

Abschlussbericht

RECYBA – Ressourceneffiziente cyberphysikalische
Abwasserbehandlungsanlagen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03EN2072 A-C

Laufzeit: 01.12.2021 – 31.05.2025

03EN2072 A Teilvorhaben: Datenübertragung und -standardisierung –
Avacon Wasser GmbH

03EN2072 B Teilvorhaben: Datenaufbereitung und Data-Mining –
Rittmeyer GmbH

03EN2072 C Teilvorhaben: Entscheidungsunterstützende Systeme –
Hochschule Magdeburg-Stendal

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor
/ bei den Autoren.

Inhalt

1.	Kurzdarstellung.....	1
1.1.	Aufgabenstellung.....	1
1.2.	Voraussetzungen, in denen das Vorhaben durchgeführt wurde	1
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde	3
1.5.	Zusammenarbeit der Partner	4
1.6.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
2.	Eingehende Darstellung der Ergebnisse.....	6
2.2.	Erzieltes Produktentwicklungsergebnis	6
2.2.1.	Maßnahme 1: Datenerfassung und -Übertragung.....	7
2.2.2.	Maßnahme 2: Datenaufbereitung	18
2.2.3.	Maßnahme 3: Webservice	26
2.2.4.	Maßnahme 4: Anpassen und Einrichten von Anwendersoftware	36
2.2.5.	Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration	42
2.2.6.	Maßnahme 6: Funktionstests	48
2.3.	Voraussichtlicher Nutzen.....	48
2.4.	Veröffentlichung der Ergebnisse	54
	Literaturverzeichnis.....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Meilensteine des Projektes und die Termine, als diese erreicht wurden	3
Tabelle 2: Maßnahmenpakete, die durch oder in Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern und der Avacon Wasser durchgeführt wurden.	5

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtsplan des Zeitplans des Projektvorhabens, offizieller Starttermin war Dezember 2021, tatsächlicher Arbeitsbeginn Januar 2022	3
Abbildung 2: Fließbild des erzielten Produktentwicklungsergebnisses.....	6
Abbildung 3: Datenbank "Blob-Storage" zum Zwischenspeichern der Archivdaten	9
Abbildung 4: Beispiel-E-Mail bei unbekanntem Einheiten, die derzeit nicht im Importer oder in den benutzerdefinierten Konversionsfaktoren vorliegen	12
Abbildung 5: Auszug eines Eintrags im Plant Archive des SDS	14
Abbildung 6: Auszug aus dem Job Datasheet "Gebläseauslegung".....	15
Abbildung 7: Auszug aus einem Job-Ticket "Gebläseauslegung"	15
Abbildung 8: Auszug aus einem Job-Datasheet mit allen für die Auswertung benötigten Archivdaten	16
Abbildung 9: Fragebogen („Kurze-Variante“) zur Datenübertragung.....	17
Abbildung 10: Beispiel-Dokument eines Datenpunktes aus Archivdaten einer Kläranlage. In diesem Anwendungsfall wurde nach der UUID der Kläranlage gefiltert (in Gelb markiert).	20
Abbildung 11: Anomaliedetektion, hier genutzt zur Starkregenereigniserkennung. Gut erkennbar ist der Niederschlag im Dezember 2023.	21
Abbildung 12: Balkendiagramme zur Nährstoffzusammensetzung einer Kläranlage.....	21
Abbildung 13: Gegenüberstellung des Zu- und Ablaufs einer Kläranlage	22
Abbildung 14: Dashboard überschrittene Werte der Ammoniumkonzentration des ausgewählten Zeitraums (hier: 5 Jahre).....	22
Abbildung 15: Dashboard zur Ammoniak-Auswertung.....	23
Abbildung 16: Zeitreihe mit Ausreißer	24
Abbildung 17: Zeitreihe nach Ausreißeranalyse (ohne Ausreißer)	24
Abbildung 18: Signal ohne Interpolation (blau) und mit einer automatischen Interpolation von Lücken (orange).....	25
Abbildung 19: Dashboard nach dem ersten Anmelden eines Nutzers	29
Abbildung 20: Darstellung des Fragebogens	29
Abbildung 21: Fragebogen eines Aggregates, hier: Zulaufbauwerk, zur Darstellung der flexiblen Auswahlmöglichkeit.....	31
Abbildung 22: Baukasten zur Fließbilderstellung der Kläranlage.....	32
Abbildung 23: Pop-Up nach Wahl "Berechnen", hier ausgewählt: Berechnung für Sandfanggebläse und Rührwerke	33
Abbildung 24: Dashboard nach erfolgter Kläranlagenkonfiguration.....	33
Abbildung 25: Auswertungsseite zum Sandfanggebläse	34
Abbildung 26: UI des Archivdatenmappings.....	34
Abbildung 27: Modell der Pilotanlage, Software: SIMBA#, Quelle: R. Tschepetzki.....	37
Abbildung 28: Verbrauchermatrix nach DWA-A 216, Quelle: H. Oeltze	39
Abbildung 29: CBR-Prinzip mit Software Protegé, Anfrage und Ähnlichkeitsrückgabe, Quelle: H. Oeltze	40
Abbildung 30: Auswertungsseite mit Vergleichsdatenbank	41
Abbildung 31: Auszug, Auswertung Zulaufpumpwerk, Quelle: Klärwert.....	49
Abbildung 32: Auszug, Auswertung Rechen, Quelle: Klärwert	50

Abbildung 33: Auszug, Auswertung Sandfang, Quelle: Klärwert 50
 Abbildung 34: Auszug, Auswertung Rührwerke BIO-P Becken, Quelle: Klärwert 51
 Abbildung 35: Auszug, Auswertung Rührwerke Belebungsbecken, Quelle: Klärwert 52
 Abbildung 36: Auszug, Auswertung Räumernachklärung, Quelle: Klärwert 52
 Abbildung 37: Auszug, Auswertung Schlammwässerung, Quelle: Klärwert..... 53

Glossar der Abkürzungen und Fachbegriffe

Fachbegriff	Erläuterung
Back-End	Teil eines Services, auf denen Admins und weitere privilegierte Nutzer zwecks Inhaltsmanagement Zugriff besitzen
Big Data	Daten aus allen möglichen Quellen
Bio-P	Biologische Phosphorelimination
Blob	„Datei“ einer Blob Storage
Blob Storage	(grob zusammengefasst:) Datenbank in der Cloud
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
CBR	Case Based Reasoning (fallbasiertes Schlussfolgern)
Chunk	Teildatei
Cloud	Digitale Infrastrukturbereitstellung als Servicedienstleistung
Container	„Ordner“ einer Blob Storage
Cron-Job	Regelmäßig wiederkehrendes, automatisch ausgeführtes Skript
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSV-Datei	Datei in einem bestimmten Textformat, das oft zum Export von Werten verwendet wird
CVE-Liste	“Common Vulnerabilities and Exposures“-Liste – Liste gewöhnlicher Einfalltore und Schwächen in Software und Websites
DAST	Dynamische Applikationssicherheitstests (Dynamic Application Security Testing)
Data Base	Datenbank
Data Mining	Datenübertragung und -auswertung unterschiedlicher Datenquellen
Elastic	Datenbankanbieter, dessen Datenbank für den Service eingesetzt wurde
Front-End	Öffentlicher Teil eines Services, in diesem Fall Website
Halbstrukturierte Daten	Daten, die in einem definierten Format vorliegen, aber dessen Informationsgehalt nicht in definierten Spalten vorliegen
IaaS	Infrastructure as a Service / Infrastruktur als Servicedienstleistung
ID	Elektronische Identität – Hier: Zeichenreihenfolge eines Objektes
IoT	Internet of Things – Datenübertragung zwischen Betriebsmitteln untereinander über das Internet
Json-Datei	Datei in einem bestimmten Format

Abschlussbericht RECYBA

KI	Künstliche Intelligenz
KRITIS	Kritische Infrastruktur
NH ₃	Ammoniak
OCR	Optical Character Recognition – Automatische Texterkennung
On-Premise	Digitale Infrastruktur an einem dedizierten Ort und im Besitz der Firma, die eine Website betreibt
PEN-Test	Penetration-Test –Test zum Überprüfen unterschiedlicher Einfalltore in eine Web- Applikation
P _{ges}	Gesamtphosphor
SAST	Statische Applikationssicherheitstests (Static Application Security Testing)
SI-Einheit	Einheit vom Internationalen Einheitensystems
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Strukturierte Daten	Daten, die in Tabellen mit vordefinierten Spalten abgespeichert sind
Unstrukturierte Daten	Daten, die ohne vorgegebene Struktur vorliegen

1. Kurzdarstellung

1.1. Aufgabenstellung

Im Projekt soll erreicht werden:

- Eine funktionsfähige Webanwendung für die Kommunikation mit den Kunden
- Ein funktionsfähiger Webservice für den Datenaustausch
- Ein funktionsfähiges Data-Mining- und Simulations-Programm mit der Analyse und Plausibilitätsprüfung von abwassertechnischen, energetischen und kaufmännischen Daten
- Der Aufbau eines Dokumentenmanagementsystems aus den Ergebnissen der Analysen und Handlungsempfehlungen für die Statusberichte
- Der Aufbau einer umfassenden Wissensdatenbank für die Dienstleistungen zur Optimierung und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen

1.2. Voraussetzungen, in denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Kläranlagen zählen mit rund 3,37 TWh Strom im Jahr 2017 (1) zu den größten kommunalen Energiefressern, sodass sie im Jahr 2018 ca. 978.000 t CO₂ ausstießen. Trotz dieser Tatsache zeigen Benchmarking-Studien der letzten zwei Jahrzehnte, dass der Energieverbrauch im Abwassersektor nur langsam zurückgeht. Ursache ist, dass sich Know-How bei großen Anlagenbetreibern ballt und die alternde Demographiestruktur bei Kläranlagenbetreibern ein Fachkräftemangel in ländlichen Regionen schafft. Das hat, zusammen mit dem geringen Digitalisierungsgrad (40 % nach (2)) und einer geringen Datenhaltung / -Analyse der Prozesswerte, zur Folge, dass Kläranlagen kleinerer Kommunen ausschließlich mit dem Ziel betrieben werden können, die Ablaufwerte sicher einzuhalten und der Energieverbrauch der Anlage vernachlässigt werden muss.

Die Projektpartner wollen dieser Herausforderung mit einem neuartigen Lösungsansatz, der Internet-basierten Plattform RECYBA zur Erstellung von cyberphysikalischen Systemen begegnen.

- Zielgruppe von RECYBA sind die Kläranlagen der Größenklasse 2 (1.000 bis 5.000 Einwohnerwerte) bis Größenklasse 4 (10.001 bis 100.000 Einwohnerwerte), da diese Kläranlagen i.d.R. auf technischen Verfahren zur Abwasserreinigung beruhen. Kläranlagen der Größenklasse 1 (< 1.000 Einwohnerwerte) basieren oft auf einfacher (z. B. Rotationstauchkörper) oder naturnaher Technik (z.B. Abwasserteiche), sodass das Energieeinsparpotenzial hier begrenzt ist. Klärwerke mit > 100.000 Einwohnerwerten werden in der Regel von großen und professionellen Organisationen betrieben, die über eigenes Know-how verfügen. Von den ca. 9.300 Kläranlagen in Deutschland gehören damit ca. 3.900 Kläranlage bzw. 42 % zur Zielgruppe von RECYBA (1).
- Durch einen geeigneten Ansatz sollen die Betriebsdaten von Kläranlagen automatisiert gesammelt werden. Bereits heute sind viele Kläranlagen mit Prozessleitsystemen und digitalen Betriebstagebüchern ausgestattet, die über universelle Software-Schnittstellen verfügen. Die Datensammlung wird dadurch begünstigt, dass immer mehr intelligente Feldgeräte (z. B. Messgeräte) auf Kläranlagen zum Einsatz kommen, die über das Internet der Dinge auch untereinander kommunizieren können bzw. Daten direkt auf eine externe Datenbank transferieren können. Dadurch soll RECYBA eine Zentrale werden, mit der auch externe Prozessleitsysteme und Predictive Maintenance möglich werden.
- Die Daten werden von RECYBA strukturiert, plausibilisiert, analysiert und visualisiert.
- Nicht alle Probleme lassen sich mit einem einzigen Werkzeug lösen: RECYBA will daher mit Hilfe verschiedener Werkzeuge (z. B. Deep-Learning-Methoden, deterministischer Modelle, Methoden Künstlicher Intelligenz) die vorhandenen Datensätze auswerten und soll somit für die verschiedensten Fragestellungen (z. B. Prognose von Belastungsschwankungen, virtueller Test einer Verfahrensumstellung, zustandsbasierte Wartungskonzepte) angewendet werden.

- Die Daten sind abgreifbar für die einzelnen Geräte, den Betreiber sowie für Dienstleister (3; 4).
- Von der jeweiligen Kläranlage wird softwaretechnisch ein Kalkulationsmodell für Simulationszwecke erzeugt
- Sobald eine ausreichende Anzahl Kläranlagen in dem System vertreten sind, können auch die Betriebsdaten ähnlicher Kläranlagen untereinander ausgetauscht werden; so kann langfristig eine Kläranlage von den Erfahrungen einer anderen, ähnlichen Anlage lernen (5).
- Gleichzeitig wird der Ansatz einer neuartigen Datenvisualisierung verfolgt. Durch die Aufteilung der Nutzer in verschiedene Gruppen wird ermöglicht, dass ein Nutzer mit niedrigem Wissensstand durch das Programm die verschiedenen Verlaufsmuster, deren Bedeutung und einzelnen Datenzusammenhänge erklärt bekommt, während alle Informationen dem Nutzer auf der höchsten Wissensstufe in beliebiger Auflösung und Kombinationsmöglichkeit zur Verfügung stehen.

Ziel des Forschungsantrages war somit die Entwicklung eines minimal funktionsfähigen Produktes (MFP), das die wesentlichen Elemente des zuvor beschriebenen Ansatzes umsetzen soll. Zum Aufbau des MFP sollen vorhandene Programme so angepasst werden, dass sie den gestellten Anforderungen gerecht werden. Dabei sollen folgende Ziele erreicht werden:

1. Die technologieorientierte Systemanalyse in Abwasserbehandlungsanlagen mit Hilfe der Digitalisierung zur Ressourceneffizienz- und Energieeinsparung.
2. Das Zusammenbringen vorhandener Vorgehensweisen in der Automatisierungstechnik, der Informationstechnik und ihren Anwendungsgebieten, sodass die komplexen Interaktionen von realen abwassertechnischen Anlagen und den offenen globalen Kommunikationsnetzen beherrschbar bleiben.
3. Neuartige Mensch-Maschine-Kommunikation (HMI) mit hoher Informationstransparenz und Entscheidungsunterstützung insbesondere für Optimierungsmaßnahmen und Energieeinsparungen
4. Erstellung eines Interface für Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen
5. Schaffen einer einheitlichen Datenstruktur
6. Aufbau eines Prototyps mit einer Pilotkläranlage für Test- und Demonstrationszwecke

Wirtschaftliche Motivation

Wirtschaftlich motivierend ist das Projekt bei der Avacon Wasser, dass sie sich mit dem Betrieb der Website sowie der Optimierung den von ihr betriebenen Kläranlagen einen Marktvorteil erhofft. Dienstleistungen, wie die Umsetzung der vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen bis hin zur digitalen Betriebsführung, können durch den Webservice generiert werden.

Die Rittmeyer GmbH erhofft sich durch das Projekt einen erhöhten Marktzugang für ihr Produktportfolio bei den Steuerungs-, Automatisierungs- und Optimierungslösungen. Neben der Steigerung des Bekanntheitsgrades hofft die Rittmeyer GmbH, Dienstleistungen in den Bereichen Datenanalyse und Modellierung anbieten zu können, die insbesondere durch die automatisiert vorbereiteten Daten beschleunigt wird. Hierbei hofft die Rittmeyer auf eine Weiterentwicklung des eigenen Know-How im Bereich Künstlicher Intelligenz, Industrie 4.0 und digitale Zwillinge.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt hatte eine ursprüngliche Laufzeit von 3 Jahren und gliederte sich in 6 Arbeitspakete:

Förderprojekt 1: Aufbau Programm RECYBA	2022				2023				2024				2025			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Maßnahme 1: Datenerfassung und -übertragung																
Maßnahme 2: Datenaufbereitung																
Maßnahme 3: Webservice																
Maßnahme 4: Anpassen und Einrichten von Anwendersoftware																
Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration																
Funktionstests																

Abbildung 1: Übersichtsplan des Zeitplans des Projektvorhabens, offizieller Starttermin war Dezember 2021, tatsächlicher Arbeitsbeginn Januar 2022

Das Projekt wurde kostenneutral um 6 Monate verlängert. Aus diesem Grund wurde das Projekt am 31.05.2025 beendet.

Tabelle 1: Meilensteine des Projektes und die Termine, als diese erreicht wurden

Meilensteine	Erreichter Termin
Meilenstein 2: Datenerfassungsbogen	Juli 22
Meilenstein 1: Schnittstellen geklärt, Ermittlung benötigter Server	Januar 23
Meilenstein 3: Datenübertragung	Januar 23
Meilenstein 4: Energieanalyse	Februar 23
Meilenstein 6: Deterministische Modelle	Mai 23
Meilenstein 5: Datenerfassung	Februar 24
Meilenstein 7: Datenaufbereitung	Februar 24
Meilenstein 11: KI-basierte und entscheidungsunterstützende Systeme	Dezember 24
Meilenstein 12: Schnittstellenkonfiguration	Dezember 24
Meilenstein 13: Funktionstests	Dezember 24
Meilenstein 10: Webservice	Mai 25
Meilenstein 8: Data Mining	Mai 25
Meilenstein 9: Datenbank	Mai 25

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Bekannte Software und digitale Infrastruktur, die für die Durchführung des Vorhabens genutzt wurden:

- Hosting der Website cloudbasiert
- Java Script als Programmiersprache für den Webservice
- Headless Content-Management-System zur Verwaltung des Back-End des Webservices
- Elastic Cloud als Datenspeicherbank
- Entwicklungsumgebung und Source-Code-Verwaltung in GitLab inklusive Pipeline-Runner
- DAST- und SAST-Lösungen für die sichere Programmentwicklung und den -Betrieb
- RITUNE von Rittmeyer

Für das Projekt wurde Fachliteratur und Informations- und Dokumentationsdienste eingesetzt:

- Kläranlagenvergleiche über Erfassung für die jährlichen Leistungsvergleiche der Kläranlagennachbarschaften und freiwilligen Erhebungsbögen
- Einschlägige Regelwerke des Fachbereichs Abwasserentsorgung
- Literatur über unterschiedliche KI-Methodiken, insbesondere OCR-Erkennung

1.5. Zusammenarbeit der Partner

Bei dem Projekt „RECYBA“ handelte es sich um ein Verbundprojekt der Partner Avacon Wasser, BRUGG Rittmeyer sowie Hochschule Magdeburg-Stendal.

Projektpartner „Avacon Wasser“ (AVAW)

„Wenn das Wasser fließt stehen wir dahinter.“

Avacon Wasser gehört zu den größten wasserwirtschaftlichen Unternehmen in Niedersachsen. Wir beliefern Endverbraucher und Unternehmen in unserem Einzugsgebiet und unterstützen aktuell 33 kommunale Partner in allen Belangen rund um das Thema Trinkwasser, Abwasser und Regenwasser - von der wasserwirtschaftlichen Erschließung der Quartiere über energetische Optimierungs-Projekte bis hin zum Hochwasserschutz. Eine Verantwortung für Mensch, Wirtschaft und Umwelt, die wir sehr ernst nehmen - und für die wir uns auch in Zukunft stark machen werden.

Projektpartner „BRUGG Rittmeyer“

„Jahrzehntelange Erfahrung. Fachkompetenz. Leidenschaft.“

Und unser Wissen, das wir stetig erweitern und gerne teilen. Das ist die Basis dafür, dass sich unsere Kunden immer auf uns verlassen können. Bei der Versorgung mit Wasser und Energie, bei Kläranlagen und bei Wasserkraftwerken. Kunden schätzen die Zuverlässigkeit unserer Leit- und Automatisierungssysteme sowie unserer Messtechnik. Darüber hinaus unterstützen wir sie mit unserem Know-how, intelligenter Software und Dienstleistungen – von Cloud-Services bis zur Ferienvertretung.

Projektpartner „Hochschule Magdeburg-Stendal“ (HSMS)

„Arbeitsgruppe Siedlungswasserwirtschaft / Abwasser“

Die Arbeitsgruppe Siedlungswasserwirtschaft / Abwasser der Hochschule Magdeburg-Stendal betreibt in den unterschiedlichsten abwassertechnischen Sektoren sowie im Bereich der Biogastechnologie anwendungsbezogene Forschung. Anspruch der Arbeitsgruppe ist es, durch angewandte Forschung und die Ausbildung von jungen Ingenieurinnen und Ingenieuren zukünftige Herausforderungen der Abwasserwirtschaft besser zu bewältigen.

1.6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In die Entwicklung unterschiedlicher Maßnahmenpakete der Avacon Wasser wurde die Cratos GmbH sowie die Avacon Consult GmbH, vormals Purena Consult GmbH, als Subunternehmer eingebunden. Folgende Maßnahmen wurden durch diese oder in Zusammenarbeit mit den Dienstleistern umgesetzt:

Abschlussbericht RECYBA - Kurzdarstellung

Tabelle 2: Maßnahmenpakete, die durch oder in Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern und der Avacon Wasser durchgeführt wurden.

1.		Maßnahme 1: Datenerfassung und -übertragung
1.2	Cratos GmbH	KI zur Datenerfassung
1.4	Cratos GmbH	Datenübertragung
1.5	Avacon Consult GmbH	Serverstruktur
1.6	Avacon Consult GmbH	Projektleitung
1.		Maßnahme 1: Datenübertragung
2.		Maßnahme 2: Datenaufbereitung
2.1.	Cratos GmbH	Big-Data-Datenbank
2.6.	Avacon Consult GmbH	Projektleitung
2.		Maßnahme 2: Datenauswertung
3.		Maßnahme 3: Webservice
3.1.	Cratos GmbH	Konzeptionierung
3.2.	Cratos GmbH	Erstellen der Webseite
3.3.	Cratos GmbH	Einrichtung und Inbetriebnahme
3.3.	Avacon Consult GmbH	Einrichtung und Inbetriebnahme
3.4.	Cratos GmbH	Vorbereitung für das Remote Controlling
3.6.	Avacon Consult GmbH	Projektleitung
3.		Maßnahme 3: Webservice
4.		Maßnahme 4: Anpassen und Einrichten von Anwendersoftware
4.6.	Avacon Consult GmbH	Projektleitung
4.		Maßnahme 4: Anpassen und Einrichten von Anwendersoftware
5.		Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration
5.1.	Cratos GmbH	Berücksichtigung intelligenter Geräte
5.2.	Cratos GmbH	Berücksichtigung dynamische Echtzeitauswertung
5.5.	Avacon Consult GmbH	Projektleitung

5.		Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration
6.		Funktionstests
6.1.	Avacon Consult GmbH	Softwaretechnische Implementation
6.4.	Avacon Consult GmbH	Projektleitung
6.		Durchführung des Reallabores

2. Eingehende Darstellung der Ergebnisse

2.2. Erzieltes Produktentwicklungsergebnis

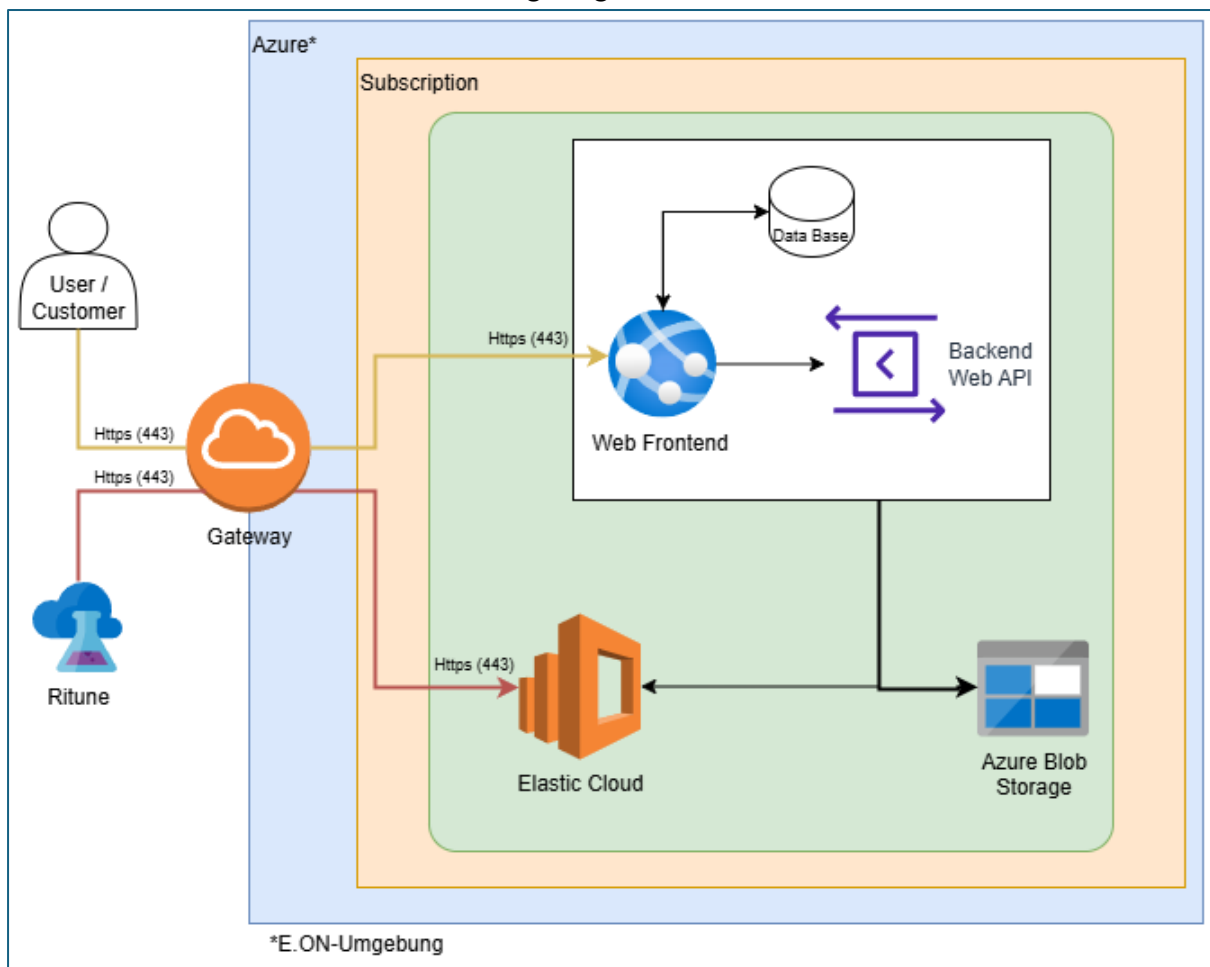


Abbildung 2: Fließbild des erzielten Produktentwicklungsergebnisses

Ziel des Projektes war der Aufbau der im Projektantrag dargestellten Dienstleistungsstufen 1 und 2. Dabei sollte die Website anhand manuell eingegebener Daten eine Berechnung der auf den Kläranlagen verwendete Technik / Aggregaten ermöglichen, mit der bereits erste Optimierungen erkannt werden können. In der Dienstleistungsstufe 2 sollten historische Daten, wie z.B. aus Acron, übernommen werden, um mit diesen weitergehenden Optimierungen zu ermöglichen. Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, sollte ein Webservice aufgebaut werden, mit dem die Daten eingetragen und ausgewertet werden können. Hierfür wurde ein Konzept erstellt, das sich in

Abbildung 2 als erzieltes Produktentwicklungsergebnis widerspiegelt: Der Webservice besitzt ein Front-End, mit dem der Nutzer das Programm steuern kann. Für unterschiedliche Eingaben im Hintergrund existiert das Back-End für Admin-tätigkeiten. Das in der Abbildung dargestellte Back-End fasst die Hintergrundprozesse des Webservices zusammen, wie z.B. auch die Datenübertragung mittels Datendrehscheibe. Das Web Frontend besitzt eine Data Base, die die notwendigen Bilder, Konfigurationsdateien und weiteres speichert. Zur Archivdatenübertragung dient die Azure Blob Storage, während die Handeingaben direkt an die Elastic Cloud, die Hauptdatenbank des Webservices, übertragen werden. In der Elastic Cloud werden alle Daten, die für eine Auswertung notwendig sind, abgespeichert. Gleichzeitig werden auch hier die Auswertungen abgespeichert, die durch RITUNE von der Rittmeyer erstellt werden.

