

## Projekt AZ 34182/01

# Entwicklung eines Verfahrens zur Behandlung von Molkereiabwasser in Pflanzenkläranlagen für kleine biologisch wirtschaftende Betriebe

Abschlussbericht

gerichtet an:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
Referat 23 Wasserwirtschaft und Bodenschutz  
An der Bornau 2  
49090 Osnabrück

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

Bearbeitung:

wasserWerkstatt  
Dr.-Ing. Christian Karpf  
Krieschendorfer Str. 27  
01326 Dresden



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Karpf', is written over a horizontal dotted line.

Dresden, 28.02.2025

.....  
Christian Karpf

## Inhalt

1	Zusammenfassung.....	7
2	Einleitung.....	8
2.1	Ausgangslage und Motivation.....	8
2.2	Zielstellungen des Projektes.....	9
2.3	Einordnung des Projektes in die Förderleitlinien der DBU.....	9
3	Arbeitsablauf und Schwerpunkte der Projektarbeit 2019- 2024.....	10
4	Stand der Wissenschaft.....	11
4.1	Besonderheiten von Molkereiabwasser.....	11
4.2	Abbau organischer Abwasserinhaltsstoffe (CSB, BSB).....	12
4.3	Stickstoffelimination.....	12
4.4	Phosphorelimination.....	13
4.5	Desinfektions- und Reinigungsmittel.....	13
4.6	Verfahrenstechnologien.....	13
4.7	Rückschlüsse und Fragestellungen für das Projekt.....	14
5	Vorauswahl einer Verfahrenstechnologie.....	15
5.1	Technische Rahmenbedingungen, Mindestanforderungen an die Abwasserreinigung, Abwasseranfall, Mengen und Konzentration.....	15
5.2	Vorauswahl einer Verfahrenstechnologie nach DWA-A262.....	17
6	Laborversuche.....	18
6.1	Fragestellungen und Versuchsphasen.....	18
6.2	Aufbau der Säulenversuche.....	19
6.2.1	Versuchszeitraum.....	19
6.2.2	Konfiguration der Säulen.....	19
6.2.3	Messtechnik und Analysen.....	21
6.3	Plausibilität und Aufbereitung der Messwerte.....	21
6.4	Auswertungsmethoden.....	21
6.4.1	Ermittlung von Wirkungsgrad und Flächenbelastung.....	21
6.4.2	Statistische Verfahren.....	21
6.4.3	Regression.....	22
6.5	Ergebnisse der Säulenversuche.....	23
6.5.1	Zulaufkonzentrationen.....	23
6.5.2	Untersuchungen an Säulenreihe S2.....	23
6.5.3	Vergleichende Untersuchungen an Säulenreihe S1 und S2.....	27
6.6	Diskussion der Ergebnisse der Säulenversuche und Schlussfolgerungen.....	30
7	Konzeption und Auslegung der Anlage am Standort Mahlitzsch.....	31
7.1	Bemessungswerte und Datengrundlage.....	31
7.2	Auslegung der Anlagengröße.....	31
7.3	Beschickungssystem.....	32
7.3.1	Entwurf Beschickungssystem Filterstufe 1.....	32
7.3.1.1	Simulationsergebnisse Entwurfsplanung Filterstufe 1.....	33
7.3.1.2	Variantenbetrachtung Filterstufe 1.....	35
7.3.1.3	Einfluss der Länge der Zulaufleitung und des Verlustbeiwerts bei Stufe 1.....	39
7.3.2	Entwurf Beschickungssystem Filterstufe 2.....	40
7.3.1.1	Simulationsergebnisse Entwurfsplanung Filterstufe 2.....	41
7.3.1.2	Variantenbetrachtung Filterstufe 2.....	42
7.3.1.3	Einfluss des Verlustbeiwerts der Zulaufleitung und Höhe der Vorlage bei Stufe 2.....	45

8	Standorte der großtechnischen Anlagen.....	47
8.1	Standort Mahlitzsch.....	47
8.1.1	Vorklärung (MKG).....	47
8.1.2	Bodenfilter.....	47
8.1.3	Versickerung und Ablauf.....	47
8.1.4	Steuerung und Energieverbrauch.....	47
8.2	Standort Dittmannsdorf.....	48
8.2.1	Anlagenbeschreibung.....	48
8.3	Unterschiede zwischen den Standorten Mahlitzsch und Dittmannsdorf.....	48
8.4	Anlagenbetrieb an den Standorten.....	49
8.4.1	Anlagenbetrieb am Standort Mahlitzsch.....	49
8.4.2	Anlagenbetrieb am Standort Dittmannsdorf.....	50
9	Messungen.....	50
9.1	Messtechnik.....	50
9.2	Mahlitzsch.....	50
9.2.1	Abwasseraufkommen und Beschickung.....	50
9.2.2	Rezirkulation.....	51
9.2.3	Wochengang.....	52
9.2.4	Beschickungszyklen.....	52
9.2.5	Konzentration, Frachten und Wirkungsgrad am Standort Mahlitzsch.....	54
9.2.6	Einfluss von Temperatur und pH auf die Reinigungsleistung.....	57
9.2.7	Kolmation der 1. Stufe.....	57
9.2.8	Betriebliche Aspekte.....	58
9.3	Messungen am Standort Dittmannsdorf.....	58
9.3.1	Abwasseraufkommen und Beschickungsmengen.....	58
9.3.2	Konzentrationen, Frachten und Reinigungsleistung am Standort Dittmannsdorf.....	60
9.4	Gemeinsame Auswertung der Datensätze der Modellstandorte.....	62
9.4.1	Hydraulische Flächenbelastung.....	62
9.4.2	Mittlere Frachtbelastung der Filterfläche.....	63
9.4.3	Stickstoffabbau.....	64
9.4.4	Phosphorelimination.....	65
9.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	65
10	Öffentlichkeitsarbeit, Verwertung.....	66
11	Literatur.....	67
12	Anlagen.....	69
12.1	Anlage Zusammenfassung Modellergebnisse hydraulische Berechnung Stufe 1.....	70
12.2	Anlage Zusammenfassung Modellergebnisse hydraulische Berechnung Stufe 2.....	71
12.3	Anlage: Lageplan PKA Hof Mahlitzsch.....	74
12.4	Aufbau der Pflanzenbeete (Hof Mahlitzsch).....	75
12.5	Fotodokumentation der Großanlage Hof Mahlitzsch.....	76
12.6	Anlage: Lageplan PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft.....	78
12.7	Längsschnitt PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft.....	79
12.8	Fotodokumentation Bau der PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft.....	80
12.9	Wasserstands-Volumen-Beziehung für den Pufferspeicher am Standort Mahlitzsch.....	82
12.10	Zulaufganglinien.....	83
12.11	Wochenganglinien am Standort Mahlitzsch 2022-2024.....	85
12.12	Beschickung Mahlitzsch, Filterstufe 1.....	87
12.13	Beschickung Mahlitzsch Filterstufe 2.....	88
	.....	88
12.14	Zulaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch.....	89

12.15	Ablaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch.....	92
12.16	Konzentrationsmessungen im Zwischenbehälter (ZB) am Standort Mahlitzsch.....	95
12.17	Korrelationsuntersuchungen am Standort Mahlitzsch.....	96
12.18	Abwasseraufkommen PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft.....	97
12.19	Zulaufkonzentrationen PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft.....	100
12.20	Ablaufkonzentrationen PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft.....	103
12.21	Vergleichende Analysen der Modellstandorte.....	107

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Säulenversuche.....	20
Abbildung 2: Boxplots der Zulaufkonzentration an CSB und TKN.....	23
Abbildung 3: Flächenbelastung (FB), Ablaufkonzentration (CSB Ab) und Wirkungsgrad des CSB Abbaus (Wirk CSB) an Säulenreihe S2.....	24
Abbildung 4: Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade der Stickstoffelimination an Säulenreihe S2.....	25
Abbildung 5: Wirkungsgrad CSB, N Abbau an Säulenreihe 2.....	26
Abbildung 6: Ablaufwerte der Säulenreihe S2 in Abhängigkeit der Temperatur.....	26
Abbildung 7: Ablaufwerte der Säulenreihe S2 in Abhängigkeit des pH-Wertes.....	27
Abbildung 8: CSB-Ablaufwerte differenziert nach Versuchsphasen und Säulenreihe.....	28
Abbildung 9: Ablaufwerte Stickstoff differenziert nach Versuchsphasen und Säulenreihe.....	29
Abbildung 10: Druckverhältnisse Stufe 1, Entwurf.....	34
Abbildung 11: Abwasserverteilung Stufe 1, Entwurf.....	34
Abbildung 12: Arbeitspunkt der Pumpe Stufe 1, Entwurf.....	35
Abbildung 13: Druckverhältnisse Stufe 1, optimierte Beschickung (Variante C ZL50mm em3).....	38
Abbildung 14: Abwasserverteilung Stufe 1, optimierte Beschickung (Variante C ZL50mm em3).....	38
Abbildung 15: Arbeitspunkt der Pumpe Stufe 1, optimierte Beschickung (Variante C ZL50mm em3).....	39
Abbildung 16: Druckverhältnisse Stufe 2, Planung.....	41
Abbildung 17: Abwasserverteilung Stufe 2, Planung.....	42
Abbildung 18: Druckverhältnisse Stufe 2, optimierte Beschickung (Variante C em3).....	44
Abbildung 19: Abwasserverteilung Stufe 2, optimierte Beschickung (Variante C em3).....	45
Abbildung 20: Volumenströme zum Pufferspeicher (Zulauf Puffer) und Beschickung der Pflanzenbeete (Zulauf Beet) von August bis Oktober 2023.....	51
Abbildung 21: Abwasseraufkommen inkl. Rezirkulationsvolumen (Zulauf Puffer) und Beschickung der PKA (Zulauf Beet) an den Wochentagen vom 22.08.23- 23.10.23.....	52
Abbildung 22: Schwankungsbereiten der Zulaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch 2022-2024.....	55
Abbildung 23: Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade am Standort Mahlitzsch 2022-2024.....	56
Abbildung 24: Wirkungsgrad für den Abbau von CSB den unterschiedlichen Stufen am Standort Mahlitzsch .....	56
Abbildung 25: Druckanstieg im Beschickungssystem in Abhängigkeit der Betriebszeit.....	57
Abbildung 26: Volumenströme zum Pufferspeicher (Zulauf Puffer) und in die 1- Stufe (Zulauf Beet) am Standort in Dittmannsdorf 2023.....	59
Abbildung 27: Zu- und Ablaufkonzentrationen am Standort Dittmannsdorf 2023-2024.....	60
Abbildung 28: Wirkungsgrad der der Anlage am Standort Dittmannsdorf.....	61
Abbildung 29: Hydraulische Flächenbelastung und Ablaufwerte an den Modellstandorten.....	61
Abbildung 30: Hydraulische Flächenbelastung und Ablaufwerte an den Modellstandorten differenziert nach der Zulaufkonzentration des CSB.....	62
Abbildung 31: Mittlere tägliche CSB-Flächenbelastung und Reinigungsleistung.....	63
Abbildung 32: Stickstoffablaufwerte an den Modellstandorten im Vergleich.....	63

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mindestanforderungen an direkt eingeleitetes Abwasser aus der Milchverarbeitung lt. Anhang 3 der AbwV (Stand: April 2024).....	15
Tabelle 2: Übliche Richtwerte für die Einschätzung des spezifischen Abwasseranfalls, Abwasserfrachten und-konzentrationen (DWA-M 708, 2011).....	16
Tabelle 3: Spezifische Frachten pro EW im Schmutzwasser in g/(E·d) (DWA-A262, 2017).....	17
Tabelle 4: Anforderungen an zweistufige Vertikalfilter mit Feinkies und Grobsand als biologische Hauptstufe in kommunalen Kläranlagen (DWA-A 262, 2017).....	18
Tabelle 5: Versuchsphasen.....	18
Tabelle 6: Eigenschaften der Versuchssäulen.....	19
Tabelle 7: Beschickungsregime.....	20
Tabelle 8: Messprogramm.....	21
Tabelle 9: Testverfahren zum Vergleich des CSB-Abbau in den Säulenreihen S1 und S2.....	28
Tabelle 10: Testverfahren zum Vergleich der N- Elimination in den Säulenreihen S1 und S2.....	29
Tabelle 11: Datengrundlage Molkerei Mahlitzsch.....	31
Tabelle 12: Auslegung der 2-stufigen Pflanzenkläranlage nach DWA-A262 (2017).....	32
Tabelle 13: Details Auslegung Stufe 1, Entwurf.....	33
Tabelle 14: Ergebnisse Variantenuntersuchung.....	36
Tabelle 15: Subvarianten zu Variante C der Stufe 1.....	37
Tabelle 16: Hydraulisches Verhalten bei unterschiedlichen Längen der Zulaufleitungen.....	40
Tabelle 17: Details Auslegung.....	40
Tabelle 18: Ergebnisse Basisvarianten.....	43
Tabelle 19: Weitere Optimierungsschritte Stufe 2.....	44
Tabelle 20: Durchfluss, Aufenthaltszeit, Drücke, Abgaben und Gleichverteilung bei Variation von Länge und Verlustbeiwert der Zulaufleitung.....	46
Tabelle 21: Durchfluss, Aufenthaltszeit, Drücke, Abgaben und Gleichverteilung bei Variation der Vorlagenhöhe.....	46
Tabelle 22: Standorte der Großanlagen.....	48
Tabelle 23: Abwasseraufkommen (Zulauf) 2022-2024.....	51
Tabelle 24: Beschickungsmengen und Flächenbelastung der 1. Filterstufe 1 (Auswertungszeitraum 22.08.-23.10.23).....	53
Tabelle 25: Beschickungsmengen und Flächenbelastung der 2. Filterstufe 1 (Auswertungszeitraum 22.08.-23.10.23).....	53
Tabelle 26: Zulauffrachten 2022 bis 2024.....	54
Tabelle 27: C <sub>1</sub> P-Verhältnisse im Zulauf 2022 – 2024.....	55
Tabelle 28: Zuflüsse zum Pufferspeicher 2023 und 2024.....	58
Tabelle 29: Abwasseraufkommen und Beschickungsmengen am Standort Dittmannsdorf 2023.....	58
Tabelle 30: CSB-Fracht im Zulauf 2023 am Standort Dittmannsdorf.....	60
Tabelle 31: C <sub>1</sub> P-Verhältnisse im Zulauf am Modellstandort Dittmannsdorf.....	60

## 1 Zusammenfassung

Die Behandlung von Molkereiabwasser mit naturnahen Verfahren ist in Deutschland bisher nicht etabliert. Da Erfahrungen für die Behandlung der hochkonzentrierten Abwässer in bewachsenen Bodenfiltern bislang fehlen, finden sich auch keine Hinweise in den einschlägigen Vorschriften zur Bemessung und Betrieb entsprechender Anlagen.

Der Vorteil naturnaher Verfahren in der Abwasserreinigung liegt vor allem in ihrer Robustheit, dem sehr geringen Energiebedarf, dem relativ einfachen Betrieb (Steuerung) und einer stabilen sehr hohen Reinigungsleistung. Nachteilig ist der Flächenbedarf und der Aufwand für die Pflege der Systeme.

Für Milchviehbetriebe mit und ohne angeschlossener Molkerei ist eine Behandlung des Abwassers aus Melkstand und Molkerei vor allem interessant, da dadurch der Güllespeicher entlastet, Ausbringungs- und Maschinenkosten gesenkt sowie die Effizienz von Biogasanlagen erhöht werden können.

Im Rahmen des Projektes wurden zweistufige Pflanzenkläranlagen zur Behandlung von Abwasser aus Melkstand und Molkerei entworfen, errichtet und im Betrieb überwacht und optimiert.

Eine Literaturrecherche stellt die spezifischen Eigenschaften von Abwasser der Milchherstellung, das Potenzial von naturnahen Systemen und Erfahrungen in anderen Forschungsprojekten zusammen.

Es werden die Messdaten von Säulenversuchen ausgewertet und Schlüsse hinsichtlich der Bemessung von Anlagen und Randbedingungen für den Betrieb gezogen.

Im Weiteren wird der Aufbau von zwei Großanlagen und deren spezifischen Randbedingungen dargestellt. Über eine Betriebszeit von 2,5 (2) Jahren wurden Messwerte an den neu errichteten Anlagen erfasst und ausgewertet.

Neben der Auswertung der Messwerte der einzelnen Anlagen wurden die Werte der Großanlagen und Säulenversuche gemeinsam ausgewertet und Rückschlüsse für die Auslegung und den Betrieb abgeleitet.

Des Weiteren wurden betriebliche Erfahrungen, auch Probleme im Anlagenbetrieb erfasst, bewertet und Lösungsansätze erprobt mit diesen umzugehen.

Wesentliche Erkenntnisse konnten im Rahmen des Projektes gewonnen werden. Es zeigte sich, dass zweistufige Pflanzenkläranlagen eine sehr hohe Reinigungsleistung in Bezug auf organische Belastungen haben.

Bei Einhaltung einer CSB-Flächenbelastung von 80 g/m<sup>2</sup> können Ablaufwerte der Anlagen unter 80 mg/L eingehalten werden. Des Weiteren wurde die Stickstoffelimination bei Medianwerten des Wirkungsgrads im Bereich von über 70 % festgestellt. Die Phosphorelimination liegt im Bereich bisheriger Untersuchungen (Medianwert des Wirkungsgrads ca. 30%) und es kommt teilweise zur Remobilisierung von Phosphor. Der Rückhalt von AFS in der Vorklärung liegt für die Standorte unter den Empfehlungen nach DWA-A262, eine Absenkung konnte durch eine Rezirkulation des Ablaufs erreicht werden. Auch eine Absenkung der organischen Konzentration durch eine gezielte Rezirkulation wirkte sich positiv auf die Prozessstabilität aus. Für den Betrieb wurde festgestellt, dass durch hohe organische Belastungen eine regelmäßige Spülung der Beschickungssysteme erforderlich ist. Weiterhin wurde für den Betrieb der Bodenfilter festgestellt, dass die mittlere hydraulische Flächenbelastung entsprechend der CSB-Konzentration gewählt werden sollte, um eine ausreichende Sauerstoffversorgung zu gewährleisten.

## **2 Einleitung**

### **2.1 Ausgangslage und Motivation**

Bei der Herstellung von Milch in kleineren Landwirtschaftsbetrieben wird üblicherweise das anfallende Abwasser der Molkerei in den Güllespeicher eingeleitet und mit der Gülle als Dünger ausgebracht. Diese Vorgehensweise hat sich aufgrund ihrer Einfachheit im Betrieb etabliert, wird jedoch zunehmend aufgrund der Kosten für die Ausbringung des anfallenden Wassers (Energie-, Maschinen- und Arbeitskosten) hinterfragt. Auch die Anforderungen an die Ausbringung (Einhaltung von Düngezeiten) und den damit verbundenen Kosten für die erforderlichen Speichervolumina für Molkereiabwasser sowie die Qualität der Gülle (geringere Stickstoffkonzentration durch Verdünnung mit Spülwässern) tragen zu einem Umdenken bei dem Umgang mit Molkereiabwasser bei. Des Weiteren ist bei dem Betrieb von Biogasanlagen mit Gülle eine Verdünnung ungünstig und die Ausbindung von Spülwässern der Melkställe/Molkereien aus der Gülle ist im Interesse der Betreiber\*innen.

Die Behandlung des Abwassers aus Molkereien und Melkställen hat somit hinsichtlich der Bewirtschaftung der Güllespeicher und Biogasanlagen sowie des Energie- und Maschineneinsatzes große Vorteile gegenüber einer Mitverwertung des anfallenden Abwassers in entsprechenden Anlagen.

Für die Behandlung von Molkereiabwassers bestand daher die Überlegung, Pflanzenkläranlagen (bewachsener Bodenfilter) einzusetzen, da sich diese naturnahen Systeme durch eine hohe Betriebsstabilität, geringe Betriebskosten (geringer Energiebedarf) und bei hohen Reinigungsleistungen auszeichnen.

Technischen Verfahren erfordern einen relativ hohen Aufwand hinsichtlich des Anlagenbetriebs entsprechender Milchabwässer. Betriebliche Kosten (Energie, Wartung, Instandhaltung) und zusätzliches Fachpersonal sind gegenüber den Aufwendungen und Kosten von naturnahen Verfahren wesentlich höher. Der Nachteil von naturnahen Verfahren gegenüber den technischen Verfahren ist ein erhöhter Flächenbedarf, der in ländlichen Regionen jedoch oft kein Problem darstellt.

Allerdings existieren in einschlägigen Normenwerken (DWA, 2011; DWA, 2017) keine Auslegungshinweise für naturnahe Anlagen zur Behandlung von Molkereiabwasser.

Für die Behandlung des Molkereiabwassers sollte das relativ neue Verfahren der zweistufigen vertikalen Bodenfilter zum Einsatz kommen, dass seit 2017 im Normenwerk für kommunales und häusliches Abwasser enthalten ist (DWA-A262).

