.DL1.delta<-G01.Hy.DL1- c(coredata(G01.Hy.DL1[1]),

```

```

G01.Hy.DL1)
179 G01.Hy.DL1.minute<-aggregate(G01.Hy.DL1.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Hy.DL1.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
180 G01.Hy.P.DL1<-merge.zoo(G01.P.DL1_mean.minute,
G01.Hy.DL1.minute)
181 G01.Hy.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute<-na.locf(G01.Hy.P.DL1$
G01.P.DL1_mean.minute)
182 G01.Hy.P.DL1<-na.omit(G01.Hy.P.DL1, cols=2)
183 G01.Hy.P.DL1_mean.minute<-G01.Hy.P.DL1$G01.P.DL1_mean.minute
184
185 G01.Hy.DL2<- zoo(Rohdaten2$
G01_Foerdermenge_Pumpen_in_DL2.Status.Wert.value,
186 as.POSIXlt(Rohdaten2$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
187 G01.Hy.DL2<-na.exclude(G01.Hy.DL2)
188 G01.Hy.DL2.delta<-G01.Hy.DL2- c(coredata(G01.Hy.DL2[1]),
G01.Hy.DL2)
189 G01.Hy.DL2.minute<-aggregate(G01.Hy.DL2.delta, by=format(
as.POSIXlt(time(G01.Hy.DL2.delta)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=sum)
190 G01.Hy.P.DL2<-merge.zoo(G01.P.DL2_mean.minute,
G01.Hy.DL2.minute)
191 G01.Hy.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute<-na.locf(G01.Hy.P.DL2$
G01.P.DL2_mean.minute)
192 G01.Hy.P.DL2<-na.omit(G01.Hy.P.DL2, cols=2)
193 G01.Hy.P.DL2_mean.minute<-G01.Hy.P.DL2$G01.P.DL2_mean.minute
194
195 G01.Hy.P.DL_mean.minute<-merge.zoo(G01.Hy.P.DL1_mean.minute,
G01.Hy.P.DL2_mean.minute)
196 G01.Hy.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.Hy.P.DL_mean.minute$
G01.Hy.P.DL1_mean.minute,
197 G01.Hy.P.DL_mean.minute$
G01.Hy.P.DL2_mean.minute, na.rm
= TRUE)
198
199 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-aggregate(G01.Hy.P.DL_mean.minute, by=
format(as.POSIXlt(time(G01.Hy.P.DL_mean.minute)), format=
"%Y.%m.%d %H:%M"), "%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
200 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-merge.zoo(G01.Hy.P.DL_mean.hour,
G01.Hy.hour.sum)
201 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-na.omit(G01.Hy.P.DL_mean.hour, cols=2)
202 G01.Hy.P.DL_mean.hour<-G01.Hy.P.DL_mean.hour$
G01.Hy.P.DL_mean.hour
203
204 # Druck während Nachblasvorgang
205 G01.nachblasen.P<-merge.zoo(G01.nachblasen.minute,
G01.P.DL1_mean.minute, G01.P.DL2_mean.minute)
206 G01.nachblasen.P<-na.locf(G01.nachblasen.P, cols=c(2, 3))
207 G01.nachblasen.P[G01.nachblasen.P$G01.nachblasen.minute==0]<-
NA
208 G01.nachblasen.P<-na.omit(G01.nachblasen.P)
209 G01.nachblasen.P.DL_mean.minute<-pmax(G01.nachblasen.P$
G01.P.DL1_mean.minute,
210 G01.nachblasen.P$
G01.P.DL2_mean.minute,
na.rm = TRUE)
211 G01.nachblasen.P.DL_mean.hour<-aggregate(
G01.nachblasen.P.DL_mean.minute, by=format(as.POSIXlt(time(

```

```

G01.nachblasen.P.DL_mean.minute), format="%Y.%m.%d %H:%M"),
"%Y.%m.%d %H"), FUN=mean)
212
213 #-----Zusammenfassung-----
214 zus_hour<-merge(G01.Pn.hour.sum,G01.Hy.hour.sum,G01.hour.sum,
215                G01.V1.kWh.hour,G01.V2.kWh.hour,
                G01.V3.kWh.hour, G01.V.kWh.hour,
216                G01.P1.kWh.hour,G01.P2.kWh.hour,
                G01.Hy.kWh.hour, G01.kWh.hour,
217                G01.Pn.P.DL_mean.hour, G01.Hy.P.DL_mean.hour
                , G01.nachblasen.P.DL_mean.hour,
218                G01.nachblasen.hour
219                )
220
221 zus_hour <- merge(zoo(coredata(zus_hour),as.POSIXlt(index(
zus_hour), format="%Y.%m.%d %H")))
222                ,zoo(,as.character(seq(as.POSIXlt(start(
zus_hour), format="%Y.%m.%d %H"),
223                as.POSIXlt(end(
                zus_hour), format=
                "%Y.%m.%d %H"), by=
                "hour")))
224                ,all=TRUE)
225
226 #-----Export-----
227 zus_hour<-data.table(index(zus_hour),coredata(zus_hour))
228 write.table(zus_hour, file=paste(as.character(as.Date(min(
zus_hour$V1))),"-",
229                as.character(as.Date(max(
                zus_hour$V1))),
                "DA_BF4_neu.csv"), na="0",
230                row.names=TRUE, sep = ";")

```

```

1 #####
2 #           H2S-Belastung           #
3 #####
4
5 #-----Import Rohdaten-----
6 #vorher löschen von Zeile 2 und 3
7 #lösche Zeilen 2-3 manuell!
8 Rohdaten <- read.table("E:/Documents/TU Wien/DA/APS
Zwentendorf - Atzenbrugg/Daten/H2S Analyse
Messkampagne/H2S_pH_2018_06_01-07_12.csv",
9
           sep=";", header=TRUE, fill = TRUE,
           na.strings = c(" ", " ", " ", " ", " ", " ", "
           "))
10
11 library(data.table)
12 library(zoo)
13 library(dplyr)
14 options(digits.secs=6)           # changing defaults: milli!
15 Sys.time()
16
17 setDT(Rohdaten)
18 names(Rohdaten)[1]<-"DPE"
19
20
21 #-----H2S-Hauptpumpwerk -
Minutenmittelwerte-----
22
23
24 G01.H2S<-zoo(Rohdaten$G01_VS1_Q1.Status.Messwert.value,
25             as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
26 G01.H2S<-na.exclude(G01.H2S)
27 G01.H2S.min<-aggregate(G01.H2S, by=format(as.POSIXlt(time(
G01.H2S)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
28
29 #-----H2S-Kläranlage Traismauer -
Minutenmittelwerte-----
30
31
32 G07.H2S<-zoo(Rohdaten$G08_G07_Q1.Status.Messwert.value,
33             as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
34 G07.H2S<-na.exclude(G07.H2S)
35 G07.H2S.min<-aggregate(G07.H2S, by=format(as.POSIXlt(time(
G07.H2S)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
36
37 #-----pH-Wert Kleinschönbichl -
Minutenmittelwerte-----
38
39
40 Z15.pH<-zoo(Rohdaten$Z15_pH_Wert.Status.Messwert.value,
41            as.POSIXlt(Rohdaten$DPE, format="%Y.%m.%d
%H:%M:%OS", tz="GMT"))
42 Z15.pH<-na.exclude(Z15.pH)
43 Z15.pH.min<-aggregate(Z15.pH, by=format(as.POSIXlt(time(
Z15.pH)), "%Y.%m.%d %H:%M"), FUN=mean)
44

```

```

45 #-----Zusammenfassung und Export-----
46
47 zus_H2S<-merge(G01.H2S.min,G07.H2S.min,Z15.pH.min)
48 zus_H2S <- merge(zoo(coredata(zus_H2S),as.POSIXlt(index(
zus_H2S),format="%Y.%m.%d %H:%M"))
49 ,zoo(,as.character(seq(as.POSIXlt(start(
zus_H2S),format="%Y.%m.%d %H:%M"),
50 as.POSIXlt(end(
zus_H2S),format=
"%Y.%m.%d %H:%M"),by
="min")))
51 ,all=TRUE)
52
53 zus_H2S<-data.table(index(zus_H2S),coredata(zus_H2S))
54
55 zus_H2S$G01.H2S.min<-na.fill(zus_H2S$G01.H2S.min,0)
56 zus_H2S$G07.H2S.min<-na.fill(zus_H2S$G07.H2S.min,0)
57
58 write.table(zus_H2S,file=paste(as.character(as.Date(min(
zus_H2S$V1))),"-",as.character(as.Date(max(zus_H2S$V1))),
"H2S_pH_min.csv"),na="NA",row.names=TRUE, sep = ";")
59
60

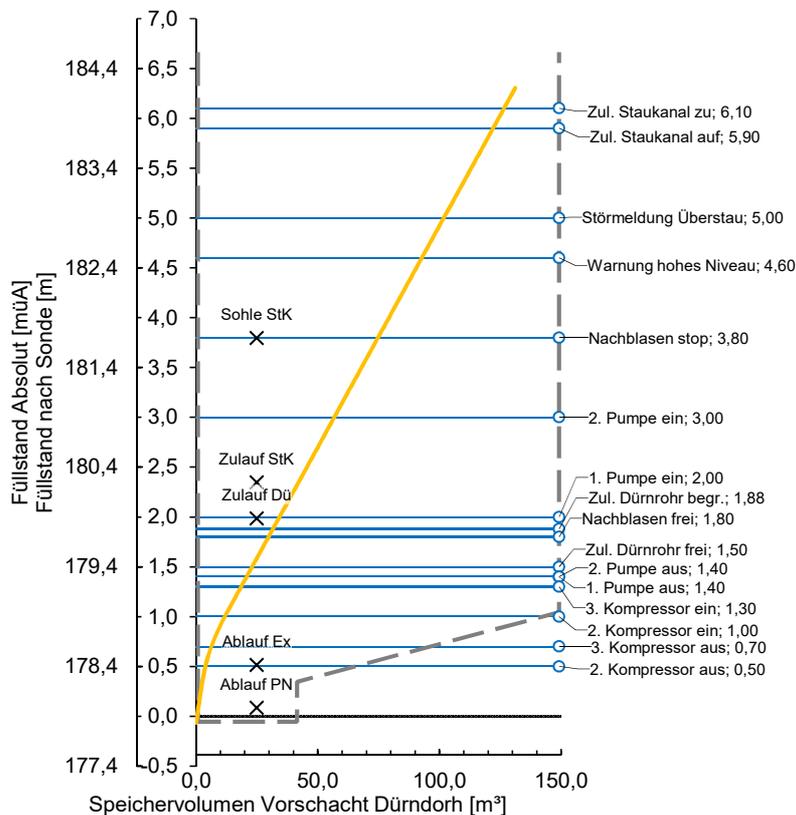
```

Anhang B BF1 – Maximalvariante

- Schaltpunkte
- Überblick Tagesfördermengen 16.7.2018
- Stundenwerte

BF1 - Maximalvariante

	Sonde [m]	von Sohle Vorschacht	Absolut [müA]	Anmerkung
Feste Höhen				
Höhe Füllstandssonde	0,000	0,057	177,905	
Sohle VS	-0,057	0,000	177,848	
Ablauf PN	0,085	0,142	177,990	
Ablauf Ex	0,515	0,572	178,420	
Zulauf Dü	1,967	2,024	179,872	
Zulauf StK	2,345	2,402	180,250	
Sohle StK	3,793	3,850	181,698	
Schaltpunkte				
Zul. Dürnrrohr begr.	1,880	1,937	179,785	
Zul. Dürnrrohr frei	1,500	1,557	179,405	
Nachblasen stop	3,800	3,857	181,705	
2. Pumpe ein	3,000	3,057	180,905	
2. Pumpe aus	1,400	1,457	179,305	
1. Pumpe ein	2,000	2,057	179,905	
1. Pumpe aus	1,400	1,457	179,305	
3. Kompressor ein	1,300	1,357	179,205	
3. Kompressor aus	0,700	0,757	178,605	
2. Kompressor ein	1,000	1,057	178,905	
2. Kompressor aus	0,500	0,557	178,405	
Warnung hohes Niveau	4,600	4,657	182,505	
Zul. Staukanal auf	5,900	5,957	183,805	
Zul. Staukanal zu	6,100	6,157	184,005	
Störmeldung Überstau	5,000	5,057	182,905	
Nachblasen frei	1,800	1,857	179,705	
1. Kompressor ein	---	---	---	
1. Kompressor aus	---	---	---	
Kompletentleerung	---	---	---	Nicht relevant, Förderung erfolgt bei Kesselvollfüllung





BF1 - Maximalvariante: Stundendaten

Date-Time	Q,Pn [m³/h]	Q,Hy [m³/h]	Q [m³/h]	E,Pn [kWh/h]	E,Hy [kWh/h]	E,NB [kWh/h]	E [kWh/h]	NB- Zeit [min]	P,Pn [bar]	P,Hy [bar]	P,NB [bar]	e,bez,Pn [kWh/m³]	e,bez,Hy [kWh/m³]	e,spez,Pn [Wh/(m³*m)]	e,spez,Hy [Wh/(m³*m)]	NS [mm]
12.07.2018 23:00:00	72,0	0,0	72,0	40,8	0,0	0,0	40,78	0,0	2,5	0,0	0,0	0,57	0,00	23,1	0,0	0
13.07.2018 00:00:00	63,0	0,0	63,0	34,1	0,0	0,0	34,12	0,0	2,4	0,0	0,0	0,54	0,00	23,0	0,0	6
13.07.2018 01:00:00	114,0	0,0	114,0	81,1	0,0	0,0	81,12	0,0	3,6	0,0	0,0	0,71	0,00	19,6	0,0	6
13.07.2018 02:00:00	129,0	0,0	129,0	67,5	0,0	0,0	67,45	0,0	3,0	0,0	0,0	0,52	0,00	17,6	0,0	6
13.07.2018 03:00:00	63,0	0,0	63,0	38,2	0,0	0,0	38,17	0,0	3,3	0,0	0,0	0,61	0,00	18,5	0,0	6
13.07.2018 04:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	144,4	144,35	60,0	0,0	4,3	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	6
13.07.2018 05:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	144,8	144,81	60,0	0,0	3,5	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	6
13.07.2018 06:00:00	27,0	0,0	27,0	46,4	0,0	46,4	92,76	30,0	2,2	0,0	2,0	1,72	0,00	78,1	0,0	6
13.07.2018 07:00:00	15,0	0,0	15,0	8,5	0,0	0,0	8,49	0,0	1,7	0,0	0,0	0,57	0,00	32,7	0,0	6
13.07.2018 08:00:00	45,0	0,0	45,0	21,6	0,0	0,0	21,63	0,0	1,9	0,0	0,0	0,48	0,00	25,6	0,0	6
13.07.2018 09:00:00	48,0	0,0	48,0	24,9	0,0	0,0	24,94	0,0	1,8	0,0	0,0	0,52	0,00	28,8	0,0	6
13.07.2018 10:00:00	69,0	0,0	69,0	31,4	0,0	0,0	31,44	0,0	1,9	0,0	0,0	0,46	0,00	24,6	0,0	6
13.07.2018 11:00:00	90,0	0,0	90,0	39,7	0,0	0,0	39,66	0,0	1,9	0,0	0,0	0,44	0,00	22,9	0,0	6
13.07.2018 12:00:00	81,0	0,0	81,0	39,4	0,0	0,0	39,45	0,0	2,0	0,0	0,0	0,49	0,00	24,1	0,0	6
13.07.2018 13:00:00	81,0	0,0	81,0	40,1	0,0	0,0	40,12	0,0	2,3	0,0	0,0	0,50	0,00	21,4	0,0	6
13.07.2018 14:00:00	84,0	0,0	84,0	41,7	0,0	0,0	41,69	0,0	2,4	0,0	0,0	0,50	0,00	20,8	0,0	6
13.07.2018 15:00:00	75,0	0,0	75,0	38,2	0,0	0,0	38,24	0,0	2,4	0,0	0,0	0,51	0,00	21,0	0,0	6
13.07.2018 16:00:00	75,0	0,0	75,0	37,6	0,0	0,0	37,63	0,0	2,4	0,0	0,0	0,50	0,00	21,1	0,0	6
13.07.2018 17:00:00	69,0	0,0	69,0	36,4	0,0	0,0	36,38	0,0	2,4	0,0	0,0	0,53	0,00	22,2	0,0	6
13.07.2018 18:00:00	111,0	0,0	111,0	60,6	0,0	0,0	60,56	0,0	3,0	0,0	0,0	0,55	0,00	18,4	0,0	6
13.07.2018 19:00:00	126,0	0,0	126,0	79,4	0,0	0,0	79,36	0,0	3,3	0,0	0,0	0,63	0,00	19,1	0,0	6
13.07.2018 20:00:00	114,0	0,0	114,0	58,2	0,0	0,0	58,18	0,0	2,7	0,0	0,0	0,51	0,00	18,9	0,0	6
13.07.2018 21:00:00	96,0	0,0	96,0	44,9	0,0	0,0	44,94	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,6	0,0	6
13.07.2018 22:00:00	90,0	0,0	90,0	44,2	0,0	0,0	44,24	0,0	2,4	0,0	0,0	0,49	0,00	20,6	0,0	6
13.07.2018 23:00:00	72,0	0,0	72,0	36,6	0,0	0,0	36,55	0,0	2,3	0,0	0,0	0,51	0,00	22,3	0,0	6
14.07.2018 00:00:00	72,0	0,0	72,0	37,1	0,0	0,0	37,11	0,0	2,3	0,0	0,0	0,52	0,00	22,3	0,0	2
14.07.2018 01:00:00	111,0	0,0	111,0	78,9	0,0	0,0	78,93	0,0	3,6	0,0	0,0	0,71	0,00	19,7	0,0	2
14.07.2018 02:00:00	129,0	0,0	129,0	66,8	0,0	0,0	66,78	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	17,6	0,0	2
14.07.2018 03:00:00	57,0	0,0	57,0	34,6	0,0	0,0	34,58	0,0	3,2	0,0	0,0	0,61	0,00	18,8	0,0	2
14.07.2018 04:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	143,8	143,80	60,0	0,0	4,3	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	2
14.07.2018 05:00:00	6,0	0,0	6,0	4,8	0,0	138,4	143,13	58,0	0,8	0,0	3,6	0,80	0,00	95,3	0,0	2
14.07.2018 06:00:00	30,0	0,0	30,0	22,9	0,0	0,0	22,91	0,0	1,2	0,0	0,0	0,76	0,00	62,3	0,0	2
14.07.2018 07:00:00	30,0	0,0	30,0	13,1	0,0	0,0	13,11	0,0	1,1	0,0	0,0	0,44	0,00	38,5	0,0	2
14.07.2018 08:00:00	24,0	0,0	24,0	11,7	0,0	0,0	11,68	0,0	1,4	0,0	0,0	0,49	0,00	35,9	0,0	2
14.07.2018 09:00:00	51,0	0,0	51,0	23,4	0,0	0,0	23,44	0,0	1,4	0,0	0,0	0,46	0,00	32,4	0,0	2
14.07.2018 10:00:00	75,0	0,0	75,0	30,7	0,0	0,0	30,71	0,0	1,3	0,0	0,0	0,41	0,00	32,7	0,0	2
14.07.2018 11:00:00	105,0	0,0	105,0	40,0	0,0	0,0	39,97	0,0	1,4	0,0	0,0	0,38	0,00	27,9	0,0	2
14.07.2018 12:00:00	102,0	0,0	102,0	40,8	0,0	0,0	40,76	0,0	1,5	0,0	0,0	0,40	0,00	26,1	0,0	2
14.07.2018 13:00:00	102,0	0,0	102,0	40,3	0,0	0,0	40,35	0,0	1,7	0,0	0,0	0,40	0,00	23,4	0,0	2
14.07.2018 14:00:00	81,0	0,0	81,0	37,8	0,0	0,0	37,75	0,0	1,8	0,0	0,0	0,47	0,00	26,0	0,0	2
14.07.2018 15:00:00	84,0	0,0	84,0	39,3	0,0	0,0	39,28	0,0	2,1	0,0	0,0	0,47	0,00	22,5	0,0	2
14.07.2018 16:00:00	75,0	0,0	75,0	37,7	0,0	0,0	37,75	0,0	2,2	0,0	0,0	0,50	0,00	22,9	0,0	2
14.07.2018 17:00:00	81,0	0,0	81,0	38,6	0,0	0,0	38,59	0,0	2,1	0,0	0,0	0,48	0,00	22,2	0,0	2
14.07.2018 18:00:00	75,0	0,0	75,0	38,3	0,0	0,0	38,25	0,0	2,2	0,0	0,0	0,51	0,00	23,2	0,0	2
14.07.2018 19:00:00	75,0	0,0	75,0	37,2	0,0	0,0	37,19	0,0	2,2	0,0	0,0	0,50	0,00	22,4	0,0	2
14.07.2018 20:00:00	90,0	0,0	90,0	43,0	0,0	0,0	43,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	20,1	0,0	2
14.07.2018 21:00:00	78,0	0,0	78,0	38,4	0,0	0,0	38,39	0,0	2,4	0,0	0,0	0,49	0,00	20,9	0,0	2
14.07.2018 22:00:00	75,0	0,0	75,0	38,9	0,0	0,0	38,94	0,0	2,4	0,0	0,0	0,52	0,00	21,5	0,0	2
14.07.2018 23:00:00	75,0	0,0	75,0	39,9	0,0	0,0	39,90	0,0	2,4	0,0	0,0	0,53	0,00	21,8	0,0	2
15.07.2018 00:00:00	60,0	0,0	60,0	32,5	0,0	0,0	32,47	0,0	2,4	0,0	0,0	0,54	0,00	22,8	0,0	0
15.07.2018 01:00:00	120,0	0,0	120,0	85,7	0,0	0,0	85,71	0,0	3,6	0,0	0,0	0,71	0,00	19,6	0,0	0
15.07.2018 02:00:00	132,0	0,0	132,0	68,6	0,0	0,0	68,60	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	17,6	0,0	0