Die Grundlagen der Auswertungen wurden durch die Hochschule Magdeburg-Stendal zusammengestellt. Sie erschufen eine Datenbank unterschiedlicher Kläranlagen, um eine verbesserte Vergleichbarkeit der Kläranlagentypen zu schaffen. Diese Datenbank wurde in die Auswertungen integriert und eine Vergleichbarkeit, wo möglich, mithilfe von Diagrammen dargestellt.

2.2.1. Maßnahme 1: Datenerfassung und -Übertragung

2.2.1.1. Datenerfassung und -Übertragung beim Webservice und der Datenbank – AVAW

Unter Berücksichtigung, dass der Digitalisierungsgrad von Kläranlagen unterschiedlich weit fortgeschritten ist, wurden mehrere Möglichkeiten der vollautomatisierten Datenübertragung untersucht:

1. Upload der Archivdaten
2. Upload der Daten der SPS
3. Upload von PDF- oder Bilddateien und Aufbereitung der Daten per OCR-Erkennung
4. Automatische Luftbildauswertung der Kläranlage

Upload der Archivdaten

Gemäß Vorhabenbeschreibung soll im Arbeitspaket Datenübertragung die Herausforderung angegangen werden, die Daten der unterschiedlichen Kläranlagen in ein einheitliches Format zu übertragen, damit es für weitere Datenauswertungszwecke genutzt werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen, sind viele Herausforderungen zu lösen, die mit möglichst wenigen Beeinträchtigungen des Nutzererlebnisses der Website einhergehen soll:

1. Upload von sehr großen Archivdaten (>1 GB)
2. Je nach Digitalisierungsgrad der Anlage sind unterschiedlich viele Messwerte verfügbar
3. Individuelle Datenpunktbezeichnungen der Kläranlagenarchive, aufgrund von historisch gewachsenen Strukturen
4. Je nach Archivdatensystem sind unterschiedliche Dateispalten und -Bezeichnungen möglich
5. Die Daten liegen mit unterschiedlichen oder falsch geschriebenen Einheiten vor
6. Es besteht die Möglichkeit, dass dieselben Archivdaten erneut hochgeladen werden
7. Es muss sichergestellt werden, dass der Webservice sowie die Kläranlagen zu jedem Zeitpunkt vor Angriffen Dritter geschützt werden

Je mehr Daten zur Verfügung stehen, desto genauer kann eine Auswertung werden. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen, sollte es dem Klärwerksmeister so einfach wie möglich gemacht werden, möglichst eine große Zeitspanne an Archivdaten hochzuladen. Das bedeutet, insbesondere weil in den Archivsystemen im Idealfall alle Daten einer Kläranlage gespeichert werden, dass die Datenexporte sehr groß werden können. Um diesen Fall zu simulieren, musste

ein realistischer Zeitraum ausgewählt werden, der am wahrscheinlichsten von einem Klärwerksmeister hochgeladen wird. Dabei wurde ermittelt, dass ein Jahr häufig als Betrachtungszeitraum ausgewählt wird, um eine Kläranlagenauslegung durchzuführen. Dieser Zeitrahmen wurde als Richtwert für die Datenexporte verwendet. So ergab sich, dass die Datei der Testanlage bei bester Auflösung eines Jahres 24 GB groß war. Es ist nicht realistisch, von einem Klärwerksmeister zu erwarten, eine so große Datei hochzuladen, damit Auswertungen gefahren werden, insbesondere, da die Internetverbindung der Kläranlagen häufig langsam ist. Eine Datei eines Jahres, bei der die Daten in Stundenauflösung vorliegen, konnte die Größe auf ca. 350 Megabyte reduzieren. Diese Auflösung wird häufig verwendet, um eine manuelle Betrachtung der Kläranlage auszuführen und führt zu keinem nennenswerten Informationsverlust, da die Abwasserfrachten über die Kanalisation über mehrere Stunden verteilt vergleichmäßig werden. Trotz allem existiert für ein Jahr ein Datensatz von über 1 Mio. Werten, die in den Webservice zwecks Auswertung übertragen und sortiert werden müssen. Das führt zu der Herausforderung, dass es zu einer Zeitverzögerung zwischen Datenupload in den Webservice und Datenablage in der Datenbank kommt. Aus diesem Grund ist ein temporärer Zwischenspeicher vorzusehen, der die Rohdatei kurzzeitig zwischenspeichert. Dies ist die Funktion des in Abbildung 2 dargestellten „Blob-Storages“.

Der Begriff „Blob-Storage“ wird verwendet, da die Speichermethoden in der Cloud eine andere Infrastrukturlösung benötigen als On-Premise-Server. Bei On-Premise-Servern bestehen entweder auf den Servern direkt, wie es auch bei diesem Webservice zunächst gelöst wurde, Speicherkapazitäten, oder es wurden eigene Speichermodule errichtet, die eine große Datenmenge speichern können. Der Zugriff auf Speichermodule bei On-Premise-Lösungen geschieht meist über fest zugeordnete IP-Adressen. Da sich in der Cloud die IP-Adressen regelmäßig ändern, besitzt die Blob-Storage eine URL, mit der die Systeme auf die jeweiligen Speicherkonten zugreifen können. Jedes Speicherkonto hat Unterordner, genannt „Container“, in denen die „Blobs“ gespeichert werden. Konkretisiert für unseren Anwendungsfall bedeutet dies, dass für jede Kläranlage ein Container (Ordner) durch den Webservice angelegt wird, in dem die Archivdaten als „Blobs“ (Dateien) abgelegt werden. Nachdem das Skript erkannte, dass neue Archivdaten vorliegen, wird der Datenimport gestartet. Dabei werden sie in unterschiedliche Chunks aufgeteilt und nach und nach in die Elastic hochgeladen. Sobald die Archivdaten hochgeladen wurden, werden die Dateien innerhalb der Ordner gelöscht. Durch die automatische Erstellung der Container (vgl. Abbildung 3) wird eine vollautomatisierte Datenübertragung zwischen Webservice und Datenbank ermöglicht.

Die Archivdaten, die in dieser Blobstorage vorliegen, werden nach dem Importvorgang gelöscht, oder, spätestens, nach einem Tag über einen Cron-Job. Das stellt sicher, dass nur eine Datenablage existiert, und zwar die zentrale Datenbank des Services.

Im Detail geschieht der Import so, dass die Schnittstelle über einen Job von dem Webservice gestartet wird, sobald Archivdaten von einem Nutzer hochgeladen wurden. Zeile für Zeile wird die CSV-Datei anschließend gescannt und die entsprechenden Werte extrahiert. Aufgrund dessen, dass in den untersuchten Archivdaten mehr Daten vorhanden waren, als für die Datenauswertung notwendig sind, wurden nur bestimmte Spaltenüberschriften definiert, die für eine Datenübertragung relevant sind. Diese sind der Zeitstempel, der Wert, die Datenpunktbezeichnung und die Einheit. Alle weiteren Informationen finden für eine Berechnung keine Anwendung und werden ignoriert.

Es ist davon auszugehen, dass alle Archivdatensysteme über eine ähnliche Datenexportfunktion verfügen wie Acron. Da weiterhin CSV für solche Übertragungszwecke als gängiges Datenformat angesehen wird, ist ebenfalls davon auszugehen, dass alle weiteren Archivdatensysteme den

Datenexport hierüber ermöglichen. Somit ist voraussichtlich einzupflegen, dass die Tabellenspalten anders benannt werden und in einer anderen Reihenfolge vorliegen, aber ansonsten keine großen Unterschiede bestehen. Sollte also eine Kläranlage angebunden werden, die über ein anderes Archivdatensystem verfügt als Acron und ihre Archivdaten hochladen wollen, ist dies zunächst nicht möglich. Für einen solchen Fall kann eine weitere Option durch den Data Manager eingepflegt werden, indem dieser in einer separaten Konfigurationsdatei, ähnlich der für unbekannte Einheiten, die besonderen Tabellen den bereits bestehenden Tabellen zuordnet und somit einen Datenimport des weiteren Archivsystems ermöglicht.

Der hier betriebene Aufwand würde sich für eine einfache Datenübertragung von Archivdaten in ein Auswertungssystem nicht lohnen. Jedoch ist eine solche Datenübertragung bei einer quasi-Echtzeit-Datenübertragung sehr hilfreich, da die einzelnen Datenbruchstücke nach und nach verarbeitet werden können. Wie angesprochen, wurde die Datenübertragung der Daten aus dem Prozessleitsystem erprobt. Dies geschah mithilfe eines sogenannten Data Miners. Der Data Miner wird ausführlich in Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration beschrieben.

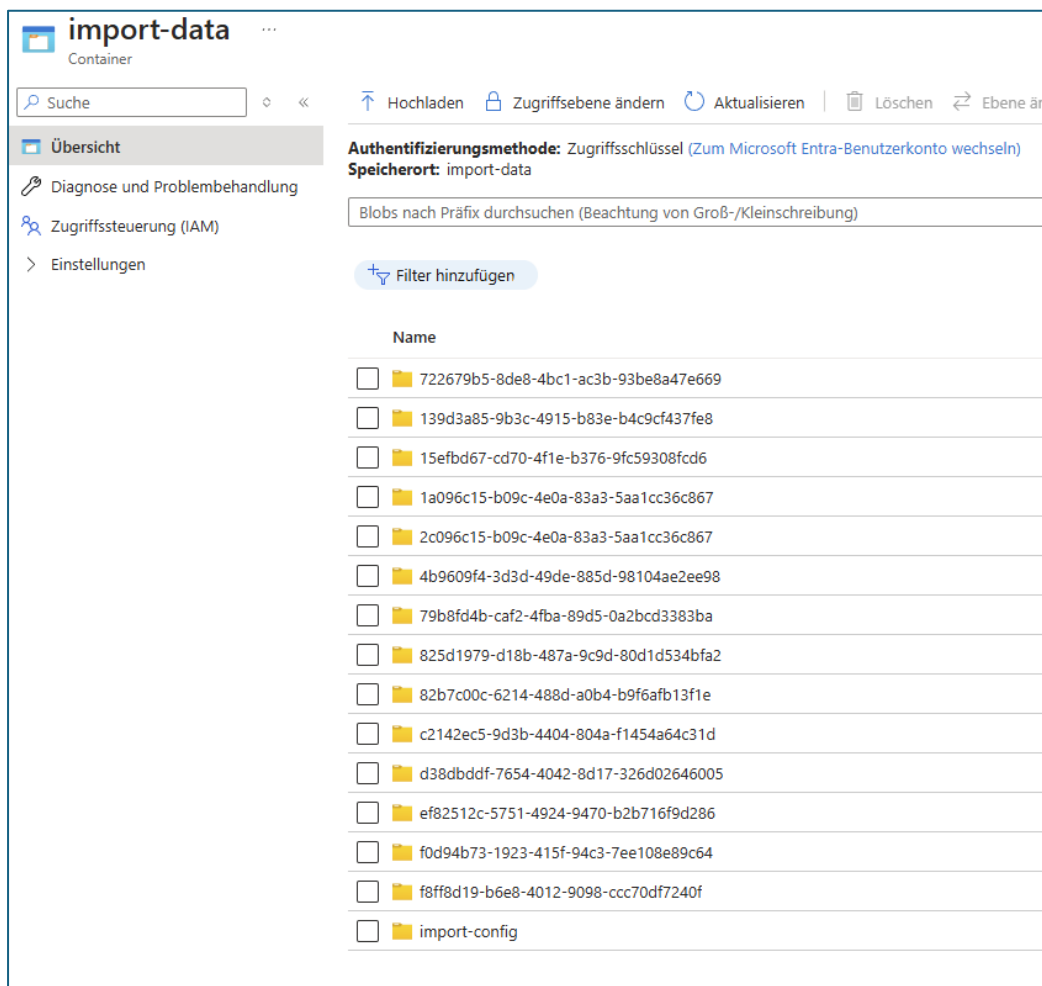


Abbildung 3: Datenbank "Blob-Storage" zum Zwischenspeichern der Archivdaten

Datenpunktstrukturierung

Der Zielstellung unterliegend, vollautomatische Auswertungen von Kläranlagen zu ermöglichen, bieten sich Herausforderungen, die bei einer herkömmlichen Kläranlagenauswertung nur wenig Zeit in Anspruch nehmen würde. Meist kann mithilfe von Logik erkannt werden, wie die

Datenpunkte in den Archivdaten strukturiert wurden oder was die Textbezeichnungen bedeuten. Diesen Luxus besitzt ein Auswertungsprogramm nicht. Es ist ein weiß beschriebenes Blatt, das jedwede Hilfe benötigt, um eine Datenauswertung zu ermöglichen. So kann es standardmäßig nicht erkennen, in welcher Auflösung eine Datenreihe vorliegt. Es kann der Fall auftreten, dass Messwerte bei einer Kläranlage automatisch und kontinuierlich, bei der nächsten Kläranlage händisch gemessen werden. Ein Beispiel sind Messungen vom Ablauf der Kläranlage, insbesondere bei der aufwändig zu messenden Phosphorkonzentration. Vollautomatische Messtechniken sind für diesen Messwert teuer in der Anschaffung und Wartung, da die eingesetzten Chemikalien regelmäßig nachgefüllt werden müssen. Aus diesem Grund verzichten Betreiber kleinerer Kläranlagen oft auf die automatischen Analytoren und analysieren den Ablaufwert im Labor. Dies stellt beim normalen Betrieb oder bei einer normalen Auslegung der Kläranlage keinerlei Probleme dar. Problematisch wird es, wenn eine, wie unsrige, automatische Datenauswertung eine Gleichbehandlung beider Kläranlagen verlangt, da für beide eine zeitliche Auswertung angefordert wurde. Ohne Indikation, ob eine automatische Messung oder Labormessung vorliegt, ist eine Anpassung der Berechnung nicht möglich. Aus diesem Grund wird den Archivdaten ein Index hinzugefügt, der eine Einschätzung des Importers beinhaltet, ob es sich um Stunden-, Tages- oder Monatswerte handelt. Mit dieser Indikation wird RITUNE ermöglicht, eine entsprechende Anpassung der Berechnungsformel vorzunehmen, sodass die angeforderten Berechnungen für alle Nutzer durchgeführt werden können.

Bei Archivdatensystemen existieren häufig mehrere Datenpunktbezeichnungen. Ein interne Datenpunktbezeichnung, die zur Zuordnung vom Archivdatensystem auf einen Datenpunkt der SPS genutzt wird, beschreibt entweder eine Adresse oder eine einzigartige Zeichenreihenfolge, die vom Programmierer definiert wurde, aber vom Nutzer im Regelfall nicht eingesehen wird. Dieser Bezeichnung wird ein Name zugeordnet, der zur Anzeige für den Nutzer dient und durchaus Doppelbezeichnungen haben könnte. Zum Beispiel existieren häufig mehrere Betriebsstundenzähler, die alle „Betriebsstunden“ heißen können, aufgrund der internen Bezeichnung aber einem eindeutigen Datenpunkt in der SPS zugeordnet werden sowie durch eine erstellte Ordnerstruktur auch für den Kläranlagenbetreiber eindeutig ist. Dies kann aufgrund eines Wunsches des Kläranlagenbetreibers bei der Initialerstellung des Archivdatensystems entstanden sein. Bei einer Datenzuordnung zur automatischen Datenauswertung führt diese Dopplung der Namen jedoch zu Problemen.

Weiterhin wird häufig die interne Datenpunktbezeichnung nicht durch den Nutzer eingesehen, sodass dem Programmierer Freiheiten gewährt werden. Im besten Fall existiert eine für den Betrieb einheitliche Datenpunktbezeichnung oder der beauftragte Programmierer besitzt einen eigenen Standard zur Datenpunktbezeichnung. Es kann aber auch der Fall auftreten, dass, ohne böswillige Absichten zu unterstellen, fährlässig beim Einrichten eines Archivdatensystems gehandelt wurde. Im Klartext bedeutet dies, dass die interne Datenpunktbezeichnung keinem definierten Muster folgt, sondern nur die automatisch zugeordneten Bezeichnungen der SPS übernimmt oder, durchaus kurioser, aus wilden Buchstaben- und Zeichenreihenfolgen besteht.

Im Endeffekt und ungeachtet dessen, woher die Inhomogenität der Datenpunkte zwischen den Archivdaten unterschiedlicher Kläranlagen oder auch innerhalb der gleichen Kläranlage kommt, bleibt für unseren Service als „letztes Glied“ nur die Möglichkeit, dieses Wollknäuel an unterschiedlichsten Datenpunktbezeichnungen und doppelten Namen zu entwirren oder entwirren zu lassen, um sie für automatische Datenauswertungen bereitzustellen. Dabei wurde zunächst angestrebt, eine automatische Zuordnung zu ermöglichen. Die Diskussion fiel auf die Verwendung von KI-Methodiken zur Erkennung wiederkehrender Texte. Es ergab sich jedoch, dass eine Datenpunktzuordnung über eine KI für dieses Projekt nicht möglich ist, da, vor allem wegen der Inhomogenität der Namen, die verfügbare Datenlage nicht groß genug war. Aus diesem Grund

blieb nur die zweite Option, und zwar die einmalige manuelle Datenpunktzuordnung für unser System je Kläranlage. Dies könnte als Service von einem Experten durchgeführt werden, der die Datenzuordnung der Kläranlagen im Hintergrund übernimmt, wenn erstmalig Archivdaten übertragen werden. Im Hinblick auf eine großflächige vertriebliche Bekanntmachung im gesamten deutschen Raum ist die vorstellbare Arbeitsflut sowie die große Unsicherheit der richtigen Datenpunktzuordnung aber so abschreckend, dass die Entscheidung im Projektverlauf schließlich getroffen wurde, dass die Nutzer des Systems selbst diese Arbeit durchführen müssen. Schließlich kennen sie ihre Anlagen am besten. Im Hinblick auf die alternde Demografie der Kläranlagenbetreiber und den Fachkräftemangel ist diese Arbeit jedoch so einfach und angenehm zu gestalten, dass sie nicht von der Nutzung des Services abschreckt. Das genaue Design sowie die Umsetzung des in diesem Projekt genannten „Datenmappings“ ist der Beschreibung von „Maßnahme 3: Webservice“ zu entnehmen. In der in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahme „Datenerfassung und -Übertragung“ wurde die Möglichkeit geschaffen, diese Oberfläche funktional zu machen.

Um das Datenmapping funktional zu gestalten, sind drei Datenübertragungen zwischen der Elastic als Datenbank des Webservices und der Website notwendig:

1. Der Webservice muss wissen, welche Datenpunkte in den Archivdaten der jeweiligen Kläranlage existieren
2. Der Webservice muss wissen, welche Datenpunkte für die Archivdatenberechnung notwendig sind
3. Die vom Nutzer gemappten Archivdaten müssen zur Elastic übertragen werden und den entsprechenden Datenpunkten richtig zugeordnet werden

Um innerhalb der >1 Mio. Datenpunkte herauszufinden, welche einzigartigen Datenpunkte in den Archivdaten einer Kläranlage existieren, ist eine Auswertung zu fahren, die alle einzigartigen Datenpunkte abfragt. Dies wird durch eine Abfrage erreicht, die per Schnittstelle von der Elastic ermöglicht wird. Diese Datenpunkte können anschließend auf der Website als Liste angezeigt werden.

Gemäß der Zielgruppe und der Prämisse, nur das fordern zu müssen, was zwingend notwendig ist, wird bei der Abfrage des Webservices ebenfalls abgefragt, welche Archivdaten von den Auswertungen eingefordert werden. Diese Abfrage geschieht in ähnlicher Art und Weise zur Abfrage der einzigartigen Datenpunktbezeichnungen.

Das Datenmapping wird aktiviert, sobald Archivdaten neu hochgeladen werden oder auf „Speichern und Beenden“ im entsprechenden Unterbereich der Website geklickt wurde

Der derzeitige Archivdatenupload wurde nur für Acron-Daten ermöglicht, die in einer bestimmten Art und Weise exportiert wurden. Marktanalysen ergaben, dass dieses System einer der weitverbreitetsten sei. Weitere Systeme müssen in einem späteren Zeitpunkt Berücksichtigung finden.

SI-Einheitenverwaltung

Guten Tag,
Beim Archivdaten Import vom 21/10/2024 13:08:59 für die Kläranlage mit der uuid 722679b5-8de8-4bc1-ac3b-93be8a47e669 mit der Task_id 1c1b6904-c9cb-444d-92ac-032fca1ede9f wurden folgende ungültige Einheiten erkannt:

NN, uS/cm, uS, mol/l.

Falls es sich hierbei um gültige Einheiten handelt, die in Zukunft in SI-Einheiten umgerechnet werden sollen, können sie diese der SI-Einheiten-Verwaltung hinzufügen:

[https://\[REDACTED\].azurewebsites.net/](https://[REDACTED].azurewebsites.net/)

Abbildung 4: Beispiel-E-Mail bei unbekanntem Einheiten, die derzeit nicht im Importer oder in den benutzerdefinierten Konversionsfaktoren vorliegen

Die Inhomogenität zieht sich von den Datenpunkten auch in die Einheiten weiter. Gut veranschaulicht lässt sich dies über Abbildung 4, bei der eine Nachricht nach Archivdatenaufload an die zentrale E-Mail-Adresse des Services geschickt wurde, was auch die Lösung der, im Nachfolgenden beschriebenen Herausforderung ist. Es lässt sich erkennen, dass „uS/cm“ oder „uS“ als unbekannte Einheit vom System deklariert wurde. Damit ist gemeint, dass diese Einheiten nicht in einer Liste gefunden werden konnten, die für die Konversion in SI-Einheiten zur Verfügung steht. Um dies zu beheben, wird nicht der Nutzer, sondern ein Mitarbeiter zur Verwaltung des Webservices kontaktiert, um die Einheiten zu kontrollieren und ggf. hinzuzufügen. Anders als bei dem Datenmapping der Archivdaten ist es absehbar, dass nur eine finite Anzahl an unterschiedlichen Buchstabenkombinationen für die Einheiten existieren, da im Allgemeinen kommunale Kläranlagen ähnliche Messungen tätigen. Somit lassen sich in diesem Fall die Zuordnung nutzerübergreifend erzeugen und die Arbeit der Einheitenverwaltung mit insgesamt weniger Aufwand realisieren.

Zur Verhinderung, dass alle Einheitenkonversionen gelöscht werden können, sind einige gängige Einheiten im Importer enthalten, sodass der Import von Archivdaten gewährleistet ist, auch wenn die Datei gelöscht oder korruptiert wird.

Selbst wenn eine Einheit nicht erkannt wird, wird der Wert mit der unbekanntem Einheit in die Datenbank hochgeladen. Wird die entsprechende Einheit geändert, kann das Skript zur Umwandlung erneut angestoßen werden. Um sicherzustellen, dass bei einem eventuellen Fehler kein Datenverlust entsteht, wie z.B., wenn die Einheitenkonversion falsch eingetragen wurde, wird zur Sicherheit immer der Ursprungswert in einem separaten Feld übertragen.

Es ist davon auszugehen, dass Archivdaten versehentlich oder bewusst hochgeladen werden. Dies wurde betrachtet und eine Lösung eruiert. Diese Lösung sieht vor, dass eine automatische Erkennung der Dateien vorliegt, die doppelte Werte automatisch entfernt und nur die zurückbehält, die das neue Hochladedatum beinhalten.

Um die Datenübertragung zu vereinfachen, ist die Möglichkeit geschaffen worden, über einfache Plausibilitätsprüfungen offensichtlich falsche Daten beim Datenimport zu entfernen. Als Regeln wurden hierfür derzeit drei Fallbeispiele hinterlegt:

- Zählmengen kleiner 0
- Laufzeiten, die größer als das Zeitintervall der hochgeladenen Archivdaten sind (z.B. bei einer stündlichen Auflösung kann die gemessene Laufzeit nicht größer als eine Stunde sein)
- Nährstoffkonzentrationen kleiner 0

Die Archivdaten sind so aufgebaut, dass sie jeden Datenpunkt erfassen und anzeigen, auch wenn keine Werte eingetragen worden sind. Das Resultat ist, dass die Exporte über sehr viele Leerstellen verfügen, die unnötig Speicherplatz verschwenden würden. Um dies zu beheben, werden beim Datenimport alle Zeilen ignoriert, die keinen Wert besitzen.

Upload von PDF- oder Bilddateien

Um die Machbarkeit der OCR zur möglichen Anbindung an unser System sowie eine potenzielle Automatisierung dieses Prozesses zu beleuchten, wurden zunächst bereits vorhandene Möglichkeiten erprobt, um aus Scan- und PDF-Dokumenten Excel-Tabellen zu generieren, die anschließend in ein für die Website passendes Format umgewandelt werden kann. Hierfür wurde die OCR-Erkennung von Adobe Acrobat getestet. Das Resultat war eine Excel-Tabelle, die den größten Teil der Zahlen richtig schrieb, jedoch die Tabelle so formatierte, dass die Zahlen teilweise in unterschiedlichen Zeilen verteilt bzw. mit einem Leerzeichen zwischen den Dezimalstellen versehen waren oder falsch erkannt wurden. Aus diesem Grund wurde der Schluss gezogen, dass die OCR-Erkennung von PDF- und Bilddokumenten zu 80% funktioniert, um diese Dokumente jedoch automatisch einlesen lassen zu können, ist immer manueller Aufwand notwendig, um die Zahlen zu kontrollieren und die Formatierung der Tabelle anzupassen.