Im Rahmen des Projektes sollte dieses Verfahren weiterentwickelt, großtechnisch umgesetzt, optimiert und hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bewertet werden.

## **2.2 Zielstellungen des Projektes**

Für das Projekt wurden folgende Arbeitsziele definiert:

- Erstellung einer technologischen Konzeption für Pflanzenkläranlagen zur Behandlung von Melkstands- und Molkereiabwasser
- Monitoring und Optimierung von zwei errichteten Großanlagen
- Rückschlüsse für die Bemessung und den Betrieb von zweistufigen Pflanzenkläranlagen für die Behandlung von Molkereiabwasser

## **2.3 Einordnung des Projektes in die Förderleitlinien der DBU**

Das Projekt kann in die Themengebiete 10 und 11 der DBU-Förderleitlinien eingeordnet werden. Folgende übergeordneten Ziele werden mit dem Projekt verfolgt:

- Entwicklung eines modellhaft integrierten Ansatzes zur Behandlung von Abwasser an zwei Standorten (Mahlitzsch, Dittmannsdorf) zur Entlastung der Einleitgewässer (Grundwasser, Oberflächengewässer)
- Weiterentwicklung der Anlagentechnik der Abwasserbehandlung mit bepflanzten Bodenfiltern zur Verbesserung der Gewässerqualität und zur Sicherung der Ökosystemleistung
- Reduzierung des Nährstoffeintrags ins Grundwasser und in die Gewässer in zwei Einzugsgebieten durch Verminderung der Stickstoffeinträge
- Verbesserte Steuerung der Ausbringungsintervalle von Gülle in Abhängigkeit vom Pflanzenbedarf durch die Entlastung des Güllespeichers
- Verbesserung des Betriebs einer Biogasanlage durch Reduzierung von Spülwässern im Ausgangsubstrat (Gülle)
- zielgruppenspezifische Vermittlung neuer Erkenntnisse durch Informationen über Behandlungsmöglichkeiten von Milchhaus- und Molkereiabwasser, Vernetzung mit wissenschaftlichen Einrichtungen und potenziellen Nutzer\*innen, Einbringung der Erkenntnisse in weitere Projekt zur Nutzung der Technologie für die Behandlung hochbelasteter Abwässer

### **3 Arbeitsablauf und Schwerpunkte der Projektarbeit 2019- 2024**

Am 14.05.2019 erfolgte die Bewilligung der Projektförderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

Projektjahr 2019

Im Projektjahr 2019 wurde die technologische Konzeption für die Anlage erstellt. Entsprechend dem Zeitplan wurde im 3. und 4 Quartal 2019 die technologische Konzeption mit folgenden Inhalten erarbeitet.

- Auswertung von Messwerten der Säulenversuche
- Ermittlung Bemessungsgrundlagen und Anlagenkonzeption
- hydraulische Simulation und Auslegung des Beschickungssystems

Projektjahr 2020/2021

Im Jahr 2020/2021 konnte bedingt durch ein relativ langes Genehmigungsverfahren das Vorhaben nicht entsprechend dem Zeitplan durchgeführt werden.

Projektjahr 2022

Nach Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis im Frühjahr 2022 konnte der Bau der Großanlage (Finanzierung der Investition durch Anlagenbetreiber\*innen) im März 2022 begonnen werden. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme erfolgte am 10.05.22. Nach dem Einfahrbetrieb wurde am 06.07.22 mit der Messkampagne zur Optimierung des Anlagenbetriebs begonnen.

Folgende Schwerpunkte wurden dabei untersucht.

- Bewertung des Betriebsregimes der Vorklärung, hydraulisch, chemisch und hinsichtlich des Feststoffrückhalts
- Monitoring von Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrad
- Optimierung des Beschickungsregimes (Beschickungszeiten und Ruhezeiten)

Projektjahr 2023

Aufgrund einer sehr hohen Frachtbelastung der Anlage in Mahlitzsch (Nossen) musste diese am 22.02.2023 außer Betrieb genommen werden. Parallel wurde in Abstimmung mit der DBU eine weitere Anlage (Dittmannsdorf, Reinsberg) mit dem Ziel, die Datenbasis der Betriebswerte zu erweitern und auch Anlagen verschiedener Belastungen und Ausgangssituationen miteinander vergleichen zu können, in das Messprogramm kostenneutral aufgenommen.

Nach den Umbaumaßnahmen an der Anlage in Mahlitzsch im Mai/Juni 2023 wurde diese am 22.06.23 wieder in Betrieb genommen.

Die Messungen wurden mit folgenden Schwerpunkten fortgesetzt.

- Bewertung des Betriebsregimes der Vorklärung, hydraulisch, chemisch und hinsichtlich des Feststoffrückhalts

- Ablaufkonzentration, Wirkungsgrad und Optimierung der Beschickung
- Bewertung des Einflusses der Rezirkulation auf die Reinigungsleistung
- Messungen an einer zweiten Anlage in Dittmannsdorf

Projektjahr 2024

Aufgrund verschiedener Faktoren (Betriebsweise der Molkerei, Belastungsschwankungen) kam es bei der Anlage im Frühjahr 2024 erneut zur Verminderung der Reinigungsleistung. Nach einer 30-tägigen Ruhephase wurde die Anlage mit geänderten Einstellungen wieder in Betrieb genommen.

Die verbleibende Projektzeit wurde genutzt, um folgende Arbeitsschwerpunkte zu bearbeiten:

- Monitoring des Wirkungsgrades der 1. Stufe
- Optimierung der Beschickungszyklen unter Berücksichtigung einer erhöhten Rezirkulation von Ablaufwasser
- Beurteilung der Verschlämmung des Beschickungssystems
- Messungen an einer zweiten Anlage in Dittmannsdorf

#### **4 Stand der Wissenschaft**

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden Behandlungsmöglichkeiten von Molkereiabwasser in Pflanzenkläranlagen zusammengetragen.

##### **4.1 Besonderheiten von Molkereiabwasser**

Das Abwasser aus Molkereibetrieben weist eine deutlich höhere organische Belastung als häusliches Abwasser auf, die durch Lactose, Fette und Proteine aus den Kohlenwasserstoffen der Milch entsteht. Mittlere BSB<sub>5</sub>-Werte liegen bei 2300 mg/l und decken einen Bereich von 40 – 48000 mg/l ab (Karpiscak et al., 2001). Entscheidend dabei ist, ob den Pflanzenbeeten „weißes“ Abwasser (Reinigung Melkmaschine und Milchtank), „grünes“ Abwasser (Reinigung Melkstand (Lienard et al., 2002), wodurch auch Gülle im Abwasser enthalten ist) oder weitere zusätzliche Frachten aus Stallreinigung, Oberflächenabflüssen und nicht marktfähiger Milch entstehen (Gaillot & Merlin, 2008; Lienard et al., 2002). Die Angaben der Konzentrationen in der Literatur decken sich dabei mit den Werten, die im Merkblatt DWA-M 708 (DWA, 2011) angegeben werden (BSB<sub>5</sub> bis 2000 mg/l, CSB bis 4500 mg/l).

Neben der organischen Belastung kann auch die Konzentration von Phosphor (P bis 100 mg/l; DWA, 2011) und Stickstoff (N bis 230 mg/l; DWA, 2011) im Vergleich zu kommunalem Abwasser relativ hoch sein.

Die große Menge an Schwebstoffen (AFS) stellt eine Herausforderung an die Betriebsverfahren der Pflanzenkläranlagen dar (Karpiscak et al., 1999). Die Schwebstoffe entstehen hauptsächlich durch die Agglomeration von Casein unter hohen, durch Reinigungsmittel hervorgerufenen pH-Werten (Lienard et al., 2002). Im Merkblatt DWA-M 708 werden die Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen mit bis zu 800 mg/l angegeben.

Große saisonale Schwankungen im Abwasseraufkommen und seiner organischen Belastung entstehen durch Haltungsbedingungen der Kühe (Sommer Weide, Winter Stall) sowie durch den Fortpflanzungszyklus der Tiere (mehr Melkakivität nach Kalbung im späten Frühjahr) (Tanner, 1992; Galliot & Merlin, 2008). Hinzu kommen saisonal bedingte Leistungsschwankungen der Pflanzenkläranlagen.

Des Weiteren ist ggf. mit hohen Konzentrationen lipophiler Stoffe zu rechnen (DWA, 2011). Der Abwasseranfall in Molkereibetrieben liegt bei ca. 1 – 2 Liter pro Liter verarbeiteter Milch (DWA, 2011). Weitere Angaben in der Literatur beziehen sich auf die Größe der Herde von 35 Liter pro Kuh (Clifford et al., 2008) bis 50 Liter pro Kuh (Healy et al., 2007).

#### **4.2 Abbau organischer Abwasserinhaltsstoffe (CSB, BSB)**

Grundsätzlich ist Molkereiabwasser biologisch gut abbaubar (Austermann-Haun und Carozzi, 2011). Bei der biologischen Behandlung in technischen Anlagen werden CSB-Konzentrationen < 40 mg/l erreicht. Der Anteil an inerten Abwasserinhaltsstoffen ist sehr gering (DWA, 2011).

Allerdings ist aufgrund der hohen Konzentrationen organischer Stoffe und den daraus resultierenden hohen Frachten die Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen mit einer hohen Sauerstoffzehrung verbunden (Newman & Clausen, 1997; Geary & Moore, 1999).

In Versuchen und an verschiedenen Pflanzenkläranlagen zur Behandlung von Molkereiabwasser wurden sehr unterschiedliche Reinigungsleistungen in Bezug auf den CSB ermittelt. Diese liegen zwischen 42% und 99% (Clifford et al., 2008; Comino et al., 2011; Green et al, 2002 Galliot & Merlin, 2008; Healy et al., 2007; Lienard et al., 2002; Mantovi et al, 2003; Sharma et al, 2013). Die Unterschiede werden einerseits in der Zusammensetzung des Abwassers, andererseits in der Verfahrensführung gesehen. Insbesondere die Sauerstoffzufuhr erscheint ein entscheidendes Kriterium für die Reinigungsleistung zu sein (Galliot & Merlin, 2008).

#### **4.3 Stickstoffelimination**

Erkenntnisse zur Stickstoffelimination (Denitrifikation) bei Pflanzenkläranlagen sind nicht gesichert (DWA, 2017). Grundsätzlich ist eine Stickstoffelimination bzw. Teilelimination durch einen gezielten Rückstau möglich. Auch die Rezirkulation des Abwasserstroms ist zur Stickstoffreduktion (vorgeschaltete Denitrifikation) anwendbar. Zu Rezirkulationsraten verzeichnet die Literatur allerdings eine sehr große Spannbreite. Das mögliche Verhältnis zwischen Zulauf und Rezirkulationsvolumenstrom wird bei kommunalem Abwasser bis maximal 1:2 (DWA, 2017) angegeben. Für Anlagen zur Behandlung von Molkereiabwasser wird ein Verhältnis bis zu 1:5 in der Literatur genannt (Galliot & Merlin, 2008). Mehrstufige Vertikalanlagen zur Behandlung von kommunalem Abwasser zeigen höhere Reinigungsleistungen im Hinblick auf die Nährstoffelimination. Insbesondere bei der Stickstoffelimination werden relativ hohe Wirkungsgrade erzielt. Zudem ist auch ein stabiler Betrieb im Winter dokumentiert (Lebensministerium Österreich, 2009). Des Weiteren haben sich 2-stufige Anlagen als Kombination von Vertikal- und Horizontalfilter bei der Behandlung von Abwasser zur Stickstoffelimination bewährt (Cooper et al., 1999; Rustige und Platzer, 2001).

In der Literatur dokumentierte Eliminationsraten in Bezug auf Gesamtstickstoff (TN) für Pflanzenkläranlagen und Versuchsanlagen zur Behandlung von Molkereiabwasser liegen zwischen 20% und 89% (Adhikari et al., 2015; Clifford et al., 2008; Comino et al., 2011; Green et al., 2002; Galliot & Merlin, 2008; Healy et al., 2007; Mantovi et al., 2003; Sharma et al., 2013; Wallace, 2001).

Die Hemmung der Nitrifikation und somit ungenügender Stickstoff-Abbau wurde aufgrund der Sauerstofflimitierung in einfachen horizontalen Anlagen konstatiert (Geary et al., 1999; Karpiscak et al., 1999; Newman et al., 1997; Healy et al., 2007).

#### **4.4 Phosphorelimination**

Phosphor kann in Bodenfiltern in hohem Maße zurückgehalten werden. Allerdings erschöpft sich die Adsorptionskapazität des Filtermaterials und zur Einhaltung von Grenzwerten muss ggf. eine Nachfällung in einer separaten Anlagenstufe vorgesehen werden (DWA, 2017). Die bei Anlagen für Molkereiabwasser dokumentierten Wirkungsgrade liegen bei 19 bis 86 % (Adhikari et al., 2015; Comino et al., 2011; Galliot & Merlin, 2008; Geary & Moore, 1999; Mantovi et al., 2003; Sharma et al., 2013). In einfachen Systemen aus Absetztank und Pflanzenbeet wurden sehr geringe Phosphor-Eliminationsraten, besonders bei kurzen Retentionszeiten, gemessen (Tanner, 1992; Geary et al., 1999). Durch Rezirkulation konnten höhere Raten erreicht werden (Galliot & Merlin, 2008; Healy et al., 2006).

#### **4.5 Desinfektions- und Reinigungsmittel**

In Bezug auf Desinfektions- und Reinigungsmittel sind in den recherchierten Quellen keine direkten Hemmungen der biologischen Abbauvorgänge dokumentiert. Das Merkblatt DWA-M 708 verweist darauf, dass eine anaerobe Vorbehandlung durch Desinfektions- und Reinigungsmittel ggf. nur eingeschränkt möglich ist (DWA, 2011). In einem Forschungsvorhaben der Gemeinde Ahrenshagen wurde festgestellt, dass durch einen Ausgleichsbehälter Desinfektionsmittel stark verdünnt wurden, sodass diese nicht mehr nachweisbar waren (Gemeinde Ahrenshagen, 2003).

Der Einfluss von niedrigen und hohen pH-Werten infolge des Einsatzes von sauren und basischen Reinigungsmitteln kann zu Hemmungen der biologischen Prozesse führen können. Eine Neutralisation in einem Ausgleichsbehälter ist daher zwingend erforderlich (DWA, 2011).

#### **4.6 Verfahrenstechnologien**

Der Betrieb von Anlagen in den USA, Japan und verschiedenen europäischen Ländern zeigt, dass Pflanzenkläranlagen ein Potenzial zur Behandlung der organisch hochbelasteten Abwässer von Molkereibetrieben haben. Die getesteten Technologien sind sehr unterschiedlich und es können anhand der Literatur Präferenzen für eine optimale Verfahrensführung abgeleitet werden.

Generell erscheinen mehrstufige Verfahren günstig für die Behandlung von Molkereiabwasser (Lee et al., 2008; Healy et al., 2007). Nach Healy et al. (2007) zeigte dabei eine Kombination aus Horizontalfilter und Vertikalfilter bessere Reinigungsleistungen als die Kombination von 2 Horizontalfiltern. Eine Begrenzung der Nitrifikation blieb jedoch häufig als Problem bestehen.

Eine 2-stufige Vertikalanlage in Kombination mit einem Horizontalfilter zur Behandlung von

Molkereiabwasser wurde auch von Sharma et al., (2013) untersucht. Die Wirkungsgrade lagen bei teilweise über 90% (BSB, CSB), bei Gesamtstickstoff (TN) bis zu 90%.

Ruhezeiten (zur Regeneration) wirken sich positiv auf die Reinigungsleistung der Pflanzenkläranlagen von Molkereibetrieben aus. Galliot und Merlin (2008) bewerteten den alternierenden Betrieb von Vertikalfiltern mit einer Woche Beschickung und zwei Wochen Ruhepause positiv. In Säulenversuchen wurden Ruhepausen bei Vertikalfiltern (24 Tage nach 21-tägiger Beschickung) als essentiell für die Regeneration der Filter und zur Vermeidung von Kolmation eingeschätzt (Green et al., 2002).

Als gut geeignet wurden Horizontal- und Vertikalfilter beschrieben, bei denen ein Teil des Ablaufs des Pflanzenbeetes rezirkuliert und mit frischem Abwasser vermischt wurde (Healy et al., 2006; Gaillot & Merlin, 2008). In Säulenversuchen konnten Healy et al. (2006) die höchste Reinigungsleistung für hydraulische Frachten von 10 L/m<sup>2</sup>/d bei organischer Belastung von 30 g CSB/m<sup>2</sup>/d und einer Rezirkulation von 75% des Ablaufs zeigen. Als essentiell wurden dabei ebenfalls die biologischen Prozesse im Rezirkulationstank identifiziert.

Neben den Ruhezeiten sind Beschickungszyklen und Beschickungspausen entscheidend für die Sauerstoffversorgung der aeroben Abbauprozesse und bedürfen einer Optimierung (Galliot & Merlin, 2008; Lebensministerium Österreich, 2009). Galliot und Merlin (2008) testeten auch sehr kurze Beschickungszyklen (aller 14 Minuten), die sich für eine Wiederbelüftung des Bodenkörpers aber als zu kurz erwiesen.

Eine Vermischung mit häuslichen Abwasser geringerer Konzentration wird als positiv bewertet. (Lienard et al., 2002).

#### **4.7 Rückschlüsse und Fragestellungen für das Projekt**

Auf Basis der Literaturrecherche wurden folgende Rückschlüsse für die Auslegung einer Pflanzenkläranlage gezogen, die sich positiv auf eine Behandlung auswirken.

- Bemessung der Vorklärung mit folgenden Zielen: Vergleichmäßigung (pH, Volumenstrom), Schlammrückhalt und Vorabbau
- Einsatz mehrstufiger Verfahren in der biologischen Hauptstufe
- Aufbau mehrerer Straßen/ Beschickungsfeldern zur Gewährleistung von Ruhezeiten
- Einsatz von Vertikalfilteranlagen zur Erhöhung des Sauerstoffeintrag
- Einsatz eines engmaschigen Beschickungssystems und Optimierung des Beschickungsregimes (Beschickungsvolumenstrom, Beschickungsintervalle, Beschickungspausen, Ruhezeiten)
- Rezirkulation des gereinigten Ablaufwassers

Fragestellungen, die sich aus den Studien der Literatur ergeben, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Wie groß ist der spezifische Flächenbedarf zur Erreichung hoher Eliminationsraten in Bezug auf organische Stoffe und Stickstoff entsprechend der AbwV? Sind die Vorgaben für häusliches/

kommunales Abwasser auf die Behandlung von Milchhaus- und Molkereiabwasser übertragbar?

- Wie kann eine optimale Abwasserverteilung erreicht werden? Struktur des Beschickungssystems, Anzahl von Beschickungszyklen, Beschickungsvolumenströme und Dauer von Ruhezeiten?
- Wie hoch sollte ein Rezirkulationsvolumenstroms sein, um das Oxidationspotenzial von Nitrat auszunutzen und eine weitgehende Denitrifikation zu erreichen? Ist eine Rezirkulation von Abwasser ggf. für die Regulierung Flächenbelastung sinnvoll?
- Hemmen Reinigungs- und Desinfektionsmittel die biologischen Prozesse und sind ggf. besondere Maßnahmen erforderlich (Ausgleichsbehälter, Neutralisation)?

## 5 Vorauswahl einer Verfahrenstechnologie

### 5.1 Technische Rahmenbedingungen, Mindestanforderungen an die Abwasserreinigung, Abwasseranfall, Mengen und Konzentration

Durch die Abwasserverordnung Anhang 3 werden Mindestanforderungen an die Reinigungsleistung gestellt. (Tabelle 1)

Tabelle 1: Mindestanforderungen an direkt eingeleitetes Abwasser aus der Milchverarbeitung lt. Anhang 3 der AbwV (Stand: April 2024)

Parameter	Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB <sub>5</sub> )	20
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	100
Organisch gebundener Kohlenstoff, gesamt (TOC)	35 <sup>1</sup>
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	30 <sup>2,3</sup>
Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N)	5,0
Stickstoff, gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff (N <sub>ges</sub> )	15
Gesamter gebundener Stickstoff (TN <sub>b</sub> )	18
Phosphor, gesamt (P <sub>ges</sub> )	2,0

Die Anforderungen für Ammoniumstickstoff und Stickstoff, gesamt, gelten bei einer Abwassertemperatur von 12 °C und größer im Ablauf des biologischen Reaktors der Abwasserbehandlungsanlage und sofern die der wasserrechtlichen Zulassung zugrunde liegende Rohfracht an Stickstoff, gesamt, mehr als 100 kg je Tag beträgt. In der wasserrechtlichen Zulassung kann für Stickstoff, gesamt, eine höhere Konzentration bis zu 25 mg/l zugelassen werden, wenn die Verminderung der Gesamtstickstofffracht mindestens 70 Prozent beträgt. Die Anforderung für Phosphor, gesamt, gilt, wenn die der wasserrechtlichen Zulassung zugrunde liegende Rohfracht an Phosphor, gesamt, mehr als 20 kg je Tag beträgt.