15.07.2018 03:00:00	54,0	0,0	54,0	40,3	0,0	0,0	40,28	0,0	3,6	0,0	0,0	0,75	0,00	21,0	0,0	0
15.07.2018 04:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	144,4	144,36	60,0	0,0	4,1	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0
15.07.2018 05:00:00	3,0	0,0	3,0	4,8	0,0	138,3	143,06	58,0	0,9	3,5	1,59	0,00	0,00	169,8	0,0	0
15.07.2018 06:00:00	36,0	0,0	36,0	26,4	0,0	0,0	26,40	0,0	1,5	0,0	0,0	0,73	0,00	47,5	0,0	0
15.07.2018 07:00:00	21,0	0,0	21,0	9,3	0,0	0,0	9,31	0,0	1,1	0,0	0,0	0,44	0,00	38,9	0,0	0
15.07.2018 08:00:00	21,0	0,0	21,0	10,5	0,0	0,0	10,49	0,0	1,2	0,0	0,0	0,50	0,00	41,2	0,0	0
15.07.2018 09:00:00	51,0	0,0	51,0	22,6	0,0	0,0	22,62	0,0	1,2	0,0	0,0	0,44	0,00	36,3	0,0	0
15.07.2018 10:00:00	63,0	0,0	63,0	27,7	0,0	0,0	27,75	0,0	1,3	0,0	0,0	0,44	0,00	33,4	0,0	0
15.07.2018 11:00:00	105,0	0,0	105,0	38,7	0,0	0,0	38,71	0,0	1,4	0,0	0,0	0,37	0,00	25,6	0,0	0
15.07.2018 12:00:00	96,0	0,0	96,0	38,9	0,0	0,0	38,87	0,0	1,4	0,0	0,0	0,40	0,00	28,0	0,0	0
15.07.2018 13:00:00	99,0	0,0	99,0	40,1	0,0	0,0	40,11	0,0	1,7	0,0	0,0	0,41	0,00	24,5	0,0	0
15.07.2018 14:00:00	90,0	0,0	90,0	38,6	0,0	0,0	38,59	0,0	1,7	0,0	0,0	0,43	0,00	24,9	0,0	0
15.07.2018 15:00:00	84,0	0,0	84,0	39,4	0,0	0,0	39,45	0,0	2,1	0,0	0,0	0,47	0,00	22,8	0,0	0
15.07.2018 16:00:00	78,0	0,0	78,0	39,2	0,0	0,0	39,16	0,0	2,2	0,0	0,0	0,50	0,00	23,1	0,0	0
15.07.2018 17:00:00	72,0	0,0	72,0	36,3	0,0	0,0	36,29	0,0	2,2	0,0	0,0	0,50	0,00	23,0	0,0	0
15.07.2018 18:00:00	63,0	0,0	63,0	31,9	0,0	0,0	31,94	0,0	2,1	0,0	0,0	0,51	0,00	23,6	0,0	0
15.07.2018 19:00:00	69,0	0,0	69,0	34,2	0,0	0,0	34,24	0,0	2,1	0,0	0,0	0,50	0,00	23,3	0,0	0
15.07.2018 20:00:00	81,0	0,0	81,0	39,5	0,0	0,0	39,48	0,0	2,3	0,0	0,0	0,49	0,00	21,6	0,0	0
15.07.2018 21:00:00	87,0	0,0	87,0	42,3	0,0	0,0	42,31	0,0	2,4	0,0	0,0	0,49	0,00	20,4	0,0	0
15.07.2018 22:00:00	75,0	0,0	75,0	38,2	0,0	0,0	38,22	0,0	2,3	0,0	0,0	0,51	0,00	22,0	0,0	0
15.07.2018 23:00:00	81,0	0,0	81,0	40,9	0,0	0,0	40,94	0,0	2,4	0,0	0,0	0,51	0,00	20,9	0,0	0
16.07.2018 00:00:00	66,0	0,0	66,0	34,8	0,0	0,0	34,76	0,0	2,3	0,0						

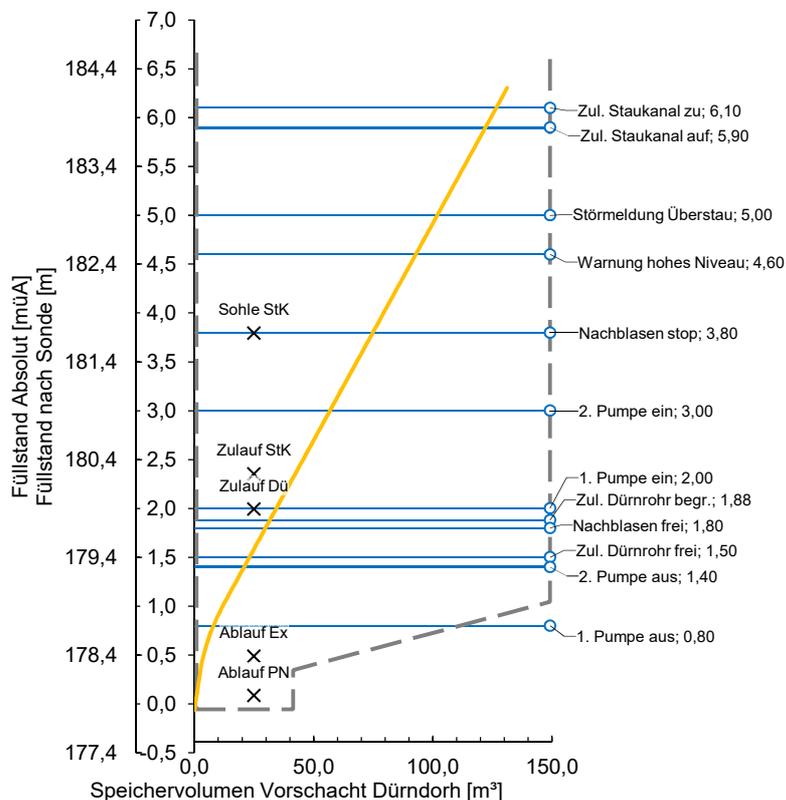
Date-Time	Q,Pn [m³/h]	Q,Hy [m³/h]	Q [m³/h]	E,Pn [kWh/h]	E,Hy [kWh/h]	E,NB [kWh/h]	E [kWh/h]	NB- Zeit [min]	P,Pn [bar]	P,Hy [bar]	P,NB [bar]	e.bez,Pn [kWh/m²]	e.bez,Hy [kWh/m²]	e.spez,Pn [Wh/(m³*m)]	e.spez,Hy [Wh/(m³*m)]	NS [mm]
20.07.2018 01:00:00	117,0	0,0	117,0	84,2	0,0	0,0	84,16	0,0	3,6	0,0	0,0	0,72	0,00	20,1	0,0	0
20.07.2018 02:00:00	126,0	0,0	126,0	63,9	0,0	0,0	63,87	0,0	2,8	0,0	0,0	0,51	0,00	18,4	0,0	0
20.07.2018 03:00:00	0,0	24,0	24,0	0,0	3,0	144,0	147,00	60,0	0,0	0,8	4,5	0,00	0,12	0,0	14,6	0
20.07.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,8	0,0	137,8	142,56	58,0	1,4	0,0	3,5	1,58	0,00	111,4	0,0	0
20.07.2018 05:00:00	45,0	0,0	45,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	1,8	0,0	0,0	0,73	0,00	40,1	0,0	0
20.07.2018 06:00:00	18,0	0,0	18,0	10,0	0,0	0,0	10,04	0,0	1,1	0,0	0,0	0,56	0,00	50,9	0,0	0
20.07.2018 07:00:00	33,0	0,0	33,0	15,0	0,0	0,0	14,98	0,0	1,3	0,0	0,0	0,45	0,00	34,0	0,0	0
20.07.2018 08:00:00	36,0	0,0	36,0	16,9	0,0	0,0	16,87	0,0	1,2	0,0	0,0	0,47	0,00	38,6	0,0	0
20.07.2018 09:00:00	63,0	0,0	63,0	26,3	0,0	0,0	26,34	0,0	1,3	0,0	0,0	0,42	0,00	31,2	0,0	0
20.07.2018 10:00:00	66,0	0,0	66,0	28,1	0,0	0,0	28,08	0,0	1,4	0,0	0,0	0,43	0,00	29,4	0,0	0
20.07.2018 11:00:00	93,0	0,0	93,0	39,1	0,0	0,0	39,13	0,0	1,5	0,0	0,0	0,42	0,00	28,5	0,0	0
20.07.2018 12:00:00	99,0	0,0	99,0	39,6	0,0	0,0	39,60	0,0	1,7	0,0	0,0	0,40	0,00	24,1	0,0	0
20.07.2018 13:00:00	84,0	0,0	84,0	36,8	0,0	0,0	36,80	0,0	1,8	0,0	0,0	0,44	0,00	25,0	0,0	0
20.07.2018 14:00:00	87,0	0,0	87,0	40,1	0,0	0,0	40,07	0,0	2,1	0,0	0,0	0,46	0,00	21,7	0,0	0
20.07.2018 15:00:00	78,0	0,0	78,0	37,9	0,0	0,0	37,93	0,0	2,2	0,0	0,0	0,49	0,00	22,2	0,0	0
20.07.2018 16:00:00	87,0	0,0	87,0	41,8	0,0	0,0	41,76	0,0	2,3	0,0	0,0	0,48	0,00	21,3	0,0	0
20.07.2018 17:00:00	72,0	0,0	72,0	37,4	0,0	0,0	37,41	0,0	2,2	0,0	0,0	0,52	0,00	23,4	0,0	0
20.07.2018 18:00:00	81,0	0,0	81,0	39,5	0,0	0,0	39,52	0,0	2,2	0,0	0,0	0,49	0,00	21,7	0,0	0
20.07.2018 19:00:00	81,0	0,0	81,0	39,8	0,0	0,0	39,82	0,0	2,3	0,0	0,0	0,49	0,00	21,4	0,0	0
20.07.2018 20:00:00	87,0	0,0	87,0	42,0	0,0	0,0	41,99	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	19,7	0,0	0
20.07.2018 21:00:00	78,0	0,0	78,0	39,2	0,0	0,0	39,23	0,0	2,4	0,0	0,0	0,50	0,00	20,8	0,0	0
20.07.2018 22:00:00	81,0	0,0	81,0	41,0	0,0	0,0	40,96	0,0	2,5	0,0	0,0	0,51	0,00	20,2	0,0	0
20.07.2018 23:00:00	78,0	0,0	78,0	40,4	0,0	0,0	40,39	0,0	2,4	0,0	0,0	0,52	0,00	21,5	0,0	0
21.07.2018 00:00:00	72,0	0,0	72,0	34,8	0,0	0,0	34,78	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	20,5	0,0	4
21.07.2018 01:00:00	114,0	0,0	114,0	82,9	0,0	0,0	82,89	0,0	3,6	0,0	0,0	0,73	0,00	20,0	0,0	4
21.07.2018 02:00:00	132,0	0,0	132,0	68,9	0,0	0,0	68,94	0,0	3,0	0,0	0,0	0,52	0,00	17,3	0,0	4
21.07.2018 03:00:00	0,0	20,0	20,0	0,0	3,2	143,4	146,64	60,0	0,0	0,9	4,5	0,00	0,16	0,0	18,3	4
21.07.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,7	0,0	137,6	142,33	58,0	1,7	0,0	3,5	1,58	0,00	91,4	0,0	4
21.07.2018 05:00:00	42,0	0,0	42,0	31,6	0,0	0,0	31,64	0,0	1,9	0,0	0,0	0,75	0,00	39,7	0,0	4
21.07.2018 06:00:00	24,0	0,0	24,0	10,7	0,0	0,0	10,69	0,0	1,2	0,0	0,0	0,45	0,00	38,5	0,0	4
21.07.2018 07:00:00	21,0	0,0	21,0	11,2	0,0	0,0	11,18	0,0	1,2	0,0	0,0	0,53	0,00	43,5	0,0	4
21.07.2018 08:00:00	27,0	0,0	27,0	12,4	0,0	0,0	12,38	0,0	1,3	0,0	0,0	0,46	0,00	34,9	0,0	4
21.07.2018 09:00:00	57,0	0,0	57,0	24,5	0,0	0,0	24,45	0,0	1,3	0,0	0,0	0,43	0,00	33,3	0,0	4
21.07.2018 10:00:00	60,0	0,0	60,0	25,3	0,0	0,0	25,31	0,0	1,4	0,0	0,0	0,42	0,00	30,8	0,0	4
21.07.2018 11:00:00	111,0	0,0	111,0	42,2	0,0	0,0	42,25	0,0	1,6	0,0	0,0	0,38	0,00	24,4	0,0	4
21.07.2018 12:00:00	99,0	0,0	99,0	39,9	0,0	0,0	39,85	0,0	1,6	0,0	0,0	0,40	0,00	24,5	0,0	4
21.07.2018 13:00:00	99,0	0,0	99,0	41,7	0,0	0,0	41,66	0,0	1,8	0,0	0,0	0,42	0,00	24,0	0,0	4
21.07.2018 14:00:00	87,0	0,0	87,0	40,4	0,0	0,0	40,41	0,0	2,0	0,0	0,0	0,46	0,00	23,6	0,0	4
21.07.2018 15:00:00	90,0	0,0	90,0	41,3	0,0	0,0	41,26	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	20,4	0,0	4
21.07.2018 16:00:00	78,0	0,0	78,0	38,2	0,0	0,0	38,22	0,0	2,2	0,0	0,0	0,49	0,00	22,3	0,0	4
21.07.2018 17:00:00	24,0	222,0	246,0	21,3	29,9	0,0	51,21	0,0	3,7	3,1	0,0	0,89	0,13	24,2	4,4	4
21.07.2018 18:00:00	15,0	198,0	213,0	15,1	31,2	0,0	46,23	0,0	3,4	3,5	0,0	1,01	0,16	29,9	4,4	4
21.07.2018 19:00:00	0,0	218,0	218,0	0,0	37,9	0,0	37,92	0,0	0,0	4,0	0,0	0,00	0,17	0,0	4,3	4
21.07.2018 20:00:00	0,0	360,0	360,0	0,0	59,3	0,0	59,31	0,0	0,0	3,6	0,0	0,00	0,16	0,0	4,5	4
21.07.2018 21:00:00	18,0	170,0	188,0	16,7	30,6	0,0	47,28	0,0	4,4	4,2	0,0	0,93	0,18	21,2	4,3	4
21.07.2018 22:00:00	0,0	236,0	236,0	0,0	41,5	0,0	41,52	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,18	0,0	4,2	4
21.07.2018 23:00:00	27,0	224,0	251,0	22,9	40,6	0,0	63,48	0,0	4,2	4,0	0,0	0,85	0,18	20,1	4,5	4
22.07.2018 00:00:00	69,0	102,0	171,0	53,5	20,0	0,0	73,50	0,0	4,0	4,3	0,0	0,78	0,20	19,5	4,6	11
22.07.2018 01:00:00	141,0	0,0	141,0	92,6	0,0	0,0	92,57	0,0	3,4	0,0	0,0	0,66	0,00	19,1	0,0	11
22.07.2018 02:00:00	48,0	96,0	144,0	30,9	17,2	0,0	48,15	0,0	2,9	3,9	0,0	0,64	0,18	21,9	4,6	11
22.07.2018 03:00:00	0,0	148,0	148,0	0,0	24,9	142,7	167,61	60,0	0,0	3,6	4,5	0,00	0,17	0,0	4,6	11
22.07.2018 04:00:00	0,0	148,0	148,0	0,0	24,8	136,3	165,81	58,0	0,0	3,5	3,9	0,00	0,17	0,0	4,8	11
22.07.2018 05:00:00	24,0	280,0	304,0	20,4	35,9	0,0	56,31	0,0	3,6	2,7	0,0	0,85	0,13	23,5	4,7	11
22.07.2018 06:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	32,3	0,0	32,31	0,0	0,0	3,9	0,0	0,00	0,18	0,0	4,6	11
22.07.2018 07:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	32,6	0,0	32,61	0,0	0,0	4,1	0,0	0,00	0,18	0,0	4,4	11
22.07.2018 08:00:00	15,0	164,0	179,0	11,9	29,3	0,0	41,22	0,0	4,1	4,1	0,0	0,79	0,18	19,3	4,4	11
22.07.2018 09:00:00	117,0	16,0	133,0	82,3	1,6	0,0	83,91	0,0	3,5	3,6	0,0	0,70	0,10	20,2	2,8	11
22.07.2018 10:00:00	108,0	0,0	108,0	46,4	0,0	0,0	46,37	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,1	0,0	11
22.07.2018 11:00:00	108,0	0,0	108,0	48,3	0,0	0,0	48,26	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	17,6	0,0	11
22.07.2018 12:00:00	108,0	0,0	108,0	56,4	0,0	0,0	56,44	0,0	2,8	0,0	0,0	0,52	0,00	18,4	0,0	11
22.07.2018 13:00:00	90,0	0,0	90,0	43,9	0,0	0,0	43,91	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,4	0,0	11
22.07.2018 14:00:00	90,0	0,0	90,0	43,5	0,0	0,0	43,52	0,0	2,5	0,0	0,0	0,48	0,00	19,0	0,0	11
22.07.2018 15:00:00	87,0	0,0	87,0	41,3	0,0	0,0	41,35	0,0	2,5	0,0	0,0	0,48	0,00	19,0	0,0	11
22.07.2018 16:00:00	78,0	0,0	78,0	40,0	0,0	0,0	40,01	0,0	2,3	0,0	0,0	0,51	0,00	21,9	0,0	11
22.07.2018 17:00:00	72,0	0,0	72,0	37,3	0,0	0,0	37,31	0,0	2,5	0,0	0,0	0,52	0,00	21,1	0,0	11
22.07.2018 18:00:00	78,0	0,0	78,0	38,8	0,0	0,0	38,76	0,0	2,5	0,0	0,0	0,50	0,00	20,0	0,0	11
22.07.2018 19:00:00	87,0	0,0	87,0	41,9	0,0	0,0	41,90	0,0	2,5	0,0	0,0	0,48	0,00	19,2	0,0	11
22.07.2018 20:00:00	96,0	0,0	96,0	47,6	0,0	0,0	47,58	0,0	2,6	0,0	0,0	0,50	0,00	19,2	0,0	11
22.07.2018 21:00:00	66,0	100,0	166,0	58,7	20,1	0,0	78,72	0,0	4,3	4,3	0,0	0,89	0,20	20,5	4,7	11
22.07.2018 22:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	35,3	0,0	35,25	0,0	0,0	4,6	0,0	0,00	0,20	0,0	4,3	11
22.07.2018 23:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	35,7	0,0	35,70	0,0	0,0	4,6	0,0	0,00	0,20	0,0	4,3	11
23.07.2018 00:00:00	30,0	142,0	172,0	27,0	27,3	0,0	54,30	0,0	4,3	4,4	0,0	0,90	0,19	21,0	4,4	5
23.07.2018 01:00:00	42,0	216,0	258,0	33,5	34,4	0,0	67,92	0,0	4,0	3,7	0,0	0,80	0,16	19,7	4,3	5
23.07.2018 02:00:00	120,0	42,0	162,0	104,0	9,7	0,0										

Anhang C BF2 – Minimalvariante

- Schaltpunkte
- Stundenwerte

BF2 - Minimalvariante

	Sonde [m]	von Sohle Vorschacht [m]	Absolut [müA]	Anmerkung
Feste Höhen				
Höhe Füllstandssonde	0,000	0,057	177,905	
Sohle VS	-0,057	0,000	177,848	
Ablauf PN	0,085	0,142	177,990	
Ablauf Ex	0,515	0,572	178,420	
Zulauf Dü	1,967	2,024	179,872	
Zulauf StK	2,345	2,402	180,250	
Sohle StK	3,793	3,850	181,698	
Schaltpunkte				
Zul. Dürnrrohr begr.	1,880	1,937	179,785	
Zul. Dürnrrohr frei	1,500	1,557	179,405	
Nachblasen stop	3,800	3,857	181,705	
2. Pumpe ein	3,000	3,057	180,905	
2. Pumpe aus	1,400	1,457	179,305	
1. Pumpe ein	2,000	2,057	179,905	
1. Pumpe aus	0,800	0,857	178,705	
3. Kompressor ein	1,300	1,357	179,205	Nicht relevant, da vorrangiger Pumpbetrieb aktiv
3. Kompressor aus	0,700	0,757	178,605	
2. Kompressor ein	1,000	1,057	178,905	
2. Kompressor aus	0,500	0,557	178,405	
Warnung hohes Nivea	4,600	4,657	182,505	
Zul. Staukanal auf	5,900	5,957	183,805	
Zul. Staukanal zu	6,100	6,157	184,005	
Störmeldung Überstau	5,000	5,057	182,905	
Nachblasen frei	1,800	1,857	179,705	
1. Kompressor ein	---	---	---	Nicht relevant, Förderung erfolgt bei Kesselvollfüllung
1. Kompressor aus	---	---	---	
Kompletzentleerung	---	---	---	



BF2 - Minimalvariante: Stundendaten

Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E,NB	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e.bez,Pn	e.bez,Hy	e.spez,Pn	e.spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[min]	[bar]	[bar]	[bar]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	[Wh/(m²·m)]	[Wh/(m²·m)]	[mm]
24.07.2018 23:00:00	72,0	0,0	72,0	39,7	0,0	0,0	39,72	0,0	2,4	0,0	0,0	0,55	0,00	23,2	0,0	0
25.07.2018 00:00:00	63,0	0,0	63,0	33,7	0,0	0,0	33,66	0,0	2,4	0,0	0,0	0,53	0,00	22,6	0,0	0
25.07.2018 01:00:00	108,0	0,0	108,0	77,0	0,0	0,0	77,04	0,0	3,5	0,0	0,0	0,71	0,00	20,1	0,0	0
25.07.2018 02:00:00	132,0	0,0	132,0	69,7	0,0	0,0	69,73	0,0	3,0	0,0	0,0	0,53	0,00	17,4	0,0	0
25.07.2018 03:00:00	0,0	18,0	18,0	0,0	3,1	143,6	146,64	60,0	0,0	0,8	4,6	0,00	0,17	0,0	20,8	0
25.07.2018 04:00:00	6,0	0,0	6,0	4,8	0,0	138,0	142,81	58,0	1,2	0,0	3,6	0,79	0,00	64,0	0,0	0
25.07.2018 05:00:00	42,0	0,0	42,0	31,6	0,0	0,0	31,62	0,0	1,9	0,0	0,0	0,75	0,00	40,5	0,0	0
25.07.2018 06:00:00	24,0	0,0	24,0	11,9	0,0	0,0	11,88	0,0	1,2	0,0	0,0	0,50	0,00	40,5	0,0	0
25.07.2018 07:00:00	33,0	0,0	33,0	14,8	0,0	0,0	14,83	0,0	1,3	0,0	0,0	0,45	0,00	33,8	0,0	0
25.07.2018 08:00:00	45,0	0,0	45,0	21,2	0,0	0,0	21,24	0,0	1,4	0,0	0,0	0,47	0,00	34,9	0,0	0
25.07.2018 09:00:00	57,0	0,0	57,0	25,6	0,0	0,0	25,55	0,0	1,3	0,0	0,0	0,45	0,00	35,8	0,0	0
25.07.2018 10:00:00	84,0	0,0	84,0	34,7	0,0	0,0	34,69	0,0	1,5	0,0	0,0	0,41	0,00	27,7	0,0	0
25.07.2018 11:00:00	93,0	0,0	93,0	37,6	0,0	0,0	37,62	0,0	1,5	0,0	0,0	0,40	0,00	27,7	0,0	0
25.07.2018 12:00:00	69,0	0,0	69,0	29,2	0,0	0,0	29,21	0,0	1,5	0,0	0,0	0,42	0,00	28,4	0,0	0
25.07.2018 13:00:00	0,0	42,0	42,0	0,0	4,4	0,0	4,41	0,0	0,0	2,4	0,0	0,00	0,11	0,0	4,4	0
25.07.2018 14:00:00	0,0	74,0	74,0	0,0	8,5	0,0	8,46	0,0	0,0	2,7	0,0	0,00	0,11	0,0	4,2	0
25.07.2018 15:00:00	0,0	58,0	58,0	0,0	8,2	0,0	8,22	0,0	0,0	3,0	0,0	0,00	0,14	0,0	4,7	0
25.07.2018 16:00:00	0,0	46,0	46,0	0,0	6,9	0,0	6,90	0,0	0,0	3,3	0,0	0,00	0,15	0,0	4,6	0
25.07.2018 17:00:00	0,0	168,0	168,0	0,0	26,8	0,0	26,76	0,0	0,0	3,7	0,0	0,00	0,16	0,0	4,3	0
25.07.2018 18:00:00	3,0	90,0	93,0	3,1	14,3	0,0	17,40	0,0	2,9	3,5	0,0	1,04	0,16	26,5	4,6	0