Das Ergebnis der Untersuchung ergab, dass sich, aufgrund der manuellen Überprüfung der Dokumente, eine Einlese von PDF- oder Bilddateien für dieses Projekt nicht anbot. Weiterhin wurde ein Ansatz verfolgt, bei dem das Ziel war, dass ausschließlich Daten einzutragen sind, die für die jeweilig gewünschte Berechnung erforderlich sind. Somit müssen für die Berechnung, die der Webservice anbietet, nicht alle Informationen einer Kläranlage im Webservice zur Verfügung stehen. Somit hält sich der Arbeitsaufwand der Kläranlagenbetreiber in Grenzen, wenn geforderte Informationen der Berechnungen zur Verfügung gestellt werden müssen.

Jedoch wurde OCR für eine weitere Möglichkeit eingesetzt. Im Projekt wurde eine umfassende Datenbank unterschiedlicher Kläranlagen von der Hochschule erstellt. Um diese zu erweitern, wurden unterschiedliche Quellen genutzt, die teilweise nur in Buchform vorlagen. In diesem Fall wurde OCR angewendet, um die Informationen zur Erstellung dieser Datenbank verfügbar zu machen. Da die Erstellung manuell angefertigt wurde, konnte somit etwas Arbeit in dem Digitalisieren dieser Bücher erspart werden.

Neben der Arbeitserleichterung für Klärwerksmeister zur Arbeit mit diesem Werkzeug wurde ebenfalls untersucht, ob eine Luftbildauswertung von Kläranlagen theoretisch möglich wäre und wenn ja, wie viel Arbeitsaufwand eine Implementation bedeute. Der Nachweis, dass bereits sehr viele Informationen sowie Verbesserungsvorschläge durch Luftbildauswertungen extrahiert werden können, zeigen die Arbeiten der Hochschule Magdeburg-Stendal (Begehungsberichte der Hochschule). Durch Methoden wie parametrischer Grauwertmodelle (vgl. (6)) können Luftbilder präzise ausgewertet werden. Über andere Methoden haben (7) ein Modell entwickelt, mit dem Kläranlagen in China mit einer Erfolgsrate von bis zu 80% erfolgreich detektiert werden konnten. Um die Datenmodelle trainieren zu können, ist ein Testdatensatz notwendig. Hierbei nutzten (7) ein Datensatz von ca. 2.000 Kläranlagen.

Auch wenn dieser Ansatz in diesem Projekt nicht weiterverfolgt wurde, da das Ziel war, den Webservice aufzubauen und die notwendigen Schnittstellen bereitstellen zu können, zeigt die Recherche im obigen Absatz, dass heutzutage eine Luftbildauswertung von Kläranlagen nicht mehr abwegig ist. Für ein zukünftiges Feature ist es möglich, einen solchen Ansatz zu wählen, um das Verhalten einer Kläranlage innerhalb kürzester Zeit abzuschätzen. Es kann sein, dass dieser Ansatz in einer späteren Weiterentwicklung des Webservices aufgegriffen wird.

2.2.1.2. Schnittstelle zum RITUNE Server; Rittmeyer GmbH

Als gemeinsame und für alle Auswertungen zugrunde liegende Datenbank wird die Elastic Cloud eingesetzt. Dieser Cloudspeicher dient nicht nur als reine Datenbank, sie ist zusätzlich auch die Kommunikationsschnittstelle zwischen RITUNE-Server und der Web-Applikation. Nachfolgend wird sie als Structured Data Storage (SDS) bezeichnet.

Der RITUNE-Server nutzt den Elasticsearch Python Client für die Kommunikation mit dem SDS. Der Client erlaubt einerseits verschiedene Datenabfragen, die für die Auswertungen benötigt werden, andererseits können auch bestehende Einträge im SDS modifiziert oder neue Einträge erstellt werden.

Archivdaten der Kläranlagen können vom Benutzer über die Webseite in den SDS hochgeladen werden. Danach liegen sie in standardisierter und abrufbarer Form unter einem definierten Index („Plant Archive“) ab und stehen so für die weitere Verwendung und verschiedene Auswertungen für den RITUNE-Server zur Verfügung.

Field	Value
@_id	wRBX2IgbQ8Ev15j150ym
@_index	plant-archive
._score	-
@timestamp	Jan 1, 2023 @ 00:00:00.000
datapoint.definition	Menge Zähler IDM 1
datapoint.extended.is_valid	1
datapoint.extended.modified_by	Importer
datapoint.extended.old_value	40
datapoint.extended.type_of_change	Default Value Imported
datapoint.extended.updated_at	Jan 1, 2023 @ 00:00:00.000
datapoint.id	ZU_M_ZA1
datapoint.unit	m³
datapoint.value	40
imported_at	Jun 20, 2023 @ 14:27:01.000
metadata.cluster_type	dummy-cluster
metadata.group	Undefined
metadata.tags	Undefined
uuid	82b7c00c-6214-488d-a0b4-b9f6afb13f1e

Abbildung 5: Auszug eines Eintrags im Plant Archive des SDS

Neben der Ablage der Archivdaten, dient der SDS auch der Kommunikation zwischen Webseite und RITUNE-Server. Dazu wurden in der Datenbank zusätzliche Indizes eingeführt. Im Index „Job-Datasheets“ werden für die einzelnen Auswertungen zentral alle benötigten Informationen und Anforderungen für die entsprechenden Berechnung gespeichert. Auf diese Informationen kann sowohl die Webseite als auch der RITUNE-Server zugreifen. So wird sichergestellt, dass auf der Webseite alle benötigten Eingaben vorhanden sind und dass der RITUNE-Server mit den richtigen Werten rechnet.

Table JSON

```

1  {
2  "_index": "job-datasheets",
3  "_id": "qJdIdIVBvxnhSGBzMH7V",
4  "_version": 24,
5  "_score": 0,
6  "_ignored": [
7    "function_source_code.keyword"
8  ],
9  "_source": {
10   "job_name": "Gebläuseauslegung",
11   "job_description": "Ermittlung des Luftbedarfs",
12   "updated_at": "2023-05-10 16:38:00",
13   "requirements": {
14     "values": [
15       {
16         "real_min": 0.2,
17         "unit": "bar",
18         "default": 1.01325,
19         "real_max": 1.4,
20         "name": "Luftdruck auf der Kläranlage",
21         "gw_max": 1.99999,
22         "value": "",
23         "key": "value_airpressure",
24         "gw_min": 0
25       },
26       {
27         "real_min": -93,
28         "unit": "°C",
29         "default": 10,
30         "real_max": 60,
31         "name": "Umgebungstemperatur der Kläranlage",
32         "gw_max": 99,
33         "value": "",
34         "key": "value_airtemperature",
35         "gw_min": -99
36       }
37     ]
38   }
39 }

```

Abbildung 6: Auszug aus dem Job Datasheet "Gebläuseauslegung"

Im Index „Job-Tickets“ wird für jede auf der Webseite angestoßene Berechnung ein sogenanntes Ticket erstellt und im SDS abgelegt. Auf dem RITUNE-Server läuft ein Dienst, der diesen Job-Ticket Index im SDS dauerhaft überwacht und neu erstellte Tickets mit dem Status „pending“ erkennt. Die entsprechende Berechnung wird daraufhin gestartet. Das Ergebnis der Berechnung wird wieder zurück in das Job-Ticket geschrieben (status „success“) und kann so von der Webseite auch wieder abgefragt und dem End User präsentiert werden.

Field	Value
Ⓞ _id	DC2puokBvxnhSGBzXvDa
Ⓞ _index	job-tickets
# _score	1
r defaults.key	[value_airpressure, value_airtemperature, value_aerationtank_blowingdepth, value_aerationtank_t emperature]
r defaults.name	[Luftdruck auf der Kläranlage, Umgebungstemperatur der Kläranlage, Einblastiefe, Temperatur Bel ebungsbecken]
r defaults.unit	[bar, °C, m, °C]
r defaults.value	[1.01325, 10.4, 5.06, 13.4]
r job_key	geblaeseauslegung
r job_name	Gebläuseauslegung
r job_uuid	0c49c6a4-92bc-4d0e-8573-8db544f2ae37
r results.error_message	(empty)
r results.output.85-Perzentil	158 m³/h
r results.output.Empfehlung	Empfehlung ...
r results.output.Gebläsetypen	[Kolbenverdichter, Turboverdichter]
r results.output.Maximaler Luftbedarf	327 m³/h
r results.output.Minimaler Luftbedarf	52 m³/h
r results.output.Mittlerer Luftbedarf	153 m³/h
r results.output.Systemdruck	5,556 bar
r results.output.Umgebungsdruck	5,06 bar

Abbildung 7: Auszug aus einem Job-Ticket "Gebläuseauslegung"

Neben den Indizes zur indirekten Kommunikation zwischen Webseite und RITUNE-Server, gibt es auch noch einen Index „heartbeat“. Dieser Index dient der Erkennung von Störungen bei einzelnen Systemen. So aktualisiert der RITUNE-Server zum Beispiel fortlaufend ein Dokument mit dem aktuellen Datum. Sollte der RITUNE-Server einmal ausfallen, kann dies über das Dokument im Index „heartbeat“ überwacht werden.

Damit die Nutzer des Webservices die angebotenen Auswertungen durchführen können, ist zudem ein Mapping der Archivdaten notwendig. Nur so können die unterschiedlichen Datenpunktbezeichnungen der verschiedenen Kläranlagen verlässlich zugeordnet werden. Dieses Mapping wird vom Endnutzer direkt auf der Webseite durchgeführt. Dabei wird für jede implementierte Auswertung im Job-Datasheet definiert, welche Archivdaten für die entsprechende Auswertung benötigt werden. Dafür werden intern definierte Datenpunktbezeichnungen benutzt.

	ean, mean]
requirements.datapoints.id	[ZU[~]_QGES, ABL[~]_Q, SVB[~]_GES, WETTER[~], ZU[~]_CSB_K, AB[~]_CSB_MIK, ZU[~]_BSB_K, AB[~]_BSB_MIK, ZU[~]_PGE_K, AB[~]_PGE_MIK, AB[~]_NO2_MIK, AB[~]_NO3_MIK, ZU[~]_NH4_K, AB[~]_NH4_MIK, AB[~]_NGE_MIK, BB[~]_TEMP_H, ZU[~]_RG_AF, ZU[~]_SAND_AF, SS[~]_M_L_VERW, SS[~]_TS, BB[~]_SV, BB[~]_TS, BB[~]_TS_HAN, BB[~]_VF]
requirements.datapoints.unit	[m³, m³, kWh, -, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, mg/l, K, m³, m³, m³, g/l, ml/l, g/l, g/l, -]

Abbildung 8: Auszug aus einem Job-Datasheet mit allen für die Auswertung benötigten Archivdaten

Die hier aufgeführten Datenpunkte müssen dann im Frontend auf der Webseite vom Benutzer mit seinen eigenen Archivdaten gemappt werden. Diese Zuordnung ermöglicht eine einheitliche Weiterverarbeitung aller Archivdaten, da im Hintergrund immer die gleichen Datenpunkt-IDs verwendet werden können.

Jede ID im Job-Datasheet beinhaltet die Tilde ([~]) als Symbol. Diese Tilde wird nach erfolgreichem Mapping durch hochzählende Ziffern (1,2,3, ...) ersetzt. So kann für die späteren Auswertungen berücksichtigt werden, wenn es mehrere Messungen gibt und zum Beispiel noch ein Mittelwert oder eine Summe gebildet werden muss.

Die unterschiedlichen Konventionen, Bau- und Verfahrensweisen aus den unterschiedlichen Kläranlagen sind herausfordernd. Das im Projektverlauf erarbeitete Konzept für die Auswertung im Zusammenspiel mit den Angaben des Nutzers im Webservice ist so modular aufgebaut, dass es bei zukünftig erforderlichen Anpassungen mit geringem Aufwand erweitert werden kann.

2.2.1.3. Datenerfassungsbogen; HSMS

Die Datenerfassung und Datenübertragung bildeten einen wichtigen Teil des geplanten cyberphysikalischen Systems. Hierzu wurden neben den schwerpunktmäßigen soft- und hardwaretechnischen Voraussetzungen auch niedrigschwellige Erstkontaktaufnahmemöglichkeiten entwickelt. Dazu wurden geeignete Fragebögen in einer Kurz-Variante, vier Seiten mit Basisangaben zur Kläranlage (siehe Abbildung 9), sowie die umfangreichen Lang-Version mit 14 Seiten entwickelt. Diese Fragebögen wurden während gezielter Begehungen an über 10 Kläranlagen getestet und weiterentwickelt. Die beiden verschiedenen Detaillierungsgrade der Fragebögen sollten einerseits eine grundlegende Charakterisierung einer Kläranlage ermöglichen, um ein gezieltes Benchmarking vornehmen zu können. Weiterhin sollte mit den detaillierten Angaben eine genauere Analyse im Hinblick auf die eingesetzte Anlagen-, Maschinen-, Mess- und Automationstechnik sowie die Belastungssituation

und die Reinigungsleistung der Kläranlage ermöglicht werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass ein repräsentatives Erfassungskonzept erarbeitet wird und die Fragebögen auf möglichst viele Kläranlagen der Größenklasse 2 bis 4 angewendet werden können. Der Digitalisierungsgrad von Kläranlagen der Größenklasse 2 bis 4 ist unterschiedlich weit fortgeschritten: Neben hochautomatisierten Kläranlagen mit hochauflösenden Daten existieren Kläranlagen, die für die Steuerung der Aggregate nicht über ein Prozessleitsystem, geschweige denn eine Datenspeicherung verfügen. Weiterhin bedarf es für eine gezielte energetische Optimierungen spezifischer Daten, die kaum digital vorliegen oder in Prozessleitsystemen angegeben werden. Förderhöhen, Rohdurchmesser, Volumina oder die elektrische Leistung von Motoren sind teilweise nur in Bauwerksunterlagen oder auf Typenschildern der Aggregate zu ersehen. Daher flossen die Erkenntnisse aus der Erarbeitung und Weiterentwicklung der Fragebögen auch in die softwaretechnische Umsetzung ein. Neben der vollautomatischen Datenübertragung aus verschiedenen Schnittstellen, wurde daher auch immer die Möglichkeit einer „Handeingabe“ für Messwerte, Höhenangaben oder Leistungsbereiche vorgesehen.

Grobanalyse auf mechanisch biologischen Kläranlagen

Datum: _____

Name der Kläranlage: _____

Namen der Klärwärter: Herr: _____

Kläranlagennachbarschaft: _____

Name des Betreibers: _____

Straße: _____

PLZ: _____

Name des Betriebsleiters: _____

Telefonnummer: _____

Grunddaten der Kläranlage
Abkürzungen nach DWA Kläranlagennachbarschaft:

Verfahrensprinzip: _____

Hersteller: _____ Baujahr: _____

Ausbaugröße in EW: _____

Angeschlossene Einwohner: _____ EW_{CS8,120}
B_{4,CS8,120}: _____ kg/d CSB-Fracht im Zulauf zur Kläranlage im Jahresmittel

Auslastung = _____ %

Energieanalyse:

Jahres Energieverbrauch	kWh/a
-------------------------	-------

= _____ kWh/(EW-a)
EnergieCheck DWA-A 216 %

Abwasserzufluß: Mischsystem: Trennsystem:

Seite 1 von 4

Abbildung 9: Fragebogen („Kurze-Variante“) zur Datenübertragung

2.2.2. Maßnahme 2: Datenaufbereitung

2.2.2.1. Big-Data-Datenbank - AVAW

In der Maßnahme „Big-Data-Datenbank“ sollte, wie der Name suggeriert, die Hauptdatenbank des Services aufgebaut werden, mit dem alle weiteren Auswertungen, bereits in diesem Projekt errichtet oder zukünftig geplant, möglich werden sollen. Somit entstehen bei dem hier beschriebenen Ziel einige Anforderungen, die die Datenbank gerecht werden muss, um ausgewählt werden zu können:

- Relevante Daten der Kläranlage aus unterschiedlichen Quellen müssen in einer verarbeitbaren Form strukturiert gespeichert werden können
- Die Daten müssen im Nachhinein anpassbar und zuordenbar sein
- Die ursprünglichen Daten einer Kläranlage sollen bestehen bleiben, falls die vorgenommenen Anpassungen Fehler verursachen
- Die Daten müssen so weit aufbereitet werden, dass eine allgemeine Auswertung möglich wird

Hauptdatenquellen der Kläranlagen, die für die Berechnungen in diesem Projekt eingesetzt wurden, sind Handeingaben, Archivdaten und das Prozessleitsystem via Data Miner (vgl. Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration). Die Handeingaben können von Jahresmittelwerten bis hin zu Herstellerangaben alles beinhalten, bei Archivdaten handelt es sich um auf der Kläranlage gespeicherte Daten des Prozessleitsystems sowie die, die vom Kläranlagenpersonal in das Datenarchivierungssystem eingetragen wurden. Bei den Daten des Prozessleitsystems werden live gemessene Werte an den Webservice direkt übermittelt. Handeingaben werden vom Kläranlagenbetreiber direkt in die Website eingetragen.

Die Bezeichnung „strukturiert“ wird in diesem Abschnitt datenbezogen als eine Art Datenspeicherung definiert, bei der Daten tabellenmäßig mit Metadaten abgespeichert werden. Gleichermassen bedeutet „unstrukturiert“, dass die Daten nicht in Tabellen vorliegen oder Metadaten beinhalten. Dazwischen existieren halbstrukturierte Daten, die Eigenschaften von beiden Definitionen aufweisen. Alle Arten liegen als notwendige Datenquelle unseres Webservices vor:

Handeingaben sind bis zum Zeitpunkt der Dateneingabe des Nutzers unstrukturiert, da sie in unterschiedlichster Form vorliegen können, teilweise in der Plakette des Motors, teilweise in Plänen. Ab dem Zeitpunkt des Eintragens in die Website werden diese, wenn auch manuell, vom Kläranlagenbetreiber unbewusst in eine strukturierte Form übertragen und für Berechnungen freigegeben.

Archivdaten liegen in den Archivdatensystemen pro Kläranlage in einer strukturierten Form vor. Auch zum Zeitpunkt des Datenexports in eine CSV-Datei lässt sich die Struktur nachvollziehen. Jedoch können Archivdaten, wie bereits in Maßnahme 1: Datenerfassung und -Übertragung beschrieben, zwischen unterschiedlichen Kläranlagen unterschiedlich bezeichnet werden. Weiterhin ist davon auszugehen, dass unterschiedliche Archivdatensysteme unterschiedliche Spaltenbezeichnungen in ihren Exporten haben. Somit ist diese Datenquelle eine strukturierte Datenquelle je Kläranlage, aber eine halbstrukturierte Datenquelle bei Betrachtung aller Kläranlagen zugleich.

Daten aus Prozessleitsystemen, analog zu Daten aus IoT-Technologien, liegen in unstrukturierter Form vor, da ihre Daten reine Messwerte sind und in keiner Tabellenform festgelegt werden.

Diese unterschiedlichen Datentypen in Einklang zu bringen, war Voraussetzung für die Wahl der Datenbank. Dabei wurde als Big-Data-Datenbank die Elastic Cloud ausgewählt. Sie ist eine

strukturierte Datenbank, jedoch werden die Daten nicht im klassischen Tabellenformat abgespeichert, sondern einzelne Werte in Json-Dateien, sogenannte „Vektordatenbank“. Dabei entsteht die Strukturierung über Felder. Den Feldern werden Metadaten zugeordnet. Stellt man sich nun ein Feld vor, in dem z.B. die anonymisierte ID der Kläranlage einzutragen ist, werden alle Daten, die von dieser Kläranlage abstammen, die entsprechende anonymisierte ID tragen. Das ermöglicht das Filtern aller in der Datenbank abgelegten Dokumente zu dieser Kläranlage. In ähnlicher Art und Weise können weitere Felder angelegt und mit Werten hinterlegt werden, die anschließend ebenfalls z.B. über eine Suchfunktion genutzt werden können.

Im Projektverlauf erwies es sich als hilfreich, jedem importierten Archivdatenwert Felder zwecks Zuordnung zur Kläranlage, zum Zeitstempel des Datenpunktes und zur ID des Datenpunktes hinzuzufügen. Zur Auswertung wurden weiterhin die Einheiten importiert. Um die Integrität der Daten zu schützen, werden alle Originalinformation, insbesondere der Wert und die auf der Kläranlage vorhandenen ID, in weiteren Feldern abgespeichert, die nicht modifiziert werden. Schlussendlich wird zur Nachvollziehbarkeit ein Feld vorgesehen, bei dem die letzte Modifizierung zur Nachvollziehbarkeit ersichtlich wird. Die gesamten Felder können beispielsweise in Abbildung 10 eingesehen werden.

In Anbetracht der Vision des Projektes ist diese Datenspeicherung besonders nützlich. Mit den Metadaten, die je Index (siehe Abbildung 10) nach Bedarf angepasst werden können, wird eine einfache Zuordnung der Daten ermöglicht. Im Hinblick darauf, KI-Lösungen mit den zu sammelnden Daten zu trainieren, ergeben sich mit diesen Metadaten große Chancen. Als Beispiel wurde im vorigen Kapitel angesprochen, dass mit derzeitiger Datenlage ein manuelles Zuordnen der Archivdatenpunkte zwingend erforderlich ist. Diese manuelle Zuordnung wird beispielsweise mithilfe „datapoint.external_id“ sowie „datapoint.id“ je JSON-Dokument miteinander verknüpft. Wird die Datenlage im Idealfall nun so groß, dass Tausende dieser Verknüpfungen vorliegen, können Trainings- und Validierungsdaten erstellt werden, die für das Trainieren einer KI genutzt werden könnten, die in Zukunft die Datenzuordnung automatisch vornimmt und die Maske des Datenmappings im Idealfall nur noch zur Überprüfung genutzt werden muss.

Neben den Daten der Kläranlage werden ebenfalls die Daten aus den Berechnungen sowie die notwendigen Rahmenbedingungen für die Berechnungen gespeichert. Dies geschieht in den jeweils hierfür vorgesehenen speziellen Indizes. Auch hier bestehen die Json-Dateien aus unterschiedlichen Feldern.

Basierend auf den Job-Datasheets, wie in Kapitel Maßnahme 1: Datenerfassung und -Übertragung beschrieben, können vom Webservice Job-Tickets erstellt werden, die die notwendigen Informationen für eine Berechnung zur Verfügung stellen. Hierbei werden alle Informationen abgefragt und in das Dokument eingetragen, die zuvor in den Job-Datasheets in den Anforderungen standen. Das so ausgefüllte Dokument wird anschließend mit dem Job-Status „Pending“ in der Elastic abgelegt. Sofern alle Angaben sinngemäß eingetragen wurden, wird die Berechnung dem Nutzer angezeigt, indem RITUNE eine Anleitung zur Konstruktion der Auswertungsseite in das Ticket hinzufügt. In dieser Anleitung sind alle Diagramme, Tabellen, Texte o.ä. enthalten, die für die Seite notwendig sind. Sollte der Fall eintreten, dass es aufgrund eines Fehlers zu keiner Berechnung kommen kann, wird dies in einem dafür gesondert genutzten Feld hinterlegt. Der Nutzer wird über die Art des Fehlers informiert. Zur Sortierung der Auswertung steht ein Feld zur Verfügung, das den letzten aktualisierten Zeitpunkt beinhaltet.

Im Förderantrag ist eines der Ziele, Expertenwissen in das System einzufließen, um automatische Aussagen über die Kläranlage treffen zu lassen. Für dieses Ziel ist die Auswertung und Visualisierung ein wichtiger Bestandteil. Für das Projekt wurden zwecks Datenauswertung aus

diesem Grund Dashboards erstellt, die den Zustand einer Kläranlage erfassen können. Zum Ende des Projektes stehen folgende Dashboards im Back-End zur Verfügung:

- Starkregenereignisdetektion
- Gesamtjahresschmutzwassermenge
- Überschreitungen der Ablaufwerte
- Kapazität der Kläranlage
- Berechnung des Ammoniakwertes der Kläranlage

Expanded document

View: [Single document](#) [Surrounding documents](#)

Table JSON

🔍 Search field names

Actions	Field	Value
	🔗 _id	s38FPfoKL731nIVpCwPmve/n1TC866Q9zjQahFtOpml=
	🔗 _index	plant-archive
	🔗 _score	-
	📅 @timestamp	Jan 2, 2023 @ 14:00:00.000
	🔑 datapoint.definition	Ablaufleistung
	🔑 datapoint.extended.import_warnings	false
	🔑 datapoint.extended.is_valid	1
	🔑 datapoint.extended.modified_by	Importer
	🔑 datapoint.extended.old_value	9
	🔑 datapoint.extended.type_of_change	Default Value Imported
	📅 datapoint.extended.updated_at	Jan 2, 2023 @ 14:00:00.000
	🔑 datapoint.external_id	ABL_M_LEIS
	🔑 datapoint.id	AERATIONTANK1_BB_TEMP
	🔑 datapoint.interval	hourly
	🔑 datapoint.unit	m³/h
	🔑 datapoint.value	9
	📅 imported_at	Sep 15, 2025 @ 10:38:41.000
	🔑 metadata.cluster_type	dummy-cluster
	🔑 metadata.group	Undefined
	🔑 metadata.tags	Undefined
	🔑 uuid	93ff2975-a4dc-4eea-94f6-a1b831adc227

Rows per page: 100

Abbildung 10: Beispiel-Dokument eines Datenpunktes aus Archivdaten einer Kläranlage. In diesem Anwendungsfall wurde nach der UUID der Kläranlage gefiltert (in Gelb markiert).

Ein Teil des Forschungsprojektes befasste sich mit der Starkregenereignisdetektion anhand Archivdaten. Um dies zu gewährleisten, wurde ein Dashboard erstellt, das mithilfe von Machine-Learning-Algorithmen Anomalien im Zulauf einer Kläranlage erkennt. Ein Teil des Dashboards lässt sich in Abbildung 11 erkennen. Der Algorithmus markiert anhand von Punkten Werte, die im Vergleich zum untersuchten Zeitraum, unerwartet waren. Dies sind entweder ungewöhnlich niedrige Werte oder Werte, die, wie hier, ungewöhnlich hoch sind. Die Applikation eines solchen Diagrammes besteht darin, zum einen interessante Zeiträume zur weiteren Betrachtung, z.B. zur Verwendung in Simulationen, einzusetzen, zum anderen können mithilfe einer entsprechenden Optimierung der Detektion frühzeitig Regenereignisse erkannt werden, wenn eine Echtzeitdatenanbindung der Kläranlage bestünde.