Zur konkreten Beurteilung der Abwasserbelastung sollte eine mehrtägige, wenn möglich einwöchige mengenproportionale Abwasseruntersuchung stattfinden.

Angaben zum Abwasseranfall sind im Regelwerk der DWA-M 708 (2011) zu finden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Übliche Richtwerte für die Einschätzung des spezifischen Abwasseranfalls, Abwasserfrachten und-konzentrationen (DWA-M 708, 2011)

Richtwerte für Molkereiabwasser	Einheit	Schwankungsbreite	
		tagesbezogen	stundenbezogen
Abwasseranfall	m <sup>3</sup> /1.000 kg Milch	1 – 2	0,5 – 4,0
BSB <sub>5</sub> -Fracht	kg/1.000 kg Milch	0,6 – 3,0	–
C <sub>BSB5</sub>	mg/l	600 – 2.000	1 – 5.000
CSB-Fracht	kg/1.000 kg Milch	0,8 – 4,0	–
C <sub>CSB</sub>	mg/l	800 – 4.500	500 – 10.000
CSB/BSB <sub>5</sub> -Verhältnis	–	1,3 – 2,2	1,1 – 2,8
CSB/TOC-Verhältnis	–	3 – 5	–
S <sub>NO3-N</sub>	mg/l	10 – 100	bis 250
S <sub>NO2-N</sub>	mg/l	0 – 2	bis 10
S <sub>NH4-N</sub>	mg/l	0 – 20	bis 50
C <sub>KN</sub>	mg/l	10 – 110	bis 200
C <sub>N</sub>	mg/l	20 – 230	bis 450
C <sub>p</sub>	mg/l	20 – 100	bis 200
absetzbare Stoffe	ml/l	1 – 2	0 – 50
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	200 – 800	bis 1000
abfiltrierbare Stoffe/BSB <sub>5</sub>	–	0,4 – 0,5	–
pH-Wert	–	6 – 11	1 – 13
lipophile Stoffe	mg/l	80 – 250	bis 800

## 5.2 Vorauswahl einer Verfahrenstechnologie nach DWA-A262

Im DWA-Arbeitsblatt DWA-A 262 (2017) sind Verfahren zur Behandlung von häuslichem und kommunalem Abwasser beschrieben.

Für häusliches und kommunales Abwasser können Bodenfilter mit und ohne Vorbehandlung eingesetzt werden. Im Hinblick auf Erkenntnisse der zu erwartenden Abwasserzusammensetzung (Abschnitt 6.5.1 Abschnitt 5.1) wird die Vorbehandlung des Abwassers präferiert.

Spezifische Frachten und Reduktionsraten der Vorbehandlung bei kommunalem und häuslichem Abwasser sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Spezifische Frachten pro EW im Schmutzwasser in g/(E·d) (DWA-A262, 2017)

Parameter	Rohabwasser <sup>1)</sup>	Nach Vorbehandlung in Mehrkammergrube, Absetzbecken, Emscherbecken mit Durchflusszeit $\geq 2$ h bei $Q_{Tr,h,max}$ <sup>1)</sup>	Nach Vorbehandlung in einem Rohabwasserfilter <sup>2)</sup>	Nach Vorbehandlung in belüftetem Vorteich <sup>3)</sup>
BSB <sub>5</sub>	60	40	10	30
CSB	120	80	25	60
TS	70	25	8	16
TKN	11	10	4,4 (> 12 °C)	8,5
GesN	11	10	10	10
P <sub>ges</sub>	1,8	1,6	1,6	1,6
ANMERKUNGEN				
1) Aus Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198:2003 außer für GesN.				
2) Berechnet aus TROESCH & ESSER 2012 und MORVANNOU et al 2015.				
3) Berechnet aus HASSELBACH 2013.				

Die Vorbehandlung in einer Mehrkammergrube nach DIN 4261-1 erfordert ein spezifisches Volumen von 300L/EW, mindestens allerdings 3000L.

Für die Behandlung von Molkereiabwasser erscheint aufgrund der Erkenntnisse der Literaturrecherche (Abschnitt 4.7) ein mehrstufiges Verfahren sinnvoll, wobei aufgrund des hohen Sauerstoffbedarfs Vertikalfilter günstiger angesehen werden als horizontal durchströmte Bodenfilter. Im Regelwerk DWA-A262 (2017) wird ein zweistufiges Verfahren beschrieben, dass für die weiteren Versuche und technischen Betrachtungen als Grundlage dienen soll.

- **Zweistufiger Vertikalfilter mit Feinkies 2 mm bis 8 mm und Grobsand 0 mm bis 4 mm**

Der zweistufige Vertikalfilter bestehend aus einem Grob- und einem Feinfilter wird durch die in Tabelle 4 dargestellten Vorgaben bemessen.

Die Bemessung anhand wird anhand der spezifischen Filterfläche und der zulässigen hydraulischen

Belastung für die 1. Stufe festgelegt, wobei der größere Wert ausschlaggebend ist.

Tabelle 4: Anforderungen an zweistufige Vertikalfilter mit Feinkies und Grobsand als biologische Hauptstufe in kommunalen Kläranlagen (DWA-A 262, 2017)

Parameter	Zeichen	Einheit	Wert
Spezifische Fläche der Oberseite des Filters der ersten Filterstufe	$A_{Fo1, spez}$	$m^2/E$	$\geq 1$
Spezifische Fläche der Oberseite des Filters der zweiten Filterstufe	$A_{Fo2, spez}$	$m^2/E$	$\geq 1$
Spezifische CSB-Flächenbelastung der GesamtfILTERfläche der Oberseite des Filters $A_{Fo1}$ der ersten Filterstufe	$f_{A, Fo1, CSB}$	$g/(m^2 \cdot d)$	$\leq 80$
Mittlere Mindestzeit zwischen den Intervallbeschickungen	$t_{Sicker, min, aM}$	h	$\geq 3$
Mittlere spezifische hydraulische Belastung der Fläche der Oberseite des Filters während der Intervallbeschickung	$q_{Beschickung, Fo}$	$l/(m^2 \cdot min)$	$\geq 10$
Spezifische hydraulische Belastung der Fläche der Oberseite des Filters je Beschickungsereignis	$h_{Beschickung, Fo}$	$l/m^2$	$\geq 20$

## 6 Laborversuche

### 6.1 Fragestellungen und Versuchsphasen

Zentrale Fragestellung der Versuche war die Abbaubarkeit des Milchhaus- und Molkereiabwassers und die Leistungsfähigkeit eines zweistufigen Verfahrens (Vorauswahl Abschnitt 5.2). Neben der Ermittlung von Wirkungsgrad und Leistungsfähigkeit in Bezug auf N-Elimination war von Interesse inwiefern mit Hemmungen durch Desinfektions- und Reinigungsmittel zu rechnen ist.

Neben den allgemeinen Fragen zur Einsetzbarkeit des Verfahrens sollte untersucht werden, ob Variationen der Belastung und die Rückführung (Rezirkulation) des Ablaufs eine Erhöhung der Wirkungsgrade und Reduzierung der Ablaufkonzentrationen und Frachten zu erreichen sind.

Vor diesem Hintergrund wurden die Versuche in 3 Phasen unterteilt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Versuchsphasen

Versuchsphase	Fragestellung
1	Ermittlung Referenzzustand
2	Bewirkt eine Erhöhung der Flächenbelastung eine signifikante Veränderung der Abbauleistung?
3	Bewirkt die Rezirkulation des Ablaufs eine signifikante Verbesserung der N-Elimination?

## 6.2 Aufbau der Säulenversuche

### 6.2.1 Versuchszeitraum

Im Rahmen von Säulenversuchen wurden Versuche zum biologischen Abbau der Inhaltsstoffe des Molkereiabwassers vorgenommen. Die Versuche wurden im Zeitraum von Februar 2018 – Juli 2018 durchgeführt. Das Einfahren der Versuchssäulen erfolgte ab Dezember 2017. Die Auswertung der Versuche erfolgte im Rahmen des Projektes.

### 6.2.2 Konfiguration der Säulen

Die Versuche wurden mit einer redundant aufgebauten zweistufigen Säulenanlage mit optionaler Rezirkulation durchgeführt (Tabelle 6, Abbildung 1).

Tabelle 6: Eigenschaften der Versuchssäulen

Aufbau	Details
Säulenreihen	2 Reihen mit jeweils 2 Säulen in Reihe geschaltet (Grob- und Feinfilter)
Säulenabmessung	D = 200mm, H = 1000 mm
Filtermaterial Grobfilter	Kies 2/8 H=50 cm, Kies 16/32 H=10 cm
Filtermaterial Feinfilter	Sand 0/2 H=50 cm, Kies 2/8 H=10 cm, Kies 16/32 H=10 cm
Vorlage	3000 ml, max. 10000ml
Abwasserspeicher	0,075m <sup>3</sup> , Kühlung auf 0°C
Beschickung	8 separat steuerbare Schlauchpumpen (Zeit und Volumen)
Ablaufspeicher	2x0,02m <sup>3</sup>

Der Betrieb der 2 Säulenreihen erfolgte parallel unter gleichen Temperaturbedingungen und Abwasserzusammensetzung des Zulaufs. Durch die Veränderung des Beschickungsregimes und der Rezirkulation von Säulenreihe 1 bei gleichzeitigem unveränderten Betrieb von Säulenreihe 2 sollten Effekte der Eingriffe hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den Reinigungsprozess bewertet werden.

Das Beschickungsregime der Säulen in den Versuchsphasen (Tabelle 7) ist in Tabelle dargestellt.

Abbildung 1: Aufbau der Säulenversuche

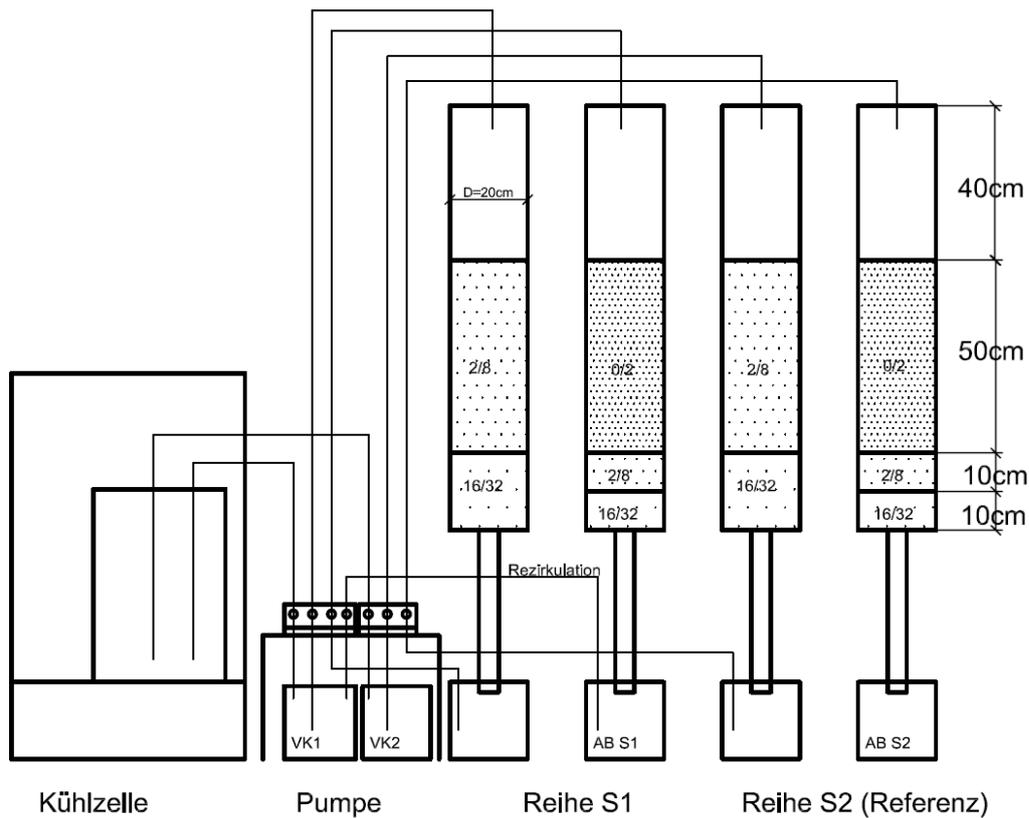


Tabelle 7: Beschickungsregime

	Säulenreihe S1	Säulenreihe S2 (Referenz)
1. Phase (Referenzzustand)	6mal täglich Beschickung, 1,5l/d Beschickungspause: 4h	6mal täglich Beschickung 1,5l/d Beschickungspause: 4h
2. Phase (Verdopplung Flächenbelastung)	6mal täglich Beschickung, 3l/d Beschickungspause: 4h	
3. Phase (Rezirkulation)	6mal täglich Beschickung, 2,25l/d Beschickungspause: 4h Rezirkulation Ablauf in Vorlage 0,75l/d	

### 6.2.3 Messtechnik und Analysen

Im Rahmen der Versuche wurden folgende Analysen und Messungen vorgenommen (Tabelle 8).

Tabelle 8: Messprogramm

Messpunkt	Messwerte
Zulauf Säulenreihe 1 und 2 (Zulauf)	LF, pH, TKN, NH <sub>4</sub> -N, CSB. Volumen
Ablauf Säulenreihe 1 (Ablauf S1) Ablauf Säulenreihe 2 (Ablauf S2)	LF, pH, TKN, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, CSB, Volumenstrom

### 6.3 Plausibilität und Aufbereitung der Messwerte

Um die Plausibilität der Volumenströme zu bewerten, wurden Zulaufvolumina der Schlauchpumpen berechnet und gemessenen Ablaufvolumina (Auffangen und Auslitern des Ablaufs) verglichen.

Von CSB-Messwerten wurden alle Werte als plausibel angenommen, deren Zulaufkonzentrationen höher als die Ablaufkonzentrationen liegen.

Für Stickstoff wurde die Plausibilität der gemessenen Werte anhand folgendem Kriteriums überprüft:

$$\text{Zulauf-TKN} \geq \text{Ablauf TKN} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$$

### 6.4 Auswertungsmethoden

#### 6.4.1 Ermittlung von Wirkungsgrad und Flächenbelastung

Neben Konzentrationen wurden zur Charakterisierung des Abbauverhaltens der Wirkungsgrad und die Flächenbelastung zur Bewertung herangezogen.

Der Wirkungsgrad beschreibt die prozentuale Reduktion der Fracht an Abwasserinhaltsstoffen. Bei gleichbleibendem Zufluss kann die Berechnung auch anhand der Reduktion der Konzentration des betrachteten Abwasserinhaltsstoffes erfolgen.

Die Flächenbelastung beschreibt die Frachtbelastung eines Abwasserinhaltsstoffes oder eines Belastungsparameters bezogen auf die Fläche der Versuchssäulen je Zeiteinheit (Tag).

#### 6.4.2 Statistische Verfahren

Bei den vergleichenden Untersuchungen wurde getestet inwiefern die Unterschiede zwischen Wirkungsgraden und Ablaufkonzentrationen des CSB- und N-Umsatzes signifikant sind. Die Signifikanz wurde anhand von statistischen Verfahren bewertet.

Der Einfluss Versuchskonfiguration (Phase 1,2,3) auf den Abbau von CSB und N wurde als bestätigt angenommen, wenn die Grundgesamtheiten der Ablaufwerte und Wirkungsgrade der gleichen Verteilung mit gleicher Varianz folgen, aber in ihrer Lage (Mittelwert oder Median) verschoben sind.

Dabei wurde wie folgt vorgegangen. Mit dem Shapiro-Wilk-Test (Hedderich und Sachs, 2016) wurde untersucht, ob die jeweiligen Daten einer Normalverteilung folgen. War dies der Fall, konnte mit dem Zweistichproben-F-Test die Varianzen auf Übereinstimmung geprüft werden (Bamberg et al., 2012). Waren die Varianzen gleich, wurde wiederum der Zweistichproben-t-Test angewandt, um die Gleichheit der Mittelwerte zu prüfen (Bamberg et al., 2012).

Für nicht-normalverteilte Reihen wurde der Kolmogorow-Smirnow-Test eingesetzt, um zu untersuchen, ob die Grundgesamtheiten der gleichen Verteilung folgen (Hedderich und Sachs, 2016). War dies der Fall, wurde mit dem Brown-Forsythe-Test/ Levene-Test )geprüft, ob die Varianzen der Grundgesamtheiten gleich sind (Hedderich und Sachs, 2016). Waren die Varianzen der Verteilungen gleich, wurde wiederum mit dem Wilcoxon-Rangsummen-Test eingeschätzt, ob die Verteilungen in der Lage (Medianwerte) verschoben sind (Fahrmeir et al., 2003). Das Signifikanzniveau der Testverfahren wurde mit 5% festgelegt.

### 6.4.3 Regression

Mit einer Regressionsanalyse wird ein linearer oder nichtlinearer Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variable und einer oder mehreren unabhängigen Variablen durch eine mathematische Funktion beschrieben. Bei mehreren unabhängigen Variablen wird das Verfahren als multiple Regression bezeichnet. Die abhängige Variable stellt die Eingangsgröße (Zielgröße) dar, die durch den funktionalen Zusammenhang der unabhängigen Variablen, Koeffizienten und Konstanten beschrieben werden kann. Zur Ermittlung der Koeffizienten werden die quadratischen Abweichungen der Residuen minimiert (Methode der kleinsten Quadrate, Sachs und Heddrich, 2006).

Die Güte der Regression kann durch folgende Kriterien beurteilt werden:

- durch das Bestimmtheitsmaß und den Beitrag der einzelnen Variablen und zugehörigen Koeffizienten zur Beschreibung der abhängigen Variablen (Beurteilung anhand einer t-verteilter Prüfgröße)
- durch die Eigenschaften der Residuen (Normalverteilung)
- durch der Varianz (Homogenität)

Folgende Prämissen sollten eingehalten werden (Petzold, 2008):

- Es besteht ein Zusammenhang entsprechend dem vorgegebenen Modell zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen, wobei die abhängigen Variablen als Zufallsvariablen mit den unabhängigen Variablen verknüpft sind.
- Residuen sind normalverteilt, was unter anderem implementiert, dass der Erwartungswert der Residuen (Störgrößen) „0“ ist und alle relevanten Einflussgrößen (unabhängige Variablen) im Regressionsmodell enthalten sind.
- Homoskedastizität: Die Residuen haben eine konstante Varianz und hängen daher nicht von den Variablen der Regression ab.
- keine Autokorrelation: Die abhängigen Variablen sind voneinander unabhängig.
- keine exakte Multikollinearität: Die unabhängigen Variablen korrelieren nicht miteinander.

## 6.5 Ergebnisse der Säulenversuche

### 6.5.1 Zulaufkonzentrationen

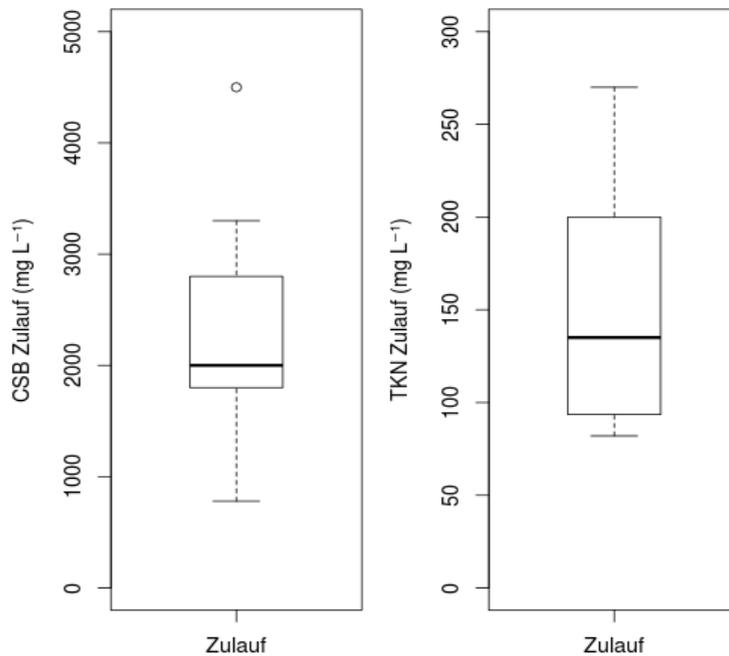


Abbildung 2: Boxplots der Zulaufkonzentration an CSB und TKN

Zulaufproben wurden im Ablauf der Molkerei in Mahlitzsch gesammelt und als Mischproben über mehrere Stunden genommen. Die Verteilung der Zulaufkonzentrationen des Versuchszeitraums ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die 85-Perzentil-Werte der CSB Eingangsbelastung lag bei 2960 mg l<sup>-1</sup>. Der 85-Perzentil-Wert des TKN-Zulaufs lag bei 160 mg l<sup>-1</sup>.