25.07.2018 19:00:00	27,0	92,0	119,0	16,6	15,5	0,0	32,07	0,0	3,5	3,4	0,0	0,62	0,17	24,7	4,9	0
25.07.2018 20:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	33,8	0,0	33,78	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,19	0,0	4,4	0
25.07.2018 21:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	34,1	0,0	34,14	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,19	0,0	4,5	0
25.07.2018 22:00:00	30,0	140,0	170,0	27,0	26,3	0,0	53,28	0,0	4,4	4,1	0,0	0,90	0,19	20,5	4,6	0
25.07.2018 23:00:00	0,0	138,0	138,0	0,0	24,3	0,0	24,33	0,0	0,0	3,8	0,0	0,00	0,18	0,0	4,6	0
26.07.2018 00:00:00	0,0	140,0	140,0	0,0	24,3	0,0	24,27	0,0	0,0	3,7	0,0	0,00	0,17	0,0	4,7	0
26.07.2018 01:00:00	0,0	116,0	116,0	0,0	22,1	0,0	22,05	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,19	0,0	4,6	0
26.07.2018 02:00:00	0,0	130,0	130,0	0,0	21,7	0,0	21,69	0,0	0,0	3,5	0,0	0,00	0,17	0,0	4,8	0
26.07.2018 03:00:00	0,0	56,0	56,0	0,0	5,6	142,3	147,93	60,0	0,0	0,9	4,4	0,00	0,10	0,0	10,7	0
26.07.2018 04:00:00	0,0	4,0	4,0	0,0	2,0	139,9	144,24	59,0	0,0	1,4	3,5	0,00	0,49	0,0	34,2	0
26.07.2018 05:00:00	24,0	0,0	24,0	14,7	0,0	0,0	14,66	0,0	1,4	0,0	0,0	0,61	0,00	44,4	0,0	0
26.07.2018 06:00:00	6,0	0,0	6,0	2,3	0,0	0,0	2,34	0,0	0,9	0,0	0,0	0,39	0,00	45,4	0,0	0
26.07.2018 07:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0
26.07.2018 08:00:00	0,0	32,0	32,0	0,0	3,1	0,0	3,06	0,0	0,0	1,4	0,0	0,00	0,10	0,0	6,7	0
26.07.2018 09:00:00	0,0	38,0	38,0	0,0	3,4	0,0	3,36	0,0	0,0	1,8	0,0	0,00	0,09	0,0	4,8	0
26.07.2018 10:00:00	0,0	38,0	38,0	0,0	3,3	0,0	3,33	0,0	0,0	1,9	0,0	0,00	0,09	0,0	4,6	0
26.07.2018 11:00:00	0,0	82,0	82,0	0,0	7,4	0,0	7,41	0,0	0,0	2,2	0,0	0,00	0,09	0,0	4,1	0
26.07.2018 12:00:00	30,0	16,0	46,0	27,0	1,1	0,0	28,14	0,0	3,4	2,1	0,0	0,90	0,07	26,2	3,3	0
26.07.2018 13:00:00	0,0	84,0	84,0	0,0	8,0	0,0	7,98	0,0	0,0	2,3	0,0	0,00	0,10	0,0	4,2	0
26.07.2018 14:00:00	0,0	46,0	46,0	0,0	4,9	0,0	4,89	0,0	0,0	2,5	0,0	0,00	0,11	0,0	4,2	0
26.07.2018 15:00:00	0,0	42,0	42,0	0,0	4,7	0,0	4,65	0,0	0,0	2,8	0,0	0,00	0,11	0,0	4,0	0
26.07.2018 16:00:00	27,0	42,0	69,0	24,2	3,9	0,0	28,14	0,0	3,5	2,8	0,0	0,90	0,09	25,9	3,3	0
26.07.2018 17:00:00	0,0	48,0	48,0	0,0	6,3	0,0	6,30	0,0	0,0	2,9	0,0	0,00	0,13	0,0	4,6	0
26.07.2018 18:00:00	0,0	68,0	68,0	0,0	9,0	0,0	8,97	0,0	0,0	2,8	0,0	0,00	0,13	0,0	4,7	0
26.07.2018 19:00:00	0,0	94,0	94,0	0,0	15,5	0,0	15,45	0,0	0,0	3,3	0,0	0,00	0,16	0,0	4,9	0
26.07.2018 20:00:00	0,0	142,0	142,0	0,0	27,0	0,0	27,03	0,0	0,0	4,1	0,0	0,00	0,19	0,0	4,7	0
26.07.2018 21:00:00	0,0	168,0	168,0	0,0	31,1	0,0	31,08	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,19	0,0	4,4	0
26.07.2018 22:00:00	30,0	88,0	118,0	20,3	15,0	0,0	35,28	0,0	3,1	3,6	0,0	0,68	0,17	22,0	4,7	0
26.07.2018 23:00:00	0,0	44,0	44,0	0,0	7,4	0,0	7,38	0,0	0,0	2,9	0,0	0,00	0,17	0,0	5,8	0
27.07.2018 00:00:00	0,0	44,0	44,0	0,0	7,4	0,0	7,44	0,0	0,0	2,9	0,0	0,00	0,17	0,0	5,9	0
27.07.2018 01:00:00	0,0	114,0	114,0	0,0	18,7	0,0	18,66	0,0	0,0	3,7	0,0	0,00	0,16	0,0	4,5	0
27.07.2018 02:00:00	0,0	128,0	128,0	0,0	20,8	0,0	20,79	0,0	0,0	3,5	0,0	0,00	0,16	0,0	4,7	0
27.07.2018 03:00:00	0,0	50,0	50,0	0,0	5,0	142,1	147,09	60,0	0,0	1,0	4,5	0,00	0,10	0,0	10,2	0
27.07.2018 04:00:00	0,0	4,0	4,0	0,0	2,1	140,1	144,63	59,0	0,0	1,2	3,6	0,00	0,53	0,0	42,8	0
27.07.2018 05:00:00	15,0	0,0	15,0	9,9	0,0	0,0	9,94	0,0	1,2	0,0	0,0	0,66	0,00	53,4	0,0	0
27.07.2018 06:00:00	15,0	0,0	15,0	6,9	0,0	0,0	6,94	0,0	1,1	0,0	0,0	0,46	0,00	40,8	0,0	0
27.07.2018 07:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0
27.07.2018 08:00:00	0,0	38,0	38,0	0,0	3,6	0,0	3,57	0,0	0,0	1,4	0,0	0,00	0,09	0,0	6,6	0
27.07.2018 09:00:00	60,0	0,0	60,0	39,3	0,0	0,0	39,34	0,0	1,9	0,0	0,0	0,66	0,00	34,4	0,0	0
27.07.2018 10:00:00	63,0	0,0	63,0	26,7	0,0	0,0	26,72	0,0	1,3	0,0	0,0	0,42	0,00	31,7	0,0	0
27.07.2018 11:00:00	90,0	0,0	90,0	37,1	0,0	0,0	37,06	0,0	1,5	0,0	0,0	0,41	0,00	27,7	0,0	0
27.07.2018 12:00:00	99,0	0,0	99,0	40,9	0,0	0,0	40,88	0,0	1,6	0,0	0,0	0,41	0,00	25,6	0,0	0
27.07.2018 13:00:00	93,0	0,0	93,0	38,2	0,0	0,0	38,24	0,0	1,7	0,0	0,0	0,41	0,00	24,0	0,0	0
27.07.2018 14:00:00	75,0	0,0	75,0	36,0	0,0	0,0	35,98	0,0	1,9	0,0	0,0	0,48	0,00	24,9	0,0	0
27.07.2018 15:00:00	78,0	0,0	78,0	37,7	0,0	0,0	37,66	0,0	2,3	0,0	0,0	0,48	0,00	21,4	0,0	0
27.07.2018 16:00:00	81,0	0,0	81,0	39,1	0,0	0,0	39,06	0,0	2,2	0,0	0,0	0,48	0,00	21,8	0,0	0
27.07.2018 17:00:00	84,0	0,0	84,0	39,7	0,0	0,0	39,66	0,0	2,2	0,0	0,0	0,47	0,00	21,0	0,0	0
27.07.2018 18:00:00	78,0	0,0	78,0	38,9	0,0	0,0	38,94	0,0	2,2	0,0	0,0	0,50	0,00	22,5	0,0	0
27.07.2018 19:00:00	75,0	0,0	75,0	37,6	0,0	0,0	37,61	0,0	2,2	0,0	0,0	0,50	0,00	23,0	0,0	0
27.07.2018 20:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	40,04	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,6	0,0	0
27.07.2018 21:00:00	78,0	0,0	78,0	40,1	0,0	0,0	40,08	0,0	2,4	0,0	0,0	0,51	0,00	21,1	0,0	0
27.07.2018 22:00:00	78,0	0,0	78,0	39,0	0,0	0,0	38,96	0,0	2,3	0,0	0,0	0,50	0,00	21,3	0,0	0
27.07.2018 23:00:00	63,0	0,0	63,0	32,3	0,0	0,0	32,27	0,0	2,3	0,0	0,0	0,51	0,00	22,1	0,0	0
28.07.2018 00:00:00	63,0	0,0	63,0	31,5	0,0	0,0	31,52	0,0	2,2	0,0</						

Anhang D BF3 – Regenwetter

- Auswertung
- Datenerhebung

BF3 - Regenwetterfall

Nr	Start	Konstant	Ende	NS [mm]	P [bar]
1	03.09.2018 15:42:44	03.09.2018 16:00:31	03.09.2018 17:30:07	2	4,4
2	01.09.2018 08:04:12	01.09.2018 08:19:50	01.09.2018 10:44:47	45	4,3
3	26.08.2018 04:09:21	26.08.2018 04:26:18	26.08.2018 05:45:56	11	4,3
4	24.08.2018 21:39:31	24.08.2018 21:58:26	24.08.2018 22:58:17	20	4,5
5	28.06.2018 08:45:27	28.06.2018 09:04:09	28.06.2018 10:44:50	21	4,7

Fördermengen Zählerstände [m³]				
Nr	Beginn DL1	Ende DL1	Beginn DL2	Ende DL2
1	42041,0	42365,0	44303,0	44625,0
2	40017,0	40499,0	40037,0	40517,0
3	37319,0	37607,0	38579,0	38869,0
4	34885,0	35121,0	37787,0	38023,0
5	17713,0	18071,0	19208,0	19566,0

Nr	Stromverbrauch Zählerstände [kWh]				EVN-Zähler [kWh]
	Beginn P1	Ende P1	Beginn P2	Ende P2	
1	6113,0	6163,0	6514,0	6569,0	
2	5649,0	5737,0	5982,0	6057,0	
3	5360,0	5407,0	5607,0	5654,0	
4	5094,0	5134,0	5336,0	5377,0	
5	keine Zählerstände verfügbar (vor 1.8.18)				134,0

Nr	t [h]	tsteig [min]	V [m³]	Qh [m³/h]	Strom [kWh]	Eh [kWh/h]	e,bez [kWh/m³]	e,spez [Wh/(m³*m)]
1	1,79	18	646,0	360,9	105,0	58,7	0,16	3,7
2	2,68	16	962,0	359,4	163,0	60,9	0,17	3,9
3	1,61	17	578,0	359,1	94,0	58,4	0,16	3,8
4	1,31	19	472,0	359,5	81,0	61,7	0,17	3,8
5	1,99	19	716,0	359,8	134,0	67,3	0,19	4,0

Nr	Start	Konstant	Ende	P [bar]	Fördermengen Zählerstände [m³]				Stromverbrauch Zählerstände [kWh]				Zähler [kWh]
					Beginn DL1	Ende DL1	Beginn DL2	Ende DL2	Beginn P1	Ende P1	Beginn P2	Ende P2	
1	03.09.2018 15:42:44	03.09.2018 16:00:31	03.09.2018 17:30:07	4,43	42041,0	42365,0	44303,0	44625,0	6113,0	6163,0	6514,0	6569,0	
2	01.09.2018 08:04:12	01.09.2018 08:19:50	01.09.2018 10:44:47	4,30	40017,0	40499,0	40037,0	40517,0	5649,0	5737,0	5982,0	6057,0	
3	26.08.2018 04:09:21	26.08.2018 04:26:18	26.08.2018 05:45:56	4,32	37319,0	37607,0	38579,0	38869,0	5360,0	5407,0	5607,0	5654,0	
4	24.08.2018 21:39:31	24.08.2018 21:58:26	24.08.2018 22:58:17	4,48	34885,0	35121,0	37787,0	38023,0	5094,0	5134,0	5336,0	5377,0	
5	28.06.2018 08:45:27	28.06.2018 09:04:09	28.06.2018 10:44:50	4,68	17713,0	18071,0	19208,0	19566,0	keine Zählerstände verfügbar (vor 1.8.18)				134,0

Anhang E BF4 – Druckluftspülvorgang

- Datenerhebung

BF4a - Trockenwetter

Nachblas- vorgang	tNB [min]	ΣE,NB [kWh]	P,NB [bar]	ΣQPn/ΣQ [m³]	P,NB,max [bar]	t,P,max [min]	Q,NB,max [m³/h]	t,Q,max [min]	BF
16.07.2018	118	281	3,8	1,0	4,4	37,0	460,0	87,0	BF1
17.07.2018	118	281	3,8	1,0	4,4	37,0	460,0	86,0	BF1
28.07.2018	118	281	3,9	1,0	4,6	29,0	445,0	88,0	---
29.07.2018	118	281	3,9	1,0	4,6	30,0	460,0	89,0	---
01.08.2018	118	267	4,0	0,9	4,7	25,0	454,0	88,0	BF5
02.08.2018	118	268	4,0	0,9	4,7	23,0	445,0	87,0	BF5
03.08.2018	118	267	4,0	0,9	4,7	25,0	460,0	89,0	BF5
04.08.2018	118	268	4,0	0,9	4,7	25,0	450,0	89,0	BF5
07.08.2018	118	268	4,0	0,9	4,6	23,0	460,0	89,0	BF5
09.08.2018	118	266	4,0	0,9	4,7	23,0	430,0	90,0	BF6

BF4b - Druckluftspülung nach Regenereignis

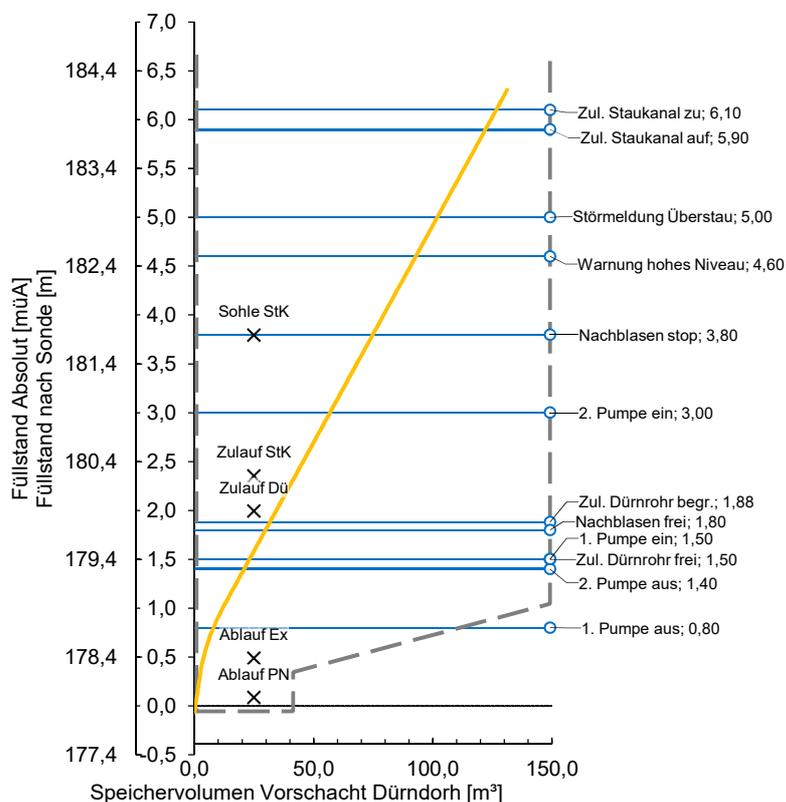
Nachblas- vorgang	tNB [min]	ΣE,NB [kWh]	P,NB [bar]	ΣQh,Hy,vor [m³]	P,NB,max [bar]	t,P,max [min]	Q,NB,max [m³/h]	t,Q,max [min]	BF
22.07.2018	118	279	4,2	2122	4,7	7	498	89	BF1
23.07.2018	118	281	4,1	1012	4,6	9	460	86	BF1
26.07.2018	119	282	3,9	1654	4,6	6	464	89	BF2
27.07.2018	119	282	4,0	1412	4,7	9	461	90	BF2
06.08.2018	118	268	4,0	2032	4,7	10	460	90	BF5
11.08.2018	118	269	4,0	1508	4,6	9	464	88	BF6

Anhang F BF5 – 1 Kompressor

- Schaltpunkte
- Stundenwerte

BF5 - 1 Kompressor

	Sonde [m]	von Sohle Vorschacht [m]	Absolut [müA]	Anmerkung
Feste Höhen				
Höhe Füllstandssonde	0,000	0,057	177,905	
Sohle VS	-0,057	0,000	177,848	
Ablauf PN	0,085	0,142	177,990	
Ablauf Ex	0,515	0,572	178,420	
Zulauf Dü	1,967	2,024	179,872	
Zulauf StK	2,345	2,402	180,250	
Sohle StK	3,793	3,850	181,698	
Schaltpunkte				
Zul. Dürrohr begr.	1,880	1,937	179,785	
Zul. Dürrohr frei	1,500	1,557	179,405	
Nachblasen stop	3,800	3,857	181,705	
2. Pumpe ein	3,000	3,057	180,905	
2. Pumpe aus	1,400	1,457	179,305	
1. Pumpe ein	1,500	1,557	179,405	
1. Pumpe aus	0,800	0,857	178,705	
3. Kompressor ein	2,500	2,557	180,405	
3. Kompressor aus	0,700	0,757	178,605	Höher, als 1. Pumpe ein, daher nicht relevant für Förderung
2. Kompressor ein	2,200	2,257	180,105	
2. Kompressor aus	0,500	0,557	178,405	
Warnung hohes Nivea	4,600	4,657	182,505	
Zul. Staukanal auf	5,900	5,957	183,805	
Zul. Staukanal zu	6,100	6,157	184,005	
Störmeldung Überstau	5,000	5,057	182,905	
Nachblasen frei	1,800	1,857	179,705	
1. Kompressor ein	---	---	---	
1. Kompressor aus	---	---	---	Nicht relevant, Förderung erfolgt bei Kesselvollfüllung
Kompletzentleerung	---	---	---	



BF5 - 1 Kompressor

Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E,NB	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e.bez,Pn	e.bez,Hy	e.spez,Pn	e.spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[min]	[bar]	[bar]	[bar]	[kWh/m³]	[kWh/m³]	[Wh/(m³·m)]	[Wh/(m³·m)]	[mm]
30.07.2018 10:00:00	93,0	0,0	93,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,37	0,00	23,6	0,0	0
30.07.2018 11:00:00	87,0	0,0	87,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,38	0,00	24,5	0,0	0
30.07.2018 12:00:00	90,0	0,0	90,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,38	0,00	23,1	0,0	0
30.07.2018 13:00:00	84,0	0,0	84,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,40	0,00	22,0	0,0	0
30.07.2018 14:00:00	78,0	0,0	78,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,44	0,00	20,7	0,0	0
30.07.2018 15:00:00	81,0	0,0	81,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,41	0,00	18,9	0,0	0
30.07.2018 16:00:00	75,0	0,0	75,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,45	0,00	20,3	0,0	0
30.07.2018 17:00:00	84,0	0,0	84,0	37,0	0,0	0,0	37,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	20,4	0,0	0
30.07.2018 18:00:00	75,0	0,0	75,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,44	0,00	20,5	0,0	0
30.07.2018 19:00:00	84,0	0,0	84,0	36,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,7	0,0	0
30.07.2018 20:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	37,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	20,0	0,0	0
30.07.2018 21:00:00	90,0	0,0	90,0	40,0	0,0	0,0	40,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,8	0,0	0
30.07.2018 22:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	37,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,6	0,0	0
30.07.2018 23:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	37,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,8	0,0	0
31.07.2018 00:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,4	0,0	0
31.07.2018 01:00:00	51,0	59,0	110,0	23,0	9,0	0,0	32,0	0,0	2,6	3,9	0,0	0,45	0,15	17,3	3,9	0
31.07.2018 02:00:00	96,0	0,0	96,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,41	0,00	17,7	0,0	0
31.07.2018 03:00:00	0,0	46,0	46,0	0,0	4,0	137,0	141,0	60,0	0,0	0,9	4,5	0,00	0,09	0,0	10,0	0
31.07.2018 04:00:00	0,0	16,0	16,0	0,0	2,0	130,5	137,0	58,0	0,0	1,5	3,5	0,00	0,13	0,0	8,4	0
31.07.2018 05:00:00	27,0	0,0	27,0	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,37	0,00	29,7	0,0	0
31.07.2018 06:00:00	24,0	0,0	24,0	11,0	0,0	0,0	11,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,46	0,00	37,9	0,0	0
31.07.2018 07:00:00	30,0	0,0	30,0	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,33	0,00	23,2	0,0	0
31.07.2018 08:00:00	3,0	20,0	23,0	2,0	1,0	0,0	3,00	0,0	0,9	1,1	0,0	0,67	0,05	74,3	4,5	0
31.07.2018 09:00:00	75,0	10,0	85,0	26,0	1,0	0,0	27,00	0,0	1,1	0,9	0,0	0,35	0,10	32,7	10,6	0
31.07.2018 10:00:00	90,0	0,0	90,0	31,0	0,0	0,0	31,00	0,0	1,2	0,0	0,0	0,34	0,00	28,6	0,0	0
31.07.2018 11:00:00	84,0	0,0	84,0	31,0	0,0	0,0	31,00	0,0	1,3	0,0	0,0	0,37	0,00	28,1	0,0	0
31.07.2018 12:00:00	87,0	0,0	87,0	32,0	0,0	0,0	32,00	0,0	1,4	0,0	0,0	0,37	0,00	25,8	0,0	0
31.07.2018 13:00:00	102,0	0,0	102,0	36,0	0,0	0,0	36,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,35	0,00	23,2	0,0	0