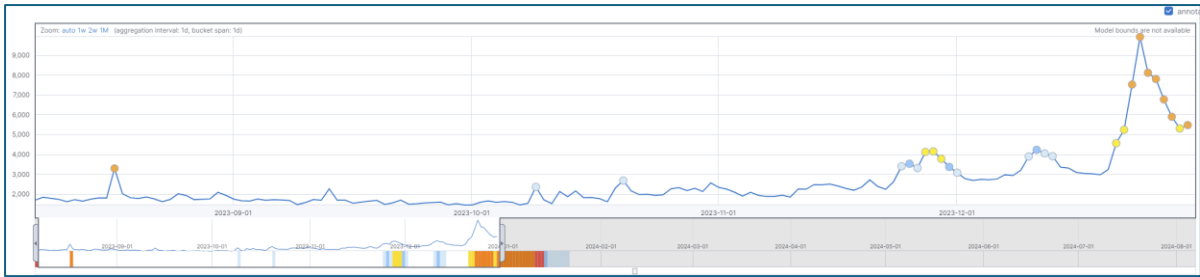


Abbildung 11: Anomaliedetektion, hier genutzt zur Starkregenerigniserkennung. Gut erkennbar ist der Niederschlag im Dezember 2023.

Die Kapazität der Kläranlage, je Nährstoff, wurde in einem Diagramm dargestellt. Das Programm zieht sich die CSB-, BSB₅- und P_{ges}-Konzentrationen heran, multipliziert diese mit dem Zulauf der Kläranlage und dividiert sie anschließend durch in Normen festgelegte Standardwerte pro Einwohner. Das Resultat ist ein Vergleich in Form eines Balkendiagrammes, mit dem auf den ersten Blick die Nährstoffzusammensetzung der Kläranlage verglichen werden kann. Der Vorteil bewegt sich in der Evaluierung der Nährstofffracht einer Kläranlage, sodass Bedarfe der Biologie entziffert werden könnten (Abbildung 12).

Zur Bewertung einer Kläranlage sind unterschiedliche Kriterien zu evaluieren. KlärWert hilft, einen Überblick bei der Evaluierung der Ablaufwerte, der Gesamtjahresschmutzwassermenge sowie der Kapazität der Kläranlage zu schaffen. Die Gesamtjahresschmutzwassermenge verwendet den Zu- und Ablauf einer Kläranlage, um Aussagen über ggf. nicht erfasste Mengen treffen zu können. Sollten die beiden Parameter zu sehr voneinander abweichen, ist dies ein Indiz dafür, dass entweder eine Leckage besteht oder nicht erfasstes Fremdwasser abgezapft bzw. eingeleitet wird. Sollte, über das Jahr verteilt, die Menge des Zulaufs größer bzw. kleiner als 120% bzw. 80% zum Ablauf sein, wird dies über eine rote Markierung in der unteren Tabelle in Abbildung 13 kenntlich gemacht.

Zur Bewertung, ob das Ziel der Kläranlage erreicht wird, ist eine gute Übersicht der Werte bzw. der überschrittenen Werte zielführend. Dies wird im Dashboard zu den überschrittenen Werten einer Kläranlage aufgezeigt, indem man anhand von einfachen Auswertungen erkennen kann, ob die Messungen grenzkonform sind. Sollte dies nicht der Fall sein, ist beim Ammonium der Grenzwert erst dann erreicht, wenn die Außentemperatur größer 12°C ist. Der Nachweis wird in der Tabelle rechts in Abbildung 14 erbracht.



Abbildung 12: Balkendiagramme zur Nährstoffzusammensetzung einer Kläranlage

Abschlussbericht RECYBA - Eingehende Darstellung der Ergebnisse

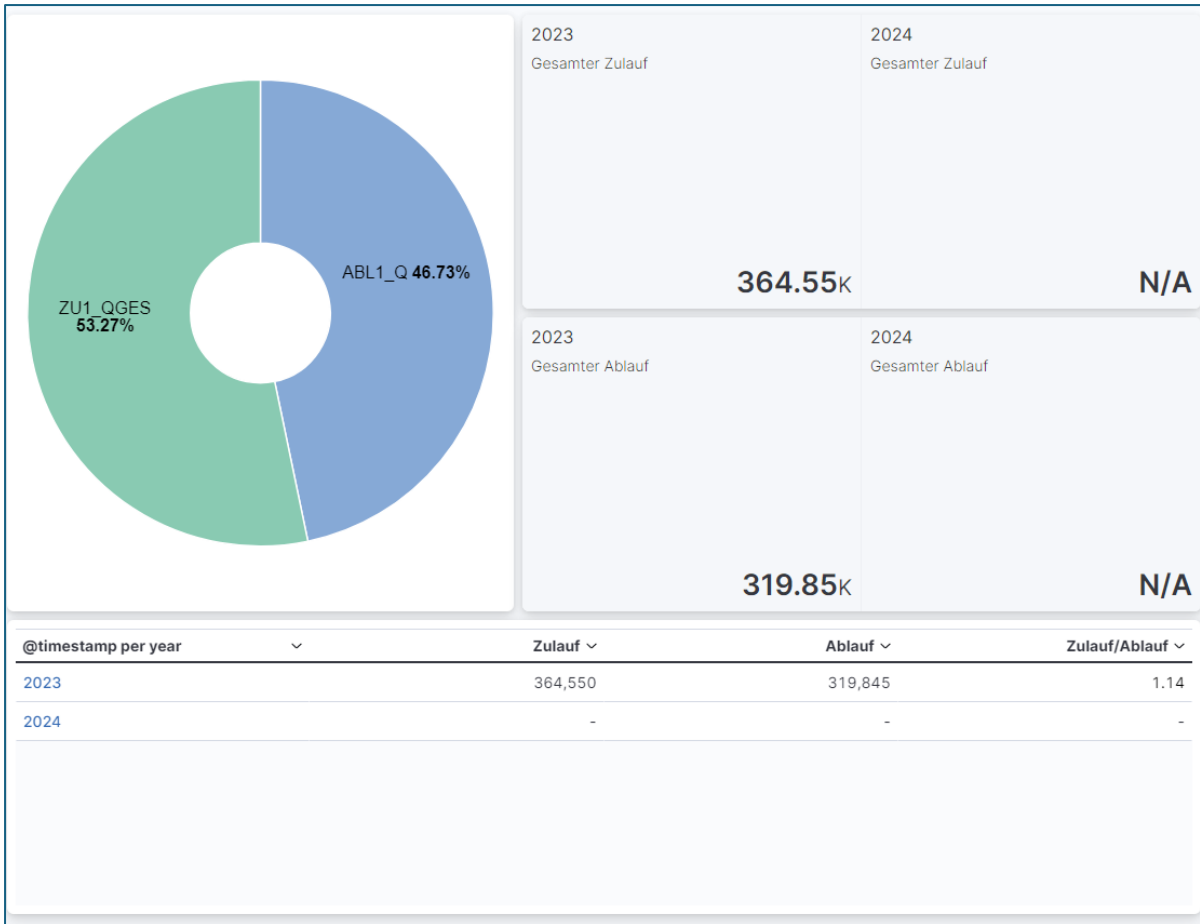


Abbildung 13: Gegenüberstellung des Zu- und Ablaufs einer Kläranlage

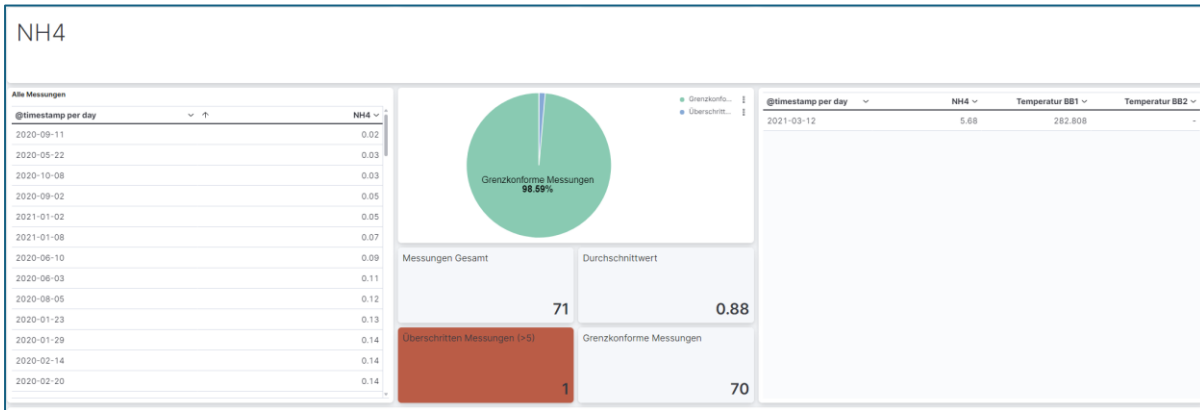


Abbildung 14: Dashboard überschrittene Werte der Ammoniumkonzentration des ausgewählten Zeitraums (hier: 5 Jahre)



Abbildung 15: Dashboard zur Ammoniak-Auswertung

In Abbildung 15 ist das Dashboard der Ammoniakauswertung zu erkennen. Die Auswertung basiert auf (8). Für die Berechnung ist die Wassertemperatur, der NH₄-Gehalt und der pH-Wert notwendig. Die Werte stammen entweder aus den Archivdaten oder aus den Live-Daten des Data Miners. Mithilfe den, in dem Bild 15 dargestellten zusätzlichen Hinweisen zur Deutung der Ergebnisse ist eine schnelle Evaluierung der NH₃-Konzentration möglich.

Diese hier dargestellten Diagramme sind ein Technologiedemonstrator. Während sie bereits funktional sind, können wesentlich mehr Dashboard entwickelt werden, mit dem Experten, ggf. zur Echtzeitauswertung und Fernüberwachung von Kläranlagen, ohne große Mühen eine schnelle Einschätzung der entsprechenden Kläranlagen treffen können.

2.2.2.2. Ausreißeranalyse und Interpolation von Lücken; Rittmeyer GmbH

Das Ziel der Ausreißeranalyse ist das automatische Plausibilisieren der hochgeladenen Archivdaten. Dafür müssen Ausreißer in einer Zeitreihe erkannt und gegebenenfalls auch automatisch gelöscht werden. Zudem müssen auf diese Weise detektierte Ausreißer im SDS gekennzeichnet werden.

Es wurde ein Algorithmus entwickelt, der Ausreißer beim Einlesen von Daten automatisch erkennt und die Ausreißer als solche im "Plant Archive" Index des SDS kennzeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass Ausreißer in den Zeitreihen nur vereinzelt auftreten. Deshalb werden vorerst keine Ersatzwerte geschrieben, sondern die Ausreißer lediglich als unplausibel deklariert.

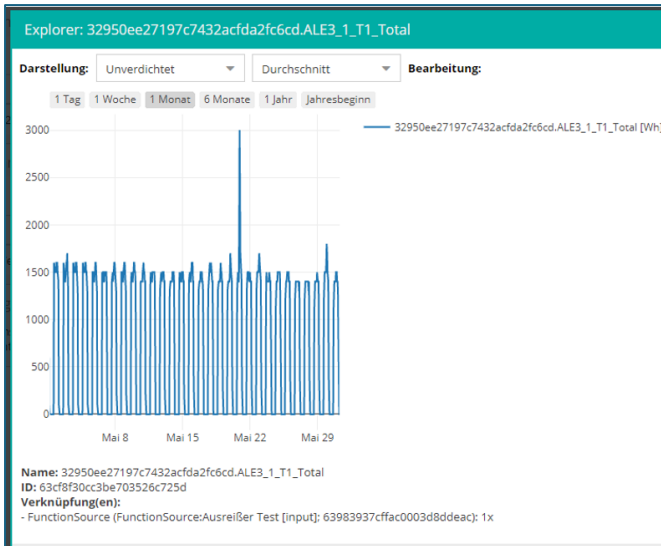


Abbildung 16: Zeitreihe mit Ausreißer

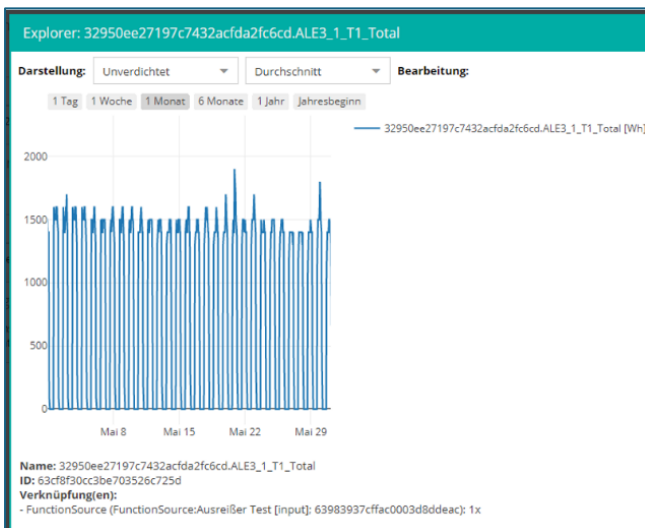


Abbildung 17: Zeitreihe nach Ausreißeranalyse (ohne Ausreißer)

Neben der Erkennung von Ausreißern wurde an der intelligenten Interpolation von Lücken gearbeitet. Da die Datenbasis oft unzureichend oder fehlerhaft sein kann, sind intelligente Ersatzwerte für aussagekräftige Auswertungen erforderlich.

Während der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes stellt sich heraus, dass ein allgemein gültiger Algorithmus für die Interpolation von Lücken, anders als bei den Ausreißern, nicht zu realisieren ist. Dafür unterscheiden sich die Anforderungen an die Interpolation, je nach Art des Messwertes, zu sehr. Als Beispiel seien Messwerte mit einem saisonalen Verlauf genannt. Diese unterscheiden sich in ihrem Verlauf sehr von zum Beispiel zulaufabhängigen Messwerten. Daher ist ein solcher Interpolationsalgorithmus für jede Auswertung und Berechnung neu zu bewerten und umzusetzen.

Für die Berechnung der Gebläseauslegung wurde zum Beispiel eine Interpolation für die Zulaufkonzentrationen der Kläranlage erfolgreich getestet und umgesetzt. Anhand des Jahresmittelwertes der Fracht und den Zulaufmengen zur Kläranlage, wurde eine Konzentration für die Lücken abgeschätzt. Das Ergebnis ist nachfolgend dargestellt.

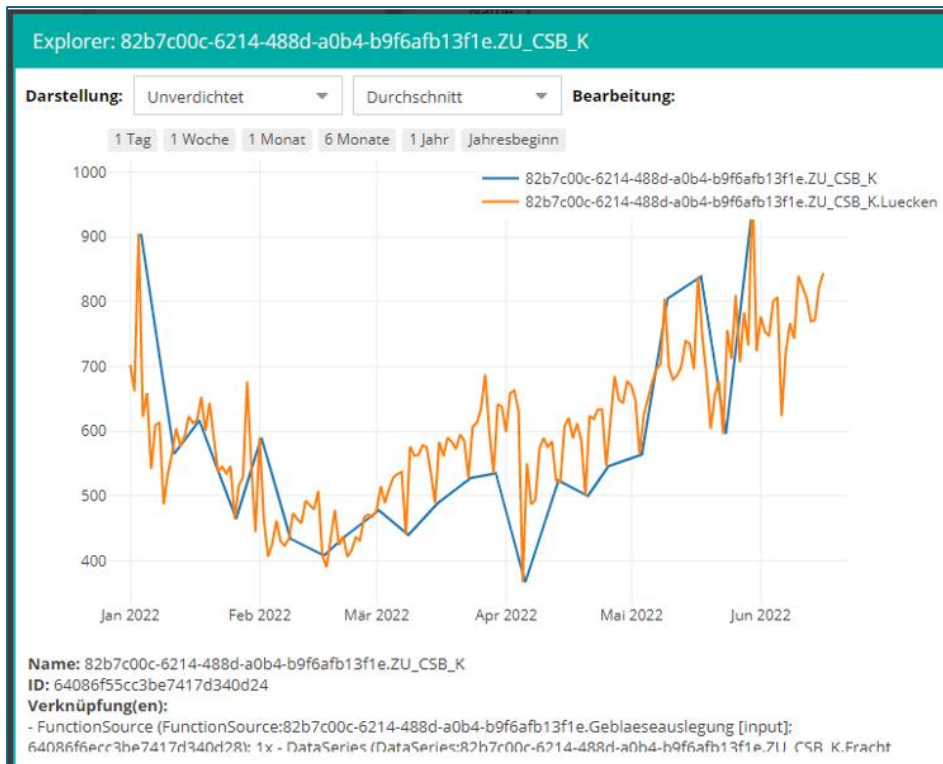


Abbildung 18: Signal ohne Interpolation (blau) und mit einer automatischen Interpolation von Lücken (orange)

2.2.2.3. Datenvergleich und -auswertung; Rittmeyer GmbH

Im Verlaufe des Projektes wurden diverse Auswertungen für den Webservice entwickelt. In enger Abstimmung mit den Projektpartnern wurde für sämtliche Anlagenteile einer Kläranlage eine Auswertung erarbeitet und umgesetzt. Auf die einzelnen Auswertungen wird im Kapitel 2.3: Voraussichtlicher Nutzen im Detail eingegangen.

Für jede Auswertung gibt es ein eigenes Skript auf dem RITUNE-Server, das für die Berechnung und Darstellung der Ergebnisse zuständig ist. Dabei wird der Ablauf aus dem Schnittstellenkonzept (Kapitel 2.2.1.2: Schnittstelle zum RITUNE Server; Rittmeyer GmbH) eingehalten.

2.2.2.4. Wissenschaftliche Begleitung in der Datenaufbereitung - HSMS

Für eine automatisierte Datenaufbereitung wurde anfänglich eine detaillierte Datenauswertung der Pilot-Kläranlage, nach den Regelwerken wie dem DWA-A 198 oder dem Merkblatt DWA-M 260, angefertigt. Im Wissenschaftlichen Kontext wurden dabei der Umgang mit fehlenden Messwerten in vorhandenen Zeitreihen, Ausfall von Sensordaten oder die Vertrauenswürdigkeit von Messwerten erörtert. Für die spätere Bildung von Kennzahlen oder Benchmarks ist es wichtig, bei der Datenaufbereitung eine geeignete Strategie zu haben. Eine Mittelwertbildung bei Abwasserparametern wie dem CSB, wo teilweise nur wöchentliche Labormesswerte vorliegen, ist für eine gezielte Prozessoptimierung nicht zielführend, wobei die Bildung von Ersatzwerten bei hochauflösenden Sensordaten, um die vorhandenen Lücken zu füllen und eine vollständige Zeitreihe zu erzeugen, eine adäquate Lösung sein kann. Grundlegend müssen die Kennzahlen zur angestrebten Optimierung oder zum Benchmarking passen. Umfängliche Betriebsdaten aus den Betriebssystemen der Kläranlagen liegen oft in sehr hoher Datenschärfe (Stundenwerte oder

teilweise Messwerte in Minutenauflösung) vor, standardisierte Auswertungen von Kläranlagendaten greifen oft auf Mittelwerte oder Jahreswerte zurück, dementsprechend stehen betriebliche Optimierungen oder verfahrenstechnische Eingriffe, die auf Grundlage von tagesaktuellen Messwerten oder Live-Daten getroffen werden. Weiterhin geben Regelwerke für Berechnungen oder Optimierungsansätze teilweise eine geforderte Datengrundlage vor, hier müssen dann die entsprechenden Messwerte oder Daten in die richtige SI-Einheit oder Basis-Einheit umgewandelt werden. Die ermittelten Kennzahlen oder Parameter für die angestrebten Benchmarks oder Optimierungsansätze fließen in die softwaretechnische Umsetzung ein. Ein weiterer Ansatz war die Datenaufbereitung von frei zugänglichen Daten, hier soll die Webanwendung dem Nutzer auch ein Zeitersparnis und unterschiedlichen Detaillierungsgrad einer Optimierung anbieten. Daten die bereits in öffentlichen Quellen wie zum Beispiel dem Kläranlagennachbarschaftshandbuch, dem Lagebericht des Landesamtes Niedersachsen oder dem DWA-Leistungsvergleich vorliegen, könnten für erste Klassifizierungen oder dem Benchmarking ausreichen und sollten im System bereits hinterlegt sein. Da eine Live-Anbindung der Betriebssysteme einer Kläranlage nur mit gewissen Sicherheitsstandards möglich ist, da die Anlagen der kritischen Infrastruktur unterliegen und nicht jede Nutzergruppe diese Freigabe besitzt oder auf alle Daten zugreifen kann, sollte auch ein niedrigschwelliger Zugang zu Optimierungsansätzen ermöglicht werden. Hierzu reichen dann auch teilweise frei zugängliche Kennzahlen die durch entsprechende Unterlagen (Betriebsberichte oder Gewässerschutzbericht) ergänzt werden können. Die ermittelten Kennzahlen oder Benchmarks für diesen Dienstleistungsbereich der Webanwendung sind in die Softwaretechnische Umsetzung eingeflossen.

2.2.3. Maßnahme 3: Webservice

2.2.3.1. Serverstruktur – AVAW

Im Arbeitspaket Serverstruktur sollte evaluiert werden, welche Serverstruktur für den Webservice notwendig ist, um alle Funktionen zu gewährleisten. Hierbei wurden die unterschiedlichen Möglichkeiten von On-Premise oder Cloud-Lösungen evaluiert. In diesem Forschungsprojekt ist eine Abschätzung des voraussichtlichen Absatzmarktes und des damit einhergehenden Websiteverkehrs sehr schwierig. Dies macht eine vernünftige Evaluierung der notwendigen Hardware von On-Premise-Lösungen unmöglich. Aus diesem Grund wurde die Wahl auf eine Cloud-Lösung gesetzt, und zwar die Azure-Cloud von Microsoft. Sie ermöglicht, die genutzte Leistung der Server dem realen Nutzungsverhältnis der Website anzupassen. Gleichzeitig fällt die Aufrechterhaltung der Server in Hand der Anbieter und die Sicherheit kann durch eine zentrale IT-Stelle überwacht werden. Für die Avacon Wasser, dessen Kerngeschäft nicht in dem Betrieb von Webservices liegt, werden diesen Vorteilen ein höheres Gewicht zugeordnet als die Nachteile. Das sind insbesondere höhere laufende Kosten im Vergleich zu einer On-Premise-Lösung, eine gewisse Abhängigkeit zu den Anbietern der Cloud-Lösungen und eine Ungewissheit beim genauen Standort der Daten.

Der erste Nachteil wird in Kauf genommen, da für die On-Premise-Lösung ein Serverraum geschaffen werden müsste, der bei der Avacon Wasser nicht zur Verfügung stünde. Weiterhin wären Anschaffungskosten der Serverinfrastruktur zu berücksichtigen, die bei einer Cloud-Lösung wegfallen. Im Fall des Webservices KlärWert, bei dem auch Methoden zur KI eingesetzt und getestet werden sollten und dadurch eine gewisse Unsicherheit bei der zu beschaffenden Hardware besteht, können die notwendigen Kosten nicht vernünftig abgeschätzt werden – In dieser Hinsicht überwiegt somit die Flexibilität, die durch Cloud-Lösungen offeriert wird.

Die Abhängigkeit zu Anbietern der „Infrastructure as a Service“-Lösungen (IaaS-Lösung) kann nicht eliminiert werden. Bei einer On-Premise-Lösung besteht die Möglichkeit, das Know-how zum Betrieb des Webservices in der Firma beizubehalten. Jedoch ist es so, dass die Operation von Hardware Standard ist und eine Beauftragung von spezialisierten Dienstleistern für diesen Fall günstiger sein kann. Hierbei entsteht eine Abhängigkeit zu den spezialisierten Dienstleistern. Spezifisch sind nur eigens für den Webservice entwickelte Konfigurationen, wie zum Beispiel die Schnittstellen der Services. Diese Konfigurationen treten ebenfalls in der Cloud auf – über diese Punkte besitzt der Nutzer eines IaaS volle Kontrolle.

Die Sicherheit, genau zu wissen, wo die Daten liegen, sind bei besonders vertraulichen Daten wichtig, bei der eine Veröffentlichung oder Verbreitung dazu führen kann, dass schwerwiegende geschäftliche Konsequenzen der Firma oder ihrer Partner entstehen. Solche Daten werden vom Webservice weder gespeichert noch verwertet. Gleichzeitig wird eine Rückverfolgung zu den Kläranlagen durch die umgesetzte Anonymisierung der Kläranlagen in der Datenbank erheblich erschwert, sodass ein Risiko schwerwiegender Konsequenzen durch diese Maßnahme beinahe ausgeschlossen werden kann. Aus diesem Grund ist die geographisch genau bestimmbare Lage der Daten nicht relevant, solange alle anderen Sicherheitsvorkehrung zum Schutz gegen das Eindringen Dritter berücksichtigt wurden.

Für den Webservice kommen Docker-Container und App-Service-Pläne zum Einsatz, die, anders als herkömmliche virtuelle Maschinen, statische „Bilder“ der Programmcodes sind. Der Vorteil ist, dass ein Betriebssystem nicht notwendig ist. So wird die Angreifbarkeit dieser Systeme erheblich reduziert.

Die Docker-Container sowie die App-Service-Pläne werden mithilfe einer sogenannten Pipeline vom Source-Code, der in Gitlab gehostet wird, zu einem funktionalen Service errichtet. Um dies so schnell und einfach wie möglich zu gestalten, wird auch die Infrastruktur, die für den Webservice notwendig ist, direkt über die Pipeline aufgestellt. Das wird über das sogenannte „Infrastructure as Code“-Prinzip gewährleistet. Das bedeutet, dass Werkzeuge eingesetzt werden, die die Infrastruktur (z.B. Server, Zertifikate, Netzwerke etc. pp.) automatisch generieren und anschließend den entsprechenden Code draufspielen. Diese Möglichkeit bietet sich nur mit einer Cloud. Für den Webservice wurden hierfür OpenTofu und Terraform eingesetzt. Durch den Einsatz dieser Methodiken werden Zertifikate automatisch aktualisiert, was die Wartung des Services erheblich vereinfacht.

Die Datendrehscheibe sowie die Elastic Cloud liegen in separaten Ressourcengruppen. Das ermöglicht die Verteilung unterschiedlicher Rechte, sodass eine Segregation der Privilegien gewährleistet wird.