### 6.5.2 Untersuchungen an Säulenreihe S2

Da die Säulenreihe S2 während der gesamten Versuchsdauer kontinuierlich beschickt wurde und keine Änderungen am Beschickungsregimes vorgenommen wurden, sondern lediglich die Schwankung der Abwasserzusammensetzung zugelassen wurde, konnte über den Versuchszeitraum die Reduktion von CSB und Stickstoff (Wirkungsgrad) und Einflussfaktoren der Abwasserzusammensetzung betrachtet werden.

#### **CSB- und Stickstoff-Abbau an Säulenreihe S2**

Messwerte und berechnete Werte (Flächenbelastung) sind in Abbildung 3 dargestellt.

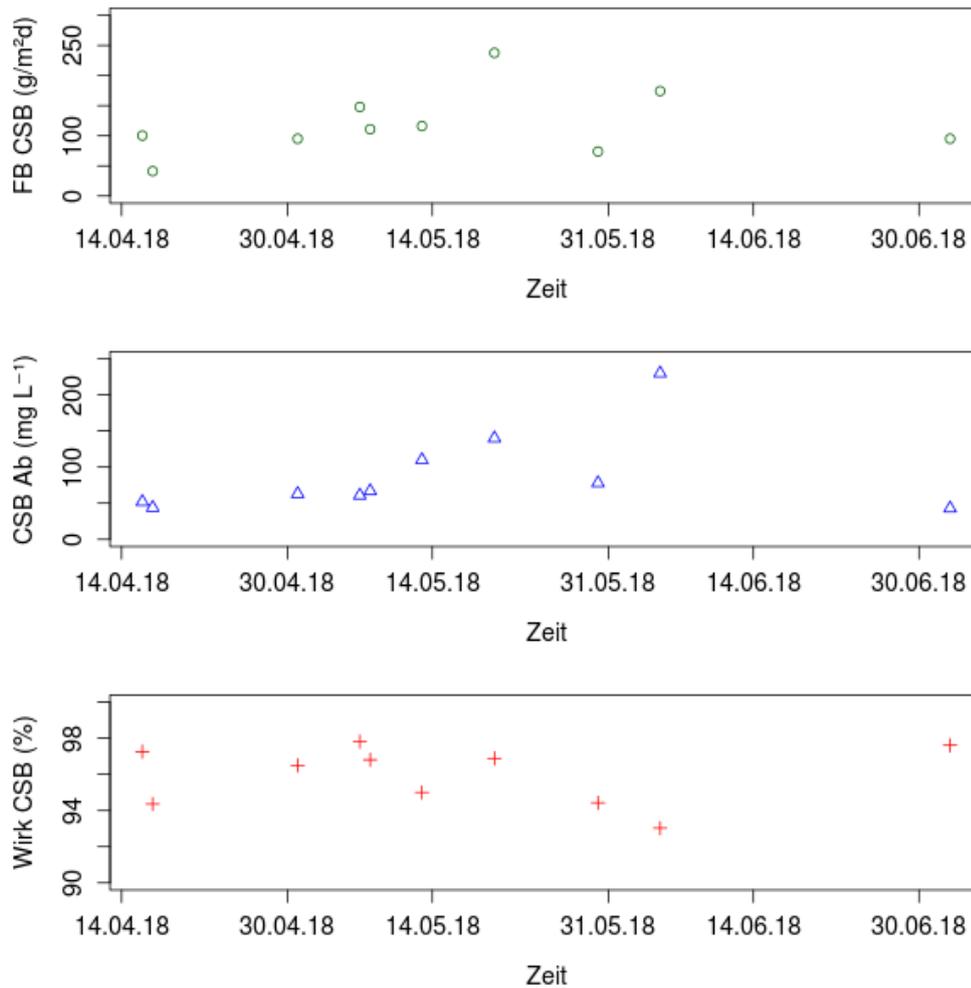


Abbildung 3: Flächenbelastung (FB), Ablaufkonzentration (CSB Ab) und Wirkungsgrad des CSB Abbaus (Wirk CSB) an Säulenreihe S2

Aufgrund der schwankenden Konzentrationen im Zulauf ergaben sich CSB- Flächenbelastungen zwischen 41 und 237 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> (Mittelwert: 120 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>). CSB -Ablaufwerte lagen bei 43 -230 mg l<sup>-1</sup> (Mittelwert 89 mg l<sup>-1</sup>), wobei die Maximalwerte durch eine Hemmung aufgrund hoher pH- Werte zu erklären sind. Der Wirkungsgrad des CSB-Abbaus wurde mit 93,0 -97,8 % (Mittelwert 96,0%) ermittelt.

Ablaufwerte des Stickstoffumsatzes sind in Abbildung 4 zu sehen.

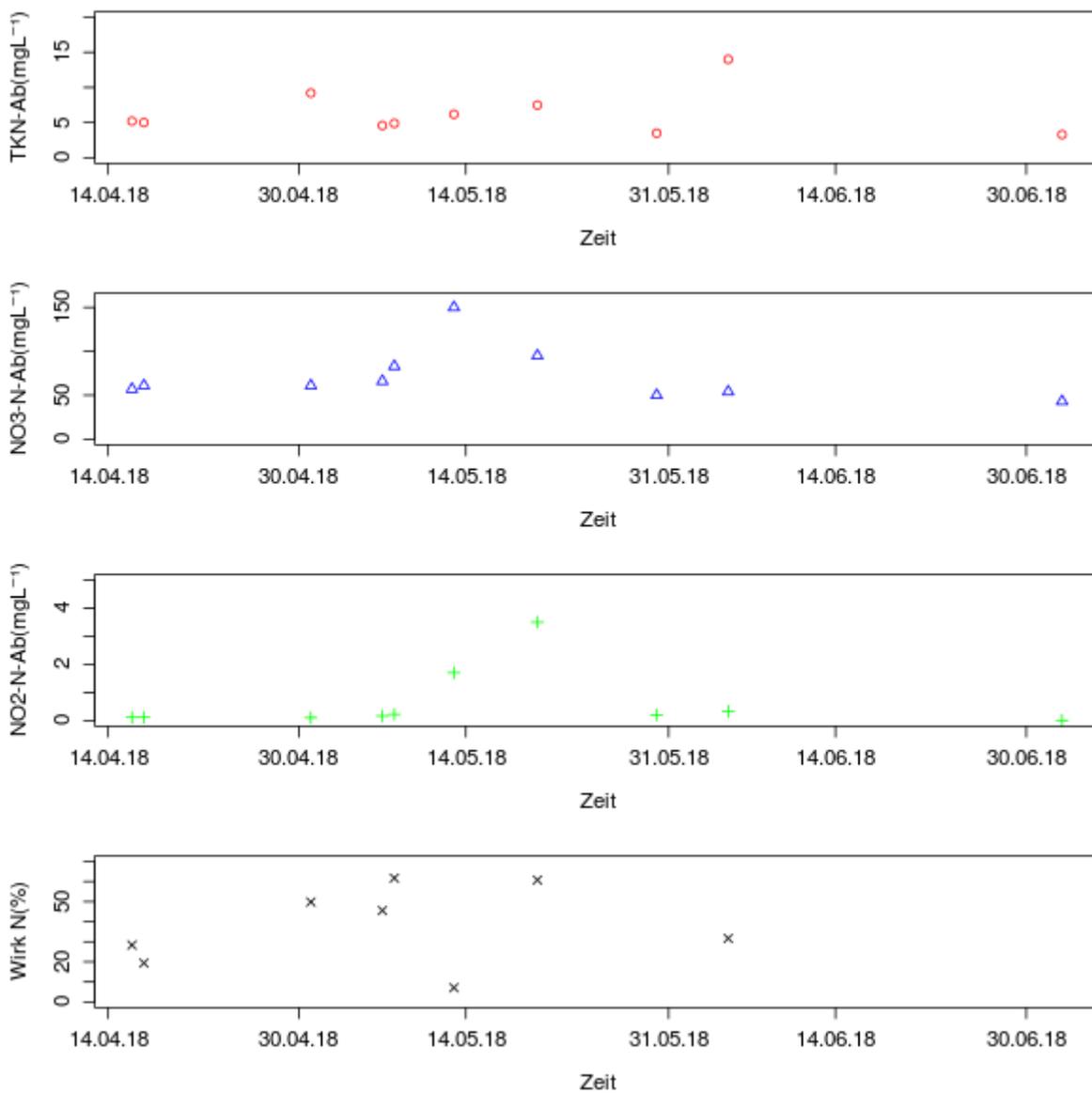


Abbildung 4: Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade der Stickstoffelimination an Säulenreihe S2

Der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination liegt bei 2,6 -61 % (Mittelwert 31%). Die Konzentrationen von NO<sub>3</sub>-N (43-150 mg l<sup>-1</sup>, Mittelwert: 71 mg l<sup>-1</sup>), von von NO<sub>2</sub>-N (0,005-3,5 mg l<sup>-1</sup>, Mittelwert: 0,64 mg l<sup>-1</sup>) und TKN (3.3-15 mg l<sup>-1</sup>, Mittelwert: 6,3 mg l<sup>-1</sup>) liegen im Bereich der Erwartungswerte für einen Vertikalfilter.

Erhöhte Konzentrationen und niedrige Wirkungsgrade sind durch die Hemmung infolge hoher pH-Werte zu begründen (siehe Abschnitt 6.5.2).

Die Wirkungsgrade für den CSB Abbau und die Stickstoffelimination sind in Abbildung 5 dargestellt.

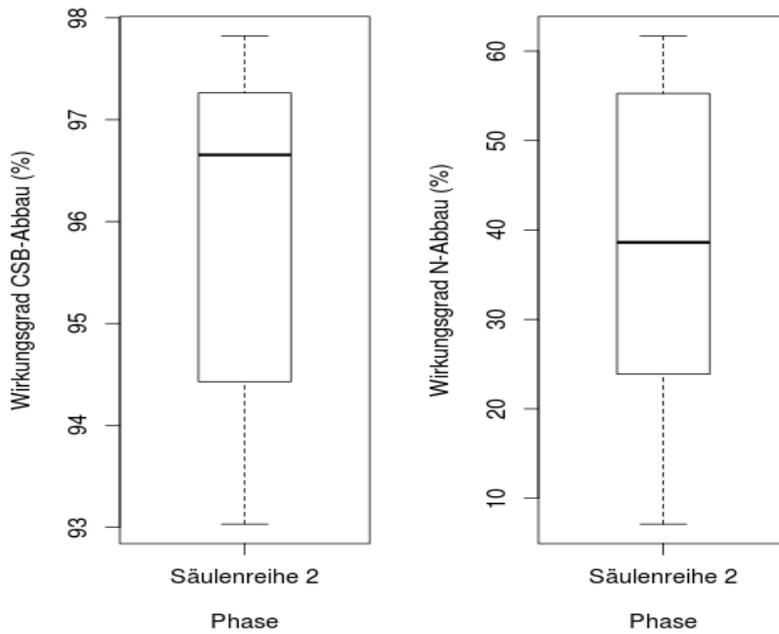


Abbildung 5: Wirkungsgrad CSB, N Abbau an Säulenreihe 2

**Einfluss von Temperatur und pH-Wert an Säulenreihe S2**

Eine Temperaturabhängigkeit der Reinigungsleistung in Bezug auf den CSB und Stickstoff konnte nicht nachgewiesen werden (Abbildung 6).

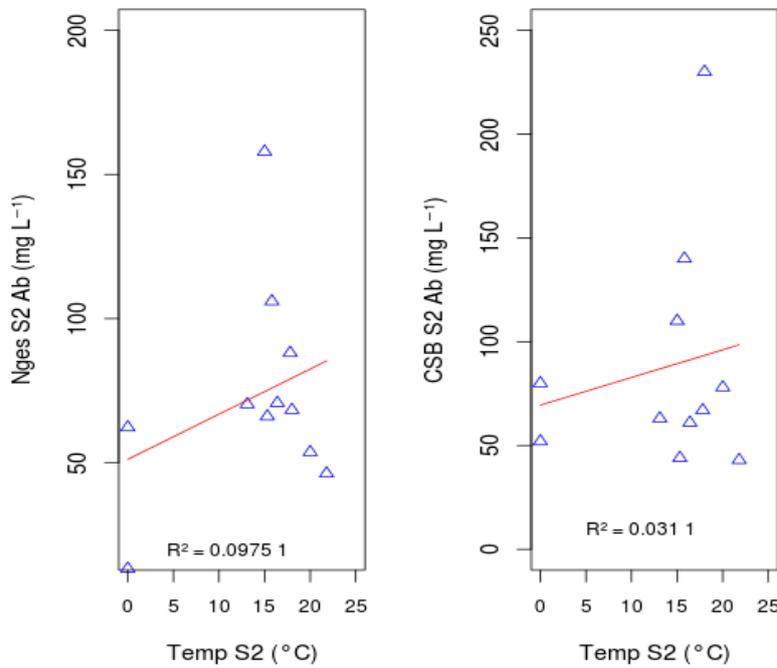


Abbildung 6: Ablaufwerte der Säulenreihe S2 in Abhängigkeit der Temperatur

Deutlich zu sehen ist allerdings eine Beeinflussung des CSB-Abbaus infolge erhöhter pH-Werte. Mit höheren pH-Werten kann ein deutlicher Anstieg der Ablaufwerte festgestellt werden. Das lineare Regressionsmodell ist signifikant. Die Hemmung des N-Abbaus ist nicht signifikant (Abbildung 7).

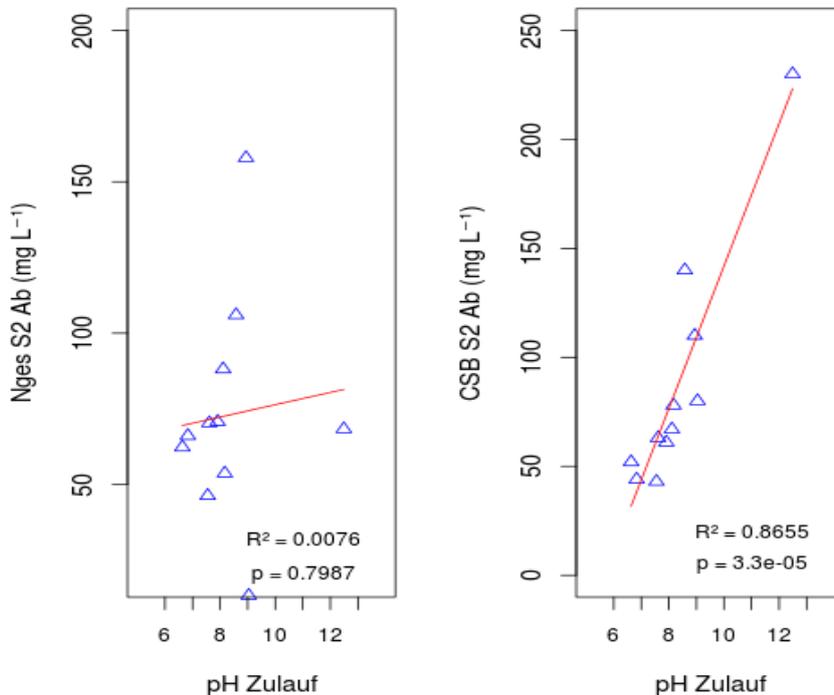


Abbildung 7: Ablaufwerte der Säulenreihe S2 in Abhängigkeit des pH-Wertes

### 6.5.3 Vergleichende Untersuchungen an Säulenreihe S1 und S2

Durch die vergleichenden Untersuchungen an den Säulenreihe S1 und S2 sollte ermittelt werden inwiefern Randbedingungen (erhöhte Frachtbeaufschlagung, Rezirkulation des Ablaufs) die Reinigungsleistung beeinflussen. Dazu wurde anhand statistischer Tests (Abschnitt 6.4.2) ermittelt, ob die Ablaufwerte der Säulenreihen signifikant voneinander abweichen.

#### **CSB- Ablaufwerte der Säulenreihen an S1 und S2 während der Versuchphasen**

Die CSB Ablaufwerte liegen während der Versuchsphasen in der gleichen Größenordnung, wobei die Medianwerte der Säulenreihen nur relativ geringe Abweichungen zeigen (Abbildung 8).

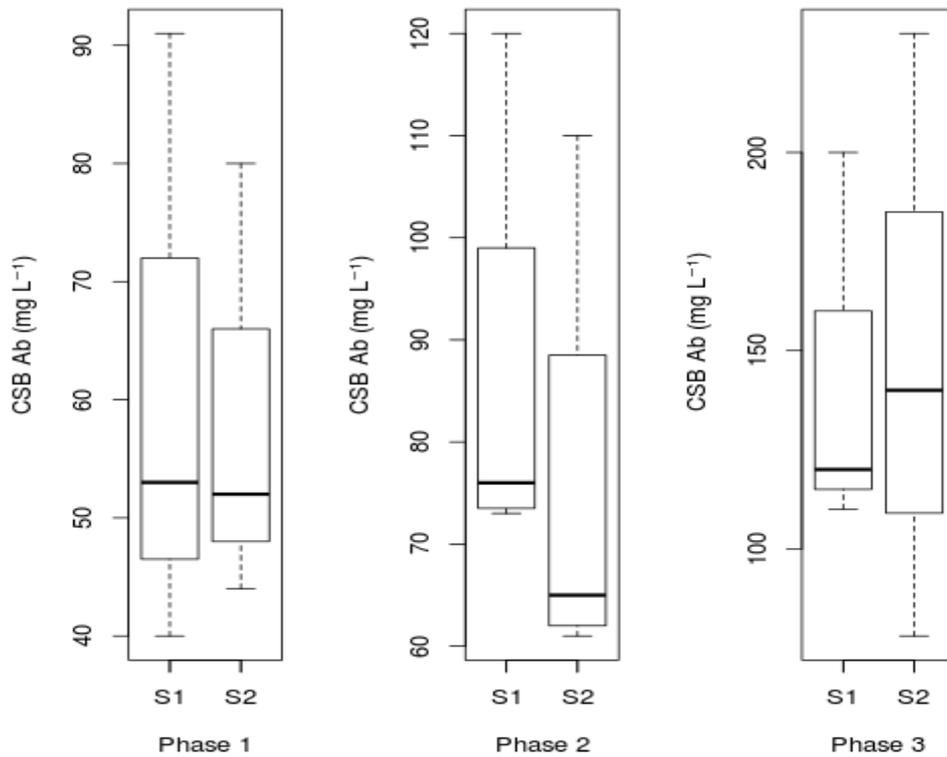


Abbildung 8: CSB-Ablaufwerte differenziert nach Versuchsphasen und Säulenreihe

Wie Tabelle 9 zeigt sind Unterschiede bei den Ablaufwerten von Säulenreihen S1 und S2 während der drei Versuchsphasen nicht signifikant. Der Referenzzustand (Phase 1) kann somit als vergleichbar angesehen werden. Des Weiteren kann kein signifikanter Einfluss auf die Reinigungsleistung durch die Verdopplung der Zulaufkraft (Phase 2) und die 50% Rückführung des Ablaufs in die Vorklärung (Phase 3) nachgewiesen werden.

Tabelle 9: Testverfahren zum Vergleich des CSB-Abbau in den Säulenreihen S1 und S2

Test	Nullhypothese	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
Shapiro-Wilk	Die Grundgesamtheit der Stichprobe ist normalverteilt.	k	k	A	A	k	k
F-Test	Die Varianzen der Grundgesamtheiten sind gleich.		k				k
t-Test	Die Mittelwerte der Grundgesamtheiten sind gleich.		k				k
K-S-Test	Die Verteilungen der Grundgesamtheiten sind identisch.				k		
Levene-Test	Varianzen der Grundgesamtheiten sind gleich.				k		
Wilcoxon-Rangsummen-Test	Die Verteilungen sind nicht gegeneinander verschoben.				k		

k...keine Ablehnung; A... Ablehnung

**N- Wirkungsgrade der Versuche an S1 und S2**

Bei der Stickstoffelimination zeigt sich während Versuchsphase 2 (erhöhte Belastung S1) eine deutlich höhere Reinigungsleistung in Säulenreihe S1 als in Säulenreihe S2 . Während Phase 1 und 3 sind nur relativ geringe Unterschiede in den Ablaufwerten zu sehen (Abbildung 9).