31.07.2018 14:00:00	78,0	0,0	78,0	30,0	0,0	0,0	30,00	0,0	1,8	0,0	0,0	0,38	0,00	22,0	0,0	0
31.07.2018 15:00:00	81,0	0,0	81,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	1,8	0,0	0,0	0,41	0,00	22,9	0,0	0
31.07.2018 16:00:00	75,0	0,0	75,0	32,0	0,0	0,0	32,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,8	0,0	0
31.07.2018 17:00:00	75,0	0,0	75,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	20,0	0,0	0
31.07.2018 18:00:00	75,0	0,0	75,0	34,0	0,0	0,0	34,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,45	0,00	20,7	0,0	0
31.07.2018 19:00:00	78,0	0,0	78,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,42	0,00	19,6	0,0	0
31.07.2018 20:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	37,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,5	0,0	0
31.07.2018 21:00:00	93,0	0,0	93,0	39,0	0,0	0,0	39,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,42	0,00	18,0	0,0	0
31.07.2018 22:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	40,00	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,4	0,0	0
31.07.2018 23:00:00	78,0	0,0	78,0	36,0	0,0	0,0	36,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,1	0,0	0
01.08.2018 00:00:00	66,0	0,0	66,0	31,0	0,0	0,0	31,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,6	0,0	0
01.08.2018 01:00:00	57,0	56,0	113,0	26,0	9,0	0,0	35,00	0,0	2,5	3,9	0,0	0,46	0,16	18,0	4,1	0
01.08.2018 02:00:00	102,0	0,0	102,0	44,0	0,0	0,0	44,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,1	0,0	0
01.08.2018 03:00:00	0,0	50,0	50,0	0,0	5,0	136,0	141,0	60,0	0,0	2,1	4,5	0,00	0,10	0,0	4,9	0
01.08.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,5	0,0	130,5	135,0	58,0	1,6	0,0	3,5	1,50	0,00	94,9	0,0	0
01.08.2018 05:00:00	24,0	0,0	24,0	10,0	0,0	0,0	10,00	0,0	1,4	0,0	0,0	0,42	0,00	30,5	0,0	0
01.08.2018 06:00:00	27,0	0,0	27,0	10,0	0,0	0,0	10,00	0,0	1,4	0,0	0,0	0,37	0,00	26,7	0,0	0
01.08.2018 07:00:00	33,0	0,0	33,0	13,0	0,0	0,0	13,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,39	0,00	25,5	0,0	0
01.08.2018 08:00:00	48,0	0,0	48,0	19,0	0,0	0,0	19,00	0,0	1,6	0,0	0,0	0,40	0,00	24,9	0,0	0
01.08.2018 09:00:00	66,0	0,0	66,0	25,0	0,0	0,0	25,00	0,0	1,7	0,0	0,0	0,38	0,00	22,3	0,0	0
01.08.2018 10:00:00	99,0	0,0	99,0	38,0	0,0	0,0	38,00	0,0	1,8	0,0	0,0	0,38	0,00	21,7	0,0	0
01.08.2018 11:00:00	87,0	0,0	87,0	34,0	0,0	0,0	34,00	0,0	1,9	0,0	0,0	0,39	0,00	20,3	0,0	0
01.08.2018 12:00:00	81,0	0,0	81,0	36,0	0,0	0,0	36,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	19,9	0,0	0
01.08.2018 13:00:00	84,0	0,0	84,0	37,0	0,0	0,0	37,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	18,9	0,0	0
01.08.2018 14:00:00	93,0	0,0	93,0	39,0	0,0	0,0	39,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,42	0,00	17,9	0,0	0
01.08.2018 15:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	39,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,4	0,0	0
01.08.2018 16:00:00	78,0	0,0	78,0	34,0	0,0	0,0	34,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,2	0,0	0
01.08.2018 17:00:00	84,0	0,0	84,0	37,0	0,0	0,0	37,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,6	0,0	0
01.08.2018 18:00:00	78,0	0,0	78,0	38,0	0,0	0,0	38,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,49	0,00	21,1	0,0	0
01.08.2018 19:00:00	81,0	0,0	81,0	35,0	0,0	0,0	35,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,1	0,0	0
01.08.2018 20:00:00	78,0	0,0	78,0	38,0	0,0	0,0	38,00	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,8	0,0	0
01.08.2018 21:00:00	93,0	0,0	93,0	38,0	0,0	0,0	38,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,41	0,00	17,0	0,0	0
01.08.2018 22:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	39,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,3	0,0	0
01.08.2018 23:00:00	84,0	0,0	84,0	37,0	0,0	0,0	37,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,5	0,0	0
02.08.2018 00:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	20,2	0,0	0
02.08.2018 01:00:00	51,0	52,0	103,0	23,0	8,0	0,0	31,00	0,0	2,5	3,8	0,0	0,45	0,15	17,8	4,0	0
02.08.2018 02:00:00	102,0	0,0	102,0	42,0	0,0	0,0	42,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,41	0,00	18,3	0,0	0
02.08.2018 03:00:00	0,0	40,0	40,0	0,0	3,0	137,0	140,0	60,0	0,0	0,8	4,5	0,00	0,08	0,0	9,3	0
02.08.2018 04:00:00	6,0	0,0	6,0	4,5	0,0	131,5	136,0	58,0	0,9	0,0	3,5	0,76	0,00	87,2	0,0	0
02.08.2018 05:00:00	33,0	0,0	33,0	11,0	0,0	0,0	11,00	0,0	1,1	0,0	0,0	0,33	0,00	30,6	0,0	0
02.08.2018 06:00:00	24,0	0,0	24,0	10,0	0,0	0,0	10,00	0,0	1,4	0,0	0,0	0,42	0,00	30,2	0,0	0
02.08.2018 07:00:00	21,0	0,0	21,0	7,0	0,0	0,0	7,00	0,0	1,4	0,0	0,0	0,33	0,00	23,1	0,0	0
02.08.2018 08:00:00	30,0	0,0	30,0	13,0	0,0	0,0	13,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,43	0,00	28,5	0,0	0
02.08.2018 09:00:00	60,0	0,0	60,0	23,0	0,0	0,0	23,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,38	0,00	26,1	0,0	0
02.08.2018 10:00:00	66,0	0,0	66,0	26,0	0,0	0,0	26,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,39	0,00	27,0	0,0	0
02.08.2018 11:00:00	87,0	0,0	87,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0								

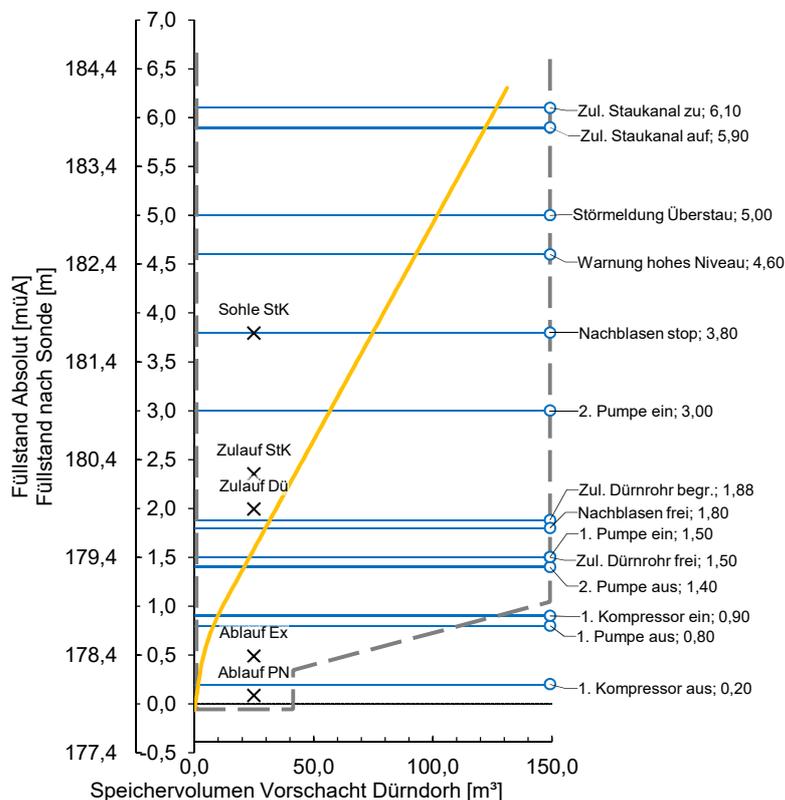
Date-Time	Q,Pn [m³/h]	Q,Hy [m³/h]	Q [m³/h]	E,Pn [kWh/h]	E,Hy [kWh/h]	E,NB [kWh/h]	E [kWh/h]	NB- Zeit [min]	P,Pn [bar]	P,Hy [bar]	P,NB [bar]	e,bez,Pn [kWh/m³]	e,bez,Hy [kWh/m³]	e,spez,Pn [Wh/(m³·m)]	e,spez,Hy [Wh/(m³·m)]	NS [mm]
06.08.2018 12:00:00	81,0	0,0	81,0	35,0	0,0	0,0	35,00	0,0	2,0	0,0	0,0	0,43	0,00	21,4	0,0	0
06.08.2018 13:00:00	81,0	0,0	81,0	35,0	0,0	0,0	35,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,8	0,0	0
06.08.2018 14:00:00	72,0	0,0	72,0	32,0	0,0	0,0	32,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,3	0,0	0
06.08.2018 15:00:00	75,0	0,0	75,0	35,0	0,0	0,0	35,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,3	0,0	0
06.08.2018 16:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	19,7	0,0	0
06.08.2018 17:00:00	75,0	0,0	75,0	34,0	0,0	0,0	34,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,45	0,00	19,8	0,0	0
06.08.2018 18:00:00	72,0	0,0	72,0	35,0	0,0	0,0	35,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,49	0,00	20,7	0,0	0
06.08.2018 19:00:00	84,0	0,0	84,0	36,0	0,0	0,0	36,00	0,0	2,5	0,0	0,0	0,43	0,00	17,2	0,0	0
06.08.2018 20:00:00	84,0	0,0	84,0	38,0	0,0	0,0	38,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,6	0,0	0
06.08.2018 21:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	37,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,7	0,0	0
06.08.2018 22:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	39,00	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,6	0,0	0
06.08.2018 23:00:00	75,0	0,0	75,0	35,0	0,0	0,0	35,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,1	0,0	0
07.08.2018 00:00:00	63,0	0,0	63,0	31,0	0,0	0,0	31,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,49	0,00	21,1	0,0	0
07.08.2018 01:00:00	57,0	60,0	117,0	24,0	10,0	0,0	34,00	0,0	2,5	3,9	0,0	0,42	0,17	16,6	4,3	0
07.08.2018 02:00:00	99,0	0,0	99,0	42,0	0,0	0,0	42,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,8	0,0	0
07.08.2018 03:00:00	0,0	56,0	56,0	0,0	4,0	137,0	141,00	60,0	0,9	4,5	0,00	0,07	0,00	0,0	7,6	0
07.08.2018 04:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	130,5	135,00	58,0	0,0	3,6	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0
07.08.2018 05:00:00	42,0	0,0	42,0	14,0	0,0	0,0	14,00	0,0	1,2	0,0	0,0	0,33	0,00	27,4	0,0	0
07.08.2018 06:00:00	21,0	0,0	21,0	10,0	0,0	0,0	10,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,48	0,00	32,6	0,0	0
07.08.2018 07:00:00	30,0	0,0	30,0	11,0	0,0	0,0	11,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,37	0,00	25,0	0,0	0
07.08.2018 08:00:00	36,0	0,0	36,0	14,0	0,0	0,0	14,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,39	0,00	26,3	0,0	0
07.08.2018 09:00:00	66,0	0,0	66,0	23,0	0,0	0,0	23,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,35	0,00	23,9	0,0	0
07.08.2018 10:00:00	60,0	0,0	60,0	20,0	0,0	0,0	20,00	0,0	1,5	0,0	0,0	0,33	0,00	22,3	0,0	0
07.08.2018 11:00:00	72,0	0,0	72,0	26,0	0,0	0,0	26,00	0,0	1,6	0,0	0,0	0,36	0,00	23,2	0,0	0
07.08.2018 12:00:00	72,0	0,0	72,0	27,0	0,0	0,0	27,00	0,0	1,7	0,0	0,0	0,38	0,00	22,0	0,0	0
07.08.2018 13:00:00	84,0	0,0	84,0	29,0	0,0	0,0	29,00	0,0	1,7	0,0	0,0	0,35	0,00	20,0	0,0	0
07.08.2018 14:00:00	69,0	0,0	69,0	29,0	0,0	0,0	29,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,42	0,00	19,3	0,0	0
07.08.2018 15:00:00	66,0	0,0	66,0	26,0	0,0	0,0	26,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,39	0,00	17,9	0,0	0
07.08.2018 16:00:00	69,0	0,0	69,0	30,0	0,0	0,0	30,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,43	0,00	18,8	0,0	0
07.08.2018 17:00:00	69,0	0,0	69,0	29,0	0,0	0,0	29,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,42	0,00	18,9	0,0	0
07.08.2018 18:00:00	75,0	0,0	75,0	30,0	0,0	0,0	30,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,40	0,00	17,7	0,0	0
07.08.2018 19:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	31,00	0,0	2,3	0,0	0,0	0,43	0,00	18,7	0,0	0
07.08.2018 20:00:00	78,0	0,0	78,0	34,0	0,0	0,0	34,00	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,2	0,0	0
07.08.2018 21:00:00	90,0	0,0	90,0	40,0	0,0	0,0	40,00	0,0	2,6	0,0	0,0	0,44	0,00	17,0	0,0	0
07.08.2018 22:00:00	75,0	0,0	75,0	32,0	0,0	0,0	32,00	0,0	2,5	0,0	0,0	0,43	0,00	17,2	0,0	0
07.08.2018 23:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	33,00	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	18,8	0,0	0
08.08.2018 00:00:00	51,0	0,0	51,0	22,0	0,0	0,0	22,00	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,6	0,0	0

Anhang G BF6 – 1 Kompressor + Vorschachtregelung

- Schaltpunkte
- Stundenwerte

BF6 - 1 Kompressor + Vorschachtregelung

	Sonde [m]	von Sohle Vorschacht [m]	Absolut [müA]	Anmerkung
Feste Höhen				
Höhe Füllstandssonde	0,000	0,057	177,905	
Sohle VS	-0,057	0,000	177,848	
Ablauf PN	0,085	0,142	177,990	
Ablauf Ex	0,515	0,572	178,420	
Zulauf Dü	1,967	2,024	179,872	
Zulauf StK	2,345	2,402	180,250	
Sohle StK	3,793	3,850	181,698	
Schaltpunkte				
Zul. Dürnrrohr begr.	1,880	1,937	179,785	
Zul. Dürnrrohr frei	1,500	1,557	179,405	
Nachblasen stop	3,800	3,857	181,705	
2. Pumpe ein	3,000	3,057	180,905	
2. Pumpe aus	1,400	1,457	179,305	
1. Pumpe ein	1,500	1,557	179,405	
1. Pumpe aus	0,800	0,857	178,705	
3. Kompressor ein	2,500	2,557	180,405	
3. Kompressor aus	0,700	0,757	178,605	Höher, als 1. Pumpe ein, daher nicht relevant für Förderung
2. Kompressor ein	2,200	2,257	180,105	
2. Kompressor aus	0,500	0,557	178,405	
Warnung hohes Nivea	4,600	4,657	182,505	
Zul. Staukanal auf	5,900	5,957	183,805	
Zul. Staukanal zu	6,100	6,157	184,005	
Störmeldung Überstau	5,000	5,057	182,905	
Nachblasen frei	1,800	1,857	179,705	
1. Kompressor ein	0,900	0,957	178,805	Vorschachtregelung mit OTCs
1. Kompressor aus	0,200	0,257	178,105	
Kompletzentleerung	2 Hübe	---	---	



BF6 - 1 Kompressor + Vorschachtregelung

Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E,NB	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e,bez,Pn	e,bez,Hy	e,spez,Pn	e,spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[min]	[bar]	[bar]	[bar]	[kWh/m³]	[kWh/m³]	[Wh/(m³·m)]	[Wh/(m³·m)]	[mm]
09.08.2018 00:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,43	0,00	17,3	0,0	0
09.08.2018 01:00:00	48,0	64,0	112,0	22,0	11,0	0,0	33,0	0,0	2,6	4,1	0,0	0,46	0,17	17,7	4,2	0
09.08.2018 02:00:00	96,0	0,0	96,0	40,0	0,0	0,0	40,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,4	0,0	0
09.08.2018 03:00:00	0,0	50,0	50,0	0,0	4,0	137,0	141,0	60,0	0,9	4,5	0,0	0,00	0,08	0,0	9,0	0
09.08.2018 04:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	128,6	133,0	58,0	0,0	3,6	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0
09.08.2018 05:00:00	36,0	0,0	36,0	11,0	0,0	0,0	11,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,31	0,00	27,2	0,0	0
09.08.2018 06:00:00	39,0	0,0	39,0	15,0	0,0	0,0	15,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,38	0,00	29,2	0,0	0
09.08.2018 07:00:00	57,0	0,0	57,0	19,0	0,0	0,0	19,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,33	0,00	22,1	0,0	0
09.08.2018 08:00:00	57,0	0,0	57,0	20,0	0,0	0,0	20,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,35	0,00	26,0	0,0	0
09.08.2018 09:00:00	63,0	0,0	63,0	21,0	0,0	0,0	21,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,33	0,00	22,2	0,0	0
09.08.2018 10:00:00	78,0	0,0	78,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,36	0,00	22,2	0,0	0
09.08.2018 11:00:00	90,0	0,0	90,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,37	0,00	21,9	0,0	0
09.08.2018 12:00:00	81,0	0,0	81,0	29,0	0,0	0,0	29,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,36	0,00	19,5	0,0	0
09.08.2018 13:00:00	93,0	0,0	93,0	36,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,39	0,00	17,8	0,0	0
09.08.2018 14:00:00	93,0	0,0	93,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,2	0,0	0
09.08.2018 15:00:00	78,0	0,0	78,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,41	0,00	17,3	0,0	0