2.2.3.2. Webservice – AVAW

Die Nutzer sollen in der Lage sein, ohne Installation von Programmen Auswertungen durchführen zu können. Aus diesem Grund fiel die Wahl auf einen Webservice, den man einfach über den Browser öffnen kann. Verglichen mit Websites für Privatpersonen, die über Baukastensysteme über Anbieter selbst zusammengestellt werden können, sind für dieses Projekt wesentlich höhere Anforderungen zu erfüllen: Anspruch war es, die Funktionen der Datenübertragung, -Aufbereitung und -Auswertung in eine intuitive Bedienoberfläche zu übersetzen. Sie gewährleisten, dass unerfahrene und/oder digital inkompetente Nutzer auf der Website zurechtkommen. Weiterhin ist die Dateneingabe in unserem Webservice als nachrangig gegenüber dem Tagesgeschäft zu bewerten. So kann es passieren, dass 5 Minuten an der Datenauswertung gearbeitet wird, anschließend eine Störung auftritt, das Tagesgeschäft erledigt wird und am Ende des Tages die

Datenauswertung fortgeführt werden kann. In dieser Zeit ist es wahrscheinlich, dass bei einer komplexen Dateneingabe der rote Faden verloren geht, wenn die Bedienoberfläche nicht für diese Herausforderung ausgelegt ist. Es wird offensichtlich, dass die Ansprüche vom Zielkunden ein Design erfordern, das minimalistisch gehalten wird und nur die notwendigen Informationen dargestellt werden, jedoch entsprechende Hinweise existieren, wenn es Probleme gibt.

Neben den Anforderungen, die von der Nutzeranalyse hervortritt, bestehen weiterhin technische Anforderungen am Webservice. So ist stark davon auszugehen, dass im Laufe der Ausarbeitung weitere Auswertungen und Features hinzukommen. Damit diese einfach in den Webservice integriert werden können, sind alle Funktionen des Webservices, die mit der Datenauswertung zusammenhängen, dynamisch zu gestalten. Daneben ist zu gewährleisten, dass die Website mögliche Informationen weitergeben kann, die für noch nicht implementierte Funktionen zur Verfügung stehen müssen. Weiterhin wurde während der Nutzertests festgestellt, dass die genutzten Bildschirme unterschiedlichste Auflösungen besitzen, die Berücksichtigungen finden müssen. So muss die Website auf Quad HD Breitbild, HD Breitbild, aber auch SD 4:3-Bildschirmen und auf (kleinen) Smartphones vernünftig darstellbar sein. Schlussendlich ist zu gewährleisten, dass die Website wartungsfreundlich ist und Texte sowie Bilder aktualisiert werden können.

Zur Darstellung der Umsetzungen unter Berücksichtigung obenstehender Anforderungen wird eine theoretische Nutzererfahrung vom ersten Aufrufen der Website bis zum Erstellen einer Auswertung, einerseits basierend auf Handeingaben, andererseits basierend auf Archivdaten, dargestellt.

Beim ersten Besuch eines Nutzers auf KlärWert (außenwirksamer Name der im Projekt entwickelten Website) wird dieser mit der Startseite begrüßt. Auf dieser kann er sich einen ersten Überblick machen, welche Leistungen angeboten werden. Weiterhin existiert die „Über-Uns“-Seite, bei der alle Partner vorgestellt werden. Die Seite „Leistungen“ zeigt einen etwas genaueren Einblick in die Möglichkeiten des Webservices. Sobald er sich einen guten Überblick über die Leistungen machen konnte, besitzt der Nutzer in diesem Nutzererfahrungsbeispiel die Absicht, das Angebot anzunehmen. In diesem Fall kontaktiert er den Kundenservice über die Seite „Kontakt“ per Kontaktformular, das an eine Gemeinschafts-E-Mail gesendet wird. Das Angebot wird abgestimmt und es kommt zu einer Beauftragung. Aufgrund der Klientel ist davon auszugehen, dass ein Angebot per PDF sowie eine klassische Beauftragung durchgeführt wird. Nach Auftragserhalt wird der Nutzer im System manuell im Nutzermanagement freigeschaltet. Er erhält eine E-Mail mit Bestätigungscode und entsprechenden Instruktionen zum weiteren Vorgehen. Schließlich, nach dem ersten Anmelden, wird dem Nutzer folgender Bildschirm angezeigt:

Abschlussbericht RECYBA - Eingehende Darstellung der Ergebnisse

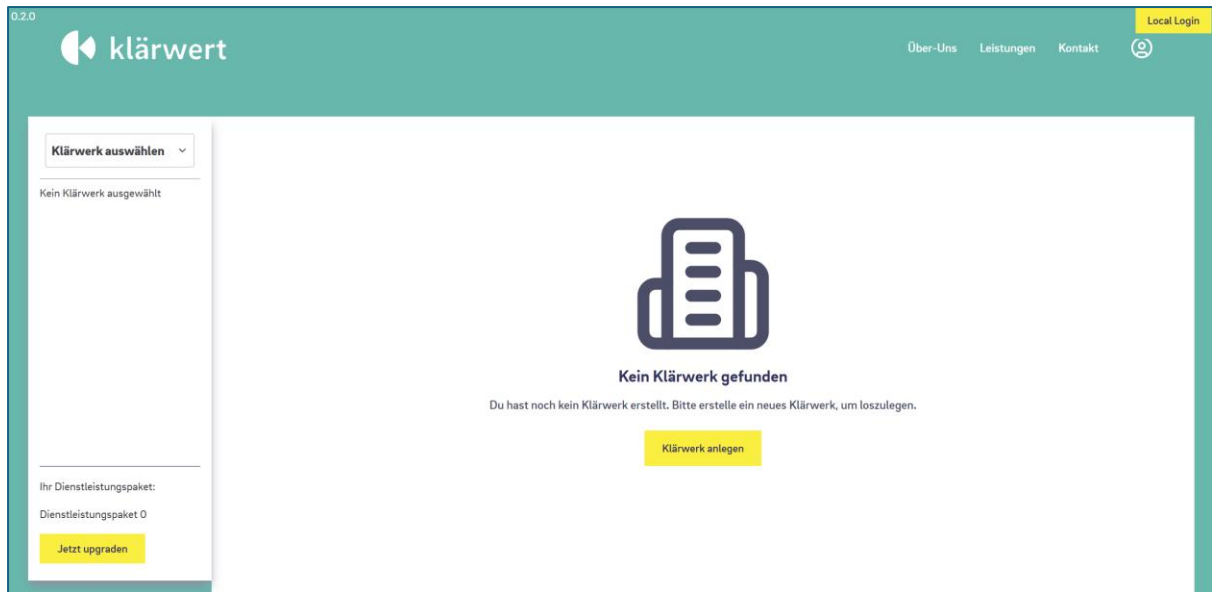


Abbildung 19: Dashboard nach dem ersten Anmelden eines Nutzers

Bei Klick auf „Klärwerk anlegen“ gelangt der Nutzer auf den Fragebogen:

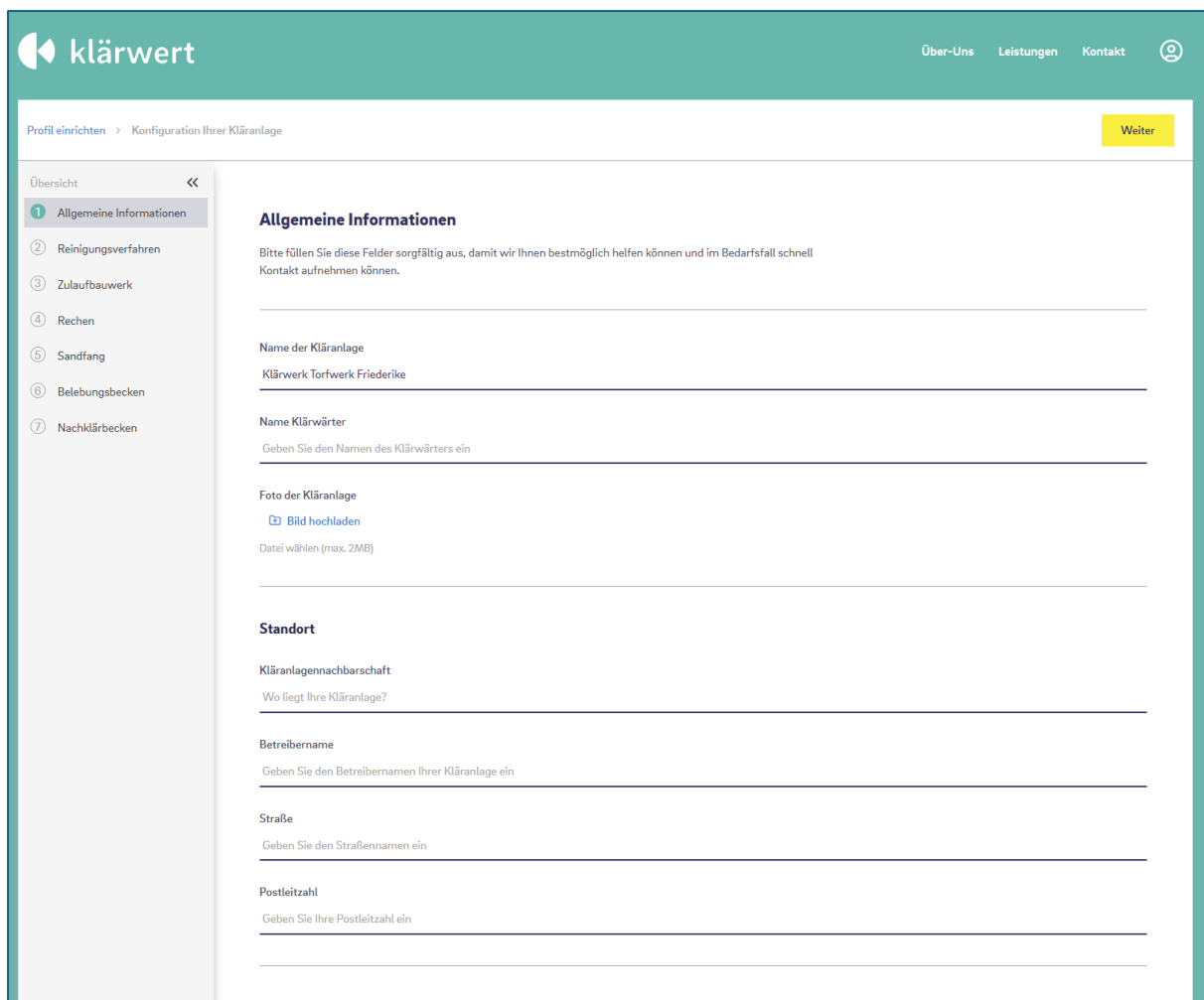


Abbildung 20: Darstellung des Fragebogens

Das Design ist entsprechend konzipiert, dass man durch einzelne Themengebiete hindurchgeleitet wird. Sind die Angaben zu umfangreich oder liegt das Interesse vor, sich zunächst die Berechnungsmöglichkeiten anzuschauen, kann dieser, bis auf wenige notwendige Angaben wie Name der Kläranlage, vollständig übersprungen und zu einem späteren Zeitpunkt ausgefüllt werden. Die Angaben im Fragebogen werden spätestens dann angefragt, wenn sie für verschiedene Berechnungen notwendig werden. Die Angaben im Fragebogen basieren auf dem Fragebogen, der durch die Hochschule Magdeburg-Stendal erstellt und in Maßnahme 1: Datenerfassung und -Übertragung ausgiebig beschrieben wurde.

Der Fragebogen soll für die Berechnung wichtige Informationen abfragen, damit diese bei den Berechnungen Berücksichtigung finden. Da die Bauweise von Kläranlagen auf die individuellen Bedürfnisse der jeweiligen Kommune abgestimmt ist, bedeutet das, dass auch die Anlagenkonfiguration immer unterschiedlich ist. Diese Besonderheiten können, systemtechnisch gesehen, in zwei Kategorien eingeteilt werden: Anzahl der Aggregate und Aggregatetyp. Diese Fälle wurden beim Fragebogen berücksichtigt. Am Beispiel des Zulaufbauwerks kann zunächst ausgewählt werden, ob die eigene Kläranlage ein Zulaufbauwerk besitzt (vgl. Abbildung 21). Falls ja, öffnet sich ein weiteres Feld, bei dem man Angaben zum ersten Zulaufpumpwerk treffen kann (hier: Art der Förderung und Betriebsart). Besitzt die Kläranlage nur ein Pumpwerk, kann der nächste Schritt gewählt werden. Ist ein weiteres Pumpwerk vorhanden, lässt sich über den Link „Zulaufpumpwerk hinzufügen“ ein weiteres Aggregat hinzufügen. Für das zweite Zulaufpumpwerk werden dieselben Angaben abgefragt. Es ist, website-technisch gesehen, möglich, dass ein Zulaufpumpwerk mit Pumpen, das andere mit Schneckenhebwerke ausgestattet ist. Es ist ebenfalls möglich, mehrere Anlagenteile ineinander zu schachteln. Beispielweise müssen in einem Belebungsbecken Angaben zu den Rührwerken getroffen werden, wohingegen es realistisch ist, dass mehrere Rührwerke in einem Belebungsbecken sind. Weiterhin ist es normal, dass eine Kläranlage mehrere Belebungsbecken besitzt, die jedoch eine unterschiedliche Anzahl an Rührwerken besitzen. Der Fragebogen kann mithilfe dieser Auswahlmöglichkeiten diese spezifischen Besonderheiten berücksichtigen, die auch für die Berechnungen Anwendung finden.

Abbildung 21: Fragebogen eines Aggregates, hier: Zulaufbauwerk, zur Darstellung der flexiblen Auswahlmöglichkeit

Sollte der Fall eintreten, dass der Nutzer auf den Fragebogen erneut zugreifen möchte, entweder zwecks notwendiger Angabe einer Berechnung oder Überprüfung der Angaben, ist dies über einen Link im Profil oder im Dashboard möglich.

Nach Befüllen des Fragebogens wird der Nutzer auf den Konfigurator des Fließbildes weitergeleitet. Das Fließbild soll insbesondere zur Veranschaulichung der Dateneingaben dienen. Gleichzeitig soll es die Möglichkeit bieten, weitere relevante Informationen, die nicht im Fragebogen erfasst wurden, darzustellen. Dabei erhebt es keinen Anspruch auf vollständiger Darstellung eines R&I-Fließschemas, da dies, in Bezug auf den festgelegten Anforderungen, zu viel Aufwand generieren und zu unübersichtlich werden würde. Aus diesem Grund werden nur folgende Hauptströme dargestellt: Abwasser, Gereinigtes Abwasser, Luft/Gas und Schlamm allgemein.

Sofern der Fragebogen vollständig ausgefüllt wurde, sind einige Anlagenteile im Fließbild vorausgewählt. Diese können anschließend vom Nutzer verschoben werden und mit Linien miteinander verbunden werden. Dies geschieht, indem man auf ein Ende der dargestellten Rohrleitungen klickt und mit linker Maustaste gedrücktem Ziehen mit einem anderen Ende verbindet. Hierbei bilden die Flanschenden der Rohrleitungen die „Anfänge“ und die offenen Enden das „Ende“ einer Verbindung dar. Es können, vom Editor voreingestellt, immer nur Anfänge mit

Enden miteinander verbunden werden. Sollten, wie in Abbildung 22 dargestellt, einige Anlagenteile fehlen, können sie vom Baukasten per Drag & Drop dem Fließbild hinzugefügt werden.

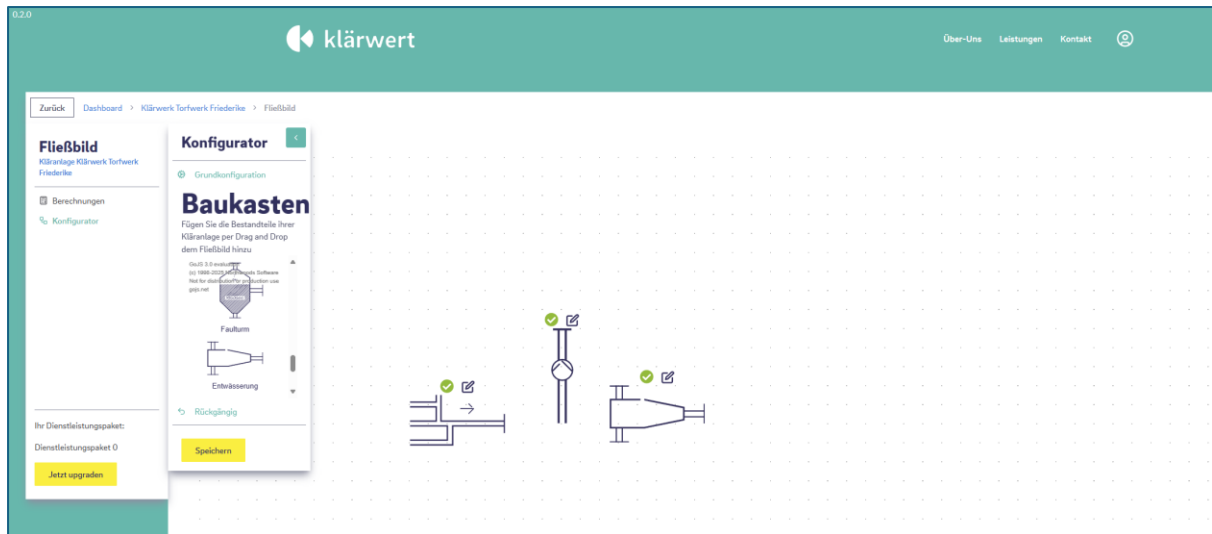


Abbildung 22: Baukasten zur Fließbilderstellung der Kläranlage

Nachdem die Fließbildkomponenten eingetragen und verbunden wurden, ergibt sich ein fertiges Fließbild. Bei Klick auf das Icon „Stift und Papier“ über den Bauteilen besteht dem Nutzer die Möglichkeit, für die Berechnungen notwendige Handeingaben je Bauteil einzutragen. Wenn der Reiter „Berechnungen“ angeklickt wird, verändert sich der ausklappbare Reiter vom Baukasten zu „Berechnung erstellen“. Aufgelistet wird hier jede Berechnung, die bei der Datenbank als „Datasheet“ angezeigt wird. Dem Nutzer besteht die Möglichkeit, Berechnungen seiner Wahl auszuwählen und anschließend auf „Berechnen“ zu klicken. Es erscheint ein Pop-Up, um entweder die vorhandenen Werte zu kontrollieren oder um fehlende Werte einzutragen. Sollte es sich bei der ausgewählten Berechnung um eine Archivdatenauswertung handeln und der Nutzer noch keine Archivdaten hochgeladen haben, wird ein Hinweis angezeigt, dass diese Berechnung nicht durchgeführt werden kann, da die Archivdaten nicht zur Verfügung stehen oder das entsprechende Mapping noch nicht durchgeführt wurde. Ggf. besteht die Möglichkeit, die Quelle der Daten zu ändern. Es wird hier zwischen „Handeingaben“, „Fließbildeingaben“ und „Archivdaten“ unterschieden. Fällt die Wahl auf „Handeingaben“, können für diese Berechnung einmalig eingetragene Werte herangezogen werden, die direkt im Pop-Up ihre Auswahl finden. Dies hilft, wenn z.B. die Berechnung mit einem Aggregat überprüft werden soll, welches nicht installiert wurde oder in Planung ist (vgl. Abbildung 23).

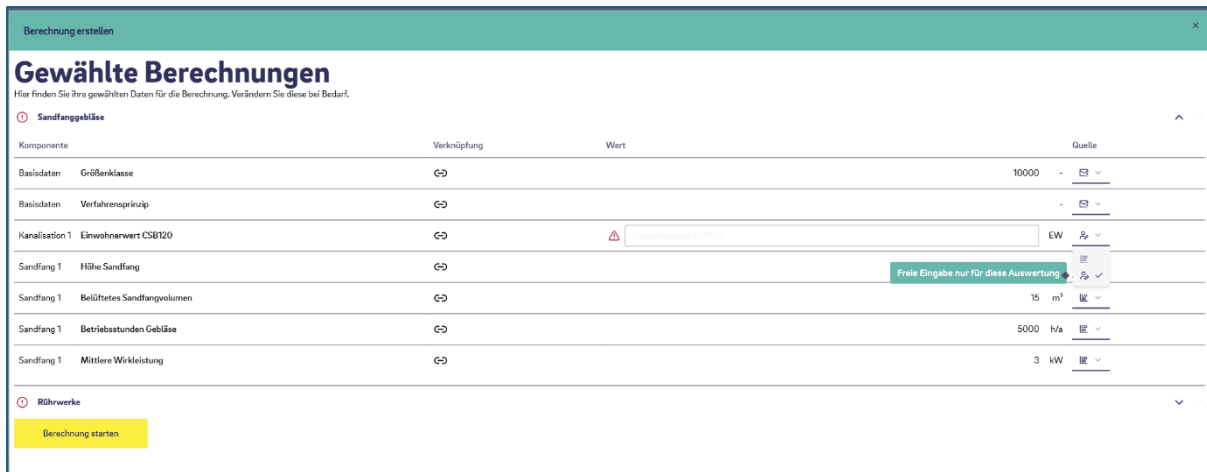


Abbildung 23: Pop-Up nach Wahl "Berechnen", hier ausgewählt: Berechnung für Sandfanggebläse und Rührwerke

Angenommen, der imaginäre Nutzer wählte eine Berechnung, für die lediglich Handeingaben zu tätigen sind (z.B. Sandfanggebläse oder Rührwerkeauswertung). In Abbildung 23 ist dieser Fall exemplarisch dargestellt. Rechts im Bild ist die Spalte „Quelle“ zu erkennen, wohingegen die Icons für Fragebogen, Handeingaben, Archivdaten und Fließbildeingaben stehen. Diese können, wie dargestellt, bei Bedarf geändert werden. Nach Eintragen des gewünschten Wertes wird die Berechnung erstellt. Der Status der Berechnung wird im Dashboard angezeigt. Im Vergleich zum ersten Log-In sind hier weitere Felder hinzugekommen, insbesondere im Fokuspunkt (vgl. Abbildung 24). Die Berechnung, sofern erfolgreich, kann über die Lupe unter „Optionen“ eingesehen werden. Gleichzeitig besteht mithilfe des Abfalleimer-Icons die Möglichkeit zur Löschung der Berechnung. Sollte ein Fehler aufgetreten sein, wird anstelle eines Hakens ein Kreuz in der Lupe angezeigt. Mit Mouse-Over kann der Nutzer hier detailliertere Informationen zum Fehler abrufen.

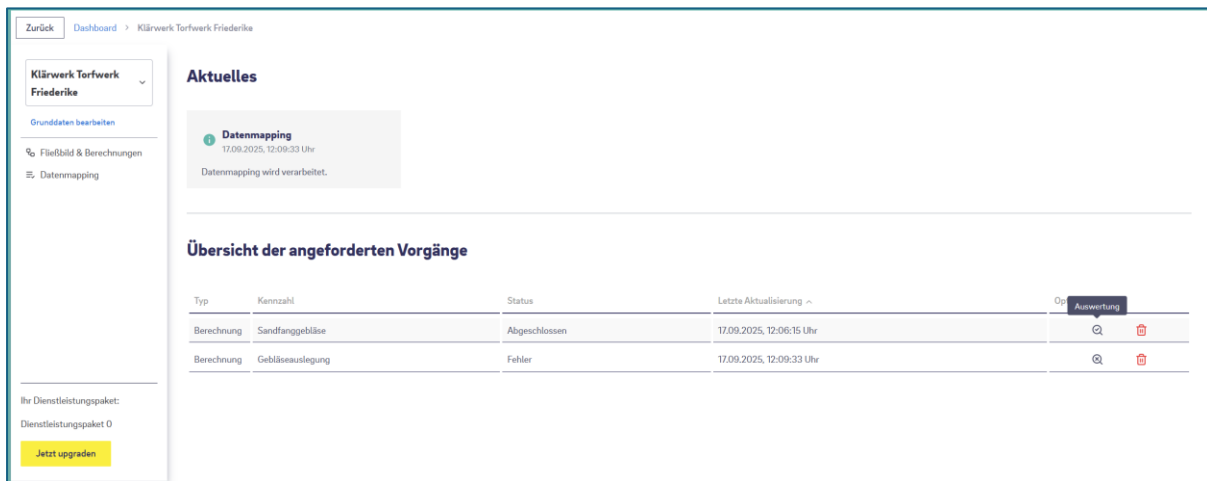


Abbildung 24: Dashboard nach erfolgter Kläranlagenkonfiguration

Beim Abruf der erfolgreich durchgeführten Berechnung wird die Auswertung angezeigt, die durch RITUNE erstellt wurde (Abbildung 25). Diese kann, je nach Art der Auswertung, Diagramme und/oder Textempfehlungen anzeigen. Die Gestaltung der Auswertungsseite ist hier RITUNE überlassen. Die Darstellung erfolgt über Anforderungen, die in den Job-Tickets in der Datenbank gespeichert und mithilfe des identischen Darstellungs-Plugins nativ angezeigt werden können. Das ergibt den Vorteil, dass die Diagramme nicht als Bilder, sondern als interaktive Diagramme dargestellt werden. Der Nutzer ist in der Lage, mithilfe der Werkzeuge Zoom, Pan, Box Select,

Auto Select den ihn gewünschten Ausschnitt darzustellen. Soll die Ursprungsdarstellung wiederhergestellt werden, reicht der Klick auf „Reset“.

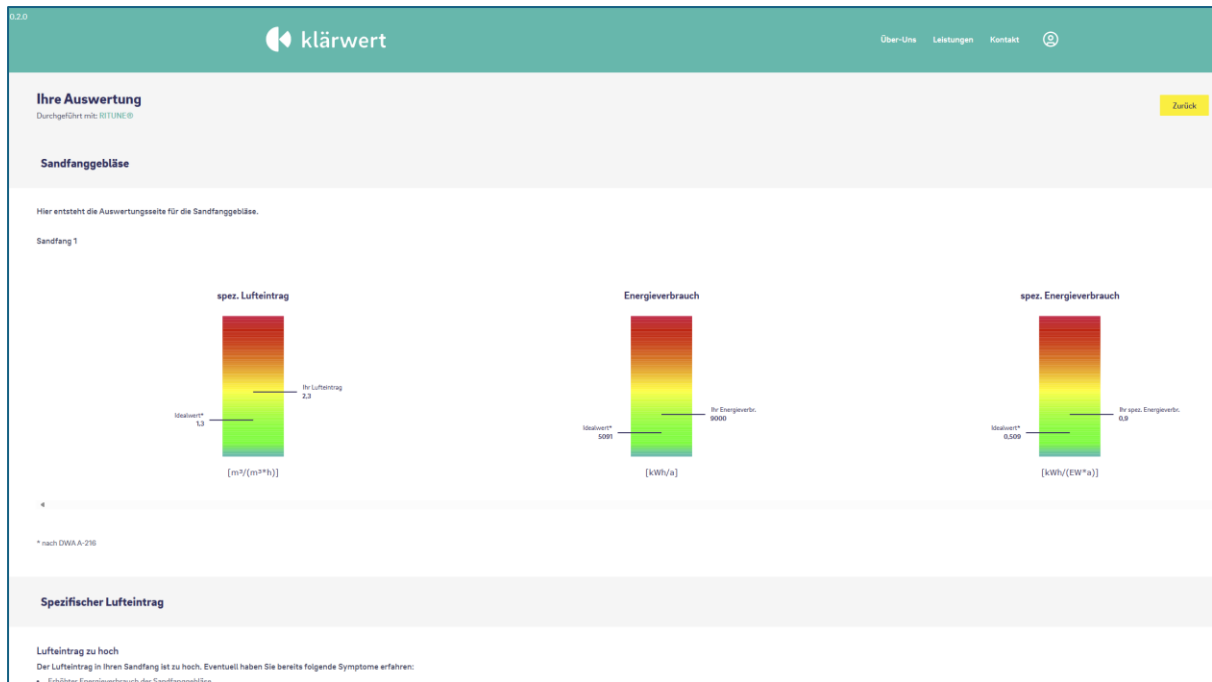


Abbildung 25: Auswertungsseite zum Sandfanggebläse

Will der Nutzer eine Berechnung ausführen, bei der Archivdaten notwendig sind, muss ein weiterer Schritt ausgeführt werden. Dieser Schritt nennt sich das Archivdatenmapping und wurde in den Maßnahmenpaketen 1 und 2 bereits kurz umschrieben. Das Archivdatenmapping beschreibt die Verknüpfung zwischen den Datenpunktbezeichnungen der Kläranlagen mit denen, die für eine Auswertung intern notwendig sind.