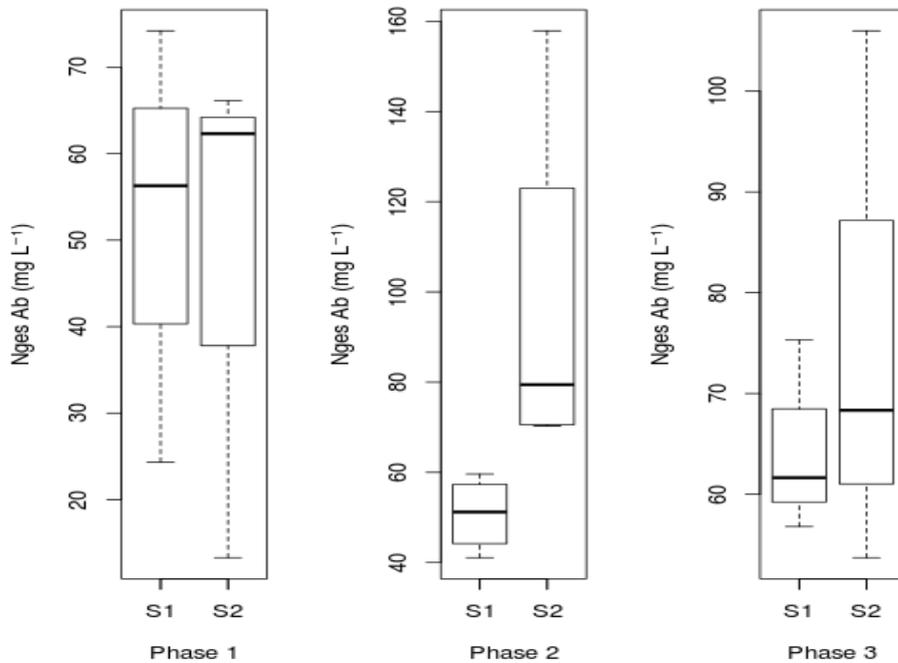


Abbildung 9: Ablaufwerte Stickstoff differenziert nach Versuchsphasen und Säulenreihe

Wie Tabelle 10 zeigt sind die Abweichungen der Ablaufwerte zwischen den Säulenreihen S1 und S2 während der Versuchsphasen 1 und 3 nicht signifikant. Der Referenzzustand (Phase 1) kann somit als vergleichbar angesehen werden. Des Weiteren kann kein signifikanter Einfluss durch eine Rezirkulation von 50% des Ablaufs (Phase 3) nachgewiesen werden. Inwiefern eine Verdopplung der Zulaufkraft an S1 (Phase 2) einen signifikant höheren Wirkungsgrad der N-Elimination zur Folge hat, kann nicht sicher festgestellt werden, da die Verteilung der Grundgesamtheiten nicht identisch ist.

Tabelle 10: Testverfahren zum Vergleich der N- Elimination in den Säulenreihen S1 und S2

Test	Nullhypothese	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
Shapiro-Wilk	Die Grundgesamtheit der Stichprobe ist normalverteilt.	k	k	k	k	k	k
F-Test	Die Varianzen der Grundgesamtheiten sind gleich.		k		A		k
t-Test	Die Mittelwerte der Grundgesamtheiten sind gleich.		k				k
K-S-Test	Die Verteilungen der Grundgesamtheiten sind identisch.				A		
Levene-Test	Varianzen der Grundgesamtheiten sind gleich.				k		
Wilcoxon-Rangsummen-Test	Die Verteilungen sind nicht gegeneinander verschoben.				A		

k..keine Ablehnung; A... Ablehnung

## 6.6 Diskussion der Ergebnisse der Säulenversuche und Schlussfolgerungen

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass das vorliegende Molkereiabwasser sehr gut abbaubar ist. Dies deckt sich mit Aussagen der Literatur (Abschnitt 4). Insbesondere ist festzustellen, dass die Ablaufwerte trotz schwankender Eingangsbelastung sehr niedrig liegen. Die in der Literatur beschriebene Rezirkulation von Ablaufwasser in die Vorklärung (Healy et al., 2006; Gaillot & Merlin, 2008) hat keine merkliche Auswirkung in den Versuchen gezeigt. Herauszustellen ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen pH-Wert im Zulauf und CSB-Ablaufwerten.

Es können folgende Schlussfolgerungen für die untersuchte Technologie und das zu behandelnde Molkereiabwasser gezogen werden.

- Die Eingangsbelastung des CSB liegt bei einem 85-Perzentil-Wert der CSB von 2960 mg l<sup>-1</sup>. Der 85-Perzentil-Wert des TKN-Zulaufs wurde mit 160 mg l<sup>-1</sup> ermittelt.
- Der Wirkungsgrad für den CSB- Abbau in einem zweistufigen Bodenfilter liegt sehr hoch (Mittelwert 96%). Das Abwasser ist sehr gut biologisch behandelbar.
- Der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination liegt im Mittel bei 31%. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades konnte durch eine Rezirkulation des Ablaufs nicht erreicht werden. Ggf. ist durch eine Anpassung der Beschickungszyklen eine Erhöhung der Wirkungsgrade möglich.
- Trotz starker Schwankungen der CSB-Zulaufmenge kann die Einhaltung der vorgegebenen Ablaufwerte < 100 mg/l eingehalten werden. Eine Erhöhung der Flächenbelastung und eine Rückführung des Ablaufs in die Vorklärung erbringt keine signifikante Veränderung Reinigungsleistung.
- Hohe pH-Werte haben einen direkten Einfluss auf die erreichbaren CSB-Ablaufwerte. Basische Reinigungsmittel sollten durch die Vermischung in der Vorklärung weitestgehend neutralisiert werden. Ein pH-Wert von 9 sollte dauerhaft (mehrere Tage) nicht überschritten werden, da ansonsten die Einhaltung der Ablaufkonzentrationen unsicher ist. Die Stickstoff-Elimination wird durch erhöhte pH-Werte nur gering beeinflusst.

## 7 Konzeption und Auslegung der Anlage am Standort Mahlitzsch

### 7.1 Bemessungswerte und Datengrundlage

In der Tabelle 11 ist die Datengrundlage zur Auslegung zusammengestellt.

Anhand von Messdaten aus dem Jahr 2015, Messdaten der Messkampagne im Jahr 2018, den Wasserverbrauchsdaten 2017, Betriebsdaten des Spülwasseraufkommens und den Annahmen zur Betriebsentwicklung (Anzahl von Mitarbeiter\*innen) wurden Volumenströme, Konzentrationen und Frachten berechnet. Ein Vergleich mit den Orientierungswerten nach DWA-M708 zeigt, dass die Messwerte plausibel sind.

Entsprechend des Arbeitsblattes DWA-A262 (2017) wird von einer CSB-Reduktion in der Vorklärung um 33% ausgegangen.

Tabelle 11: Datengrundlage Molkerei Mahlitzsch

Datenerfassung Molkerei/ Melkstand	Wert	Datengrundlage	Plausibilität
Q Molkerei, Melkstand (m <sup>3</sup> /d)	5,30	Wasserverbrauch 2017	
Q Spülwasser (m <sup>3</sup> /d)	0,14	Angabe Molkerei	
Q Mitarbeiterinnen (m <sup>3</sup> /d)	0,75	75 L/(MA*d), nach DIN4261	
Mitarbeiterinnenzahl	10	Prognose Maximum	
Konzentration CSB Spülwasser (mg/L)	2480	Messung 2015	
Konzentration CSB (mg/L)	2960	Messungen 2018, 85% Perzentil	DWA M708
CSB/BSB- Verhältnis	1,92	Messungen 2018, Mittelwert	DWA M708
Konzentration TKN (mg/L)	159	Messungen 2018, 85% Perzentil	DWA M708
Konzentrationen P (mg/L)	12	Messung am 17.4.2018	DWA M708
AFS (mg/L)	797	Messungen 2018, 85% Perzentil	DWA M708
<b>berechnete Frachten, EW</b>			
Fracht CSB (kg/d)	16,6		
Fracht TKN (kg/d)	0,9		
Fracht P (kg/d)	0,1		
Fracht AFS (kg/d)	4,6		
Schlammvolumen bei 4% AFS (m <sup>3</sup> /d)	0,11		
EW CSB (EW)	139		
EW Abwasservolumenstrom (EW)	41		

### 7.2 Auslegung der Anlagengröße

Entsprechend der Bemessungswerte (Abschnitt 7.1) ergibt sich nach DWA-A 262 eine Anlagengrößen nach Tabelle 12.

Tabelle 12: Auslegung der 2-stufigen Pflanzenkläranlage nach DWA-A262 (2017)

Größe (Einheit)	Wert
Eingangsgroßen	
Abwasseraufkommen (m <sup>3</sup> /d)	6,2
Fracht CSB (kg/d)	16,6
Fracht TKN (kg/d)	0,7
Fracht CSB nach VK (kg/d)	11,1
Einwohner CSB (EW)	138,7
Einwohner TKN (EW)	65,9
Einwohnerwert Abwasseraufkommen (EW)	41,3
Auslegung	
Mindestgröße der Vorklärung (m <sup>3</sup> )	12,4
gewählte Größe der VK (m <sup>3</sup> )	30,0
Gesamtfläche nach EW (m <sup>2</sup> )	277,4
Fläche 1. Stufe nach CSB Belastung 80g/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	138,7
Fläche 2. Stufe nach EW (m <sup>2</sup> )	138,7
gewählte Filterfläche je Stufe (m <sup>2</sup> )	150,0
gewählte Gesamtfläche je Stufe (m <sup>2</sup> )	300,0

Nach DWA- A262 (2017) ergibt sich eine Gesamtgröße der Anlage von 278 m<sup>2</sup> mit einer Größe der Stufen von 139 m<sup>2</sup>. Für die Bemessung der Anlage wird ein Wert von 150 m<sup>2</sup> pro Stufe angesetzt. Die Vorklärung wird mit 30 m<sup>3</sup> ausgelegt. Die Mindestgröße nach DWA- A262 beträgt 12,4m<sup>3</sup>. Das Volumen wurde größer gewählt um den Ausgleich und die Zwischenspeicherung des anfallenden Abwassers zu gewährleisten.

### 7.3 Beschickungssystem

Für die Funktion des Bodenfilters ist das Beschickungssystem von entscheidender Bedeutung. Durch die Rohrleitungen und Auslassöffnungen wird das Abwasser auf der Filteroberfläche verteilt.

Es wird mittels hydraulischer Modellierung berechnet, wie das Beschickungssystem eine Gleichverteilung des Abwassers erreicht werden kann.

#### 7.3.1 Entwurf Beschickungssystem Filterstufe 1

Details zur Auslegung von Stufe 1, Entwurf sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Details Auslegung Stufe 1, Entwurf

	<b>Stufe 1</b>
Länge Zulaufleitung	20 m
Länge Verteiler	5 m
Innendurchmesser Zulaufleitung	40 mm
Innendurchmesser Verteilerleitung	104 mm
Abstand Stränge	0,33 m
Länge Strang	10 m
Innendurchmesser Strang	28 mm
Anzahl Stränge	15
Abstand Öffnungen	0,25 m
Anzahl Beschickungsöffnungen je Strang	40
Anzahl Beschickungsöffnungen gesamt	600
Durchmesser Beschickungsöffnungen	3,5 mm
relative Höhe Wasserspiegel Vorlage	0 m
Pumpe	Grundfos AP.12.40.06
Schwallbeschicker	nein
Verlustbeiwert Zulauf	40

### 7.3.1.1 Simulationsergebnisse Entwurfsplanung Filterstufe 1

An den Beschickungsöffnungen der 1. Stufe treten Drücke zwischen 1,7 und 3,2 cm WS auf (Abbildung 10). Die resultierenden Abgaben betragen 0,220 bis 0,295 L/min (Abbildung 11). Der Variationskoeffizient der Abgaben (CVq) liegt mit 8,97% deutlich höher als der angestrebte Wert von 5%. Die Gleichverteilung des Abwassers ist als mittelmäßig zu bewerten.

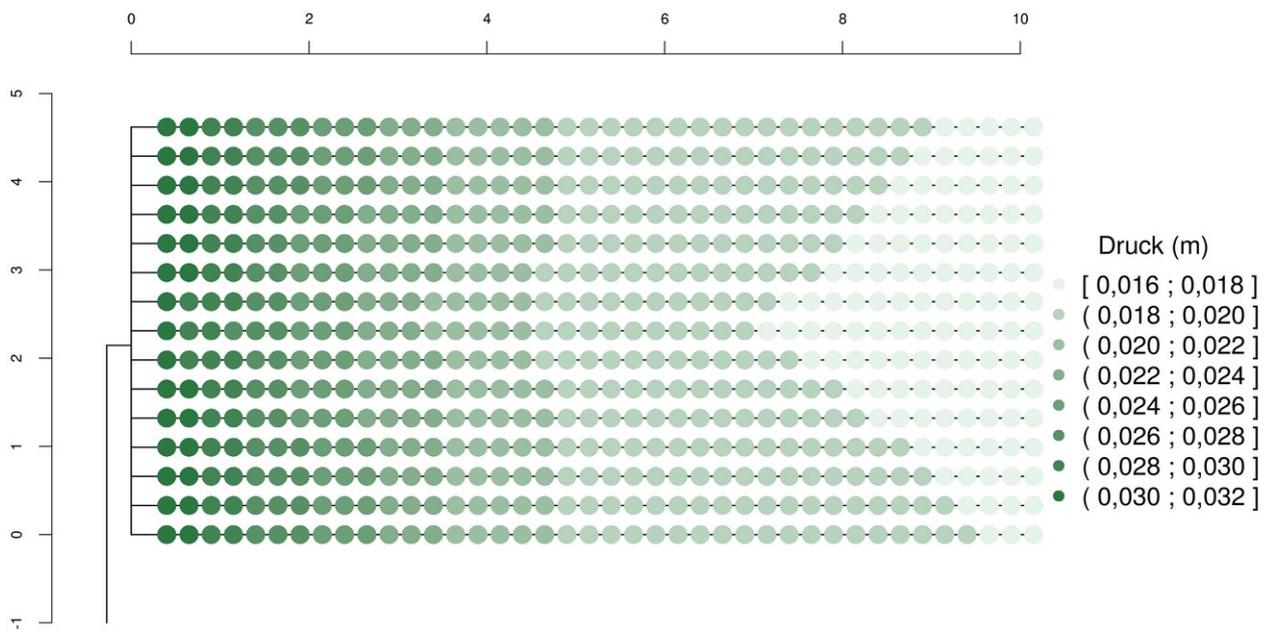


Abbildung 10: Druckverhältnisse Stufe 1, Entwurf

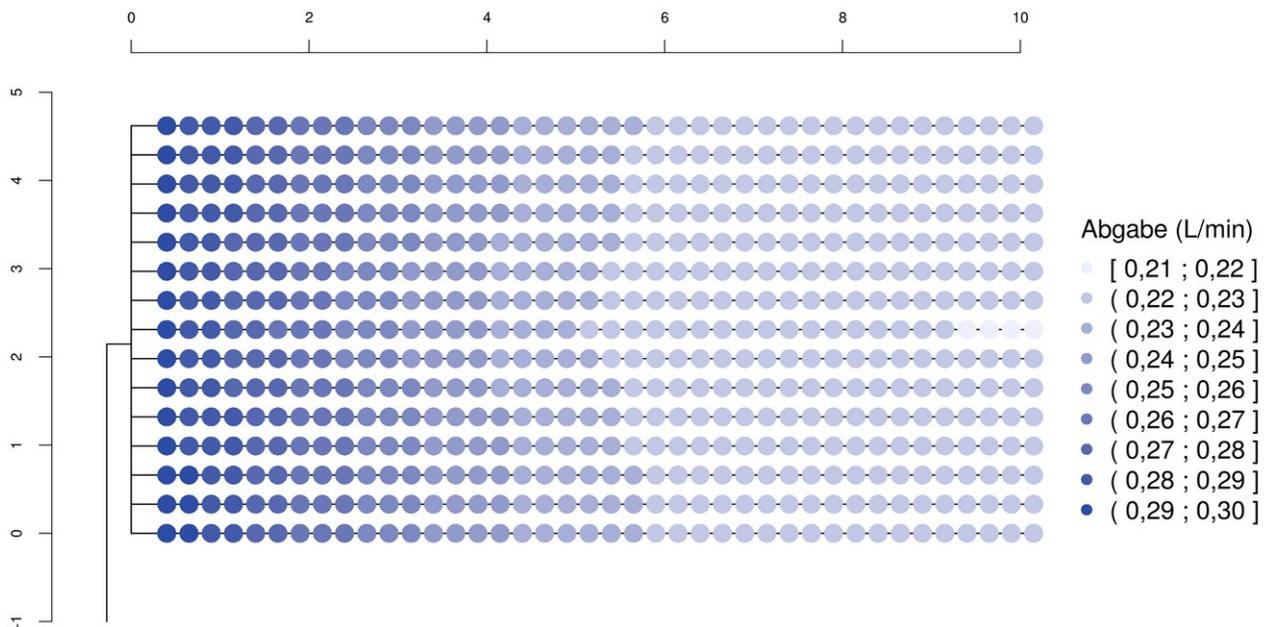


Abbildung 11: Abwasserverteilung Stufe 1, Entwurf

Die Pumpe arbeitet im optimalen Bereich ihres Leistungsspektrums (Abbildung 12), der Wirkungsgrad beträgt 30,1% bei einer Förderhöhe von 9,3 m.

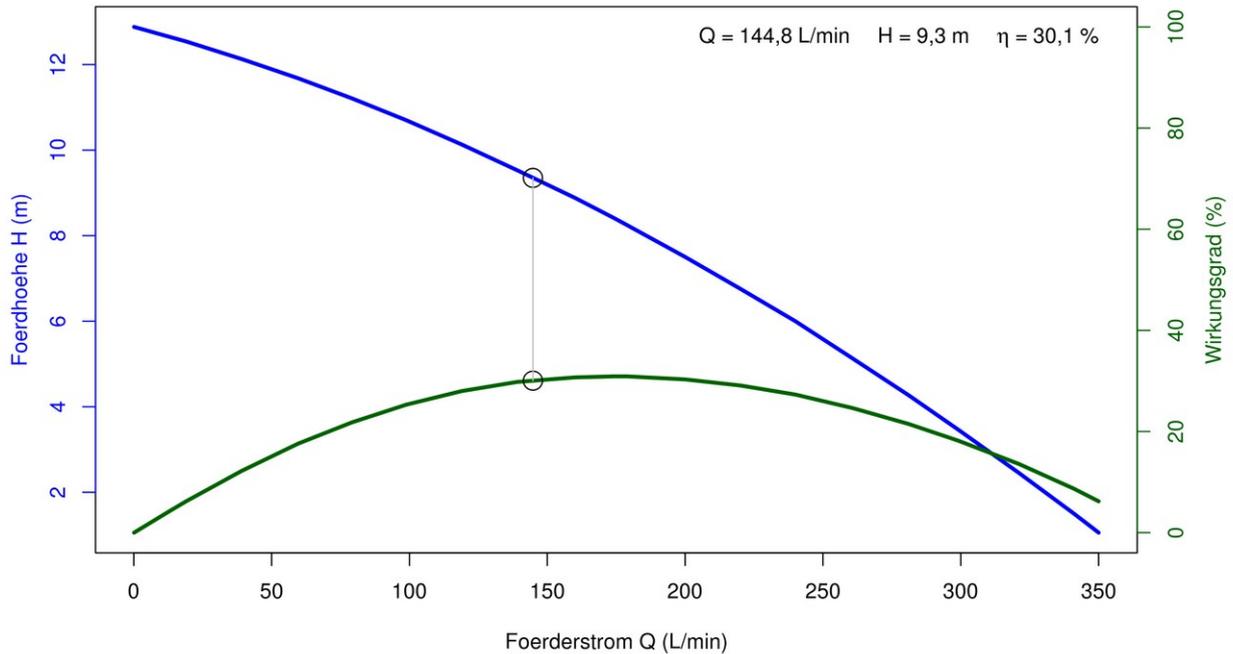


Abbildung 12: Arbeitspunkt der Pumpe Stufe 1, Entwurf

Die geringen Drücke an den Auslassöffnungen werden als nachteilig bewertet, ebenso ist die Verteilungsgüte nur mittelmäßig. Auch ist der Durchfluss recht niedrig. Ziel der Optimierung ist es daher, die Drücke und den Durchfluss zu erhöhen sowie die Verteilung zu verbessern.

### 7.3.1.2 Variantenbetrachtung Filterstufe 1

Um die Auslegungsziele zu erreichen, gibt es eine Vielzahl von Optimierungsmöglichkeiten. Mehrere Komponenten der Beschickung werden im Folgenden betrachtet und variiert:

- Verteilerstrang: Drücke und Abgaben sind in größerer Nähe zum Verteiler höher und mit zunehmender Entfernung vom Verteiler (den Strang entlang) niedriger. Kürzere Stränge sind damit günstiger für eine bessere Verteilung des Abwassers. Da die Stranglänge aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht verändert werden kann, ist eine Verlegung des Verteilers in Erwägung zu ziehen: Die Zuführung könnte statt am Rand mittig zu den Beschickungssträngen, und zwar von oben erfolgen. Beim Bau würde in diesem Fall die Verteilerleitung etwa 10 cm höher liegen als die Beschickungsstränge. Auch der Durchmesser des Verteilers kann variiert werden.
- Der Durchmesser der Zulaufleitung kann variiert werden.