09.08.2018 16:00:00	90,0	0,0	90,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	17,7	0,0	0
09.08.2018 17:00:00	84,0	0,0	84,0	35,0	0,0	0,0	35,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,6	0,0	0
09.08.2018 18:00:00	78,0	0,0	78,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,0	0,0	0
09.08.2018 19:00:00	90,0	0,0	90,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,43	0,00	17,6	0,0	0
09.08.2018 20:00:00	81,0	0,0	81,0	35,0	0,0	0,0	35,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,43	0,00	17,0	0,0	0
09.08.2018 21:00:00	93,0	0,0	93,0	41,0	0,0	0,0	41,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,4	0,0	0
09.08.2018 22:00:00	90,0	0,0	90,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,43	0,00	17,1	0,0	0
09.08.2018 23:00:00	81,0	0,0	81,0	36,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,5	0,0	0
10.08.2018 00:00:00	72,0	0,0	72,0	30,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,1	0,0	5
10.08.2018 01:00:00	39,0	72,0	111,0	19,0	11,0	0,0	30,0	0,0	2,6	3,9	0,0	0,49	0,15	18,6	3,9	5
10.08.2018 02:00:00	96,0	0,0	96,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,41	0,00	18,0	0,0	5
10.08.2018 03:00:00	0,0	54,0	54,0	0,0	4,0	137,0	141,0	60,0	0,9	4,5	0,0	0,00	0,07	0,0	8,1	5
10.08.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,5	0,0	130,5	135,0	58,0	1,3	0,0	3,5	1,50	0,00	119,5	0,0	5
10.08.2018 05:00:00	39,0	0,0	39,0	13,0	0,0	0,0	13,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,33	0,00	31,8	0,0	5
10.08.2018 06:00:00	30,0	0,0	30,0	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,33	0,00	26,6	0,0	5
10.08.2018 07:00:00	57,0	0,0	57,0	22,0	0,0	0,0	22,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,39	0,00	27,2	0,0	5
10.08.2018 08:00:00	69,0	0,0	69,0	22,0	0,0	0,0	22,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,32	0,00	23,2	0,0	5
10.08.2018 09:00:00	72,0	0,0	72,0	26,0	0,0	0,0	26,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,36	0,00	23,8	0,0	5
10.08.2018 10:00:00	54,0	0,0	54,0	19,0	0,0	0,0	19,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,35	0,00	21,0	0,0	5
10.08.2018 11:00:00	108,0	0,0	108,0	41,0	0,0	0,0	41,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,38	0,00	20,1	0,0	5
10.08.2018 12:00:00	72,0	0,0	72,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,39	0,00	20,9	0,0	5
10.08.2018 13:00:00	90,0	0,0	90,0	37,0	0,0	0,0	37,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,41	0,00	18,3	0,0	5
10.08.2018 14:00:00	81,0	0,0	81,0	36,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,3	0,0	5
10.08.2018 15:00:00	81,0	0,0	81,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,40	0,00	18,0	0,0	5
10.08.2018 16:00:00	81,0	0,0	81,0	36,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,4	0,0	5
10.08.2018 17:00:00	66,0	44,0	110,0	28,0	7,0	0,0	35,0	0,0	2,3	3,6	0,0	0,42	0,16	18,2	4,4	5
10.08.2018 18:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	30,0	0,0	30,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,17	0,0	3,9	5
10.08.2018 19:00:00	0,0	272,0	272,0	0,0	33,0	0,0	33,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,00	0,12	0,0	3,9	5
10.08.2018 20:00:00	30,0	142,0	172,0	26,0	22,0	0,0	48,0	0,0	4,3	4,0	0,0	0,87	0,15	20,1	3,8	5
10.08.2018 21:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	30,0	0,0	30,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,17	0,0	3,9	5
10.08.2018 22:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	30,0	0,0	30,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,00	0,17	0,0	3,8	5
10.08.2018 23:00:00	3,0	174,0	177,0	3,0	30,0	0,0	33,0	0,0	3,9	4,4	0,0	1,00	0,17	25,4	3,9	5
11.08.2018 00:00:00	27,0	146,0	173,0	22,0	24,0	0,0	46,0	0,0	4,5	4,2	0,0	0,81	0,16	17,9	3,9	0
11.08.2018 01:00:00	24,0	94,0	118,0	14,0	16,0	0,0	30,0	0,0	2,7	4,3	0,0	0,58	0,17	21,6	3,9	0
11.08.2018 02:00:00	66,0	46,0	112,0	27,0	6,0	0,0	33,0	0,0	2,2	3,3	0,0	0,41	0,13	18,8	4,0	0
11.08.2018 03:00:00	0,0	50,0	50,0	0,0	5,0	138,0	143,0	60,0	0,0	1,8	4,4	0,00	0,10	0,0	5,5	0
11.08.2018 04:00:00	6,0	0,0	6,0	4,5	0,0	130,5	135,0	58,0	1,1	0,0	3,5	0,75	0,00	65,6	0,0	0
11.08.2018 05:00:00	33,0	0,0	33,0	14,0	0,0	0,0	14,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,42	0,00	29,0	0,0	0
11.08.2018 06:00:00	36,0	0,0	36,0	14,0	0,0	0,0	14,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,39	0,00	23,2	0,0	0
11.08.2018 07:00:00	51,0	0,0	51,0	17,0	0,0	0,0	17,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,33	0,00	22,2	0,0	0
11.08.2018 08:00:00	48,0	0,0	48,0	18,0	0,0	0,0	18,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,38	0,00	22,7	0,0	0
11.08.2018 09:00:00	57,0	0,0	57,0	22,0	0,0	0,0	22,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,39	0,00	22,5	0,0	0
11.08.2018 10:00:00	84,0	0,0	84,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,39	0,00	18,4	0,0	0
11.08.2018 11:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	17,6	0,0	0
11.08.2018 12:00:00	78,0	0,0	78,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,3	0,0	0
11.08.2018 13:00:00	87,0	0,0	87,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	17,9	0,0	0
11.08.2018 14:00:00	69,0	0,0	69,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	18,2	0,0	0
11.08.2018 15:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,1	0,0	0
11.08.2018 16:00:00	66,0	0,0	66,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,7	0,0	0
11.08.2018 17:00:00	75,0	0,0	75,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,5	0,0	0
11.08.2018 18:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,3	0,0	0
11.08.2018 19:00:00	81,0	0,0	81,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,42	0,00	17,1	0,0	0
11.08.2018 20:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,7	0,0	0
11.08.2018 21:00:00	72,0	0,0	72,0	30,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,42	0,00	16,2	0,0	0
11.08.2018 22:00:00	60,0	0,0	60,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,3	0,0	0
11.08.2018 23:00:00	69,0	0,0	69,0	30,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	17,8	0,0	0
12.08.2018 00:00:00	57,0	0,0	57,0	24,0	0,0	0,0	24,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,42	0,00	18,1	0,0	0
12.08.2018 01:00:00	51,0	58,0	109,0	23,0	9,0	0,0	32,0	0,0	2,5	3,9						

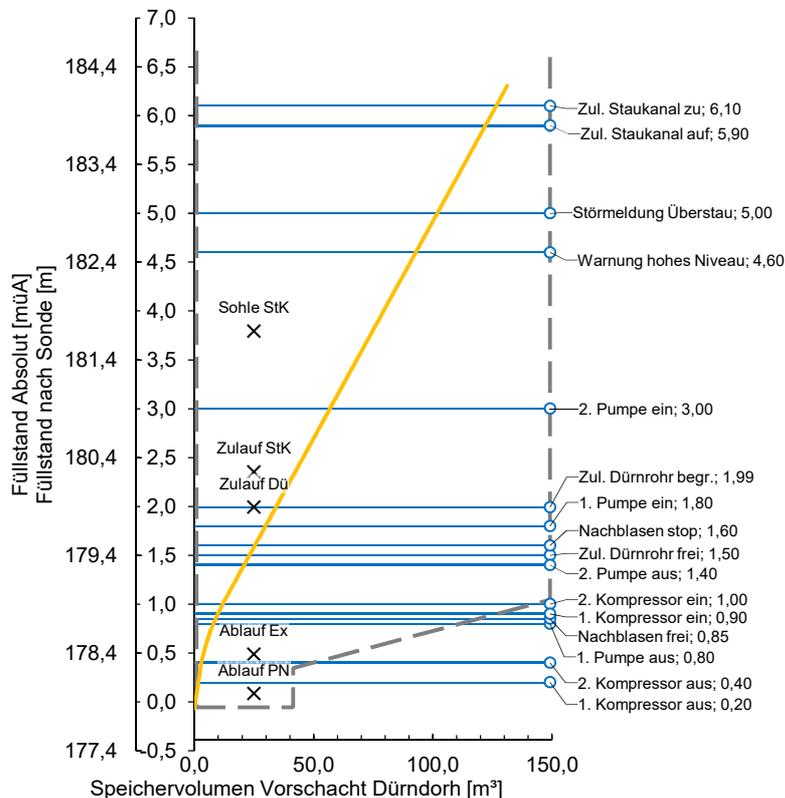
Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E,NB	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e,bez,Pn	e,bez,Hy	e,spez,Pn	e,spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[min]	[bar]	[bar]	[bar]	[kW/h/m²]	[kW/h/m²]	[Wh/(m²·m)]	[Wh/(m²·m)]	[mm]
16.08.2018 02:00:00	96,0	0,0	96,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,41	0,00	17,7	0,0	0
16.08.2018 03:00:00	0,0	56,0	56,0	0,0	5,0	136,0	141,0	60,0	0,0	0,9	4,5	0,00	0,09	0,0	9,5	0
16.08.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,5	0,0	131,5	136,0	58,0	1,0	0,0	3,5	1,51	0,00	152,6	0,0	0
16.08.2018 05:00:00	39,0	0,0	39,0	14,0	0,0	0,0	14,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,36	0,00	33,6	0,0	0
16.08.2018 06:00:00	18,0	0,0	18,0	6,0	0,0	0,0	6,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,33	0,00	25,3	0,0	0
16.08.2018 07:00:00	33,0	0,0	33,0	12,0	0,0	0,0	12,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,36	0,00	24,7	0,0	0
16.08.2018 08:00:00	27,0	0,0	27,0	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,37	0,00	22,7	0,0	0
16.08.2018 09:00:00	51,0	0,0	51,0	18,0	0,0	0,0	18,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,35	0,00	24,9	0,0	0
16.08.2018 10:00:00	45,0	0,0	45,0	15,0	0,0	0,0	15,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,33	0,00	22,3	0,0	0
16.08.2018 11:00:00	84,0	0,0	84,0	30,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,36	0,00	22,8	0,0	0
16.08.2018 12:00:00	90,0	0,0	90,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,36	0,00	21,0	0,0	0
16.08.2018 13:00:00	66,0	0,0	66,0	26,0	0,0	0,0	26,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,39	0,00	21,8	0,0	0
16.08.2018 14:00:00	78,0	0,0	78,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,40	0,00	19,6	0,0	0
16.08.2018 15:00:00	66,0	0,0	66,0	26,0	0,0	0,0	26,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,39	0,00	17,9	0,0	0
16.08.2018 16:00:00	75,0	0,0	75,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,41	0,00	18,2	0,0	0
16.08.2018 17:00:00	69,0	0,0	69,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,41	0,00	19,1	0,0	0
16.08.2018 18:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,3	0,0	0
16.08.2018 19:00:00	60,0	0,0	60,0	25,0	0,0	0,0	25,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,42	0,00	18,7	0,0	0
16.08.2018 20:00:00	81,0	0,0	81,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,5	0,0	0
16.08.2018 21:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	40,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	17,5	0,0	0
16.08.2018 22:00:00	78,0	0,0	78,0	35,0	0,0	0,0	35,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,45	0,00	17,0	0,0	0
16.08.2018 23:00:00	69,0	0,0	69,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,9	0,0	0
17.08.2018 00:00:00	63,0	0,0	63,0	27,0	0,0	0,0	27,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,43	0,00	18,5	0,0	0
17.08.2018 01:00:00	39,0	66,0	105,0	19,0	10,0	0,0	29,0	0,0	2,7	3,9	0,0	0,49	0,15	18,3	3,9	0
17.08.2018 02:00:00	96,0	0,0	96,0	40,0	0,0	0,0	40,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,3	0,0	0
17.08.2018 03:00:00	0,0	58,0	58,0	0,0	4,0	137,0	141,0	60,0	0,0	0,9	4,5	0,00	0,07	0,0	7,3	0
17.08.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,5	0,0	131,5	136,0	58,0	0,0	0,0	3,5	1,51	0,00	0,0	0,0	0
17.08.2018 05:00:00	36,0	0,0	36,0	12,0	0,0	0,0	12,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,33	0,00	29,1	0,0	0
17.08.2018 06:00:00	21,0	0,0	21,0	6,0	0,0	0,0	6,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,29	0,00	20,3	0,0	0
17.08.2018 07:00:00	33,0	0,0	33,0	13,0	0,0	0,0	13,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,39	0,00	27,3	0,0	0
17.08.2018 08:00:00	42,0	0,0	42,0	14,0	0,0	0,0	14,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,33	0,00	24,4	0,0	0
17.08.2018 09:00:00	60,0	0,0	60,0	20,0	0,0	0,0	20,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,33	0,00	22,8	0,0	0
17.08.2018 10:00:00	69,0	0,0	69,0	24,0	0,0	0,0	24,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,35	0,00	22,9	0,0	0
17.08.2018 11:00:00	78,0	0,0	78,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,36	0,00	21,8	0,0	0
17.08.2018 12:00:00	90,0	0,0	90,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,36	0,00	20,0	0,0	0
17.08.2018 13:00:00	69,0	0,0	69,0	27,0	0,0	0,0	27,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,39	0,00	20,7	0,0	0
17.08.2018 14:00:00	78,0	0,0	78,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,40	0,00	17,5	0,0	0
17.08.2018 15:00:00	87,0	0,0	87,0	38,0	0,0	0,0	38,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,0	0,0	0
17.08.2018 16:00:00	66,0	0,0	66,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,42	0,00	18,8	0,0	0
17.08.2018 17:00:00	72,0	0,0	72,0	29,0	0,0	0,0	29,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,40	0,00	17,9	0,0	0
17.08.2018 18:00:00	96,0	0,0	96,0	40,0	0,0	0,0	40,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,42	0,00	16,9	0,0	0
17.08.2018 19:00:00	75,0	0,0	75,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,2	0,0	0
17.08.2018 20:00:00	75,0	0,0	75,0	32,0	0,0	0,0	32,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	17,7	0,0	0
17.08.2018 21:00:00	78,0	0,0	78,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,42	0,00	16,7	0,0	0
17.08.2018 22:00:00	75,0	0,0	75,0	34,0	0,0	0,0	34,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	18,4	0,0	0
17.08.2018 23:00:00	69,0	0,0	69,0	30,0	0,0	0,0	30,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,1	0,0	0
18.08.2018 00:00:00	48,0	0,0	48,0	21,0	0,0	0,0	21,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	18,8	0,0	0
18.08.2018 01:00:00	48,0	64,0	112,0	22,0	11,0	0,0	33,0	0,0	2,5	3,8	0,0	0,46	0,17	18,4	4,5	0
18.08.2018 02:00:00	90,0	0,0	90,0	39,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,0	0,0	0
18.08.2018 03:00:00	0,0	54,0	54,0	0,0	4,0	136,0	140,0	60,0	0,0	0,9	4,5	0,00	0,07	0,0	7,8	0
18.08.2018 04:00:00	3,0	0,0	3,0	4,5	0,0	131,5	136,0	58,0	0,0	0,0	3,5	1,51	0,00	0,0	0,0	0
18.08.2018 05:00:00	18,0	0,0	18,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,28	0,00	25,4	0,0	0
18.08.2018 06:00:00	15,0	0,0	15,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,33	0,00	27,7	0,0	0
18.08.2018 07:00:00	15,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	6,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,40	0,00	29,8	0,0	0
18.08.2018 08:00:00	27,0	0,0	27,0	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,37	0,00	26,8	0,0	0
18.08.2018 09:00:00	45,0	0,0	45,0	15,0	0,0	0,0	15,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,33	0,00	21,1	0,0	0
18.08.2018 10:00:00	54,0	0,0	54,0	19,0	0,0	0,0	19,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,35	0,00	27,8	0,0	0