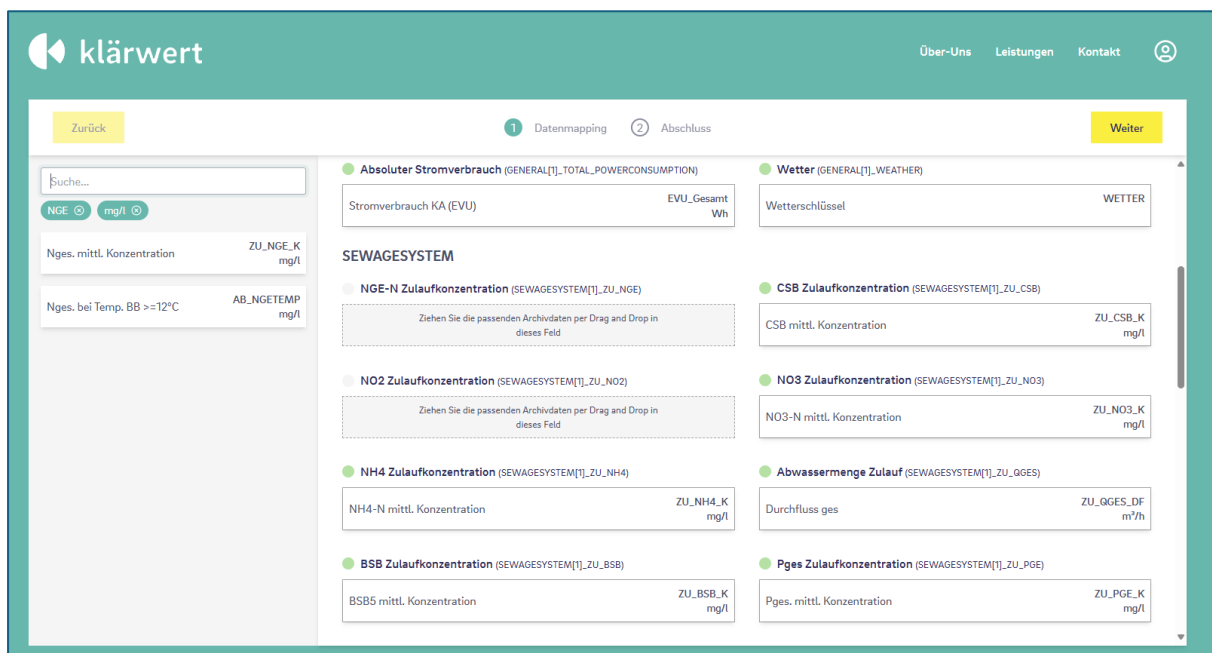


Abbildung 26: UI des Archivdatenmappings

Links auf der Seite in Abbildung 26 befinden sich alle einzigartigen Datenpunktfelder in jeweils dafür vorgesehenen Kästchen, die in den Archivdaten der Kläranlage zur Verfügung stehen. Dabei steht die Langbezeichnung des Datenpunktes alleinstehend links als Hauptfeld, da mit hoher Wahrscheinlichkeit diese Angabe dem Kläranlagenmeister am bekanntesten ist. Rechts neben der Langbezeichnung befindet sich die Datenpunkt-ID, wie sie im Archivdatensystem der Kläranlage hinterlegt ist, sowie ggf. die dazugehörige Einheit. Während der Evaluierung, welche Schritte zum Sortieren der Archivdaten notwendig sind, wurden diese drei Felder als relevant erachtet, um einen Datenpunkt zuverlässig finden und zuordnen zu können. Folgender Weg wurde als erfolgsversprechend und intuitiv ermittelt, der auch im Design des Datenmappings berücksichtigt wurde:

Zunächst wurde die Langbezeichnung nach einem ggf. treffenden Stichpunkt gefiltert, wie z.B. Zulaufkonzentration. Dies kann oben in dem Feld „Suche...“ als Suchkriterium hinzugefügt werden. In diesem Beispiel wurden die Suchkriterien „NGE“ sowie „mg/l“ eingefügt, da das leere Feld „NGE-N Zulaufkonzentration“ befüllt werden soll. In diesem Fall ist es so, dass eine Konzentration abgefragt wird, sodass, mit entsprechendem Fachwissen, der Klärwerksmeister darauf schließen kann, dass die Einheit mit mg/l wahrscheinlich ist. Somit ist die Filterung über diesen Parameter möglich und es stehen nur noch zwei Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung: „Nges. mittl. Konzentration“ und „Nges. bei Temp. $\geq 12^{\circ}\text{C}$ “. Da es sich bei dem zweiten um ein Feld mit „AB“ in der Kurzbezeichnung handelt und die Langbezeichnung auf das Belebungsbecken (BB) schließen lässt, macht dies eine Zuordnung des Datenpunktes „Nges. mittl. Konzentration“ einfach. Diese Suchfeldfunktion ist so flexibel gestaltet, dass sie bei allen drei Feldern die eingetragene Buchstabenreihenfolge, unabhängig von der Groß- und Kleinschreibung, sucht. Durch das Hinzufügen oder Entfernen entsprechender Suchparameter können unterschiedliche Filtermöglichkeiten ausprobiert werden, um die Zuordnung so einfach wie möglich zu gestalten.

Nach Klick auf „Weiter“ können die zugeordneten Datenpunkte erneut kontrolliert werden, bevor die Datenpunkte in der Structured Data Storage zugeordnet werden. Soll die Zuordnung der Datenpunkte geändert werden, zum Beispiel weil ein Fehler entdeckt wurde, ist dies möglich, indem ein bestehender Datenpunkt erneut zurück in das Feld der Archivdatenübersicht gezogen und ein anderer Datenpunkt dem entsprechenden Feld zugeordnet wird. Nach einem weiteren Klick auf „Weiter“ sowie der erneuten Kontrolle der angepassten Werte werden die Anpassungen in der Datenbank durchgeführt.

Sollte der Fall eintreten, dass, aufgrund der größeren Datenlage im späteren Betrieb, eine Analyse vieler Datenpunktzuordnungen gemacht werden kann, besteht die Option, eine automatische Datenzuordnung einzufügen. In diesem Fall erscheint eine Vorauswahl in diesem Datenmapping, sodass der Nutzer im Idealfall die Werte nur noch kontrollieren muss.

Nachdem die Werte zugeordnet werden, können die Archivdatenauswertungen ausgeführt werden. Ggf. unter Zuhilfenahme von Handeingaben, können diese, analog zu den Auswertungen der Handeingaben, im Fließbildbereich angestoßen werden. Die Darstellung der Ergebnisse wird ähnlich geschehen wie die Datenauswertung mit Handeingaben, nur dass mit Archivdaten eine genauere Analyse möglich ist, indem z.B. Zeitreihen oder Histogramme dargestellt werden.

Der oben beschriebene Weg, den Fragebogen auszufüllen, die Daten im Fließbild einzutragen sowie das Archivdatenmapping durchzuführen, ist einmalig pro Kläranlage zu beschreiben. Werden nun, nachdem die entsprechenden Informationen im Webservice vorliegen, weitere Berechnungen gewünscht, können diese beliebig oft angestoßen werden. Gleichzeitig werden Archivdaten, die erneut im Webservice hochgeladen werden, automatisch auf ein bestehendes Mapping geschrieben.

Sofern eine neue Kläranlage vom Nutzer hinzugefügt werden soll, kann dies auf seiner Profseite geschehen. Unter der Rubrik „Meine Kläranlagen“ können einerseits die erstellten Kläranlagen eingesehen werden, andererseits eine weitere Kläranlage hinzugefügt werden.

Am Anfang des Kapitels wurde die Anforderung beschrieben, dass die Website bedarfsweise auch per Mobiltelefon aufrufbar und bedienbar sein muss. Neben den Anforderungen, auf einem 4:3 Bildschirm angezeigt zu werden, bietet dies eine weitere Herausforderung, und zwar, dass die Anzeige auf den Smartphone-Bildschirmen so klein werden kann, dass eine vernünftige Bedienung nicht mehr möglich ist. Dies ist insbesondere bei komplexen Darstellungen der Fall. Aus diesem Grund wurde entschieden, das Fließbild in dieser Darstellungsform nicht anzuzeigen, da davon ausgegangen wird, dass maximal kleine Berechnungen ausgeführt werden. Die notwendigen Angaben, die für die Auswertung notwendig sind, wurden dabei im Vorherein eingetragen oder können über das Pop-Up nachgetragen werden.

2.2.3.3. Wissenschaftliche Begleitung – HSMS

Die gewonnene Erfahrung und ermittelten Kennzahlen aus den vorangegangenen Arbeiten fließen in die Entwicklung des Webservice ein. Der Schwerpunkt der Wissenschaftlichen Begleitung lag in der praktikablen und anwenderfreundlichen Umsetzung der Eingabeoptionen oder Abfragereihenfolge der Webumgebungen. Somit wurden Hilfestellungen bei der Eingabe erarbeitet, erklärende Texte oder Beschreibung der benötigten Einheiten, um fehlerhafte Angaben zu minimieren. Eine auf die Prozessreihenfolge abgestimmte Abfrage oder ein ausreichender Detaillierungsgrad der Angaben kann den Nutzer unterstützen, Arbeitszeit einsparen und die Akzeptanz für benötigte Informationen gewährleisten. Weiterhin bietet die Webumgebung eine Fließbilderstellung der eigenen Abwasserbehandlungsanlage an, hier wurde auf die korrekte prozesstechnische Darstellung und Kombinationsmöglichkeiten von Anlagenkomponenten geachtet.

2.2.4. Maßnahme 4: Anpassen und Einrichten von Anwendersoftware

2.2.4.1. Deterministische Modelle – HSMS

Für den Aufbau eines deterministischen Modells der Abwasserreinigung der Pilotanlage und die nötige Kalibrierung und Validierung dieses Modells, wurden die in den vorangegangenen Arbeitspaketen erhobenen Daten, Kennzahlen und Parametern der einzelnen Abwasserreinigungsprozesse verwendet. Das in Abbildung 27 gezeigte deterministische Modell berücksichtigt somit alle wesentlichen physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse der Abwasserbehandlung der Pilotanlage und bezieht die beteiligten Aggregate, maschinentechnische Ausrüstung und die verfahrensbestimmende MSR-Technik mit ein.

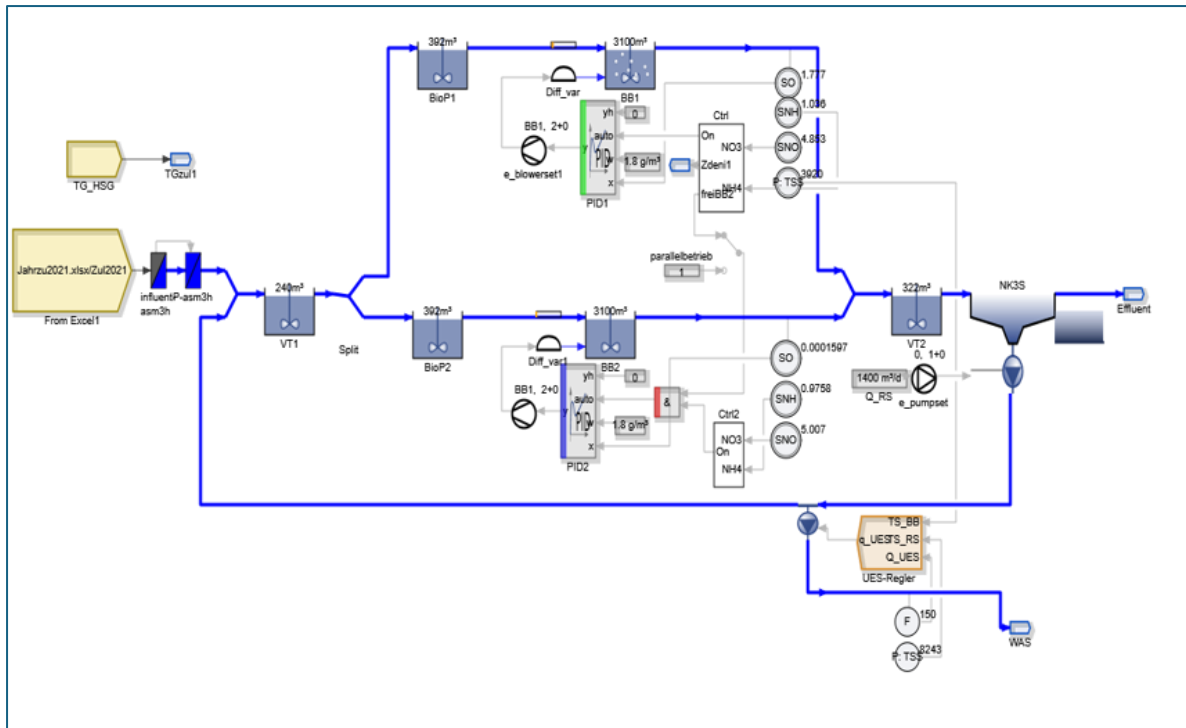


Abbildung 27: Modell der Pilotanlage, Software: SIMBA#, Quelle: R. Tschepetzki

Zur Simulation des Lufteintrages und des Energieverbrauchs in den Belebungsbecken werden Belüfterelemente, Rührer und die Steuerung der intermittierenden Belüftung berücksichtigt. Die entsprechend der dynamischen Zulaufbelastung jeweils notwendigen Luftmengen werden berechnet und damit auch der von der Dynamik abhängige Energieverbrauch der beteiligten Gebläse ermittelt. Dieser „digitaler Zwilling“ erlaubt alle Interaktionen der modellierten Komponenten der Kläranlage virtuell zu analysieren und zu verbessern. Die Simulationsuntersuchungen ergänzen somit die klassischen Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz einer Kläranlage, die „nur“ auf Mittelwerte bzw. Jahreswerte zugreifen. Gemeinsam vermitteln sie ein besseres und detaillierteres Bild vom Stand der Energieeffizienz unter verschiedenen Bedingungen, wie z.B.: variable/jahreszeitliche Temperatur, Winter/Sommer, Trocken/Regen, Haupt-/Nebensaison, variabler Zufluss, tägliche, monatliche oder jährliche Schwankungen, veränderten Betriebsarten und behalten auch die Ablaufwerte der Kläranlage im Blick. Eine mit viel Aufwand und hohen Kosten verbundene Umstellung von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung wurden von der HSMS für vergleichbare reale Kläranlagen bereits untersucht, kann aber auf vielen Kläranlagen mit ähnlicher Ausbaugröße nicht realisiert werden. Mit weniger Aufwand können Änderungen im Betrieb der Belebungsbecken realisiert werden. Für die Pilotanlage wurden verschiedene Varianten zum Betrieb der Belebungsbecken untersucht und verglichen. Eine Empfehlung war die koordinierte zeitversetzte intermittierende Belüftung der beiden Belebungsbecken, damit Stromspitzen beim Anschalten der Belüftung beider Straßen zeitlich nacheinander auftreten. Außerdem sollten während der Belüftung eines Belebungsbeckens die Rührer größtenteils ausgeschaltet sein, um Strom zu sparen.

Wenn die Auslastung einer Kläranlage für längere Zeiträume nur bei ca. 50 % liegt, kann auch die Außerbetriebnahme einer parallelen Straße oder einzelner Belebungsbecken Energie sparen. Die Belüftung des aktiven Belebungsbeckens muss dann die Nitrifikation absichern. D.h. die Belüftung des Beckens muss länger laufen und mehr Luft bereitstellen. Die Effizienz der Belüftung des höher belasteten Beckens liegt dann in einem anderen Bereich der nichtlinearen Kennlinie. Außerdem verringert sich die verfügbare Zeit für Denitrifikation, da die unbelüfteten Phasen kürzer werden.

Die Simulation zeigte, dass die Ablaufwerte bei dieser Betriebsweise sicher eingehalten werden und die Summe des Energieverbrauchs von Belüfter und Rührer auf der Pilotanlage um ca. 20 % reduziert wird.

Eine weitere Variante zum Betrieb von Belebungsbecken mit intermittierender Belüftung in einer zwei Straßen-Betriebsweise, ist die alternierende Beschickung (A/I-Verfahren). Die Simulationsergebnisse in Bezug auf die Energieeinsparung für Belüftung und Umwälzung lagen bei ca. 4 %. Mit einem angepassten Sollwert für den jeweils aktiven O₂-Regler oder mit veränderten Zyklen könnten je nach Zulaufbelastung bis zu 10 % Energie eingespart werden.

Da die Abwassertemperatur im Laufe des Jahres starken Schwankungen unterliegen, verändern sich auch Stoffumsatz und Sauerstoffbedarf. Eine Anpassung des notwendigen Schlammalters an die Temperatur und die Belastung kann Energie einsparen, ohne die Ablaufwerte zu verschlechtern. Mit steigender Abwassertemperatur kann die TS-Konzentration des Belebungsbeckens (TSBB) reduziert werden, wodurch auch die Nachklärung entlastet wird. Bei niedriger Auslastung der Kläranlage (< 100 % Bemessung) kann der TSBB noch weiter reduziert werden. Da das aerobe Schlammalter, welches sich auf den belüfteten Anteil der Belebung bezieht und sehr stark temperaturabhängig ist, den Stoffwechsel und die Vermehrung der Nitrifikanten beeinflusst, wird eine Schlammalterregelung empfohlen. Damit kann die Schlammmenge im System den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden und genügend Sicherheitsabstand zum minimalen aeroben Schlammalter gesichert werden. Die Simulationsuntersuchungen unter Berücksichtigung von Praxisempfehlungen für das Schlammalter für Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung zeigten Energieeinsparungen von ca. 10 % über ein Jahr.

2.2.4.2. Energieanalyse – HSMS

Für mögliche Optimierungsansätze war eine Energieanalyse der Pilotanlage vorzunehmen. Das Standardregelwerk der DWA für Energieanalysen von Abwasserbehandlungsanlagen war derzeit das DWA-Arbeitsblatt 216 „Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“ [2015], dieses bildete den aktuellen Stand der Technik ab und kam daher zum Einsatz. Die Energieanalyse nach DWA-A 216 erfordert eine Begehung und Bestandsaufnahme des Ist-Zustandes der Kläranlage. Dabei wurde eine Aggregatliste erstellt, die über 60 Posten mit Verbraucher und Verbraucherguppen der einzelnen Prozessschritte der Abwasserbehandlung umfasst. Weiterhin musste die Leistung (Elektrische-Wirkleistung) der einzelnen Verbraucher bestimmt werden. Dazu wurden Leistungsaufnahmen aus Messungen und Prüfprotokollen oder Angaben aus den Datenblättern der Baugruppen aufgenommen. Eine gewisse Schwierigkeit bestand darin, eine mittlere Wirkleistung zu erfassen und nicht die maximale Stromaufnahme der einzelnen Verbraucher (oft auf Datenblättern oder Typenschilder angegeben). In Verbindung mit den tatsächlichen Betriebsstunden dieser Verbraucher konnten die jährlichen Stromverbräuche bestimmt werden. Teilweise waren auch einzelne Stromzähler für Baugruppen wie, Gebläse oder Rücklaufschlammumpen vorhanden. Diese Verbräuche konnten dann zur Validierung der anderen Verbräuche herangezogen werden und die ermittelten Verbräuche auf Plausibilität überprüft werden. Abbildung 28 zeigt einen Auszug aus der erstellten Verbrauchermatrix. Aus dieser Datengrundlage konnte der prozentuale Anteil der einzelnen Baugruppen am Gesamtstromverbrauch der Kläranlage ermittelt werden.

Aggregate		Stromaufnahme Nennleistung	(gemessene) Wirkleistung bei Vollast	Drehzahlregelung / FU	Mittlere Wirkleistung	Betriebsstunden	K _n J ^{*1} Stromverbrauch Ist-Wert	% von Gesamtver.	Plausibilitätskontrolle aus anderen Berechnungen / Bemerkungen	Stromverbrauch Idealwert	Abweichung kW/a	Abweichung Prozentual
Bezeichnung	Stückzahl	kW	kW	Ja/Nein	kW	h/a	kWh/a	381.811	kWh/a	kWh/a		%
mechanische Reinigung												
1 Zulauf Pumpen	4	33,8	43,6	Ja	27,7	6098,0	41.952	10,99%		29.139	12.813	44,0
2 Zulauf Rest	3	1,0	-	-	-	-	-	-		-	-	-
3 Bechen	2	3,0	4,5	Nein	2,2	2203,9	2.474	0,65%		629	1.844	293,0
4 Fäkalannah.	3	7,9	13,2	Nein	6,6	175,7	591	0,15%		-	-	-
5 Sandfang Gebläse/Kompressor	3	9,7	11,0	Nein	5,5	9324,8	20.351	5,33%		3.549	17.639	497,0
6 Sandfang(Pumpen, Klassierer, Rest)	4	4,4	8,6	Nein	4,3	879,1	837	0,22%		-	-	-
biologische Reinigung												
7 Belebung Gebläse	4	180,0	-	Ja	36,0	6268,3	142.703	34,65%	132.310	102.933	29.377	28,5
8 Belebung Rührw.	6	17,8	24,3	Nein	12,2	17520,0	106.513	27,90%		31.527	74.986	237,8
9 Belebung Rest	10	4,2	-	-	-	-	-	-		-	-	-
chemische Reinigung												
10 Dosierpumpe	2	1,5	2,0	Nein	1,0	2012,0	1.001	0,26%		-	-	-
Nachklärung												
11 Nachk. Räumler	1	0,7	0,4	Nein	0,4	8755,8	3.352	0,88%		3.250	102	3,1
12 Nachk. Pumpen	2	7,2	5,4	Nein	2,7	600,0	817	0,21%		842	-26	-3,0
13 Nachk. Heizung	1	7,1	-	Nein	7,1	1440	10.179	2,67%		10.179	-	-
14 Nachk. Rest/Ablauf	3	1,7	-	Nein	-	-	-	-		-	-	-
Schlammbehandlung												
15 Rücklaufschlamm	4	13,3	15,0	Nein	1,5	8755,8	13.103	3,15%	12.013	21.056	9.043	-42,9
16 Überschussschlammbehandlung	4	15,5	22,2	Nein	11,1	4021,8	11.110	2,91%		5.873	5.238	89,2
17 Schlammspeicherung	6	52,4	102,3	Nein	51,1	607,6	7.529	1,97%		1.789	5.740	320,8
Infrastruktur												
18 Betriebsgebäude	2	1,5	-	-	-	-	-	-		-	-	-
19 Brauchwasser.	2	13,0	10,0	Nein	5,0	200,0	998	0,05%		-	-	-
20 Abluftbehandlung (Bio-Filter)	3	11,8	6,8	Nein	3,4	17520	29.784	7,80%		-	-	-
							Gesamt:	381.811				
							Gesamt:			210.767	147.713	99,79%
										Idealverbrauch	Einsparungen	

Abbildung 28: Verbrauchermatrix nach DWA-A 216, Quelle: H. Oeltze

In einem weiteren Schritt sieht das Arbeitsblatt die Bestimmung der anlagenbezogenen Idealwerte vor. Diese wurden anhand der Berechnungsverfahren des Arbeitsblattes DWA-A 216 und in Verbindung mit Laufzeiten und Größenangaben (Volumina oder Behandlungsmengen) der vorhandenen Anlagen und Verfahrensweisen, ermittelt. Aus den ermittelten Ist-Werten und den berechneten Ideal-Werten der Kläranlage, konnten Maßnahmen identifiziert werden, sowie deren Einsparpotential und Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden.

2.2.4.3. KI-basierte und Entscheidungsunterstützende Systeme – HSMS

Die entwickelte Softwareanwendung oder webbasierte Optimierungsplattform soll bei der Datenverarbeitung oder Entscheidungsunterstützung auf KI-Ansätze zurückgreifen und somit leistungsfähiger sein. Als eine passende Form der künstlichen Intelligenz wurde das „Case-Base Reasoning“ (CBR) oder im deutschen auch „fallbasiertes Schließen“ ausgewählt. Diese datenbankbasierte künstliche Intelligenz bietet den Vorteil einer Ähnlichkeitserkennung für hinterlegte, klar definierte Fallkonstellationen. Weiterhin ist jede Fallentscheidung rekonstruierbar und bietet die Möglichkeit, das System transparent und nachvollziehbar aufzubauen. Grundlegende Kennzahlen oder Informationen sind über Kläranlagen oft frei zugänglich. In Landeslisten, Kläranlagennachbarschaftsbüchern oder auf den eigenen Websites der Betreiber sind Informationen wie Ausbaugröße, Reinigungsleistung oder die Verfahrensweise der Abwasserbehandlung ersichtlich. Für eine energetische Optimierung einer Kläranlage bedarf es allerdings oft deutlich detailliertere Angaben wie: Zulaufsituation mit Frachten und Volumina, Auslastung der Anlage oder genaue Prozessschritte der Abwasserreinigung. Je nach Anwendungsbeispiel können dann gezielt Ähnlichkeiten zum Beispiel zum Benchmarking, für Fehlerdiagnosen oder Optimierungsansätze verglichen werden. Somit sind Benchmarks mit anderen Kläranlagen auch deutlich zutreffender oder aussagekräftiger, weil nun nur Kläranlagen mit ähnlichen Einwohnerwerten, Zulaufsituationen und gleichen Verfahrensschritten verglichen werden. Für die Fehleranalyse in einem Prozessabschnitt oder die Optimierung einer Verfahrensstufe ist es anfänglich vielleicht ausreichend zu wissen, ob eine bestimmte Optimierung passend ist und welche Einsparungen sich damit ungefähr erzielen lassen, währenddessen bei

inwieweit die erstellten Konzepte und Berechnungen für die teils stark variierende Datenbasis funktionieren.