- Beschickungsstränge: Die Durchmesser der Öffnungen können verändert werden. Die Abstände zwischen den Öffnungen können variiert werden.

Neben dem Entwurfsmodell, im Folgenden Variante A, wurden zwei weitere Varianten entworfen: In Variante B wurde der Abstand zwischen den Öffnungen auf 0,33 m vergrößert. In Variante C wurde die Verteilerleitung mittig über die Stränge gelegt, so dass die Stränge von der Mitte her beschickt werden.

Die Modellergebnisse der drei Varianten sind in Tabelle 14 gegenübergestellt.

Tabelle 14: Ergebnisse Variantenuntersuchung

	Basis „M“ = A	Basis „M“ mit größeren Abständen = B	Basis „O“ = C	Kommentar
Volumen Rohrsystem	0,177	0,176	0,217	C höhere Investitionskosten
Durchfluss in L/min	144,8	144,7	144,9	gleich
Förderhöhe Pumpe	9,35	9,36	9,35	gleich
Wirkungsgrad Pumpe	30,05	30,04	30,05	gleich
Austauschzeit Rohrvolumen	1,22	1,22	1,50	C etwas länger
Drücke an den Emittern: Minimum	0,0175	0,036	0,022	zu niedrig
... Mittelwert	0,021	0,038	0,023	
... Maximum	0,032	0,048	0,025	
Variationskoeffizient der Abgaben	8,97	5,29	1,78	Variante C exzellent
Energiebedarf pro gepumptem Volumen	0,0848	0,0850	0,0848	gleich
Jahreskosten für Leistungsbedarf an der Pumpenwelle	49,21 €	49,28 €	49,21 €	gleich

Variante C erscheint als günstigste Auslegung und wird im nächsten Schritt weiter optimiert. Als Subvarianten werden gerechnet:

- Verkleinerung der Öffnungsdurchmesser auf 3mm (C em3)
- Erweiterung der Zulaufleitung auf DN63/Innendurchmesser 50 mm (C ZL50mm)
- Erweiterung der Zulaufleitung auf DN63/Innendurchmesser 50 mm und Verkleinerung der Öffnungsdurchmesser auf 3mm (C ZL50mm em3)
- Vergrößern der Abstände zwischen den Öffnungen auf 0,33 m

Unterschiede in der Auslegung sowie die Ergebnisse der Subvarianten sind in Tabelle 15 dargestellt.

Die Subvariante mit verkleinertem Emitterdurchmesser (C em3) weist höhere Drücke und einen verbesserten CVq auf, dasselbe gilt für das Modell mit vergrößerten Abständen zwischen den Emittern. Die Subvariante mit dickerer Zulaufleitung (C ZL50mm) ergibt einen höheren Durchfluss bei niedrigerer Förderhöhe, dadurch geringere Verweilzeit des Abwassers und niedrigere Energiekosten. Die Drücke sind ähnlich denen der vorherigen Subvarianten, der CVq ist exzellent, allerdings etwas höher als der der Basisvariante C. Durch Kombination der kleineren Emittgröße und erweiterten Zulaufleitung ergibt sich ebenfalls ein höherer Durchfluss mit geringerer Förderhöhe, dadurch geringere Verweilzeit und niedrigere Energiekosten. Ebenfalls steigen die Drücke an den Auslassöffnungen auf durchschnittlich 8,6 cmWS an bei einem CVq von etwa 1%.

Tabelle 15: Subvarianten zu Variante C der Stufe 1

	C	C em3	C ZL50mm	C ZL 50mm em3	C größere Abstände
Abstand zwischen Öffnungen	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33
Durchmesser Öffnungen	3,5	3	3,5	3	3,5
Durchmesser Zulaufleitung	40	40	50	50	40
Volumen Rohrsystem	0,217	0,217	0,231	0,231	0,215
Durchfluss in L/min	144,9	144,7	204,4	204,1	144,7
Förderhöhe Pumpe	9,35	9,35	7,34	7,35	9,35
Wirkungsgrad Pumpe	30,05	30,05	30,03	30,06	30,05
Austauschzeit Rohrvolumen	1,50	1,50	1,13	1,13	1,48
Drücke an den Emittern: Minimum	0,0217	0,0414	0,0430	0,082	0,0412
... Mittelwert	0,0234	0,0432	0,0466	0,086	0,0430
... Maximum	0,0254	0,0453	0,0510	0,090	0,0449
Variationskoeffizient der Abgaben	1,78	0,98	1,90	1,047	0,98
Energiebedarf pro gepumptem Volumen	0,0848	0,0848	0,0666	0,0666	0,0848
Jahreskosten für Leistungsbedarf an der Pumpenwelle	49,21 €	49,21 €	38,65 €	38,67 €	49,21 €

Die Subvariante C ZL50mm em3 wird zur Ausführung empfohlen. Abweichend von der Basisplanung ist der Durchmesser der Zulaufleitung mit DN63 (ID 50mm) auszuführen, die Öffnungsdurchmesser sollen 3 mm betragen. Im Vergleich zur Planung treten an den Auslassöffnungen höhere Drücke auf, der Durchfluss ist höher bei gleichem Pumpenwirkungsgrad und niedrigerer Förderhöhe. Die Verteilung ist exzellent. Die Austauschzeit (Näherung für die Entleerungszeit) liegt bei 1:08 min. Im Vergleich zur Basisvariante sind die Investitionskosten erhöht (erhöhtes Rohrvolumen um Faktor 1,3). Bei den Energiekosten beträgt die

Einsparung dagegen etwa 21%.

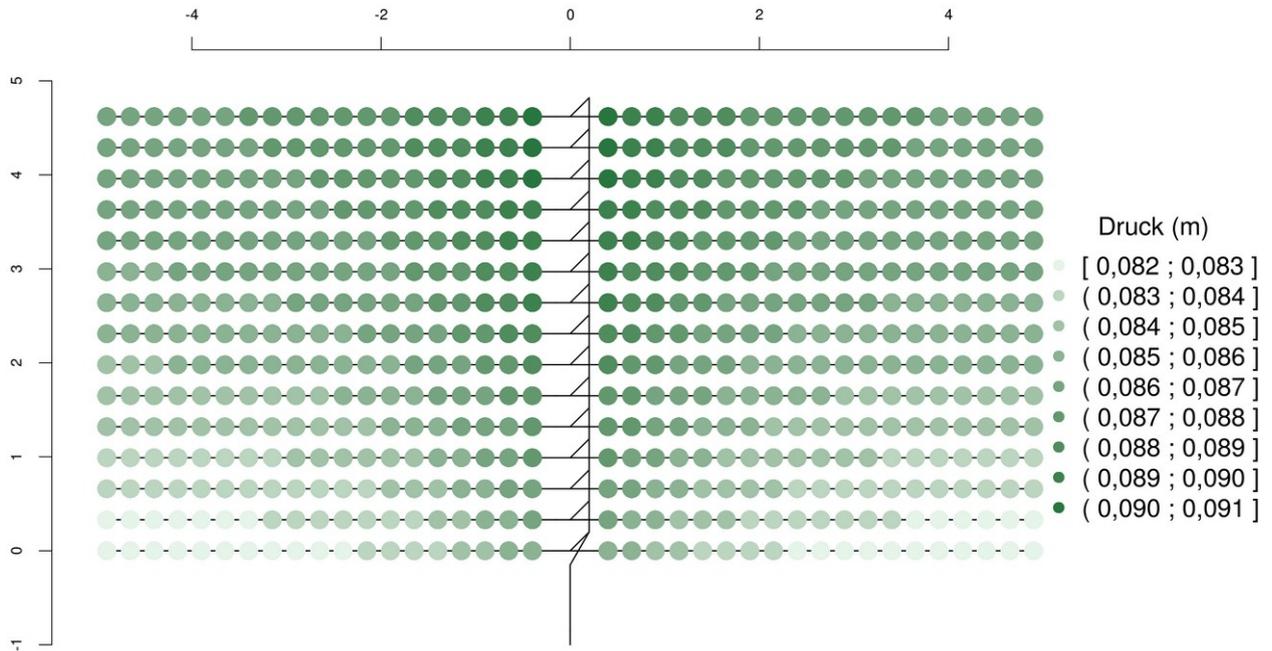


Abbildung 13: Druckverhältnisse Stufe 1, optimierte Beschickung (Variante C ZL50mm em3)

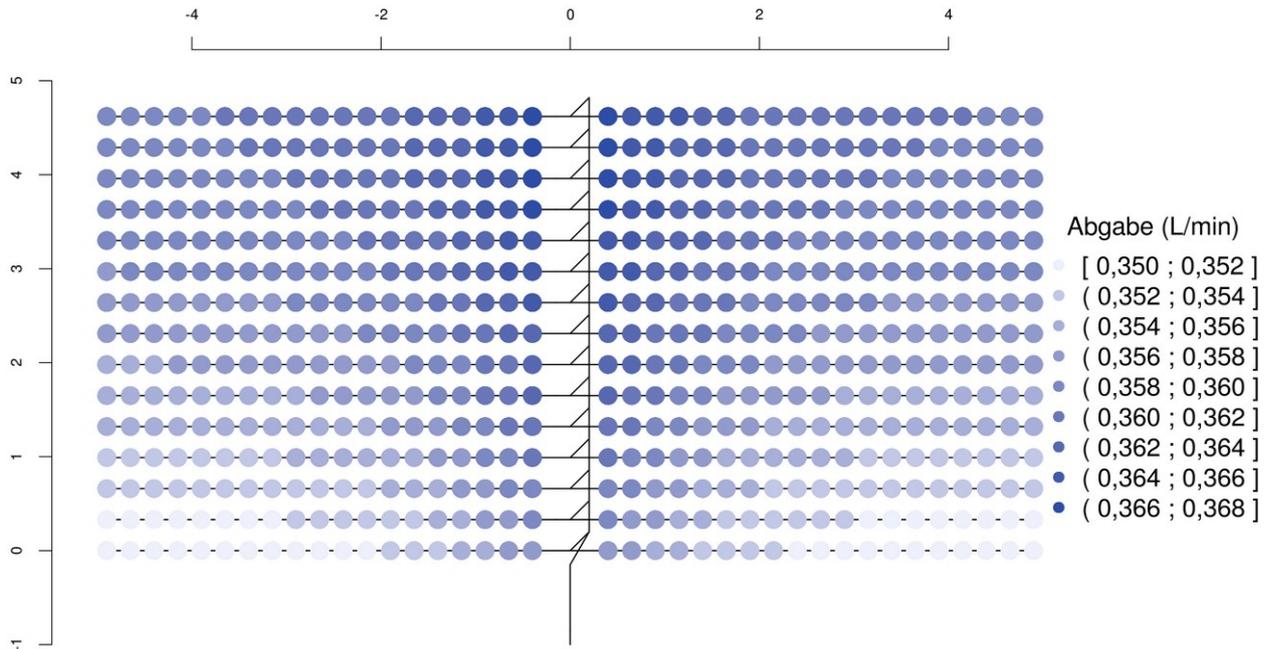


Abbildung 14: Abwasserverteilung Stufe 1, optimierte Beschickung (Variante C ZL50mm em3)

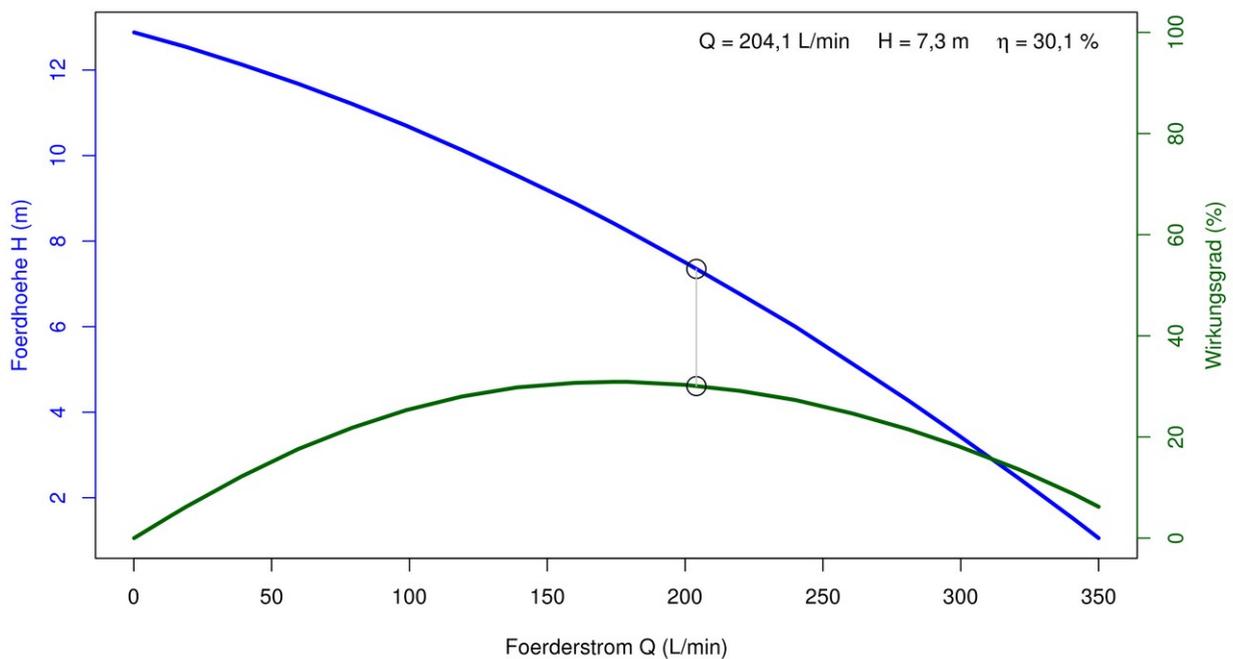


Abbildung 15: Arbeitspunkt der Pumpe Stufe 1, optimierte Beschickung (Variante C ZL50mm em3)

### 7.3.1.3 Einfluss der Länge der Zulaufleitung und des Verlustbeiwerts bei Stufe 1

Für die Übertragbarkeit der simulierten Ergebnisse auf weitere Beeteile mit identischen Beschickungssystemen, jedoch weiteren Entfernungen zur Vorlage und anderen Formteilen, wurde das optimierte Modell mit veränderten Leitungslängen und Verlustbeiwerten versehen und erneut gerechnet.

Mit zunehmender Länge und Verlustbeiwert nehmen die Aufenthaltszeit und die relativen Energiekosten zu. Die Gleichverteilung bleibt gleich bei abnehmenden Drücken und Abgaben (Tabelle 16).

Tabelle 16: Hydraulisches Verhalten bei unterschiedlichen Längen der Zulaufleitungen

Länge Zulaufleitung g m	Verlustbeiwert Zulaufleitung g	Durchfluss L/min	Aufenthaltszeit min	p_Median mWS	q_Median L/min	CVq %	relative Energiekosten
5	20	255,3	0,8	0,135	0,448	1,07	100%
10	20	250,3	0,8	0,130	0,440	1,07	101%
20	20	241,3	1,0	0,120	0,424	1,07	104%
40	20	225,2	1,2	0,105	0,395	1,06	108%
5	40	212,5	0,9	0,093	0,373	1,06	113%
10	40	209,6	1,0	0,091	0,368	1,05	114%
20	40	204,1	1,1	0,086	0,358	1,05	116%
40	40	194,2	1,4	0,078	0,341	1,04	120%
5	60	186,5	1,1	0,072	0,327	1,03	123%
10	60	184,5	1,1	0,070	0,324	1,03	124%
20	60	180,7	1,3	0,068	0,317	1,02	125%
40	60	173,7	1,6	0,062	0,305	1,02	129%

### 7.3.2 Entwurf Beschickungssystem Filterstufe 2

Details zur Neuplanung von Stufe 2 sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Details Auslegung

	Stufe 2
Länge Zulaufleitung	20 m
Länge Verteiler	5 m
Innendurchmesser Zulaufleitung	104 mm
Innendurchmesser Verteilerleitung	104 mm
Abstand Stränge	0,33 m
Länge Strang	10 m
Innendurchmesser Strang	28 mm
Anzahl Stränge	15
Abstand Öffnungen	0,25 m
Anzahl Beschickungsöffnungen je Strang	40
Anzahl Beschickungsöffnungen gesamt	600
Durchmesser Beschickungsöffnungen	3,5 mm
relative Höhe Wasserspiegel Vorlage	0,7 m
Pumpe	nein
Schwallbeschicker	ja
Verlustbeiwert Zulauf	100

### 7.3.1.1 Simulationsergebnisse Entwurfsplanung Filterstufe 2

An den Beschickungsöffnungen der 2. Stufe treten Drücke zwischen 2,6 und 4,7 cm WS auf (Abbildung 16). Die resultierenden Abgaben betragen 0,270 bis 0,359 L/min (Abbildung 17). Der Variationskoeffizient der Abgaben (CVq) liegt mit 8,7% deutlich höher als der angestrebte Wert von 5%. Die Gleichverteilung des Abwassers ist als mittelmäßig zu bewerten.

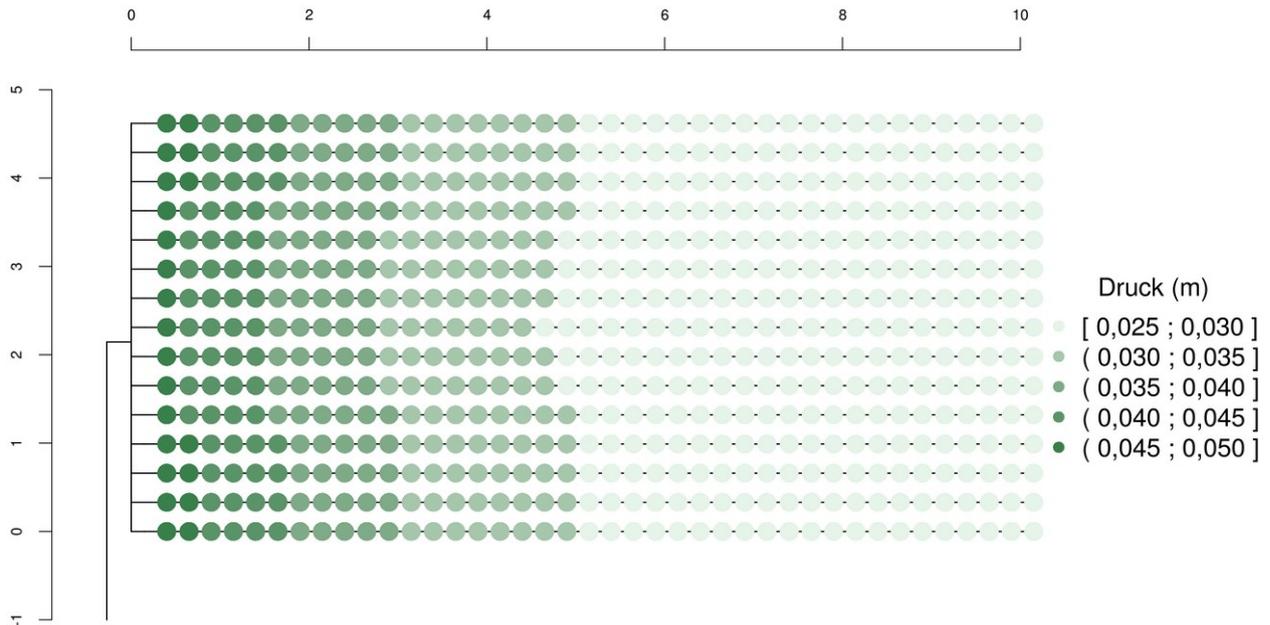


Abbildung 16: Druckverhältnisse Stufe 2, Planung

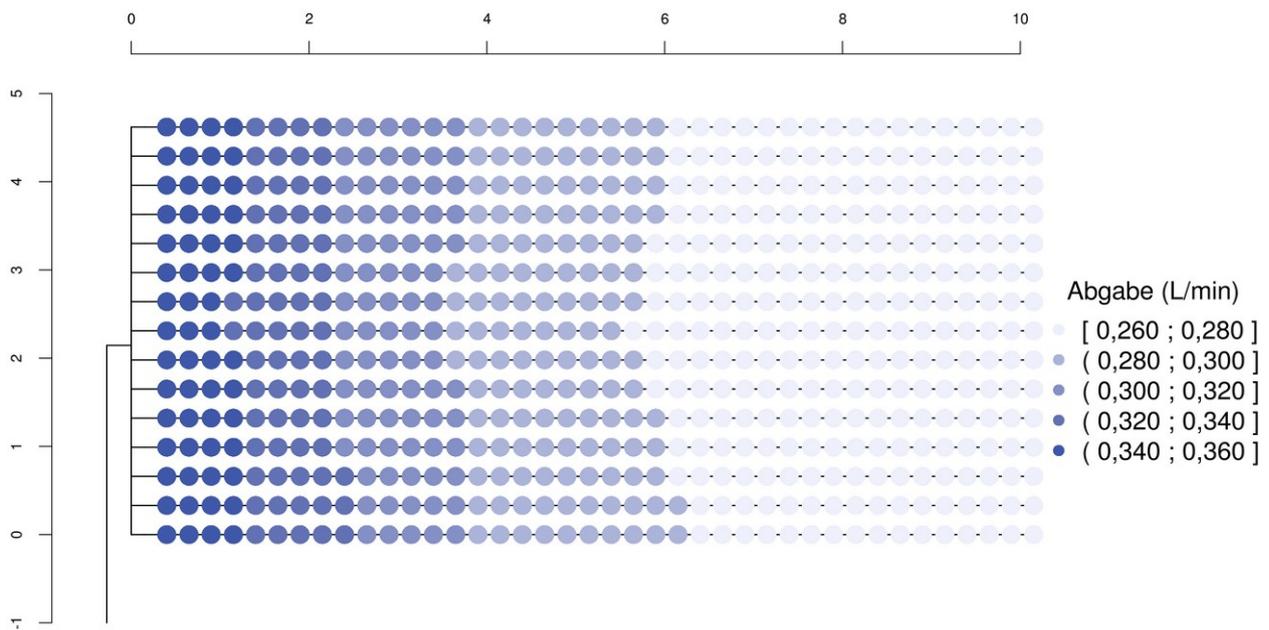


Abbildung 17: Abwasserverteilung Stufe 2, Planung

Die geringen Drücke an den Auslassöffnungen werden als nachteilig bewertet, ebenso ist die Verteilungsgüte nur mittelmäßig. Ziel der Optimierung ist es, die Drücke zu erhöhen und die Verteilung zu verbessern.