18.08.2018 11:00:00	87,0	0,0	87,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,36	0,00	23,0	0,0	0
18.08.2018 12:00:00	90,0	0,0	90,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,34	0,00	20,4	0,0	0
18.08.2018 13:00:00	81,0	0,0	81,0	30,0	0,0	0,0	30,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,37	0,00	21,7	0,0	0
18.08.2018 14:00:00	84,0	0,0	84,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,39	0,00	19,0	0,0	0
18.08.2018 15:00:00	78,0	0,0	78,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,40	0,00	17,5	0,0	0
18.08.2018 16:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	31,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,3	0,0	0
18.08.2018 17:00:00	66,0	0,0	66,0	29,0	0,0	0,0	29,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,0	0,0	0
18.08.2018 18:00:00	63,0	0,0	63,0	26,0	0,0	0,0	26,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,41	0,00	18,1	0,0	0
18.08.2018 19:00:00	78,0	0,0	78,0	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,9	0,0	0
18.08.2018 20:00:00	84,0	0,0	84,0	38,0	0,0	0,0	38,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	18,1	0,0	0
18.08.2018 21:00:00	63,0	0,0	63,0	28,0	0,0	0,0	28,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,8	0,0	0
18.08.2018 22:00:00	78,0	0,0	78,0	36,0	0,0	0,0	36,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,3	0,0	0
18.08.2018 23:00:00	63,0	0,0	63,0	27,0	0,0	0,0	27,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,43	0,00	18,3	0,0	0
19.08.2018 00:00:00	57,0	0,0	57,0	24,0	0,0	0,0	24,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,42	0,00	17,9	0,0	0
19.08.2018 01:00:00	48,0	62,0	110,0	22,0	9,0	0,0	31,0	0,0	2,6	3,8	0,0	0,46	0,15	17,4	3,9	0
19.08.2018 02:00:00	90,0	0,0	90,0	37,0	0,0	0,0	37,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,41	0,00	17,3	0,0	0
19.08.2018 03:00:00	0,0	46,0	46,0	0,0	4,0	137,0	141,0	60,0	0,0	0,9	4,5	0,00	0,09	0,0	10,1	0
19.08.2018 04:00:00	0,0	18,0														

Anhang H BF7– Änderung Druckluftspülung

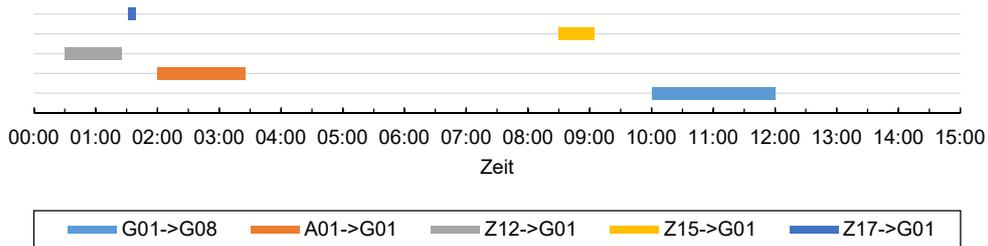
- Schaltpunkte
- Einstellungen zur Druckluftspülung
- Stundenwerte

BF7 - 2 K, Änderung Nachblasprozess, Vorschachtregelung

	Sonde [m]	von Sohle Vorschacht [m]	Absolut [müA]	Anmerkung
Feste Höhen				
Höhe Füllstandssonde	0,000	0,057	177,905	
Sohle VS	-0,057	0,000	177,848	
Ablauf PN	0,085	0,142	177,990	
Ablauf Ex	0,515	0,572	178,420	
Zulauf Dü	1,967	2,024	179,872	
Zulauf StK	2,345	2,402	180,250	
Sohle StK	3,793	3,850	181,698	
Schaltpunkte				
Zul. Dürrrohr begr.	1,990	2,047	179,895	
Zul. Dürrrohr frei	1,500	1,557	179,405	
Nachblasen stop	1,600	1,657	179,505	
2. Pumpe ein	3,000	3,057	180,905	
2. Pumpe aus	1,400	1,457	179,305	
1. Pumpe ein	1,800	1,857	179,705	
1. Pumpe aus	0,800	0,857	178,705	
3. Kompressor ein	2,500	2,557	180,405	Höher, als 1. Pumpe ein, daher nicht relevant für
3. Kompressor aus	0,700	0,757	178,605	
2. Kompressor ein	1,000	1,057	178,905	
2. Kompressor aus	0,400	0,457	178,305	
Warnung hohes Nivea	4,600	4,657	182,505	
Zul. Staukanal auf	5,900	5,957	183,805	
Zul. Staukanal zu	6,100	6,157	184,005	
Störmeldung Überstau	5,000	5,057	182,905	
Nachblasen frei	0,850	0,907	178,755	
1. Kompressor ein	0,900	0,957	178,805	Vorschachtregelung mit OTCs
1. Kompressor aus	0,200	0,257	178,105	
Kompletzentleerung	2 Hübe	---	---	

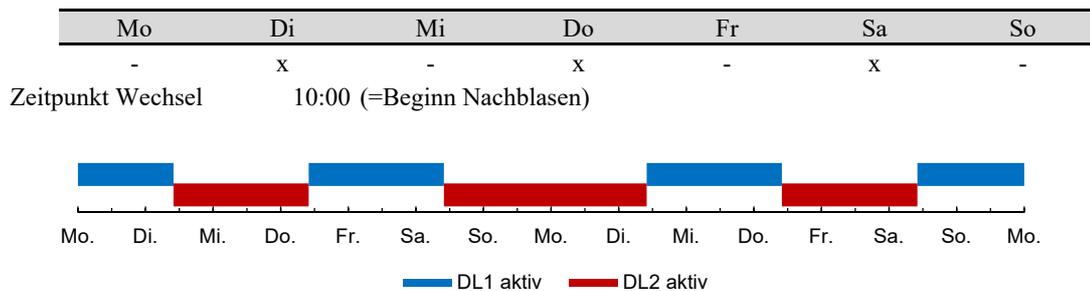


Nachblaszeiten neu



Zeitpunkt	G01->G08	A01->G01	Z12->G01	Z15->G01	Z17->G01
Beginn	10:00	02:00	00:30	08:30	01:32
Ende	12:00	03:25	01:25	09:05	01:39
Dauer	02:00	01:25	00:55	00:35	00:07
Volumen	761	167	88	76	7,5
Ablauf	3K 50min + 2K 10min + 1K 90min	3K voll	2K 20min + 1K 35min	2K voll	2K voll

Nachblaszeitpunkte / Druckleitungs-Wechsel G01



Nachblaszeitpunkte weitere Druckleitungen

Druckleitung	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
A01->G01	x	x	x	x	x	x	x
Z12->G01	x	x	x	x	x	x	x
Z15->G01	x	-	x	-	x	-	x
Z17->G01	x	x	x	x	x	x	x

G01 Hauptpumpwerk Dürnrrohr
 G08 Kläranlage AV an der Traisen
 A01 Pumpwerk Atzenbrugg

Z12 Pumpwerk Zwentendorf
 Z15 Pumpwerk Kleinschönbichl
 Z17 Pumpwerk Kaindorf

BF7 - 2 Kompressoren, zweitägige Druckluftspülung

Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e.bez,Pn	e.bez,Hy	e.spez,Pn	e.spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]		[bar]	[bar]	[bar]	[kWh/m³]	[kWh/m³]	[Wh/(m³·m)]	[Wh/(m³·m)]	[mm]
08.09.2018 00:00:00	51,0	0,0	51,0	23,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,45	0,00	20,6	0,0	0
08.09.2018 01:00:00	93,0	0,0	93,0	49,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,53	0,00	18,2	0,0	0
08.09.2018 02:00:00	120,0	0,0	120,0	61,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,51	0,00	17,3	0,0	0
08.09.2018 03:00:00	81,0	0,0	81,0	45,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,56	0,00	17,2	0,0	0
08.09.2018 04:00:00	18,0	0,0	18,0	8,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	20,2	0,0	0
08.09.2018 05:00:00	18,0	0,0	18,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,33	0,00	16,5	0,0	0
08.09.2018 06:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,47	0,00	23,0	0,0	0
08.09.2018 07:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,47	0,00	24,6	0,0	0
08.09.2018 08:00:00	39,0	0,0	39,0	16,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,41	0,00	19,4	0,0	0
08.09.2018 09:00:00	66,0	0,0	66,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,4	0,0	0
08.09.2018 10:00:00	3,0	36,0	39,0	27,5	3,0	69,5	43,0	0,0	1,2	3,9	9,16	0,08	#WERT!	7,1	0
08.09.2018 11:00:00	0,0	88,0	88,0	0,0	9,0	10,2	18,0	0,0	1,9	2,8	0,00	0,10	0,0	5,4	0
08.09.2018 12:00:00	30,0	56,0	86,0	18,3	6,0	6,7	16,0	1,8	2,3	1,7	0,61	0,11	33,3	4,7	0
08.09.2018 13:00:00	84,0	0,0	84,0	34,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,40	0,00	22,8	0,0	0
08.09.2018 14:00:00	93,0	0,0	93,0	36,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,39	0,00	20,2	0,0	0
08.09.2018 15:00:00	84,0	0,0	84,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,43	0,00	19,4	0,0	0
08.09.2018 16:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,8	0,0	0
08.09.2018 17:00:00	78,0	0,0	78,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	18,1	0,0	0
08.09.2018 18:00:00	90,0	0,0	90,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,2	0,0	0
08.09.2018 19:00:00	84,0	0,0	84,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,49	0,00	18,7	0,0	0
08.09.2018 20:00:00	90,0	0,0	90,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	17,4	0,0	0
08.09.2018 21:00:00	75,0	0,0	75,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,48	0,00	18,7	0,0	0
08.09.2018 22:00:00	66,0	0,0	66,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,4	0,0	0
08.09.2018 23:00:00	66,0	0,0	66,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	20,2	0,0	0
09.09.2018 00:00:00	48,0	0,0	48,0	21,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,4	0,0	0
09.09.2018 01:00:00	87,0	0,0	87,0	45,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	17,7	0,0	0
09.09.2018 02:00:00	108,0	0,0	108,0	56,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	17,6	0,0	0
09.09.2018 03:00:00	81,0	0,0	81,0	44,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,54	0,00	16,7	0,0	0
09.09.2018 04:00:00	18,0	0,0	18,0	9,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,50	0,00	24,9	0,0	0
09.09.2018 05:00:00	15,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,40	0,00	19,6	0,0	0
09.09.2018 06:00:00	15,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,40	0,00	22,0	0,0	0
09.09.2018 07:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,47	0,00	24,5	0,0	0
09.09.2018 08:00:00	21,0	0,0	21,0	8,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,38	0,00	17,4	0,0	0
09.09.2018 09:00:00	60,0	0,0	60,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,52	0,00	20,0	0,0	0
09.09.2018 10:00:00	57,0	0,0	57,0	31,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,54	0,00	18,3	0,0	0
09.09.2018 11:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	18,9	0,0	0
09.09.2018 12:00:00	96,0	0,0	96,0	46,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,48	0,00	18,2	0,0	0
09.09.2018 13:00:00	75,0	0,0	75,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,47	0,00	18,0	0,0	0
09.09.2018 14:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,6	0,0	0
09.09.2018 15:00:00	75,0	0,0	75,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	19,7	0,0	0
09.09.2018 16:00:00	72,0	0,0	72,0	34,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,7	0,0	0
09.09.2018 17:00:00	63,0	0,0	63,0	28,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,4	0,0	0
09.09.2018 18:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,6	0,0	0
09.09.2018 19:00:00	69,0	0,0	69,0	33,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	19,6	0,0	0
09.09.2018 20:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,8	0,0	0
09.09.2018 21:00:00	84,0	0,0	84,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,48	0,00	18,4	0,0	0
09.09.2018 22:00:00	75,0	0,0	75,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,2	0,0	0
09.09.2018 23:00:00	51,0	0,0	51,0	25,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,49	0,00	20,4	0,0	0
10.09.2018 00:00:00	48,0	0,0	48,0	21,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	18,8	0,0	0
10.09.2018 01:00:00	90,0	0,0	90,0	46,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,51	0,00	17,6	0,0	0
10.09.2018 02:00:00	114,0	0,0	114,0	59,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	17,7	0,0	0
10.09.2018 03:00:00	87,0	0,0	87,0	49,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,56	0,00	17,7	0,0	0
10.09.2018 04:00:00	12,0	0,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,42	0,00	19,6	0,0	0
10.09.2018 05:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,47	0,00	23,2	0,0	0
10.09.2018 06:00:00	18,0	0,0	18,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,39	0,00	18,0	0,0	0
10.09.2018 07:00:00	27,0	0,0	27,0	12,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,44	0,00	21,9	0,0	0
10.09.2018 08:00:00	48,0	0,0	48,0	23,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,48	0,00	21,9	0,0	0
10.09.2018 09:00:00	63,0	0,0	63,0	28,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,8	0,0	0
10.09.2018 10:00:00	66,0	0,0	66,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,53	0,00	20,0	0,0	0
10.09.2018 11:00:00	60,0	0,0	60,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,45	0,00	19,2	0,0	0
10.09.2018 12:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,5	0,0	0
10.09.2018 13:00:00	99,0	0,0	99,0	45,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,45	0,00	17,4	0,0	0
10.09.2018 14:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	17,7	0,0	0
10.09.2018 15:00:00	84,0	0,0	84,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,48	0,00	18,9	0,0	0
10.09.2018 16:00:00	72,0	0,0	72,0	34,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	19,0	0,0	0
10.09.2018 17:00:00	69,0	0,0	69,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,4	0,0	0
10.09.2018 18:00:00	72,0	0,0	72,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,4	0,0	0
10.09.2018 19:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	19,1	0,0	0
10.09.2018 20:00:00	87,0	0,0	87,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,48	0,00	18,6	0,0	0
10.09.2018 21:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	17,9	0,0	0
10.09.2018 22:00:00	63,0	0,0	63,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,4	0,0	0
10.09.2018 23:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	20,0	0,0	0
11.09.2018 00:00:00	57,0	0,0	57,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,8	0,0	0
11.09.2018 01:00:00	90,0	0,0	90,0	46,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,51	0,00	17,3	0,0	0
11.09.2018 02:00:00	117,0	0,0	117,0	63,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,54	0,00	17,4	0,0	0
11.09.2018 03:00:00	78,0	0,0	78,0	44,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,56	0,00	17,4	0,0	0
11.09.2018 04:00:00	18,0	0,0	18,0	9,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,50	0,00	25,6	0,0	0
11.09.2018 05:00:00	18,0	0,0	18,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,33	0,00	17,0	0,0	0
11.09.2018 06:00:00	30,0	0,0	30,0	14,0	0										

Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e,bez,Pn	e,bez,Hy	e,spez,Pn	e,spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]		[bar]	[bar]	[bar]	[kWh/m³]	[kWh/m³]	[Wh/(m³*m)]	[Wh/(m³*m)]	[mm]
14.09.2018 23:00:00	63,0	0,0	63,0	28,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	20,5	0,0	1
15.09.2018 00:00:00	42,0	0,0	42,0	20,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,48	0,00	21,2	0,0	0
15.09.2018 01:00:00	87,0	0,0	87,0	43,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,49	0,00	17,9	0,0	0
15.09.2018 02:00:00	126,0	0,0	126,0	67,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,53	0,00	17,8	0,0	0
15.09.2018 03:00:00	93,0	0,0	93,0	52,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,56	0,00	16,7	0,0	0