Ein wichtiger Schritt bei der Integration vom Data-Mining in die Auswertungen wurde beim Energiecheck für Kläranlagen gemacht. Hier wird eine interne Vergleichsdatenbank genutzt, um die betrachtete Anlage mit anderen Kläranlagen der gleichen Größenklasse und dem gleichen Verfahrensprinzip zu vergleichen und einzuordnen. So entstehen aussagekräftige Ergebnisse, um die eigene Anlage besser bewerten zu können.

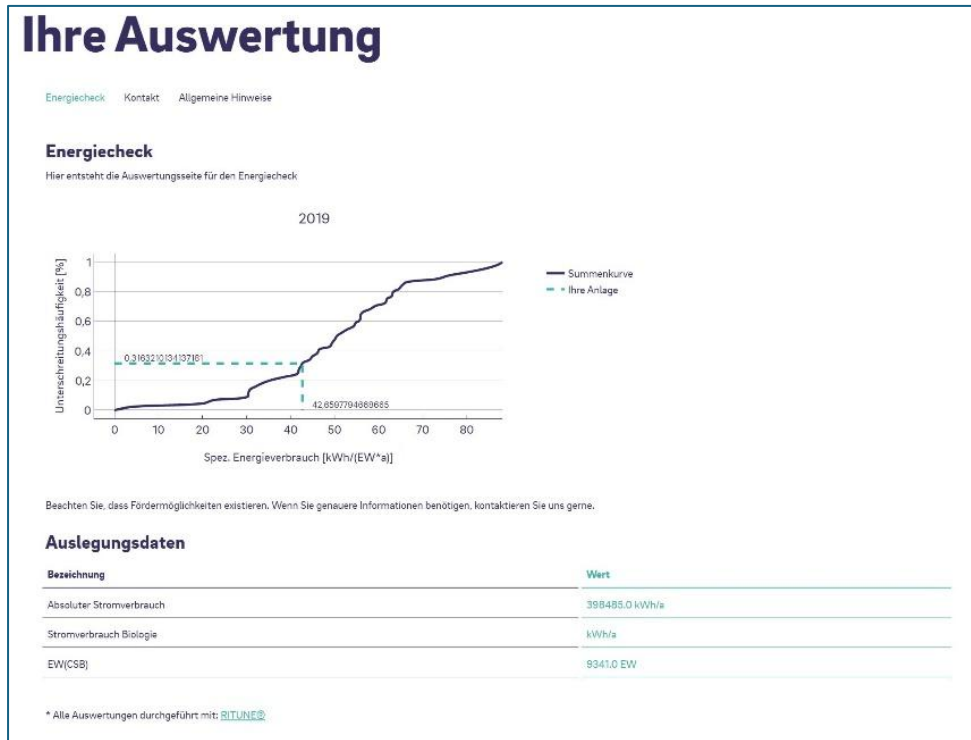


Abbildung 30: Auswertungsseite mit Vergleichsdatenbank

Die dargestellte Summenkurve wird, je nach Größenklasse und Verfahrensprinzip, dynamisch erstellt. Dabei wird die interne Vergleichsdatenbank abgefragt und anschließend zwischen den vorhandenen Einträgen interpoliert. So erfolgt die Einordnung des spezifischen Energiebedarfs auch nur anhand vergleichbarer Kläranlagen. Dadurch wird die Aussagekraft erhöht und Maßnahmen können gezielter erfolgen.

Neben dem Vergleich mit ähnlichen Anlagen, ist auch der Abgleich mit anderen Referenz- und Idealwerten, z.B. aus der Literatur, ein essenzieller Bestandteil der implementierten Auswertungen. Wie im späteren Kapitel 2.3: Voraussichtlicher Nutzen noch ausführlicher beschrieben, ist der gewählte Ansatz stets, den tatsächlichen Energieverbrauch des betrachteten Anlagenteils mit einem der Literatur entsprechenden Idealbereich zu vergleichen und so eine erste Bewertung der Anlage durchzuführen. Das Ziel ist es, dem Nutzer Anhaltspunkte zur Optimierung seiner Anlage zu geben und auf potentielle Maßnahmen zur Energieoptimierung hinzuweisen.

Der Aufbau dieser Vergleichsdatenbank ist herausfordernd, aber auch essenziell, um dem Endnutzer zugeschnittene Auswertungen und Handlungsempfehlungen zurückgeben zu können.

2.2.4.5. Wissenschaftliche Unterstützung – HSMS

Die Erfahrungen und Erkenntnisse der HSMS aus den vorangegangenen Arbeiten flossen in die weitere Datenakquise ein. Die vorhandenen Betriebsdaten einer Kläranlage sind sehr umfangreich und mit einer hohen zeitlichen Auflösung versehen. Mit der Software RITUNE können diese Betriebsdaten analysiert und plausibilisiert werden. Aber auch mit dieser adaptiven Data-Mining Technologie ist es notwendig, geeignete Daten zu wählen und damit sinnhafte und aussagekräftige Analysen zu erstellen. Mit den gewonnenen Daten muss gleichzeitig auch noch der Vergleich oder Bezug zu den bereits erhobenen Kennzahlen und Benchmarks der vorangegangenen Datenerhebung hergestellt werden. Dies erweist sich als sehr herausfordernd, da die Datengrundlage teilweise sehr unterschiedlich ist. Die gewonnenen Daten aus Live-Anbindungen oder Betriebsdaten aus Betriebstagebüchern (ACRON), haben eine sehr hohe zeitliche Schärfe (Minutenwerte, Tageswerte). Üblich verwendete Benchmarks haben dagegen meistens Jahresmittelwerte oder Saisonwerte als Grundlage. Daher wurden geeignete Basiskennzahlen ermittelt oder Umrechnungen angefertigt. Weiterhin werden die gewonnenen Daten so weit aufbereitet, dass sie als Datengrundlage für Berechnungen oder Simulationen verwendet werden können.

2.2.5. Maßnahme 5: Schnittstellenkonfiguration

2.2.5.1. Berücksichtigung dynamische Echtzeitauswertung – AVAW

Die Dienstleistungsstufe 3 soll in Zukunft ermöglichen, eine dynamische Echtzeitauswertung der Daten zu fahren. Um dies zu erreichen, sollte die Software so umgebaut werden, dass die entwickelten Auswertungen in der Lage sind, diese Datenfluten zuverlässig umzusetzen. Daraus entstehen neue Anforderungen, die Berücksichtigung finden:

- Die Daten müssen in Echtzeit übertragen werden können
- Auswertungen müssen so schnell wie möglich durchgeführt werden können
- Alle Programme, die mit der höheren Datenflut zurechtkommen müssen, müssen entsprechende Ressourcen zur Verfügung haben
- Die Datenauswertungen müssen von allen Kläranlagen, die diesen Service nutzen wollen, zur Verfügung stehen können

Dabei wurden Softwarekomponenten gewählt, die genau für einen solchen Anwendungsfall ausgelegt wurde. Insbesondere die Datenbank, Elastic, dient u.a. zur Auswertung von Störmeldungen und zur Sicherheit bei Hardware. Aus diesem Grund musste ein Umbau der Software nicht erfolgen, sodass der Arbeitsaufwand für dieses Arbeitspaket in die Untersuchung des angestrebten Wegs gesetzt werden konnte.

Um eine Datenauswertung in Echtzeit zu ermöglichen, müssen im ersten Schritt zunächst Daten in Echtzeit an den Webservice übertragen werden können. Die Auswertungen müssen anschließend durchgeführt und die Berechnungsergebnisse angezeigt werden. Zur Datenübertragung wurde hierbei eine hardwaretechnische Lösung untersucht, die Data Miner genannt wurde. Dies ist im Essentiellen ein kleiner Computer, der die Daten der SPS abgreift, die Daten umwandelt und an die Elastic überträgt.

Der Data Miner wurde in zwei Phasen getestet. Die erste Phase hatte zum Ziel, die Daten von der Kläranlage in die Structured Data Storage zu übertragen. Bei der zweiten Phase sollten Daten kontinuierlich in die Elastic übertragen werden, um erste Echtzeitauswertungen als Dashboard innerhalb der Datenbank zu erstellen und somit einen POC einer späteren potenziellen digitalen Betriebsführung zu generieren.

Um die Daten in der ersten Phase übertragen zu können, mussten die unterschiedlichsten Fragestellungen geklärt werden. Da bei Kläranlagen als KRITIS-Unternehmen ein hoher Sicherheitsstandard herrscht, müssen Datenübertragungswege, die bei anderen Industrien irrelevant erscheinen können, evaluiert werden. Der Data Miner hat zum Zweck, zwei Datenübertragungswege sicherzustellen. Der erste ist die Datenübertragung von der Kläranlage, der zweite ist die Datenübertragung von dem Data Miner zur Datenbank. Im gleichen Zuge kann die Datenaufbereitung so vorgenommen werden, dass sie entweder direkt vom Data Miner selbst oder durch eine Datenschnittstelle in eine für die Datenbank passendes Format umgewandelt wird.

Bei der Datenübertragung zwischen Kläranlage und Data Miner musste zunächst die Frage der Datenquelle geklärt werden. Die Daten, insbesondere die Prozessdaten der Kläranlage, können an unterschiedlichen Stellen abgegriffen werden. Einerseits ist eine Verbindung mit den Leitrechnern der Kläranlage möglich, andererseits kann die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Kläranlage direkt die Variablen an den Data Miner übergeben. Zur Datenübertragung wurde der Data Miner an die SPS direkt angeschlossen, da zum Zeitpunkt der Entscheidung die Lösung über den Leitrechnern eine weitere Schnittstelle mit sich gebracht hätte. Das Funktionsprinzip einer SPS, kontinuierlich alle Variablen an die Leitstelle zu übertragen, macht es für die Anbindung einfacher, da somit nur Leserechte von extern notwendig sind. Mit diesem Hintergrund bildet sich eine Anbindung an die SPS einfacher und sicherer ab als an die zentrale Leitstelle, weswegen dieser Anbindungsprozess für den Data Miner gewählt wurde.

Nachdem die Daten vom Data Miner gesammelt wurden, wurden sie so vorbereitet, dass sie als Pakete an die Datenbank übertragen werden konnten. Die Datenübertragung zwischen Data Miner und Datenbank bedarf ebenfalls genauere Ausführung. Für die Datenübertragung wurde überlegt, ob das lokale Netz der Kläranlage verwendet werden kann. Es wurde jedoch schnell festgestellt, dass ein externes Gerät, angeschlossen an das Internet der Kläranlage, zu unsicher erscheinen kann. Gleichzeitig kann es aufgrund der oft ruralen Standorte der Kläranlagen vorkommen, dass Betreiber einen Router mit SIM-Karte für ihr Internet nutzen müssen und getaktete Verbindungen besitzen. Um die Kläranlagenbetreiber nicht mit unnötigen zusätzlichen Kosten zur Datenübertragung zu belasten, wurde der Data Miner mit einer eigenen SIM-Karte sowie Antenne ausgestattet. Eine Anbindung des Data Miners ist somit nur per Ethernet-Kabel an eine Schnittstelle des PLS sowie an einen Stromanschluss zu gewährleisten.

Der Test mit dem Data Miner wurde mit dieser Konfiguration zwischen August bis Oktober 2023 durchgeführt. In diesem Zeitraum wurde der Data Miner so konfiguriert, dass die Daten angepasst und übertragen wurden. Es kam oft zu Datenübertragungsausfällen, die aufgrund eines schwachen Mobilnetzes zurückzuführen waren. Nach dem Oktober 2023 wurde festgestellt, dass der Data Miner keine Daten mehr liefert. Als Ursache wurde festgestellt, dass der LAN-Anschluss über einen PoE-Anschluss (Power over Ethernet) erfolgte, worauf die Hardware nicht vorbereitet war und zerstört wurde. Trotz allem wurde der erste Test der Datenübertragung als erfolgreich bewertet, da die Daten der SPS in quasi Echtzeit (eingestellte Datenübertragung: alle 15 Minuten) bis zu diesem Zeitpunkt übertragen werden konnten. Zur Verbesserung der Hardware wurden folgende Schlüsse gezogen:

- Installation einer leistungsstärkeren LTE-Antenne am Data Miner zur kontinuierlichen Datenübertragung
- Berücksichtigung von PoE-Anschlüssen

Nach Anpassung des Data Miners unter Berücksichtigung obenstehender Punkte wurde dieser erneut Ende August bis Anfang Dezember 2024 auf der Pilotkläranlage getestet. In diesem Zeitraum konnten fast kontinuierlich Daten gesammelt werden, die für weitergehende Dashboards

eingesetzt wurden (Maßnahme 2: Datenaufbereitung). Der längste Zeitraum, an dem der Data Miner nicht lief, betrug 4 Tage.

Mit den Daten des Prozessleitsystems können Energieauswertungen oder weitere Auswertungen durchgeführt werden, die reine Online-Daten benötigen.

Viele Bemessungsvariablen werden auf Kläranlagen prozessbedingt im Labor erfasst und händisch in die Datensysteme übertragen. Solche werden nicht vom Data Miner erfasst. Sie spielen in der Bewertung von Kläranlagen eine bedeutende Rolle, da hiermit unter anderem die Belastung der Kläranlage berechnet wird. Um diese ebenfalls kontinuierlich erfassen zu können, wurden weitere Prozessanbindungsmöglichkeiten untersucht:

- REST API
- OPC UA
- DDE

Um die REST API zu nutzen, ist eine erweiterte Lizenz von Acron notwendig. Dies verursacht Extrakosten für den Kläranlagenbetreiber, die derzeit nicht gerechtfertigt werden können. Es ist davon auszugehen, dass auch zukünftige Kunden die eingeschränkte Version von Acron nutzen, sodass dieser Fall bei vielen potenziellen Kunden auftreten könnte. Aus diesem Grund bietet sich diese Schnittstelle zum derzeitigen Zeitpunkt nicht an.

Die Pilotkläranlage nutzt das Prozessleitsystem OPC UA, um mit Acron zu kommunizieren. Da jeweils nur ein System die Schnittstellen nutzen kann, war dieser Weg keine Option für den Data Miner.

An der DDE-Schnittstelle scheiterte es an der Datenübertragung, da die Daten, die im Acron-System vorliegen, nicht durch den Data Miner erkannt werden können.

Eine Anbindung an Acron ist schlussendlich nicht ohne Mehrkosten, die durch den Anlagenbetreiber getragen werden müssen, realisierbar. Somit kann eine Anbindung an Acron durch den getesteten Data Miner nicht erfolgen, sofern eine Serverlizenz nicht vorliegt. Sollte der Fall des Data Miners weiterverfolgt werden, bleibt somit die Option, es an die Prozessleitsysteme anzuschließen, die ausschließlich Online-Messwerte liefern können. Dies schränkt die Auswertungsmöglichkeit von Online-Daten ein.

Weitere Untersuchungen könnten in Zukunft ergeben, dass noch andere Möglichkeiten existieren, die bereits beschriebene oder weitere Schnittstellen nutzen, um die in den Archivdatensystemen gespeicherten Daten live zu übertragen.

2.2.5.2. Wissenschaftliche Begleitung – HSMS

Anfänglich diente die wissenschaftliche Begleitung der Definition und Wahl geeigneter Parameter sowie Kennzahlen der Pilotkläranlage, um die Arbeitspakete 4.1 bis 4.3 zu starten. Das deterministische Modell mit der Software Simba#, sowie die Energieanalyse nach DWA A-216, bedürfen teilweise vorgegebene Parameter, die aus den umfangreichen Betriebstagebüchern extrahiert oder mit statistischen Auswertungen gebildet werden müssen. Dieser Teil der wissenschaftlichen Begleitung fand bereits im Vorfeld des Arbeitspaketes statt und bildete die Grundlage, um die einzelnen Arbeitspakete bearbeiten zu können. Im späteren Projektverlauf bezog sich die wissenschaftliche Begleitung auf das Zurückspielen der Erkenntnisse und Berechnungsergebnisse des Arbeitspaketes 4.

2.2.5.3. Sicherheitsrelevante Betrachtungen - AVAW

Neben der Zusammenführung der Programme RITUNE, Elastic Cloud, Webservice und CBR ist die Gewährleistung der Datensicherheit und der Cyber Security ein äußerst wesentlicher Aspekt im Projekt. Zur Erfüllung der Anforderungen wurde eine Risikoanalyse durchgeführt, mit der verschiedene Bereiche zum Betrieb erläutert werden müssen. Die Risikoanalyse ergab, dass folgende Maßnahmen erfüllt, vorhanden oder dokumentiert sein müssen, damit der Service als „sicher“ eingestuft werden kann:

- Zugriffskontrollkonzept
- Zugriffsrechte
- Privilegierte Zugriffsrechte
- Authentifizierungsinformationen
- Sichere Authentifizierung
- Verschlüsselung bei der Datenspeicherung
- Verschlüsselung bei der Datenübermittlung
- Dokumentierte Betriebsabläufe
- Änderungsmanagement
- Trennung von Entwicklungs-, Test- und Produktivumgebungen
- Schutz vor Schadsoftware
- Protokollierung und Überwachung
- Management von technischen Schwachstellen
- Sichere Systemarchitektur und -konstruktion
- Ausgelagerte Entwicklung
- Sicherheitstests während der Entwicklung und bei Inbetriebnahme
- Schutz von Testdaten
- Adressierung von Sicherheitsaspekten in Lieferantenverträgen
- Kundenanwendung und Zugriffsverwaltung

Zugriffskontrollkonzept, Zugriffsrechte

Im Zugriffskontrollkonzept wird beschrieben, welche Rollen existieren, inklusive ihrer Funktion und Rechte. Hierbei wird zwischen Nutzerrollen sowie Rollen mit privilegierten Zugriffsrechten unterschieden, die für den Betrieb des Webservices notwendig sind. Je nach Anwenderwunsch werden dabei einem Nutzer des Services drei unterschiedliche Rollen vom Admin zugewiesen:

- Besitzer
- Bearbeiter
- Leser

Für alle regulären Anwendungsfälle wird eine eingeschränkte Zugriffskontrolle eingesetzt. Nutzer können so nur Zugriff auf Datensätze erlangen, mit dem sie in direktem Zusammenhang stehen. Kunden werden nach erfolgter Anmeldung und Kläranlagenregistrierung ihren Rollen durch den Admin zugewiesen. Somit ist ausgeschlossen, dass der Anwender auf Daten anderer Zugriff erlangt oder sich selbst erhöhte Berechtigungen erteilen kann.

Privilegierte Zugriffsrechte

Bei RECYBA sind zwei Arten von Administratoren vorgesehen:

- Systemadmins, dessen Hauptaufgabe die Verwaltung der Infrastruktur (Elastic, Container, Netzwerk ...) ist und mit der Vergabe von Nutzerrollen nichts zu tun haben
- Normale Administratoren, welche Nutzerberechtigungen verwalten (Website und Azure Back-End) und Zugriff auf alle Daten haben.

Authentifizierungsinformationen, sichere Authentifizierung, Kundenanwendung und Zugriffsverwaltung

Nach der Registrierung auf der Website wird dem Nutzer eine automatisierte E-Mail versendet. Mindestanforderungen des Passwortes werden dem Nutzer zur Verfügung gestellt und für die Passwortvergabe vorausgesetzt.

Eine Multifaktorauthentifizierung via Google Authenticator oder Microsoft Authenticator wird als Option angeboten.

Verschlüsselung bei der Datenspeicherung & Datenübermittlung

Die Verwendung der Azure Cloud als Basis sowie die Nutzung der Elastic Cloud als Struktur stellt die notwendigen Anforderungen der Verschlüsselung bei der Datenspeicherung zur Verfügung. Über Https-(443)-Ports werden Zugriffe von außen (z.B. durch Nutzer / Kunden oder über die RITUNE-Server) über ein Gateway verschlüsselt an die Elastic Cloud oder an das Web-Frontend weitergeleitet.

Dokumentierte Betriebsabläufe, Änderungsmanagement, Trennung von Entwicklungs-, Test- und Produktivumgebungen, Protokollierung und Überwachung

Der Zustand der zentralen Datenbank wird regelmäßig (min. 1 x pro Woche) auf einem getrennten Storage Account in Azure gesichert und dort mindestens 3 Monate vorgehalten. Alle separaten Dienste (z.B. Webservice) stellen lediglich eine Momentaufnahme des Datenzustandes dar und können dementsprechend aus einer Datenbanksicherung wiederhergestellt werden.

Weiterhin greifen die Standard-Sicherungsrouitinen des Azure Abonnements.

Zur aktiven Überwachung von Änderungen am und im System weist die Azure Sicherheit definierte Anforderung für die Überwachung auf. Zu den aktiven Überwachungstools zählen der Microsoft Monitoring Agent (MMA) und System Center Operations Manager.

Der Webservice wird regelmäßig an den Anforderungen des Nutzers angepasst. Es erfolgt eine Trennung in Entwicklungs-, Test- und Produktivumgebung, mit Hilfe dessen Features zunächst implementiert, anschließend anhand realer Testpersonen auf Anwendbarkeit überprüft und schließlich in der Produktivumgebung freigeschaltet wird.

Neben der automatischen Dokumentation von erfolgten Anmeldeversuchen und Änderungen werden Änderungen an der Infrastruktur oder am Inhalt über das vorhandene Werkzeug Jira dokumentiert und als Historie vorgehalten.

Schutz vor Schadsoftware

Alle eingesetzten Technologien sind durch geschulte Dienstleister erstellt, die den Sicherheitsanforderungen entsprechen. Die Produktivumgebung wird über Docker-Container oder über App-Servicepläne realisiert und erfordern damit keine Virtuelle Maschinen oder Schnittstellen.

Notwendige Anpassungen an der Firewall und an den Programmen sowie an der Architektur werden schnellstmöglich in Auftrag gegeben. Sollte einer der Services nicht mehr für den Betrieb der Website notwendig sein, wird die Kommunikation über die Firewall geblockt.

Management technischer Schwachstellen

Folgender Prozess wird zur Identifizierung und anschließenden Behebung technischer Schwachstellen implementiert:

1. Entdeckung z.B. via PEN-Tests (Penetration Test), Überwachung der CVE-Listen (Common Vulnerabilities and Exposures)
2. Risikobewertung
3. Behebung
4. Nachgehende Prüfung
5. Kommunikation der Auswirkung und der Risikobewertung an Stakeholder, Nutzer (falls zutreffend)
6. Nachbesprechung der Herkunft der Schwachstelle sowie der Reaktionsgeschwindigkeit nach Entdeckung

Sichere Systemarchitektur und -konstruktion

Die sichere Systemarchitektur und -konstruktion lässt sich mithilfe der Abbildung 2 nachvollziehen. Insbesondere wird im Schaubild deutlich, dass die Zugriffsrechte der Nutzer sowie externe Software nur auf das Notwendigste beschränkt wird. Gleichzeitig erfolgt eine verschlüsselte Verbindung über Https (443). Eine weitergehende Segregation, oder „räumliche Trennung“ ist durch die unterschiedlichen Ressourcengruppen gegeben, in denen die Systeme liegen. So können notwendige Rechte gezielt verteilt werden.

Ausgelagerte Entwicklung

Durch die Vereinbarung von „Technischen und organisatorischen Maßnahmen“ der eingesetzten Entwickler kann sichergestellt werden, dass die Eigentümerschaft des Systems beim Auftraggeber verbleibt und frei von Schadsoftware ist.

Sicherheitstests während der Entwicklung und bei Inbetriebnahme

Es wurde ein PEN-Test (Penetration-Test) durchgeführt, der das System auf Schwachstellen untersuchte. Ein solcher PEN-Test wird regelmäßig, z.B. jährlich, wiederholt. Diese Tests werden zur Überprüfung der Resilienz gegenüber Hackerangriffen eingesetzt. Das bedeutet, bekannte Methodiken zum Eindringen in ein System werden automatisch oder manuell geprüft. Am Ende entsteht ein Bericht zur Behebung der Schwachstellen, die, je nach Schweregrad, priorisiert werden. Nebenbei wurde das System in automatische Systemüberprüfungen eingebunden. Diese nennen sich DAST (Dynamic Application Security Testing) und SAST (Static Application Security Testing). DAST betrachtet dabei den Webservice während des Betriebes. Ähnlich dem PEN-Test, jedoch weniger sorgfältig, wird der Webservice dabei kontinuierlich überwacht. Beim SAST wird der Code auf Schwachstellen überprüft. Dies geschieht jedes Mal, wenn der Webservice neu aufgesetzt wird. Die daraus resultierenden Schwachstellen werden aggregiert und anschließend mithilfe eines „Gate-Prozesses“ überprüft, ob die Anforderungen der Best-Practices zur Programmierung erfüllt wurden.

Schutz von Testdaten

Zum Schutz der Testdaten der Kläranlagen ist ein Prozess zu durchlaufen, bevor diese Daten in die Testumgebung kopiert werden können. Hierfür müssen sorgfältig ausgewählte Daten nach Genehmigung des Geschäftsführers der jeweiligen Gesellschaft entsprechend der Produktivumgebung geschützt werden, damit sie in die Testumgebung hochgeladen werden

dürfen. Dies beinhaltet die oben aufgeführten Punkte, insbesondere Schutz vor Schadsoftware und die Verschlüsselung bei der Datenspeicherung und -übertragung.

Adressierung von Sicherheitsaspekten in Lieferantenverträgen

Zur Einhaltung der Sicherheitsaspekten, auch in Bezug auf Lieferantenbeziehungen, sind für den späteren Betrieb verschiedene betriebliche Vereinbarung der Vertragspartner zu treffen. Dies beinhaltet die regelmäßige Überprüfung der getroffenen Prozesse und Kontrollen, die Verpflichtung, regelmäßige Garantieberichte über die Effektivität der implementierten Kontrollen bereitzustellen sowie sicherheitsrelevante Normen, wie z.B. die ISO 27001, einzuhalten.

Die fortlaufende Abstimmung mit der IT-Sicherheit stellt sicher, dass die notwendigen Anforderungen eines KRITIS-Unternehmens erfüllt werden.

2.2.6. Maßnahme 6: Funktionstests

2.2.6.1. Softwaretechnische Implementation – AVAW

In der Projektskizze sollte der Webservice mit der Pilotkläranlage getestet werden. Dies sollte die Programmiererergebnisse testen und eine Verbesserung des Produktes erreichen. Dieser Plan wurde abgeändert, indem die gesamten von Avacon Wasser betriebenen Kläranlagen nach der groben Entwicklung des Services in den Testprozess involviert wurden. Grund hierfür ist eine größere Bandbreite an Meinungen und somit ein besseres Feedback, welches anschließend im Webservice implementiert werden kann. Aufgrund der Eigenschaft, diese Software als Webservice zu erarbeiten, entfällt eine Installation und das Testen der Software ist einfach möglich.