Weitere Ergebnisse sind in Anlage 12.2 zusammengefasst.

### 7.3.1.2 Variantenbetrachtung Filterstufe 2

Um die Auslegungsziele zu erreichen, gibt es eine Vielzahl von Optimierungsmöglichkeiten. Mehrere Komponenten der Beschickung werden im Folgenden betrachtet und variiert:

- Verteilerstrang: Drücke und Abgaben sind in größerer Nähe zum Verteiler höher und mit zunehmender Entfernung vom Verteiler (den Strang entlang) niedriger. Kürzere Stränge sind damit günstiger für eine bessere Verteilung des Abwassers. Da die Stranglänge aufgrund der geografischen Gegebenheiten nicht verändert werden kann, ist eine Verlegung des Verteilers in Erwägung zu ziehen: Die Zuführung könnte statt am Rand mittig zu den Beschickungssträngen, und zwar von oben erfolgen. Beim Bau würde in diesem Fall die Verteilerleitung etwa 10 cm höher liegen als die Beschickungsstränge.
- Beschickungsstränge: Die Durchmesser der Öffnungen können verändert werden. Die Abstände zwischen den Öffnungen können variiert werden.

Neben dem Basismodell, im Folgenden Variante A, wurden zwei weitere Varianten entworfen: In Variante B wurde der Abstand zwischen den Öffnungen auf 0,33 m vergrößert. In Variante C wurde die Verteilerleitung

mittig über die Stränge gelegt, so dass die Stränge von der Mitte her beschickt werden.

Die Modellergebnisse der drei Varianten sind in Tabelle 18 gegenübergestellt.

Tabelle 18: Ergebnisse Basisvarianten

		Basis „M“ = A	Basis „M“ mit größeren Abständen = B	Basis „O“ = C	Kommentar
Datei		MaMoPrfSt2	MaMoPrfSt2 B	MaMoPrfSt2 C	
Volumen Rohrsystem	m <sup>3</sup>	0,322	0,321	0,368	C höhere Investitionskosten
Durchfluss in L/min	L/ min	177,5	174,4	179,2	annähernd gleich
Austauschzeit Rohrvolumen	min	1,8	1,8	2,1	annähernd gleich
Drücke an den Emittlern: Minimum	m	0,0264	0,0488	0,0326	sehr niedrig für alle Varianten
... Mittelwert	m	0,0319	0,0545	0,0358	
... Maximum	m	0,0468	0,0689	0,0399	
Variationskoeffizient der Abgaben	%	8,70	5,13	2,20	exzellent für C

Variante C ist am viel versprechendsten und wird im nächsten Schritt weiter variiert. Als Subvarianten wurden gerechnet:

- Verkleinerung der Öffnungsdurchmesser auf 3mm (C em3)
- Vergrößern der Abstände zwischen den Öffnungen auf 0,33 m (D)
- Vergrößern der Abstände zwischen den Öffnungen auf 0,33 m und Verkleinern der Öffnungsdurchmesser auf 3mm (D em3)

Weitere Variationsmöglichkeiten sind an dieser Stelle nicht zielführend. Aus Vorstudien ist bekannt, dass eine Verkleinerung der Durchmesser sich auf Drücke und Gleichverteilung negativ auswirkt. Eine Erhöhung des Reservoirs ist wegen der Geländebeschaffenheit nicht möglich.

Unterschiede in der Auslegung sowie die Ergebnisse der Subvarianten sind in Tabelle 19 dargestellt.

Die Subvariante mit verkleinertem Emitterdurchmesser (C em3) weist höhere Drücke und einen verbesserten CVq auf, dasselbe gilt für das Modell mit vergrößerten Abständen zwischen den Emittlern (D). Durch Kombination der kleineren Emittergröße und vergrößerten Abstände steigen die Drücke an den Auslassöffnungen auf durchschnittlich 10,9 cmWS an bei einem CVq von 0,55%.

Tabelle 19: Weitere Optimierungsschritte Stufe 2

		C	C em3	D (C mit größeren Abständen )	D em3
Datei		MaMoPrfSt 2C	MaMoPrfSt 2C_em3	MaMoPrfSt 2D	MaMoPrfSt 2D_em3
Abstand zwischen Öffnungen	m	0,25	0,25	0,33	0,33
Durchmesser Öffnungen	mm	3,5	3	3,5	3
Durchfluss in L/min	L/min	179,3	175,5	175,5	169,1
Austauschzeit Rohrvolumen	min	1,9	2,0	2,0	2,1
Drücke an den Emittlern: Minimum	m	0,033	0,061	0,061	0,106
... Mittelwert	m	0,036	0,064	0,063	0,109
... Maximum	m	0,039	0,067	0,066	0,112
Variationskoeffizient der Abgaben	%	1,86	1,02	1,01	0,55

Die besten Ergebnisse (höchste Drücke, geringster Variationskoeffizient der Abgaben) treten für Variante D em3 auf. Als nachteilig könnte der vergrößerte Abstand zwischen den Öffnungen angesehen werden. Variante C em3 ist ebenfalls für die Umsetzung geeignet und wird daher zur Realisierung empfohlen.

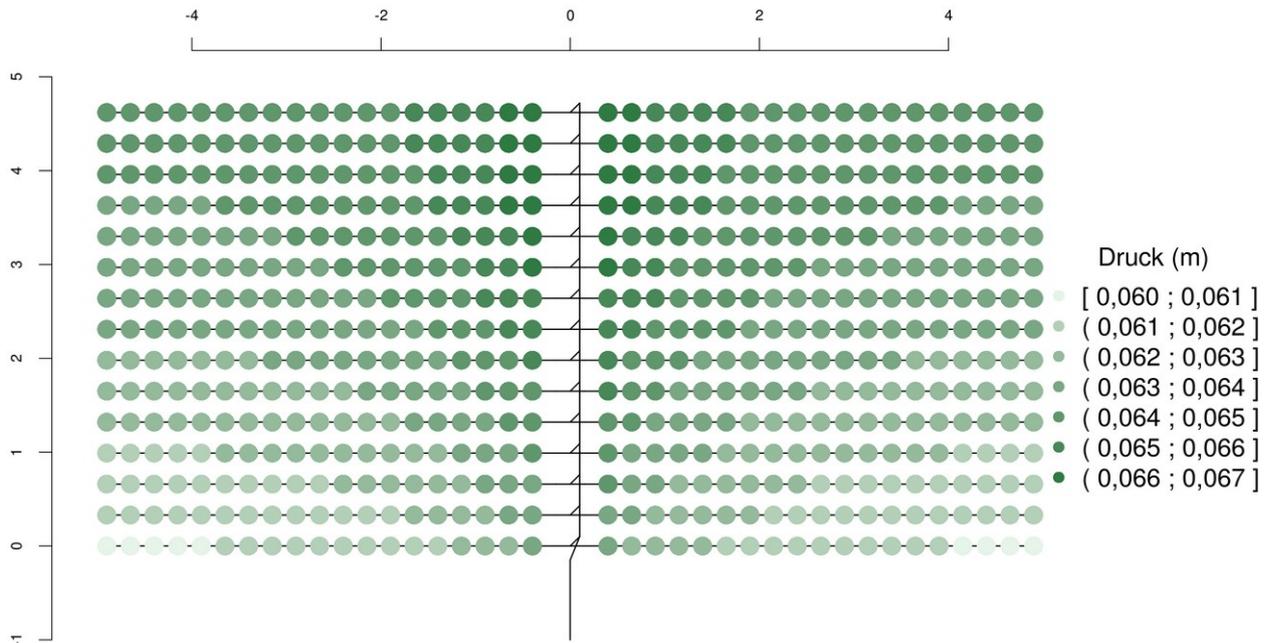


Abbildung 18: Druckverhältnisse Stufe 2, optimierte Beschickung (Variante C em3)

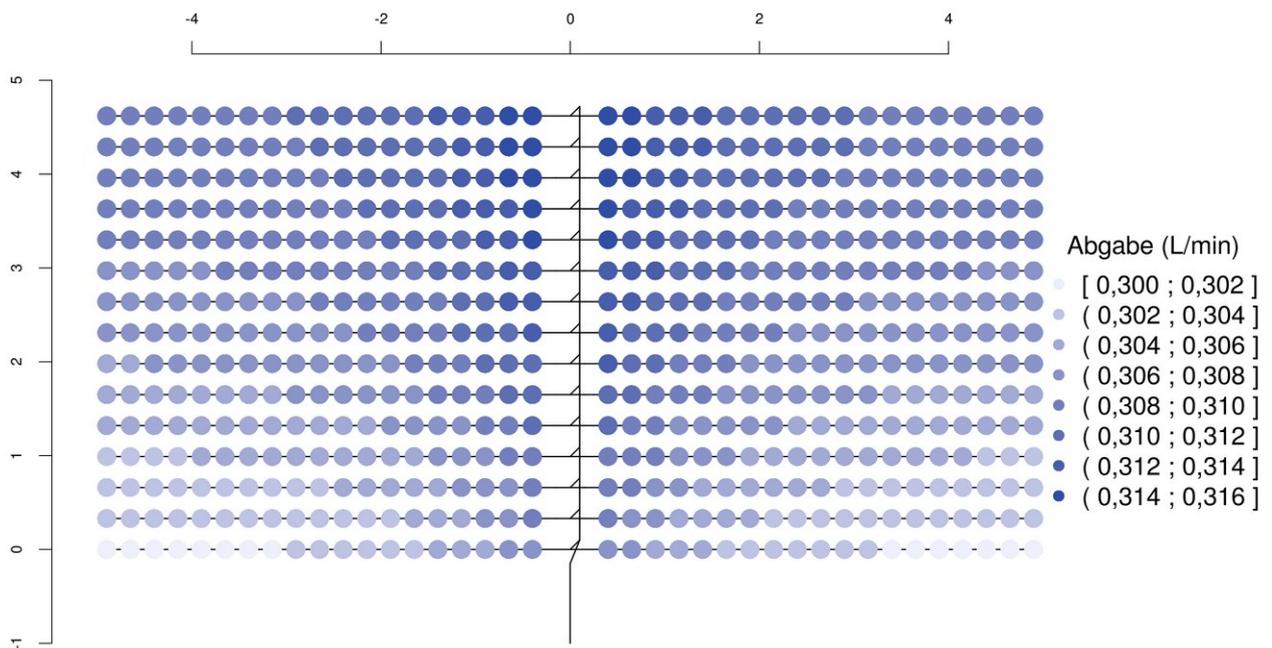


Abbildung 19: Abwasserverteilung Stufe 2, optimierte Beschickung (Variante C em3)

### 7.3.1.3 Einfluss des Verlustbeiwerts der Zulaufleitung und Höhe der Vorlage bei Stufe 2

Für die Übertragbarkeit der simulierten Ergebnisse auf weitere Beeteile mit identischen Beschickungssystemen, jedoch weiteren Entfernungen zur Vorlage und mit anderen Formteilen, wurde das optimierte Modell mit veränderten Leitungslängen und Verlustbeiwerten versehen und erneut gerechnet.

Tabelle 20: Durchfluss, Aufenthaltszeit, Drücke, Abgaben und Gleichverteilung bei Variation von Länge und Verlustbeiwert der Zulaufleitung

Länge Zulaufleitung m	Verlustbeiwert Zulaufleitung	Durchfluss L/min	Aufenthaltszeit min	p_Median mWS	q_Median L/min	CVq %
5	80	196,3	1,1	0,080	0,345	1,04
10	80	195,2	1,4	0,079	0,343	1,04
20	80	193,0	1,8	0,077	0,339	1,04
40	80	188,8	2,7	0,074	0,332	1,03
5	100	178,0	1,2	0,066	0,313	1,02
10	100	177,1	1,5	0,065	0,311	1,02
20	100	175,5	2,0	0,064	0,308	1,02
40	100	172,3	3,0	0,061	0,302	1,02
5	120	164,0	1,4	0,056	0,288	1,00
10	120	163,3	1,6	0,055	0,287	1,00
20	120	162,0	2,2	0,054	0,285	1,00
40	120	159,4	3,3	0,053	0,280	1,00

Mit zunehmender Länge und höherem Verlustbeiwert nimmt die Aufenthaltszeit zu. Die Gleichverteilung bleibt gleich bei abnehmenden Drücken und Abgaben (Tabelle 20). Der Median der Drücke nimmt bei Verdopplung der Leitungslänge von 20 auf 40 m von 0,064 auf 0,061 mWS, also um 3 mm, ab. Auch die mittlere Abgabe sinkt leicht. Die Leistungsfähigkeit der Beschickung wäre dadurch jedoch nicht gefährdet. Jedoch sollte auf möglichst gerade Verlegung geachtet werden, um Verlust an Formteilen zu sparen, da eine Erhöhung des Verlustbeiwerts von 100 auf 120 (bei einer Länge von 20 m) einen Druckverlust von 1 cm bewirkt.

Ebenfalls untersucht wurden die Auswirkungen von Änderungen des Wasserspiegels in der Vorlage auf Durchfluss, Drücke und Gleichverteilung. Wie aus Tabelle 21 ersichtlich, verringern sich Durchfluss, Drücke und Abgaben erheblich bei geringerer Höhe der Vorlage. Die Gleichverteilung hingegen bleibt unverändert. Der vorgegebene Höhenunterschied zwischen Wasserspiegel in der Vorlage und Emittlern sollte daher keinesfalls unterschritten werden.

Tabelle 21: Durchfluss, Aufenthaltszeit, Drücke, Abgaben und Gleichverteilung bei Variation der Vorlagenhöhe

Höhe Vorlage m	Durchfluss L/min	Aufenthaltszeit min	p_Median mWS	q_Median L/min	CVq %
0,7	175,5	2,0	0,064	0,308	1,02
0,6	162,4	2,1	0,055	0,285	1,00
0,5	148,2	2,4	0,045	0,260	0,98

## **8 Standorte der großtechnischen Anlagen**

### **8.1 Standort Mahlitzsch**

Die Bauausführung der Großanlage ist nicht Teil des Forschungsvorhabens, wird aber aufgrund des Verständnisses zur Funktion der Anlage an dieser Stelle zusammenfassend dargestellt.

#### **8.1.1 Vorklärung (MKG)**

Die Vorklärung der errichteten Großanlage besteht aus 5 Behältern mit einem Gesamtvolumen von 30 m<sup>3</sup>.

Für die Molkerei und den Melkstand sind 2 Behälter (MKG2) mit 12 m<sup>3</sup> (4 Kammern) errichtet worden. Ein Behälter mit einem Volumen von 6 m<sup>3</sup> ist für das Sanitärabwasser der Mitarbeiter vorgesehen, und ein Volumen von 12 m<sup>3</sup> dient als Pufferspeicher zur Vergleichmäßigung der Zuflüsse.

Die Lage der Behälter und Ausführung der Behälter ist in den Anlagen 12.3 , 12.4 und 12.5 dargestellt.

#### **8.1.2 Bodenfilter**

Die biologische Hauptstufe (Bodenfilter) besteht aus 3 parallelen Straßen mit in 2 Stufen angeordneten Pflanzenbeeten. Die Beete der 1. Stufe sind Kiesfilter, die Beete der 2. Stufe sind mit Sand befüllt. Eine Beschickung erfolgt über 3 Pumpen (je Straße eine Pumpe) und Schwallbeschickern, die in Sammelbehältern zwischen den oben und unten liegenden Filtern angeordnet sind.

Die Ausführung und Lage der Pflanzenbeete ist in den Anlagen 12.3 , 12.4 und 12.5 dargestellt.

#### **8.1.3 Versickerung und Ablauf**

Das gereinigte Abwasser wird entsprechend den Vorgaben der Wasserbehörde in einer Mulde mit einer Fläche von ca. 51 m<sup>2</sup> versickert.

Die Lage der Mulde und Bilder zur Ausführung sind in den Anlagen 12.3 und 12.5 enthalten.

#### **8.1.4 Steuerung und Energieverbrauch**

Der Zufluss in die Vorklärung und Pufferspeicher erfolgt im freien Gefälle. Die Beete werden mit 3 Pumpen diskontinuierlich (ca. 10-12 Minuten pro Tag) mit dem vorgereinigtem Abwasser beschickt. Die Steuerung der Beschickung wird über eine Kombinierte Zeit-Wasserstands-Steuerung realisiert. Dies bedeutet, dass die Anlage mit konstanten Zyklen und einer konstanten Menge an Abwasser beschickt wird. Bei hohem Abwasseranfall wird über eine separate wasserstandsabhängige Schaltung das Beschickungsvolumen kurzzeitig erhöht und danach dann wieder auf das Zeitregime umgeschaltet. Die Schwallbeschicker zur Beschickung der 2. Stufen springen entsprechend dem Abwasseranfall (Wasserstand in den Vorlagen) an. Je nach Häufigkeit der Beschickung der 1. Stufe mittels Pumpen werden so auch die Intervalle zur Beschickung der 2. Stufe gesteuert.

Durch das Konzept ist ein sehr niedriger Energieverbrauch gegeben und ein hohes Maß Sicherheit gegenüber technischen Störungen, da der Aufwand an technischen Einrichtungen minimiert wurde und

wesentliche Anlagenteile redundant ausgeführt sind.

Der berechnete Energieverbrauch der Anlage liegt bei 0,07-0,14 kWh/m<sup>3</sup>. Dies entspricht dem Bruchteil des des Energiebedarfs einer kommunalen Anlage.

## 8.2 Standort Dittmannsdorf

Die Anlage in Dittmannsdorf wurde ebenfalls als zweistufiges Verfahren konzipiert und ist im September/ Oktober 2022 errichtet worden. Die Anlage wurde nachträglich in das Messprogramm aufgenommen, um die Datenbasis zu erweitern. Die Inbetriebnahme erfolgte am 06.12.2022.

### 8.2.1 Anlagenbeschreibung

Für die Behandlung der Milchhausabwässer wurde ein zweistufiger Vertikalfilter gemäß dem Regelwerk DWA-A 262 (DWA, 2017) und Merkblatt DWA-M 708 (DWA, 2011) mit folgender Verfahrenstechnologie errichtet.

- Mehrkammergrube zur Vorreinigung des Abwasser der Mitarbeiter (V = 6m<sup>3</sup>)
- Mehrkammergrube zur Vorreinigung des Molkereiabwasser (V = 12m<sup>3</sup>)
- Speicherbehälter zum Ausgleich von Konzentrationsschwankungen und Abwasseranfall (V = 6m<sup>3</sup>)
- Zweistufiger Vertikalfilter mit Feinkies 2 mm bis 8 mm und Grobsand 0 mm bis 4 mm nach DWA-A262 (2017)
- Einleitung in den Dittmannsdorfer Bach

Ein Übersichtsplan, der Längsschnitt und eine Fotodokumentation ist in Anlagen 12.6 , 12.7 und 12.8 abgelegt.

## 8.3 Unterschiede zwischen den Standorten Mahlitzsch und Dittmannsdorf

Der Aufbau der Anlagen in Mahlitzsch und Dittmannsdorf ist in Tabelle 22 zusammengefasst.