15.09.2018 04:00:00	24,0	0,0	24,0	10,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,42	0,00	20,4	0,0	0
15.09.2018 05:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,47	0,00	22,6	0,0	0
15.09.2018 06:00:00	18,0	0,0	18,0	8,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,44	0,00	22,5	0,0	0
15.09.2018 07:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,47	0,00	22,8	0,0	0
15.09.2018 08:00:00	33,0	0,0	33,0	15,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,45	0,00	22,5	0,0	0
15.09.2018 09:00:00	45,0	0,0	45,0	21,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,6	0,0	0
15.09.2018 10:00:00	6,0	36,0	42,0	30,8	4,0	57,2	39,0	2,1	2,3	3,9	5,13	0,11	239,9	4,9	0
15.09.2018 11:00:00	0,0	88,0	88,0	0,0	11,0	18,0	24,0	0,0	2,4	3,0	0,00	0,13	0,0	5,2	0
15.09.2018 12:00:00	48,0	52,0	100,0	26,1	6,0	7,9	14,0	2,2	2,4	1,6	0,54	0,12	24,9	4,7	0
15.09.2018 13:00:00	90,0	0,0	90,0	36,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,40	0,00	21,9	0,0	0
15.09.2018 14:00:00	84,0	0,0	84,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,42	0,00	19,9	0,0	0
15.09.2018 15:00:00	78,0	0,0	78,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	20,5	0,0	0
15.09.2018 16:00:00	96,0	0,0	96,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,5	0,0	0
15.09.2018 17:00:00	75,0	0,0	75,0	34,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,45	0,00	20,2	0,0	0
15.09.2018 18:00:00	87,0	0,0	87,0	38,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,0	0,0	0
15.09.2018 19:00:00	81,0	0,0	81,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,1	0,0	0
15.09.2018 20:00:00	81,0	0,0	81,0	37,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,0	0,0	0
15.09.2018 21:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,0	0,0	0
15.09.2018 22:00:00	72,0	0,0	72,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,4	0,0	0
15.09.2018 23:00:00	60,0	0,0	60,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,6	0,0	0
16.09.2018 00:00:00	60,0	0,0	60,0	28,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,7	0,0	0
16.09.2018 01:00:00	84,0	0,0	84,0	45,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,54	0,00	18,3	0,0	0
16.09.2018 02:00:00	108,0	0,0	108,0	53,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,49	0,00	17,5	0,0	0
16.09.2018 03:00:00	81,0	0,0	81,0	45,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,56	0,00	17,4	0,0	0
16.09.2018 04:00:00	9,0	0,0	9,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,22	0,00	11,1	0,0	0
16.09.2018 05:00:00	6,0	0,0	6,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,83	0,00	42,8	0,0	0
16.09.2018 06:00:00	27,0	0,0	27,0	10,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,37	0,00	17,8	0,0	0
16.09.2018 07:00:00	12,0	0,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,42	0,00	20,3	0,0	0
16.09.2018 08:00:00	15,0	0,0	15,0	8,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,53	0,00	27,4	0,0	0
16.09.2018 09:00:00	54,0	0,0	54,0	26,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,48	0,00	19,6	0,0	0
16.09.2018 10:00:00	69,0	0,0	69,0	34,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,49	0,00	17,9	0,0	0
16.09.2018 11:00:00	78,0	0,0	78,0	37,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,5	0,0	0
16.09.2018 12:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,8	0,0	0
16.09.2018 13:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	18,0	0,0	0
16.09.2018 14:00:00	72,0	0,0	72,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,50	0,00	19,3	0,0	0
16.09.2018 15:00:00	84,0	0,0	84,0	38,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,7	0,0	0
16.09.2018 16:00:00	60,0	0,0	60,0	28,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,5	0,0	0
16.09.2018 17:00:00	72,0	0,0	72,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,9	0,0	0
16.09.2018 18:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,4	0,0	0
16.09.2018 19:00:00	75,0	0,0	75,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	20,0	0,0	0
16.09.2018 20:00:00	99,0	0,0	99,0	46,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	17,8	0,0	0
16.09.2018 21:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,9	0,0	0
16.09.2018 22:00:00	90,0	0,0	90,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,47	0,00	18,1	0,0	0
16.09.2018 23:00:00	54,0	0,0	54,0	25,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	19,9	0,0	0
17.09.2018 00:00:00	60,0	0,0	60,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,45	0,00	20,1	0,0	0
17.09.2018 01:00:00	81,0	0,0	81,0	43,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,53	0,00	18,4	0,0	0
17.09.2018 02:00:00	111,0	0,0	111,0	57,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,51	0,00	17,9	0,0	0
17.09.2018 03:00:00	81,0	0,0	81,0	44,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,54	0,00	17,1	0,0	0
17.09.2018 04:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,47	0,00	22,1	0,0	0
17.09.2018 05:00:00	12,0	0,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,42	0,00	20,8	0,0	0
17.09.2018 06:00:00	18,0	0,0	18,0	9,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,50	0,00	25,2	0,0	0
17.09.2018 07:00:00	15,0	0,0	15,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,47	0,00	22,0	0,0	0
17.09.2018 08:00:00	39,0	0,0	39,0	17,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	19,7	0,0	0
17.09.2018 09:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,2	0,0	0
17.09.2018 10:00:00	51,0	0,0	51,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,53	0,00	19,9	0,0	0
17.09.2018 11:00:00	57,0	0,0	57,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,8	0,0	0
17.09.2018 12:00:00	63,0	0,0	63,0	28,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,6	0,0	0
17.09.2018 13:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,1	0,0	0
17.09.2018 14:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,5	0,0	0
17.09.2018 15:00:00	102,0	0,0	102,0	50,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,49	0,00	17,5	0,0	0
17.09.2018 16:00:00	93,0	0,0	93,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	19,0	0,0	0
17.09.2018 17:00:00	69,0	0,0	69,0	33,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,48	0,00	20,7	0,0	0
17.09.2018 18:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,0	0,0	0
17.09.2018 19:00:00	72,0	0,0	72,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,7	0,0	0
17.09.2018 20:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,1	0,0	0
17.09.2018 21:00:00	87,0	0,0	87,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,6	0,0	0
17.09.2018 22:00:00	99,0	0,0	99,0	46,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	18,2	0,0	0
17.09.2018 23:00:00	57,0	0,0	57,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	20,0	0,0	0
18.09.2018 00:00:00	54,0	0,0	54,0	24,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,5	0,0	0
18.09.2018 01:00:00	81,0	0,0	81,0	43,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,53	0,00	19,0	0,0	0
18.09.2018 02:00:00	117,0	0,0	117,0	60,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,51	0,00	17,5	0,0	0
18.09.2018 03:00:00	84,0	0,0	84,0	46,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,55	0,00	17,2	0,0	0
18.09.2018 04:00:00	12,0	0,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,42	0,00	19,1	0,0	0
18.09.2018 05:00:00	18,0	0,0	18,0	8,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,44	0			

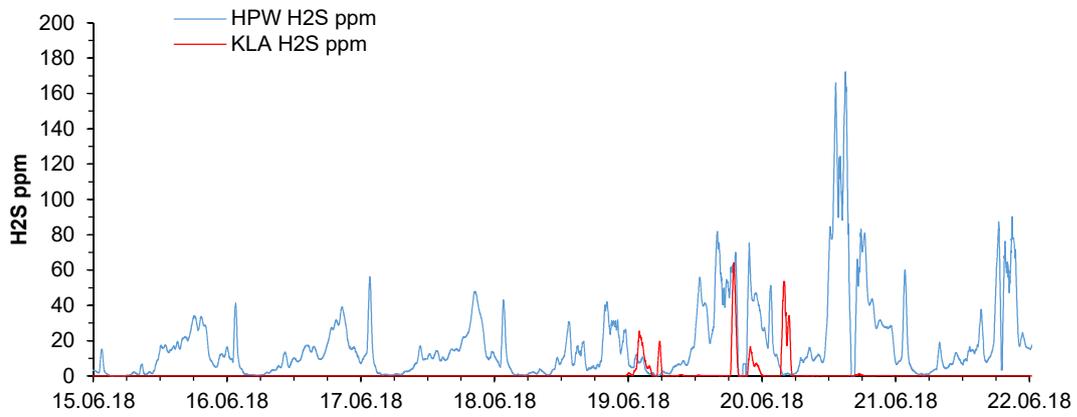
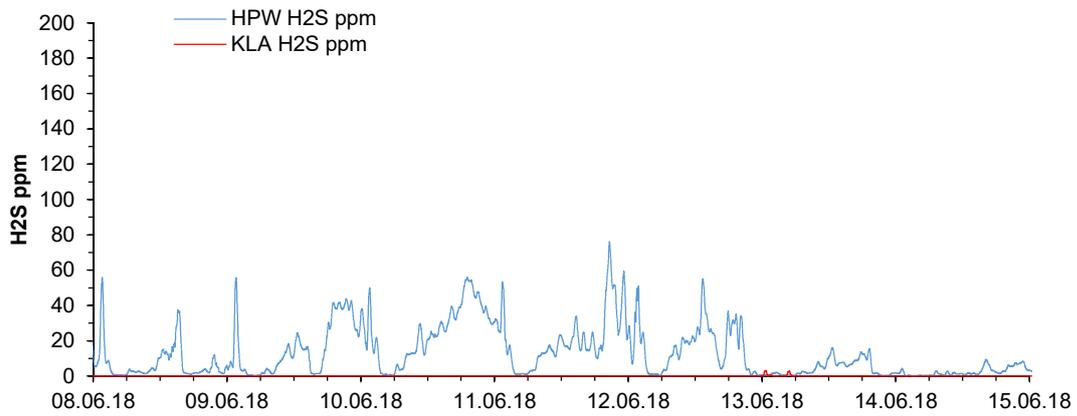
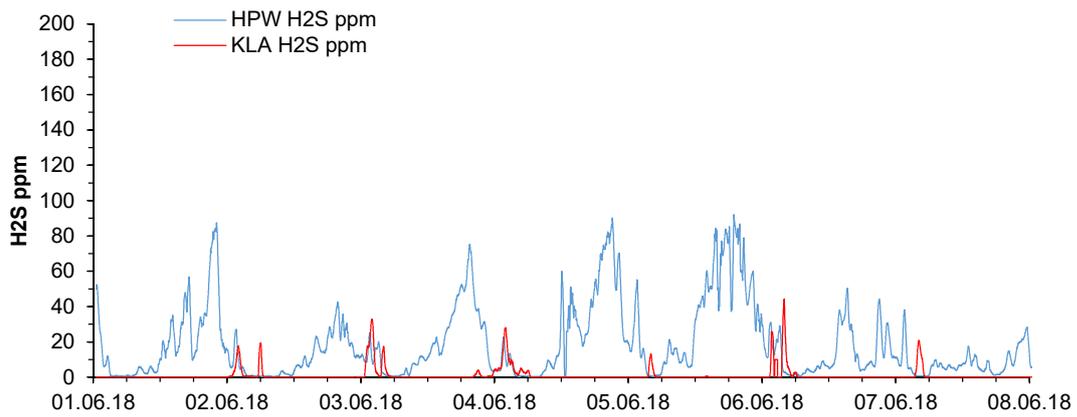
Date-Time	Q,Pn	Q,Hy	Q	E,Pn	E,Hy	E	NB-Zeit	P,Pn	P,Hy	P,NB	e,bez,Pn	e,bez,Hy	e,spez,Pn	e,spez,Hy	NS
	[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kWh/h]	[kWh/h]	[kWh/h]		[bar]	[bar]	[bar]	[kWh/m³]	[kWh/m³]	[Wh/(m³*m)]	[Wh/(m³*m)]	[mm]
21.09.2018 23:00:00	84,0	8,0	92,0	42,0	1,0	0,0	0,0	2,9	4,1	0,0	0,50	0,13	17,3	3,1	7
22.09.2018 00:00:00	3,0	270,0	273,0	3,0	36,0	0,0	0,0	3,0	4,1	0,0	1,00	0,13	33,1	3,3	15
22.09.2018 01:00:00	0,0	250,0	250,0	0,0	39,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,6	15
22.09.2018 02:00:00	0,0	286,0	286,0	0,0	45,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,6	15
22.09.2018 03:00:00	30,0	284,0	314,0	26,0	44,0	0,0	0,0	4,4	4,2	0,0	0,87	0,15	19,6	3,7	15
22.09.2018 04:00:00	0,0	284,0	284,0	0,0	47,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,17	0,0	3,9	15
22.09.2018 05:00:00	0,0	256,0	256,0	0,0	40,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,16	0,0	3,7	15
22.09.2018 06:00:00	30,0	218,0	248,0	25,0	34,0	0,0	0,0	4,3	4,2	0,0	0,83	0,16	19,6	3,8	15
22.09.2018 07:00:00	0,0	280,0	280,0	0,0	45,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,7	15
22.09.2018 08:00:00	0,0	262,0	262,0	0,0	43,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,8	15
22.09.2018 09:00:00	33,0	196,0	229,0	27,0	32,0	0,0	0,0	4,3	4,2	0,0	0,82	0,16	18,9	3,9	15
22.09.2018 10:00:00	0,0	272,0	272,0	0,0	42,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,15	0,0	3,7	15
22.09.2018 11:00:00	0,0	248,0	248,0	0,0	39,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,00	0,16	0,0	3,7	15
22.09.2018 12:00:00	0,0	236,0	236,0	0,0	38,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,7	15
22.09.2018 13:00:00	0,0	208,0	208,0	0,0	35,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,17	0,0	3,9	15
22.09.2018 14:00:00	24,0	104,0	128,0	20,0	19,0	0,0	0,0	3,6	4,4	0,0	0,83	0,18	23,3	4,2	15
22.09.2018 15:00:00	63,0	0,0	63,0	24,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,38	0,00	19,5	0,0	15
22.09.2018 16:00:00	84,0	0,0	84,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,43	0,00	20,1	0,0	15
22.09.2018 17:00:00	90,0	0,0	90,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,4	0,0	15
22.09.2018 18:00:00	90,0	0,0	90,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,0	0,0	15
22.09.2018 19:00:00	93,0	0,0	93,0	43,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,5	0,0	15
22.09.2018 20:00:00	90,0	0,0	90,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,1	0,0	15
22.09.2018 21:00:00	99,0	0,0	99,0	47,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,9	0,0	15
22.09.2018 22:00:00	93,0	0,0	93,0	43,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,1	0,0	15
22.09.2018 23:00:00	63,0	0,0	63,0	30,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,48	0,00	21,2	0,0	15
23.09.2018 00:00:00	54,0	0,0	54,0	24,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,3	0,0	2
23.09.2018 01:00:00	96,0	0,0	96,0	46,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,48	0,00	18,2	0,0	2
23.09.2018 02:00:00	114,0	0,0	114,0	60,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,53	0,00	17,7	0,0	2
23.09.2018 03:00:00	84,0	0,0	84,0	44,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,52	0,00	16,4	0,0	2
23.09.2018 04:00:00	18,0	0,0	18,0	8,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,44	0,00	21,9	0,0	2
23.09.2018 05:00:00	12,0	0,0	12,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,58	0,00	27,8	0,0	2
23.09.2018 06:00:00	30,0	0,0	30,0	10,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,33	0,00	16,2	0,0	2
23.09.2018 07:00:00	18,0	0,0	18,0	10,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,56	0,00	26,7	0,0	2
23.09.2018 08:00:00	24,0	0,0	24,0	10,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,42	0,00	21,1	0,0	2
23.09.2018 09:00:00	69,0	0,0	69,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,6	0,0	2
23.09.2018 10:00:00	54,0	0,0	54,0	30,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,56	0,00	20,2	0,0	2
23.09.2018 11:00:00	90,0	0,0	90,0	40,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,8	0,0	2
23.09.2018 12:00:00	93,0	0,0	93,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,44	0,00	17,8	0,0	2
23.09.2018 13:00:00	135,0	0,0	135,0	74,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,55	0,00	16,9	0,0	2
23.09.2018 14:00:00	3,0	172,0	175,0	2,0	28,0	0,0	0,0	2,9	4,3	0,0	0,67	0,16	23,1	3,8	2
23.09.2018 15:00:00	72,0	70,0	142,0	35,0	12,0	0,0	0,0	2,8	4,3	0,0	0,49	0,17	17,2	3,9	2
23.09.2018 16:00:00	84,0	0,0	84,0	38,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,45	0,00	19,9	0,0	2
23.09.2018 17:00:00	90,0	0,0	90,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,43	0,00	18,3	0,0	2
23.09.2018 18:00:00	81,0	0,0	81,0	34,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,42	0,00	18,1	0,0	2
23.09.2018 19:00:00	90,0	0,0	90,0	43,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,48	0,00	19,5	0,0	2
23.09.2018 20:00:00	99,0	0,0	99,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,42	0,00	17,3	0,0	2
23.09.2018 21:00:00	75,0	0,0	75,0	34,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,7	0,0	2
23.09.2018 22:00:00	72,0	0,0	72,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,43	0,00	19,0	0,0	2
23.09.2018 23:00:00	87,0	16,0	103,0	44,0	2,0	0,0	0,0	2,7	3,8	0,0	0,51	0,13	19,0	3,3	2
24.09.2018 00:00:00	0,0	268,0	268,0	0,0	42,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,7	3