2.2.6.2. Testen auf Anwendbarkeit – HSMS

Das RECYBA-Tool oder der Technologiedemonstrator wird von der Hochschule Magdeburg-Stendal auf Anwendbarkeit geprüft. Begleitend zum jeweiligen Projektstand, wurden die Schwerpunkte Anmeldung und Anlegen von neuen Kläranlagen sowie die Abfrage und Darstellung der Reinigungsverfahren überprüft. Die vorab erarbeiteten Berechnungen und Applikationen wurden begleitend mit Live-Daten der Pilotkläranlage getestet. So wurden z.B. Anwendungen mit den Komponenten der „Mechanischen Reinigung“ überprüft. Der spezifische Lufteintrag eines Sandfangs kann dabei überprüft werden. Für diese Überprüfung sollen bereits eingegebene Informationen aus dem Anmeldeprozess mit nötigen Handeingaben zur Berechnung kombiniert werden. Bei den Handeingaben sollen nur sinnvolle Wertebereiche eingegeben werden dürfen. Es sollen Hilfestellungen oder erklärende Texte zum benötigten Wert eingespielt werden. Die Berechnung zeigt dann den erzielten spezifischen Lufteintrag und vergleicht diesen mit einem, aus der Literatur stammenden, idealen spezifischen Lufteintrag. Weiterhin sollen Hilfestellungen oder Optimierungsmaßnahmen angegeben werden, um dem Idealwert näher zu kommen. Die designtechnische Umsetzung und Implementierung im Web-Tool wurde je nach Fertigungsstand mitbetrachtet. Neben der Funktionalität wurde auch die Reihenfolge oder die chronologische Abfrage von Reinigungsverfahren und Verbrauchswerten geprüft, um einen Benutzerfreundlichen und intuitiven Ablauf zu gewährleisten.

2.3. Voraussichtlicher Nutzen

Das entwickelte Web-Tool soll den Kläranlagenbetreibern oder dem betreuenden Personal die Möglichkeit geben, energetische Optimierungen zu identifizieren und erste Kalkulationen durchzuführen. Dazu wurden in der entsprechenden Dienstleistungsstufe eine niedrigschwellige erste Berechnungsvariante umgesetzt, die sich an dem Regelwerk „DWA A-216, Energiecheck

und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“ orientiert. Hierbei können anhand von Handeingaben oder Archivdaten der entsprechenden Kläranlagenaggregate die Stromverbräuche einzelner Behandlungsstufen oder Anlagenkomponenten als „IST-Verbrauch und als Ideal-Verbrauch“ ermittelt werden. In den einzelnen Berechnungen oder als Gesamtanalyse der Anlage werden dann die Stromverbräuche als Ist-Werte und Idealwerte graphisch dargestellt. Weiterhin werden auch Kennzahlen oder Benchmarks wie die spezifische Rührintensität, der spezifische Lufteintrag oder der spezifische Energieverbrauch der Komponenten als Ist-Wert und Ideal-Wert angezeigt, sodass ein Vergleich mit Literaturangaben möglich ist. Zusätzlich werden in den Berechnungen auch Einsparmaßnahmen oder Optimierungsansätze aufgezeigt, um den Idealwert möglichst nahe zu kommen. Im folgenden Verlauf werden nur Auszüge der Energieverbräuche in kWh/a, anhand realer Daten der Pilotanlage aufgezeigt und eine mögliche Gesamteinsparung berechnet. Anschließend wird diese Gesamteinsparung auch in CO₂-Äquivalente ausgegeben. Eine Übertragbarkeit auf andere Kläranlagen in Deutschland ist insoweit gegeben, da die abgebildeten Berechnungen modular aufgebaut sind. In den einzelnen Abwasserbehandlungsstationen oder Verfahrensschritten können schon bei der Kläranlagenkonfiguration individuell vorhandene Aggregate oder Verfahrensprinzipien hinterlegt und in den Berechnungen berücksichtigt werden.

Berechnung Zulaufpumpwerk

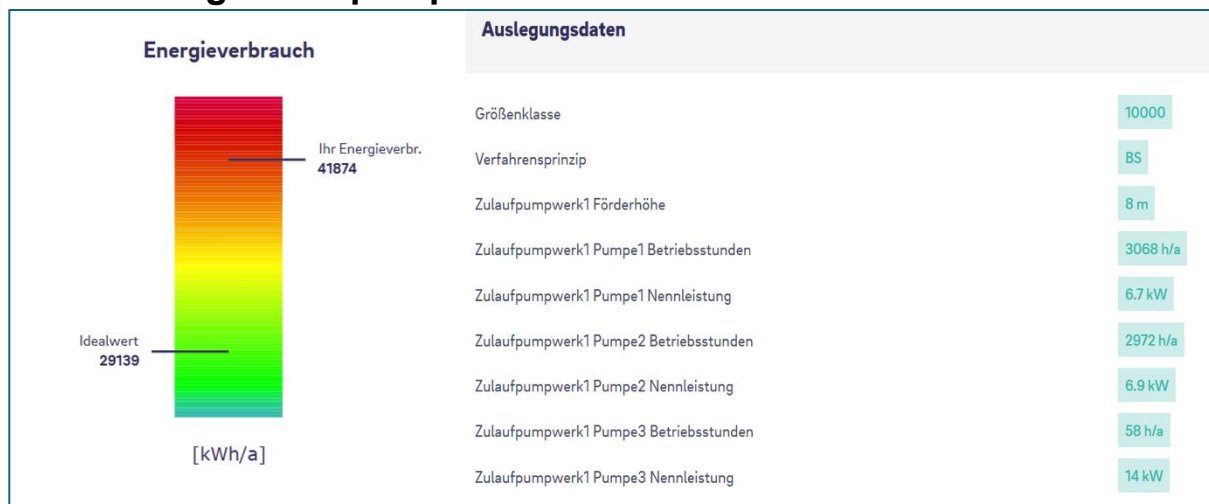


Abbildung 31: Auszug, Auswertung Zulaufpumpwerk, Quelle: Klärwert

Dargestellt ist die Auswertung des Zulaufbauwerks, dies ist typischerweise die erste Station einer Kläranlage. Im Zulaufbauwerk kann zwischen Hebewerken oder Pumpen unterschieden werden und die entsprechende Anzahl an Aggregaten hinterlegt werden. Benötigt werden die Zulaufmenge, eine Förderhöhe und die Betriebsstunden, sowie die Leistung der Aggregate. Auf der Pilotanlage ist der Kläranlagenzulauf über 3 Tauchmotorpumpen gesteuert, zwei dieser Pumpen sind dabei relativ ähnlich ausgeführt und bedienen den Normallastbereich, die dritte Pumpe ist für den Hochlastbetrieb ausgelegt.

Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch für diese Aggregate mit einem Ideal-Wert von 29.139 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch von 41.874 kWh/a.

Berechnung Rechen

Der Rechen schließt sich dem Verfahrensablauf an und kann bautechnisch in verschiedenen Ausführungen umgesetzt werden. Auf der Pilotanlage ist ein Siebrechen installiert, weiterhin ist eine Transportschnecke vorhanden, die das anfallende Rechengut abtransportiert. Diese beiden

Aggregate werden mit Betriebsstunden und Nennleistung hinterlegt. Für die Idealwertberechnung wird zusätzlich die Belastung der Kläranlage als Einwohnerwert benötigt.

Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch für diese Aggregate mit einem Idealwert im Bereich von 400-800 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch von 2.424 kWh/a. Weiterhin werden in Abbildung 32 auch die Auslegungsdaten oder Berechnungsgrundlagen gezeigt.

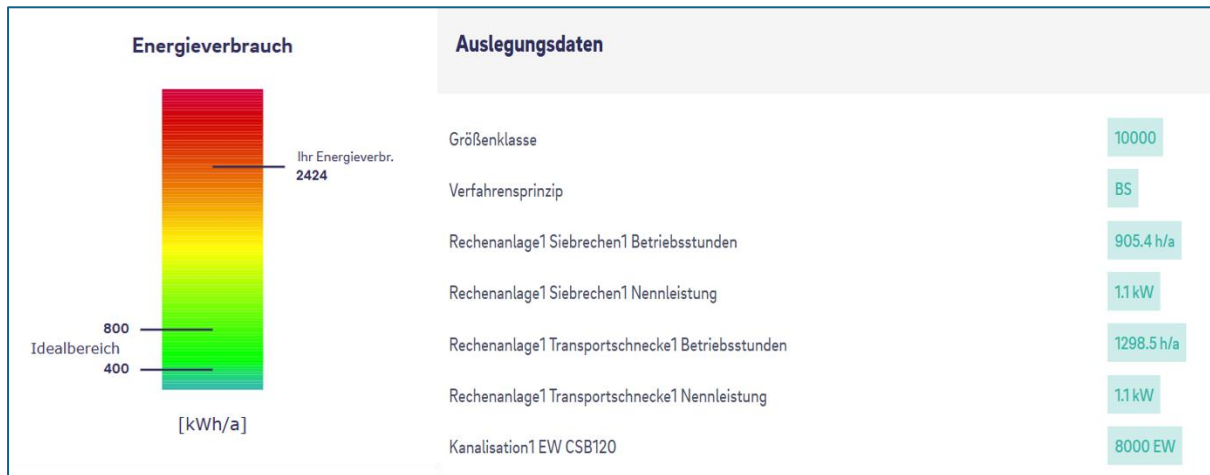


Abbildung 32: Auszug, Auswertung Rechen, Quelle: Klärwert

Berechnung Sandfang

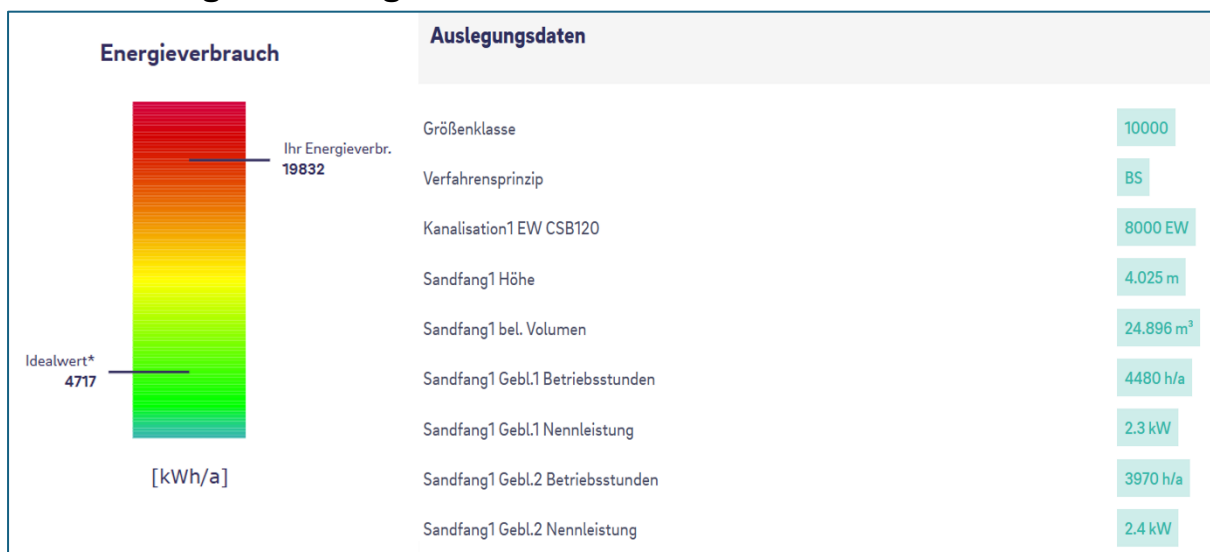


Abbildung 33: Auszug, Auswertung Sandfang, Quelle: Klärwert

Abbildung 33 zeigt Auszüge der Auswertung des Sandfangs. Ein Sand- und Fettfang bildet typischerweise die dritte Station im Verfahrensablauf auf kommunalen Kläranlagen. Die Bauausführungen variieren auch für diese Verfahrensstufe, das Verfahrensprinzip benötigt allerdings meistens ein definiertes Volumen und Einblastiefe des Reaktors oder Beckens. Weiterhin werden Kompressoren oder Gebläse benötigt, um die einzublasende Luft bereitzustellen. Auf der Pilotanlage ist ein Rundsandfang installiert, der mit zwei Gebläsen ausgestattet ist. Daher werden Leistung und Betriebsstunden sowie die Geometrien des Bauwerks

eingetragen. Die Idealwertberechnung benötigt zusätzlich die Belastung der Kläranlage in Einwohnerwerten.

Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch für diese Aggregate mit einem Ideal-Wert von 4.717 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch von 19.832 kWh/a.

Berechnung BIO-P-Becken



Abbildung 34: Auszug, Auswertung Rührwerke BIO-P Becken, Quelle: Klärwert

Eine biologische Phosphorelimination oder umgangssprachlich „BIO-P“ genannt, ist nicht auf jeder kommunalen Kläranlage vorhanden. Auch die Bauformen der Reaktoren oder Becken können variieren, eine niedrigschwellige Berechnung wurde daher nur über die Rührwerksintensität und den Energieverbrauch dieser Rührwerke umgesetzt. Die Pilotanlage hat synchron zu den beiden Belebungsbecken auch zwei Bio-P-Becken, diese Reaktoren sind als Kombibecken ausgeführt und direkt im Belebtschlammbecken integriert. Die beiden vorhandenen Tauchmotorrührwerke werden mit Betriebsstunden und Leistung hinterlegt. Für die Idealwertberechnung wird das Volumen der biologischen Phosphorelimination benötigt.

Abbildung 34 zeigt dabei nur eine graphische Auswertung der Energieverbräuche. Da beide Becken identisch ausgeführt sind, wird hier auf die zweite Grafik verzichtet. Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch für ein Becken mit einem Idealwert im Bereich von 4.292-6.868 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch eines Beckens von 7.446 kWh/a.

Berechnung Belebungsbecken

Das Herzstück der Abwasseraufbereitung auf kommunalen Kläranlagen bilden die Belebtschlammreaktoren. Die Verfahrensweise, sowie die Bauausführung von Belebungsbecken kann variieren, die Berechnung der energetisch intensiven Belüftung dieses Prozesses ist von vielen Randbedingungen und Parametern abhängig. Daher ist eine niedrigschwellige Berechnung oder Auslegung der Belüftungssystemen nicht zielführend, da entweder eine deutlich bessere Datenverfügbarkeit gewährleistet werden müsste oder mit den bisherigen stark vereinfachten Ansätzen, eine zu ungenaue und nicht aussagekräftige Analyse möglich wäre. Für eine niedrigschwellige Berechnung der Belebungsstufe eignet sich daher die Betrachtung der Rührintensität. Auf der Pilotanlage sind vier Zentralrührwerke verbaut. In jedem Belebungsbecken befinden sich zwei dieser Rührwerke. Die Abbildung 35 zeigt dabei eine der grafischen Auswertungen eines Belebungsbeckens. Die Auslegungsdaten zeigen dagegen alle Angaben der Berechnung. Angegeben werden die Volumina der Belebtschlammreaktoren sowie die Betriebsstunden und Leistungen der einzelnen verbauten Zentralrührwerke.

Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch für ein Becken mit einem Idealwert von 10.184 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch eines Beckens von 18.396 kWh/a.

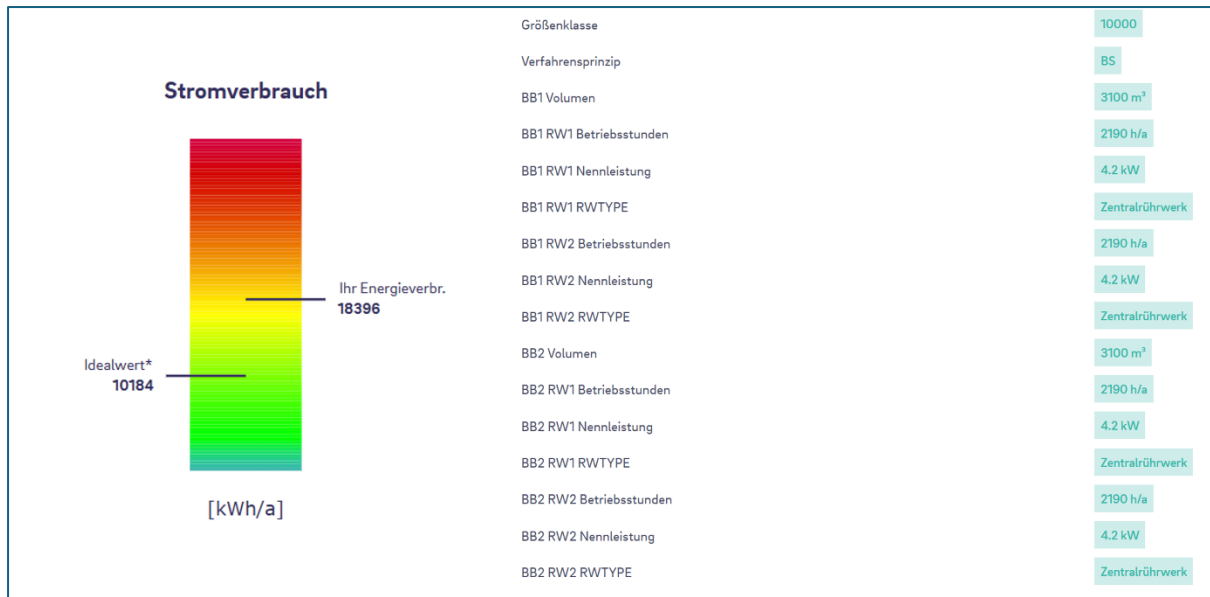


Abbildung 35: Auszug, Auswertung Rührwerke Belebungsbecken, Quelle: Klärwert

Berechnung Nachklärbecken



Abbildung 36: Auszug, Auswertung Räumernachklärung, Quelle: Klärwert

Abbildung 36 zeigt Auszüge der Berechnung der Nachklärung. Vom Verfahrensschema ist die Nachklärung eine der letzten Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen. Nach einer Beruhigung und Sedimentation kann das gereinigte Abwasser anschließend, über Messstellen zur Dokumentation, in den Vorfluter übergeben werden. Eine vierte Reinigungsstufe existiert auf kommunalen Kläranlagen in der hier betrachteten Größenklasse eigentlich nicht. Der anfallende Schlamm aus der Sedimentation bildet daher einen weiteren Verfahrensstrang in der Abwasserreinigung. Um diesen Schlamm abzuführen, sind die Reaktoren speziell ausgeformt und benötigen spezielle Räumertechnik. Auf der Pilotanlage wird aufgrund der geringen Auslastung nur ein Nachklärbecken betrieben. Dieses Becken ist mit einem Längsräumern ausgestattet, der kontinuierlich den sedimentierten Schlamm zusammenschiebt und Richtung Abzugsbauwerk

befördert. Für die IST-Wertberechnung werden die Betriebsstunden und die Leistung des Aggregates hinterlegt. Für die Idealwerte wird wieder auf Literaturwerte und Benchmarks zurückgegriffen, daher zeigt die Grafik auch einen weiten Bereich der ermittelten Idealwerte. Die Bauausführungen von Räumernanlagen variieren, daher bilden die bekannten Idealwerte auch eine breitere Palette von Leistungsaufnahmen der Aggregate ab.

Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch des Beckens mit einem Idealwert im Bereich von 2.628-8.760 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch eines Beckens von 3.504 kWh/a.

Berechnung Schlammentwässerung

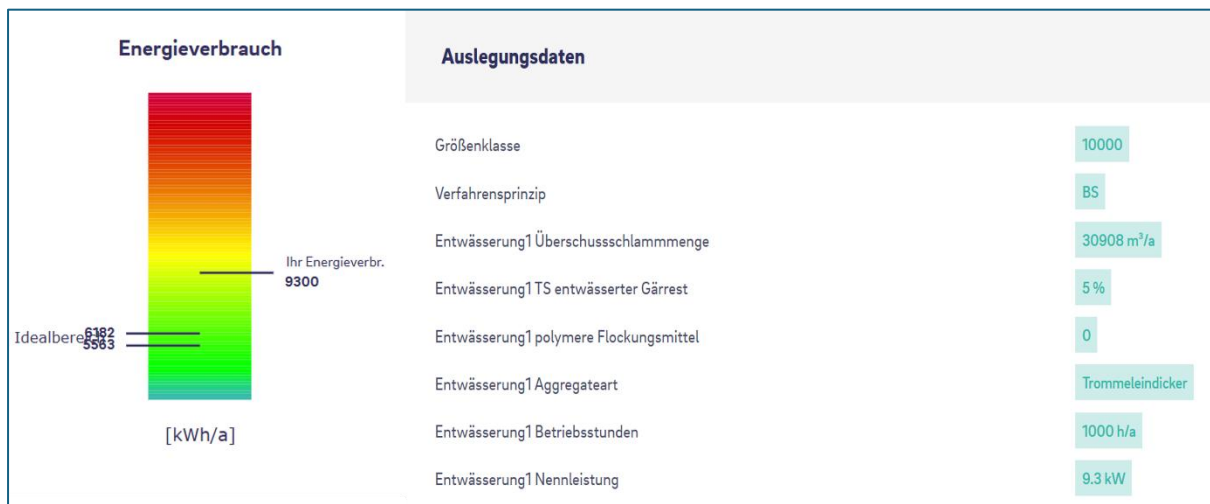


Abbildung 37: Auszug, Auswertung Schlammentwässerung, Quelle: Klärwert

Die Schlammentwässerung spielt im Verfahrensstrang der Schlammbehandlung eine zentrale Rolle auf kommunalen Kläranlagen. Neben dem gereinigten Abwasser fällt in der Abwasserreinigung auch noch Klärschlamm an. Um die Menge und somit auch die Kosten gering zu halten, wird der Schlamm eingedickt und entwässert. Es sind unterschiedliche Verfahren sowie etliche maschinentechnische Lösungen am Markt vorhanden. Auf der Pilotanlage wird ein Trommeleindicker betrieben, für die Berechnungen werden daher die Betriebsstunden und Leistung der Aggregate hinterlegt. Die Idealwerte des Stromverbrauchs ergeben sich aus spezifischen Benchmarks die je nach Verfahrenstyp hinterlegt sind. Diese werden mit der zu behandelnden Schlammmenge kombiniert.

Die Berechnung ermittelt den Stromverbrauch dieses Aggregates mit einem Ideal-Wert im Bereich von 5.563-6.182 kWh/a und zeigt den ermittelten Ist-Verbrauch eines Beckens von 9.300 kWh/a.

Zusammenfassung

Energieverbrauch

	Ideal-Wert	IST-Wert	
	[kWh/a]	[kWh/a]	
Zulaufpumpwerk	29.139	41.874	
Rechen	400	2.424	
Sandfang	4.717	19.832	
Bio-P Becken 1.	4.292	7.446	
Bio-P Becken 2.	4.292	7.446	
Belebungsbecken 1.	10.184	18.396	
Belebungsbecken 2.	10.184	18.396	
Nachklärung	2.628	3.504	
Schlammwässerung	5.563	9.300	
Summe:	71.399	128.618	
	Einsparung:	57.219	kWh/a

CO₂-Äquivalent

363	gCO ₂ /kWh
20770497,0	gCO ₂
20,8	tCO ₂

Durch die Berechnungen kann ein Einsparpotential von 57.219 kWh/a für die Pilotkläranlage aufgezeigt werden. Mit dem vom Umweltbundesamt ermittelten Äquivalent von 363 gCO₂/kWh für 2024, ergibt sich eine Einsparung von 20,8 tCO₂/a. (9). Für die Pilotanlage wurden noch weitere umfangreiche Berechnungen und verfahrensoptimierende Simulationsstudien angefertigt. Diese Ausarbeitungen zeigen ein weiteres Potential zur Energieeinsparung, sind aber zum aktuellen Stand noch nicht in der Webapplikation umgesetzt.

Übertragung auf Deutschland

Ziel des Webservices ist es, die Energieeinsparungen auf einfache Weise darstellen zu können und mithilfe der automatischen Auswertung einen hohen Skalierungseffekt zu erzielen. Dementsprechend ist eine Übertragung auf ganz Deutschland möglich. Die aufgezeigte Energieeinsparung von 57.219 kWh/a entspricht einer prozentualen Einsparung von ca. 15%. Mit einem Gesamtenergieverbrauch der Kläranlagen Deutschlands von ca. 3,37 TWh/a sowie einer Zielabdeckung von 47% der Kläranlagen Deutschlands könnten mit dem Werkzeug theoretisch eine Energieeinsparung von umgerechnet 237 GWh/a aufgezeigt werden. Die subsequente Energieoptimierung würde eine CO₂-Einsparung von ca. 86.000 tCO₂/a bedeuten.

2.4. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden folgendermaßen veröffentlicht:

- Website über die URL <https://klaerwert.com>
- Fachartikel in der Fachzeitschrift „Wasserwirtschaft Wassertechnik“ (10)

Literaturverzeichnis

1. **DWA Arbeitsgruppe BIZ-1.1 "Kläranlagen-Nachbarschaften"**. 30. *Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen*. Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. [DWA], 2017.
2. **Schuster, Oliver**. *Smarte Digitale Transformation in der Wasserwirtschaft*. Hof : Institut für Wasser- und Energiemanagement der Hochschule Hof, 2018.
3. **Müller-Czygan, Günter**. KOMMUNAL 4.0 - Digitalisierung und Vernetzung in der Wasserwirtschaft. [Buchverf.] Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp. 52. *Essener Tagung für Wasserwirtschaft "Wasser und Gesundheit"*. Aachen : Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., 2019, 46.
4. **Track, Dr. Thomas**. *Industriewasser 4.0 - Potenziale und Herausforderungen der Digitalisierung für die industrielle Wasserwirtschaft*. Frankfurt am Main : DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., 2018. 978-3-89746-210-6.
5. **Wiese, Jürgen**. *Transparente Prozessüberwachung von Biogasanlagen und Kläranlagen durch Einsatz moderner Mess- und Automationstechnik*. Hamburg : Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, 2014. Habilitationsschrift.
6. **Drewniok, Christian**. Objektlokalisierung durch Adaption parametrischer Grauwertmodelle und ihre Anwendung in der Luftbildauswertung. [Buchverf.] Herbert Fiedler, Oliver Günther und Werner Grass. *Ausgezeichnete Informatikdissertationen 1999*. Wiesbaden : Springer Vieweg in Springer Science + Business Media, 2000, S. 52-62.
7. **Shuai, Yue, et al**. Multi-Attention Network for Sewage Treatment Plant Detection. *Sustainability*. 2023, 15.
8. **Hobiger, Gerhard**. *Ammoniak im Wasser - Ableitung einer Formel zur Berechnung von Ammoniak in wässrigen Lösungen*. Wien : Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 1996. 3-85457-345-6.
9. **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit**. Umweltbundesamt. *Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen*. [Online] 18. Mai 2018. [Zitat vom: 02. April 2019.] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen?sprungmarke=Strommix#Kraftwerke>.
10. **Wiese, Prof. Dr.-Ing. Jürgen, et al**. Energieeffizienzanalysen für kleinere und mittlere Kläranlagen. *Wasserwirtschaft Wassertechnik*. 6 2024, S. 22-27.