24.09.2018 01:00:00	0,0	250,0	250,0	0,0	41,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,00	0,16	0,0	3,7	3
24.09.2018 02:00:00	15,0	164,0	179,0	12,0	29,0	0,0	0,0	4,3	4,4	0,0	0,80	0,18	18,6	4,1	3
24.09.2018 03:00:00	15,0	238,0	253,0	13,0	37,0	0,0	0,0	4,4	4,1	0,0	0,87	0,16	19,5	3,8	3
24.09.2018 04:00:00	0,0	260,0	260,0	0,0	42,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,16	0,0	3,8	3
24.09.2018 05:00:00	0,0	180,0	180,0	0,0	31,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,00	0,17	0,0	4,0	3
24.09.2018 06:00:00	126,0	20,0	146,0	76,0	4,0	0,0	0,0	3,3	4,1	0,0	0,60	0,20	18,2	4,9	3
24.09.2018 07:00:00	114,0	36,0	150,0	62,0	6,0	0,0	0,0	3,3	3,9	0,0	0,54	0,17	16,7	4,3	3
24.09.2018 08:00:00	75,0	12,0	87,0	34,0	2,0	0,0	0,0	2,5	4,2	0,0	0,45	0,17	18,2	4,0	3
24.09.2018 09:00:00	84,0	0,0	84,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,8	0,0	3
24.09.2018 10:00:00	96,0	0,0	96,0	51,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,53	0,00	16,9	0,0	3
24.09.2018 11:00:00	69,0	0,0	69,0	29,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,42	0,00	19,9	0,0	3
24.09.2018 12:00:00	72,0	0,0	72,0	33,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,46	0,00	20,4	0,0	3
24.09.2018 13:00:00	72,0	0,0	72,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	19,9	0,0	3
24.09.2018 14:00:00	87,0	0,0	87,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,45	0,00	18,8	0,0	3
24.09.2018 15:00:00	108,0	0,0	108,0	54,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,50	0,00	17,1	0,0	3
24.09.2018 16:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,46	0,00	20,4	0,0	3
24.09.2018 17:00:00	57,0	0,0	57,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,2	0,0	3
24.09.2018 18:00:00	60,0	0,0	60,0	26,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,43	0,00	19,1	0,0	3
24.09.2018 19:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	19,0	0,0	3
24.09.2018 20:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,47	0,00	18,4	0,0	3
24.09.2018 21:00:00	75,0	0,0	75,0	37,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	20,1	0,0	3
24.09.2018 22:00:00	69,0	0,0	69,0	31,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,45	0,00	18,0	0,0	3
24.09.2018 23:00:00	57,0	0,0	57,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	20,1	0,0	3
25.09.2018 00:00:00	42,0	0,0	42,0	20,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,48	0,00	21,5	0,0	0
25.09.2018 01:00:00	81,0	0,0	81,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	18,0	0,0	0
25.09.2018 02:00:00	96,0	0,0	96,0	48,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,50	0,00	18,3	0,0	0
25.09.2018 03:00:00	66,0	0,0	66,0	35,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,53	0,00	16,0	0,0	0
25.09.2018 04:00:00	12,0	0,0	12,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,50	0,00	26,1	0,0	0
25.09.2018 05:00:00	15,0	0,0	15,0	8,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,53	0,00	27,4	0,0	0
25.09.2018															

Date-Time	Q,Pn [m³/h]	Q,Hy [m³/h]	Q [m³/h]	E,Pn [kWh/h]	E,Hy [kWh/h]	E [kWh/h]	NB- Zeit	P,Pn [bar]	P,Hy [bar]	P,NB [bar]	e,bez,Pn [kWh/m³]	e,bez,Hy [kWh/m³]	e,spez,Pn [Wh/(m³*m)]	e,spez,Hy [Wh/(m³*m)]	NS [mm]
28.09.2018 23:00:00	48,0	0,0	48,0	23,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,48	0,00	21,2	0,0	0
29.09.2018 00:00:00	54,0	0,0	54,0	24,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,44	0,00	19,5	0,0	0
29.09.2018 01:00:00	87,0	0,0	87,0	45,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,52	0,00	17,7	0,0	0
29.09.2018 02:00:00	108,0	0,0	108,0	55,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,51	0,00	18,0	0,0	0
29.09.2018 03:00:00	84,0	0,0	84,0	48,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,57	0,00	17,7	0,0	0
29.09.2018 04:00:00	12,0	0,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,42	0,00	21,4	0,0	0
29.09.2018 05:00:00	6,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,50	0,00	24,1	0,0	0
29.09.2018 06:00:00	15,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,40	0,00	20,6	0,0	0
29.09.2018 07:00:00	9,0	0,0	9,0	4,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,44	0,00	22,2	0,0	0
29.09.2018 08:00:00	18,0	0,0	18,0	8,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,44	0,00	22,1	0,0	0
29.09.2018 09:00:00	39,0	0,0	39,0	18,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,46	0,00	21,5	0,0	0
29.09.2018 10:00:00	0,0	30,0	30,0	0,0	3,0	66,5	42,0	0,0	1,3	4,2	0,00	0,10	0,0	7,6	0
29.09.2018 11:00:00	0,0	58,0	58,0	0,0	6,0	10,5	18,0	0,0	1,8	3,3	0,00	0,10	0,0	5,8	0
29.09.2018 12:00:00	18,0	72,0	90,0	16,5	7,0	6,5	17,0	2,2	2,2	1,2	0,92	0,10	42,0	4,3	0
29.09.2018 13:00:00	84,0	0,0	84,0	35,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,42	0,00	22,8	0,0	0
29.09.2018 14:00:00	99,0	0,0	99,0	39,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,39	0,00	21,0	0,0	0
29.09.2018 15:00:00	99,0	0,0	99,0	44,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,44	0,00	20,6	0,0	0
29.09.2018 16:00:00	102,0	0,0	102,0	48,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,47	0,00	18,0	0,0	0
29.09.2018 17:00:00	102,0	0,0	102,0	49,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,48	0,00	17,3	0,0	0
29.09.2018 18:00:00	90,0	0,0	90,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,6	0,0	0
29.09.2018 19:00:00	87,0	0,0	87,0	41,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,47	0,00	19,8	0,0	0
29.09.2018 20:00:00	81,0	0,0	81,0	37,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,4	0,0	0
29.09.2018 21:00:00	78,0	0,0	78,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,46	0,00	18,3	0,0	0
29.09.2018 22:00:00	78,0	0,0	78,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,50	0,00	19,5	0,0	0
29.09.2018 23:00:00	54,0	0,0	54,0	24,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,44	0,00	18,9	0,0	0
30.09.2018 00:00:00	51,0	0,0	51,0	25,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,49	0,00	20,9	0,0	0
30.09.2018 01:00:00	84,0	0,0	84,0	43,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,51	0,00	17,3	0,0	0
30.09.2018 02:00:00	111,0	0,0	111,0	59,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,53	0,00	18,1	0,0	0
30.09.2018 03:00:00	81,0	0,0	81,0	45,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,56	0,00	17,3	0,0	0
30.09.2018 04:00:00	18,0	0,0	18,0	7,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,39	0,00	20,7	0,0	0
30.09.2018 05:00:00	9,0	0,0	9,0	5,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,56	0,00	25,8	0,0	0
30.09.2018 06:00:00	15,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,40	0,00	19,6	0,0	0
30.09.2018 07:00:00	27,0	0,0	27,0	12,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,44	0,00	22,4	0,0	0
30.09.2018 08:00:00	15,0	0,0	15,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,40	0,00	20,7	0,0	0
30.09.2018 09:00:00	54,0	0,0	54,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,50	0,00	18,9	0,0	0
30.09.2018 10:00:00	63,0	0,0	63,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,51	0,00	17,7	0,0	0
30.09.2018 11:00:00	81,0	0,0	81,0	38,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	18,5	0,0	0
30.09.2018 12:00:00	81,0	0,0	81,0	38,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,47	0,00	19,0	0,0	0
30.09.2018 13:00:00	78,0	0,0	78,0	38,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,49	0,00	18,9	0,0	0
30.09.2018 14:00:00	75,0	0,0	75,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,48	0,00	19,3	0,0	0
30.09.2018 15:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,3	0,0	0
30.09.2018 16:00:00	96,0	0,0	96,0	48,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,50	0,00	17,9	0,0	0
30.09.2018 17:00:00	90,0	0,0	90,0	47,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,52	0,00	17,4	0,0	0
30.09.2018 18:00:00	78,0	0,0	78,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,45	0,00	19,2	0,0	0
30.09.2018 19:00:00	90,0	0,0	90,0	42,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,47	0,00	18,0	0,0	0
30.09.2018 20:00:00	72,0	0,0	72,0	35,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,49	0,00	19,5	0,0	0
30.09.2018 21:00:00	84,0	0,0	84,0	39,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,46	0,00	17,5	0,0	0
30.09.2018 22:00:00	69,0	0,0	69,0	32,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,46	0,00	19,7	0,0	0
30.09.2018 23:00:00	57,0	0,0	57,0	27,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,47	0,00	20,5	0,0	0

Anhang I Analyse der Anlage

- Tageswerte April + Mai 2018
- H₂S-Messungen Juni 2018

H2S-Messung HPW und KLA Juni 2018



DPE	Qd,Pn [m³/d]	Qd,Hy [m³/d]	Qd [m³/d]	E,Ko [kWh/d]	E,Hy [kWh/d]	E [kWh/d]	e,bez,Pn [kWh/m³]	e,bez,Hy [kWh/m³]	e,bez [kWh/m³]	NS [mm/d]
01.Apr	1218,00	464,80	1682,80	1418,06	65,54	1483,60	1,16	0,14	0,88	0
02.Apr	1123,50	102,30	1225,80	1338,77	11,64	1350,41	1,19	0,11	1,10	0
03.Apr	1423,50	102,00	1525,50	1604,86	11,81	1616,67	1,13	0,12	1,06	0
04.Apr	1483,50	92,90	1576,40	1655,31	12,13	1667,44	1,12	0,13	1,06	0
05.Apr	1281,00	91,80	1372,80	1463,32	11,16	1474,47	1,14	0,12	1,07	0
06.Apr	1554,00	41,00	1595,00	1711,12	4,09	1715,21	1,10	0,10	1,08	0
07.Apr	1372,50	40,80	1413,30	1552,13	4,28	1556,42	1,13	0,10	1,10	0
08.Apr	1372,50	38,80	1411,30	1539,90	4,01	1543,91	1,12	0,10	1,09	0
09.Apr	1536,00	41,50	1577,50	1663,76	4,18	1667,95	1,08	0,10	1,06	0
10.Apr	1281,00	34,00	1315,00	1435,70	3,57	1439,27	1,12	0,10	1,09	0
11.Apr	1267,50	45,00	1312,50	1423,06	4,97	1428,03	1,12	0,11	1,09	0
12.Apr	1224,00	38,10	1262,10	1401,79	3,49	1405,28	1,15	0,09	1,11	0
13.Apr	1288,50	39,70	1328,20	1429,79	3,86	1433,65	1,11	0,10	1,08	0
14.Apr	1236,00	37,50	1273,50	1414,76	4,02	1418,79	1,14	0,11	1,11	0
15.Apr	1225,50	42,20	1267,70	1396,49	4,44	1400,93	1,14	0,11	1,11	0
16.Apr	1770,00	46,00	1816,00	1987,79	4,82	1992,62	1,12	0,10	1,10	0
17.Apr	1386,00	40,80	1426,80	1552,21	4,02	1556,23	1,12	0,10	1,09	0
18.Apr	1399,50	42,20	1441,70	1560,18	4,67	1564,84	1,11	0,11	1,09	0
19.Apr	1341,00	37,00	1378,00	1500,91	4,05	1504,96	1,12	0,11	1,09	0
20.Apr	1399,50	40,60	1440,10	1562,27	4,73	1567,00	1,12	0,12	1,09	0
21.Apr	1519,50	37,50	1557,00	1684,27	4,00	1688,27	1,11	0,11	1,08	0
22.Apr	1434,00	39,50	1473,50	1601,68	4,66	1606,34	1,12	0,12	1,09	0
23.Apr	1290,00	41,50	1331,50	1467,86	4,26	1472,12	1,14	0,10	1,11	2
24.Apr	1558,50	184,30	1742,80	1755,01	23,95	1778,97	1,13	0,13	1,02	0
25.Apr	1327,50	39,20	1366,70	1467,62	4,08	1471,70	1,11	0,10	1,08	0
26.Apr	1332,00	818,60	2150,60	1576,20	138,17	1714,37	1,18	0,17	0,80	4
27.Apr	1459,50	44,50	1504,00	1622,34	7,16	1629,50	1,11	0,16	1,08	0
28.Apr	1440,00	37,20	1477,20	1601,02	4,54	1605,55	1,11	0,12	1,09	0
29.Apr	1408,50	38,30	1446,80	1561,68	4,20	1565,88	1,11	0,11	1,08	0
30.Apr	1441,50	39,70	1481,20	1590,62	5,31	1595,93	1,10	0,13	1,08	0
01.Mai	1317,00	37,70	1354,70	1475,69	4,88	1480,57	1,12	0,13	1,09	0
02.Mai	1131,00	959,90	2090,90	1343,53	153,38	1496,91	1,19	0,16	0,72	53
03.Mai	163,50	2350,10	2513,60	199,50	417,99	617,49	1,22	0,18	0,25	1
04.Mai	945,00	399,80	1344,80	1139,65	63,61	1203,26	1,21	0,16	0,89	0
05.Mai	1296,00	39,80	1335,80	1464,86	4,46	1469,31	1,13	0,11	1,10	0
06.Mai	1266,00	37,00	1303,00	1431,16	4,52	1435,68	1,13	0,12	1,10	0
07.Mai	1182,00	59,70	1241,70	1360,83	5,47	1366,30	1,15	0,09	1,10	0
08.Mai	1188,00	188,60	1376,60	1382,85	33,14	1415,98	1,16	0,18	1,03	1
09.Mai	1144,50	38,20	1182,70	1321,63	3,98	1325,61	1,15	0,10	1,12	0
10.Mai	1170,00	180,80	1350,80	1349,24	30,03	1379,27	1,15	0,17	1,02	11
11.Mai	1341,00	39,50	1380,50	1496,34	3,58	1499,92	1,12	0,09	1,09	0
12.Mai	1164,00	39,00	1203,00	1321,35	4,19	1325,53	1,14	0,11	1,10	0
13.Mai	1141,50	34,00	1175,50	1300,37	3,96	1304,33	1,14	0,12	1,11	0
14.Mai	1116,00	37,40	1153,40	1294,11	3,61	1297,72	1,16	0,10	1,13	0
15.Mai	543,00	4655,70	5198,70	918,35	799,19	1717,53	1,69	0,17	0,33	18
16.Mai	1668,00	188,10	1856,10	1816,35	28,82	1845,17	1,09	0,15	0,99	2
17.Mai	1066,50	1452,00	2518,50	1321,26	244,17	1565,43	1,24	0,17	0,62	5
18.Mai	1101,00	1906,30	3007,30	1379,37	309,79	1689,16	1,25	0,16	0,56	4
19.Mai	1572,00	272,80	1844,80	1767,22	52,89	1820,10	1,12	0,19	0,99	0
20.Mai	1276,50	31,90	1308,40	1419,27	3,81	1423,08	1,11	0,12	1,09	0
21.Mai	1278,00	71,50	1349,50	1433,22	10,12	1443,34	1,12	0,14	1,07	0
22.Mai	1354,50	33,00	1387,50	1495,21	3,66	1498,87	1,10	0,11	1,08	0
23.Mai	1333,50	63,80	1397,30	1465,00	9,48	1474,48	1,10	0,15	1,06	0
24.Mai	1147,50	1439,90	2587,40	1416,05	247,94	1663,98	1,23	0,17	0,64	0
25.Mai	1110,00	1659,90	2769,90	1220,58	271,76	1492,35	1,10	0,16	0,54	11
26.Mai	1417,50	28,60	1446,10	1578,23	4,00	1582,24	1,11	0,14	1,09	0
27.Mai	1381,50	67,10	1448,60	1544,46	9,69	1554,15	1,12	0,14	1,07	0
28.Mai	1467,00	37,40	1504,40	1625,20	4,11	1629,31	1,11	0,11	1,08	0
29.Mai	1416,00	72,60	1488,60	1562,95	10,08	1573,03	1,10	0,14	1,06	0
30.Mai	1360,50	35,20	1395,70	1493,63	3,13	1496,76	1,10	0,09	1,07	0
31.Mai	1335,00	62,70	1397,70	1483,18	10,14	1493,31	1,11	0,16	1,07	0
01.Jun	99,00	0,00	99,00	87,60	0,00	87,60	0,88	0,00	0,88	0