Tabelle 22: Standorte der Großanlagen

	Mahlitzsch	Dittmannsdorf
Volumen der Vorklärung	24 m <sup>3</sup> <sup>1</sup>	18 m <sup>3</sup> <sup>1</sup>
Fläche der Pflanzenbeete	2x 150 m <sup>2</sup>	2x 98 m <sup>2</sup>
Anzahl der Straßen	3	1
Bemessungsfracht CSB	11,8 kg/d	7,84 kg/d
Abwassereigenschaften	Molkerei/ Flaschenwäsche/ Mitarbeiter/Melkstand	Mitarbeiter/ Melkhaus
Beschickung	1. Stufe Pumpen, 2. Stufe Schwallbeschicker	1. Stufe Pumpen, 2. Stufe Schwallbeschicker
Rezirkulation	2023 in Betrieb genommen	Optional möglich

<sup>1</sup> ohne Vorklärung für Sanitärabwasser der Mitarbeiter

Der wesentliche Unterschied zwischen den Anlagen besteht in der Zusammensetzung des Abwassers. In Mahlitzsch wird neben dem Abwassers des Melkstandes das Abwasser der Molkerei und Flaschenwäsche behandelt. In Dittmannsdorf wird momentan nur das Abwasser des Melkhauses behandelt.

## 8.4 Anlagenbetrieb an den Standorten

### 8.4.1 Anlagenbetrieb am Standort Mahlitzsch

Zweimal musste während des Projektes eine Betriebsunterbrechung erfolgen.

Am 22.02.2023 (nach 8 Monaten Betriebszeit) musste die Anlage in Mahlitzsch vorübergehend außer Betrieb genommen werden. Die Außerbetriebnahme wurde mit dem Betreiber der Anlage (Hof Mahlitzsch GbR) abgestimmt und bei der zuständigen Wasserbehörde (LRA Meißen) angezeigt. Während der Außerbetriebnahme wurde das anfallende Abwasser wieder – wie dies vor Errichtung der Kläranlage erfolgte - in den Güllespeicher eingeleitet.

Aufgrund der hohen Belastung der Anlage (Überschreitung der CSB-Bemessungsfracht um 98 %) kam es zu einer geringeren Abbauleistung in der 1. Stufe und in Folge zur Überlastung der 2. Stufe. Die hohen Konzentrationen an CSB im Zulauf der ersten Stufe konnten aufgrund von Sauerstoffmangel infolge der hohen Flächenbelastung nicht in genügend hohem Maße reduziert werden. Das hatte zur Folge, dass in der 2. Filterstufe ein massives Wachstum der Biomasse stattfand. Anaerobe Milieubedingungen in den Filtern führten zu einer massiven Schlammentwicklung und die Filterporen setzten sich zu (Kolmation). Die Prozesse wurden durch einen hohen Eintrag an abfiltrierbaren Stoffen verstärkt. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Volumina pro Beschickung der 2. Filterstufe zwar unter den Empfehlungen nach DWA-A 262 lagen, die hydraulische Belastung jedoch offensichtlich zu hoch war.

Da die Anlage nicht erweitert werden kann (Flächenverfügbarkeit), wurde Teilströme mit einer hohen Belastung ausgeglichen. Des Weiteren wurden verschiedene Umbauten und Ergänzungen vorgenommen, um den Feststoffrückhalt zu verbessern und den Sauerstoffeintrag in die Bodenfilter zu erhöhen.

Folgende Maßnahmen wurden getroffen:

- Ausbindung der Reinigungsabwässer des Melkstandes (Reduzierung von Kuhdung im Abwasserstrom) zur Minderung des Eintrags von AFS und CSB
- Ergänzung von Tauchrohren und Feinfilter in der Vorklärung zur Reduzierung der AFS-Fracht
- Installation einer Rezirkulationspumpe zur Rückführung von Nitrat (Sauerstoffquelle) in den Zulauf
- Optimierung der Beschickung der 2. Stufe (Verringerung der Volumina pro Beschickung) → höherer Sauerstoffeintrag

Nach dem Umbau der Anlage in Mahlitzsch wurde diese am 22.06.23 wieder in Betrieb genommen.

Eine zweite Außerbetriebsetzung erfolgte am 06. Mai 2024 (nach 10 monatiger Betriebszeit) aufgrund von Überlastungserscheinungen der ersten Filterstufe. Für die Überlastung können mehrere Gründe benannt werden:

- Versehentliches Einleiten von hohen Frachten im Januar 2024 (Milch)
- Schädigung der Biomasse der ersten Stufe durch erhöhte pH-Werte im Januar und Februar 2024

durch Ableitung von nicht neutralisiertem basischen Waschwasser

Nach einer Ruhephase von 30 Tagen konnte die Anlage am 06.06.24 wieder in Betrieb gehen. Um Überlastungen zukünftig zu vermeiden wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Kommunikation mit dem Betriebspersonal der Molkerei, Sensibilisierung für die Problematik hoher pH-Werte
- Rezirkulation von Ablaufwasser (ca. 100%) zur Abschwächung von Konzentrationsspitzen im Zulauf

#### 8.4.2 Anlagenbetrieb am Standort Dittmannsdorf

Am Standort in Dittmannsdorf wurden seit der Inbetriebnahme keine Störungen festgestellt.

### 9 Messungen

#### 9.1 Messtechnik

An den Standorten Mahlitzsch und Dittmannsdorf wurden folgende Probenahmen und Messungen durchgeführt.

- Drucksonde (Keller Drucksensor PR-36XW) im Pufferspeicher, Messintervall: 1 Minute, Genauigkeit: 1mm → Aufzeichnung der Wasserstände im Pufferspeicher zur Ermittlung des Abwasseranfalls und der Beschickungsvolumenströme
- Probenahmen Zulauf: CSB, BSB<sub>5</sub>, TN<sub>b</sub>, P<sub>ges</sub>, pH, LF, T<sub>wasser</sub>, T<sub>luft</sub>
- Probenahmen Ablauf: CSB, BSB<sub>5</sub>, TN<sub>b</sub>, P<sub>ges</sub>, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, pH, LF, T<sub>wasser</sub>, T<sub>luft</sub>

Für die Analysen wurde ein zertifiziertes Labor (ERGO Umweltdienstleistungen GmbH) beauftragt.

Die Druck- und Konzentrationsmessungen wurden mit der Software R (R Core Team, 2019) auf Plausibilität geprüft und ausgewertet.

Für den Pufferspeicher und Zwischenbehälter wurde eine Wasserstands-Volumen- Beziehung erstellt auf deren Basis die Volumenströme mit einer Wasserstandsmessung ermittelt werden konnten (Anlage 12.9).

#### 9.2 Mahlitzsch

Messwerte am Standort Mahlitzsch wurden vom 10.05.2022 bis zum 31.12.2024 erfasst. Unterbrechungen durch Außerbetriebnahmen gab es zwischen dem 22.02. und 22.06.2023 sowie vom 06.05. bis 06.06.2024.

##### 9.2.1 Abwasseraufkommen und Beschickung

In Abbildung 20 sind die Ganglinien des Zulaufs zum Pufferspeicher (Zulauf Puffer) und der Beschickungsmengen zu den Pflanzenbeeten (Zulauf Beet) exemplarisch für einen Zeitraum im Jahr 2023 dargestellt. Weitere Ganglinien der Betriebsjahre 2022-2024 befinden sich in der Anlage 12.10 .

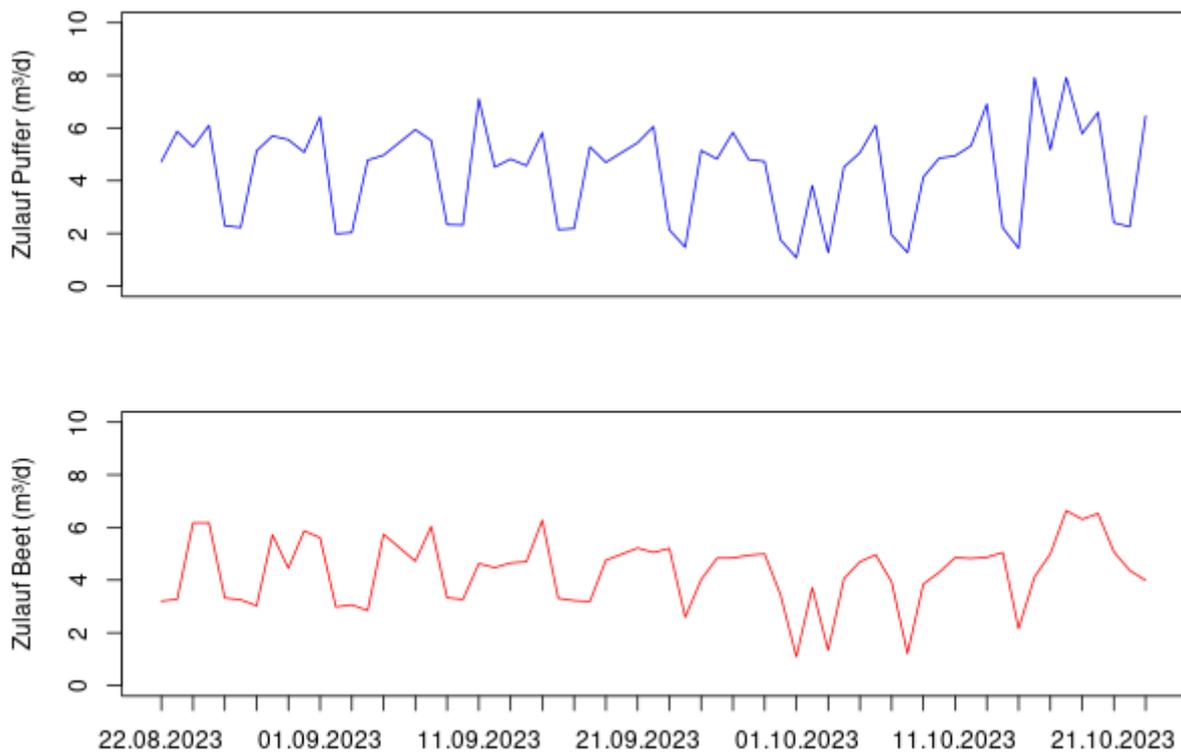


Abbildung 20: Volumenströme zum Pufferspeicher (Zulauf Puffer) und Beschickung der Pflanzenbeete (Zulauf Beet) von August bis Oktober 2023

Das Beschickungsmengen und Rezirkulationsvolumenströme liegen in den Jahren 2022-2024 bei folgenden Werten (Tabelle 23).

Tabelle 23: Abwasseraufkommen (Zulauf) 2022-2024

<b>Pufferspeicher</b>	2022	2023	2024
Mittel Zulauf	4,5	3,7	3,6
Min Zulauf	0,4	0,0	0,0
Max Zulauf	14,0	8,8	11,0
Mittel Rezirkulation	0	0,8	2,7
Min Rezirkulation	0	0,0	0,0
Max Rezirkulation	0	1,3	4,2

### 9.2.2 Rezirkulation

Im Jahr 2023 wurde ab dem 27.07.23 ein Teil des gereinigten Abwasser rezirkuliert, um einerseits die CSB-Konzentration zu reduzieren und andererseits durch den Eintrag von Nitrat, anaeroben Verhältnissen in der 1. Filterstufe entgegenzuwirken. Der Volumenstrom der Rezirkulation wurde mit 1,27 m³/d eingestellt.

Ab dem 14.12.23 wurde die Rezirkulation ausgeschaltet, um die hydraulische Belastung der Filter geringer zu halten.

Zwischen dem 21.02. und 22.03. 2024 wurde die Rezirkulation mit einem Volumenstrom von 2,6 m<sup>3</sup>/d (RV = 0,71) wieder in Betrieb genommen. Es konnten allerdings kurzfristig keine positiven Auswirkungen auf den Betrieb der Anlage festgestellt werden.

Ab dem 06.06.24 ist die Rezirkulation erneut mit einem Volumenstrom von 4,2m<sup>3</sup>/d (RV = 1,15) in Betrieb gegangen, um Konzentrationsspitzen (CSB-Belastung) abzudämpfen.

### 9.2.3 Wochengang

Am Abwasseraufkommen an den verschiedenen Wochentagen ist exemplarisch in Abbildung 21 dargestellt. Durch den Puffer im Zulauf kommt es zu einer Vergleichmäßigung der Volumenströme.

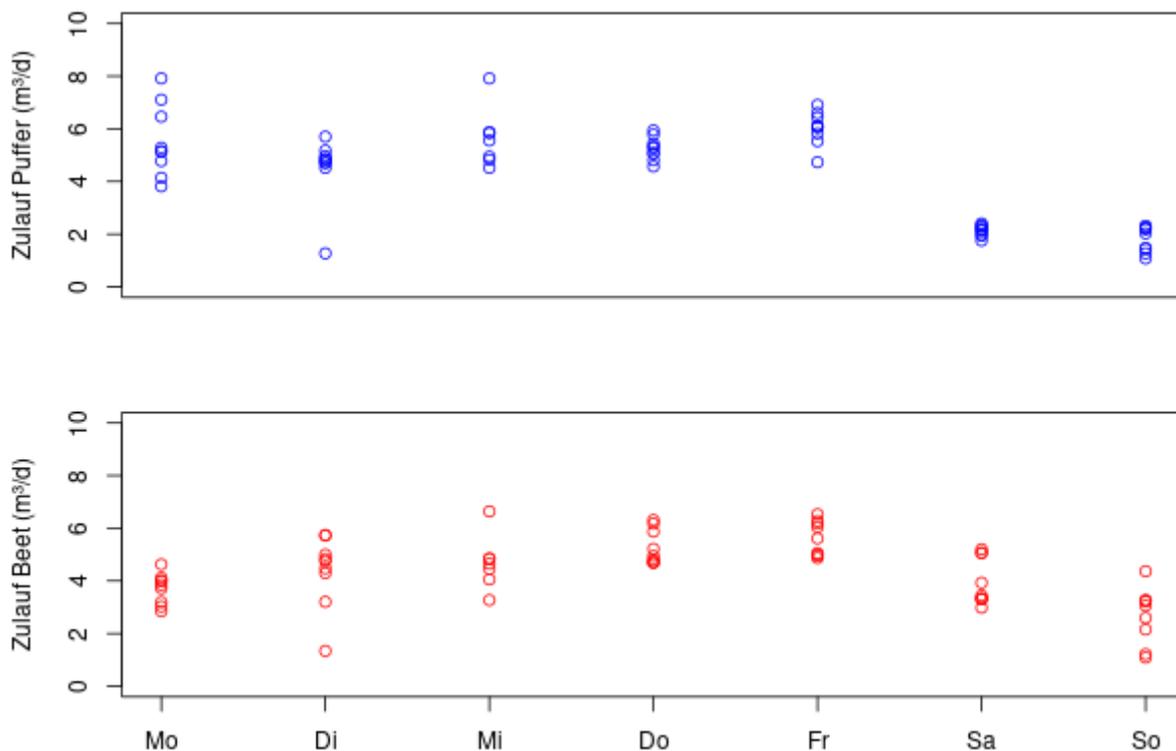


Abbildung 21: Abwasseraufkommen inkl. Rezirkulationsvolumen (Zulauf Puffer) und Beschickung der PKA (Zulauf Beet) an den Wochentagen vom 22.08.23- 23.10.23

Die Wochenganglinien der Betriebsjahre sind im Anlage 12.11 dargestellt.

### 9.2.4 Beschickungszyklen

Vom 22.08.- 23.10.23 wurde neben der Messung der Wasserstände im Pufferspeicher auch Wasserstände den Zwischenbehältern aufgezeichnet. Dadurch konnten die Volumenströme und Frachten der einzelnen Straßen berechnet und Optimierungen vorgenommen werden.

Die 1. Filterstufe wurde aller 3 Stunden mit einem Volumen je Beschickung von 540 L (Mittelwert)

beaufschlagt, was einer Flächenbelastung von 3,6 l/m<sup>2</sup> entspricht. Allerdings kam es durch den ungleichmäßigen Abwasseranfall teilweise zu erhöhten Beschickungsmengen von bis 11 L/m<sup>2</sup>.

Die erhöhten Beschickungsmengen verursachen eine hohe Belastung der ersten Stufe und sind ein wesentlicher Grund für die Überlastung der 2. Stufe, da der Abbau von hohen organischen Frachten in der 1. Filterstufe aufgrund von Sauerstoffmangel eingeschränkt wird. Das Filtermaterial der 1. Stufe mit hohen hydraulischen Leitfähigkeiten ermöglicht zwar eine gute Durchlüftung (Sauerstoff-Eintrag), wird aber auch wesentlich schneller vom Abwasser durchströmt ( $k_F$ - Werte im Bereich von  $10^{-3}ms^{-1}$ ) und die Reaktionszeiten sind damit geringer. Die Empfehlungen des Arbeitsblattes DWA-A 262 (DWA, 2017) mit Beschickungsmengen >20L/m<sup>2</sup> sind auf die Reinigung hochbelasteten organischen Abwässern nicht übertragbar.

Für die Großanlage traten Ereignisse mit hohen Stoßbelastungen relativ selten auf. Durch eine Optimierung (Erhöhung der mittleren Beschickungsmengen) wurden die Anzahl der Stoßbelastungen wesentlich reduziert.

In Tabelle 24 sind die Beschickungsmengen und hydraulischen Flächenbelastungen vor und nach der Optimierung dargestellt. Der Beschickungsmengen während des gesamten Betrachtungszeitraums sind in Anlage 12.12 dargestellt.

Tabelle 24: Beschickungsmengen und Flächenbelastung der 1. Filterstufe 1 (Auswertungszeitraum 22.08.-23.10.23)

Zeitraum	Beschickungsmenge (m <sup>3</sup> /Beschickung)	Flächenbelastung (L/m <sup>2</sup> )		Anzahl max. Flächenbelastung > 10 L/m <sup>2</sup>	Bemerkung
		Maximum	Mittel		
22.08. -19.09.23	0,43	11	2,9	16	Grundeinstellung Steuerung
20.9.-23.10.23	0,53	11	3,5	4	1. Optimierung

Die Beschickung der 2. Filterstufe wurde temporär durch Messungen erfasst. Da Beschickungsmengen auch durch Niederschläge (Überregnung der 1. Stufe) beeinflusst werden, wurde eine Auswertung von Trockenwetterzeiträumen vorgenommen.

Tabelle 25: Beschickungsmengen und Flächenbelastung der 2. Filterstufe 1 (Auswertungszeitraum 22.08.-23.10.23)

	Bis 20.09.23		Ab 20.09.23	
	Volumen pro Beschickung (L)	Flächenbeschickung (l/m <sup>2</sup> )	Volumen pro Beschickung (L)	Flächenbeschickung (l/m <sup>2</sup> )
<b>2. Stufe</b>				
Beet 1.2	635	12,7	205	4,10
Beet 2.2	585	11,7	260	5,19
Beet 3.2	482	9,6	345	6,91

Anhand der Messungen wurde festgestellt, dass die Volumenströme zur Beschickung der 2. Stufe mit > 10L/m<sup>2</sup> relativ hoch ausfallen. Am 20.09. wurden daher die Mengen der Schwallbeschickung reduziert. Beschickungszyklen und Volumina für die 2. Filterstufe sind in Anlage 12.13 dargestellt.

### 9.2.5 Konzentration, Frachten und Wirkungsgrad am Standort Mahlitzsch

Schwankungsbreiten von Zu- und Ablaufkonzentrationen sind in Abbildung 22 und 23 für die Zeiträume von 2022 bis 2024 dargestellt. Die Zulaufkonzentrationen von CSB und BSB<sub>5</sub> unterliegen relativ großen Schwankungen. Durch die Ausbindung der Bodenabwässer des Melkstandes im Jahr 2023 wurde aber erreicht, dass Konzentrationen und Frachten spürbar gesenkt werden konnten. Zudem konnte durch die Kreislaufführung von einem Teil des Ablaufes (Rezirkulation) Konzentrationen im Zulauf der 1. Stufe reduziert werden, was eine Dämpfung von Stoßbelastungen bewirkte.

Ab August 2023 lagen wurde die Bemessungsfracht der Anlage (Tabelle 26) nicht mehr überschritten.

Tabelle 26: Zulauffrachten 2022 bis 2024

Parameter	Konzentration (mg/l)*	Fracht (kg/d)*	Einwohnerwerte (EW)
2022			
CSB	5232,0	23,5	294,3
BSB <sub>5</sub>	3150,0	14,2	354,4
TN	184,6	0,8	75,5
P	54,8	0,2	123,3
2023			
CSB	3546,3	13,1	164,0
BSB <sub>5</sub>	2061,3	7,6	190,7
TN	104,4	0,4	35,1
P	28,4	0,1	52,6
2024			
CSB	2032,0	7,3	91,4
BSB <sub>5</sub>	1495,7	5,4	134,6
TN	69,4	0,2	22,7
P	23,6	0,1	42,4

\* nach Vorklärung

Das C:N:P Verhältnis sollte bei der biologischen Abwasserreinigung in einem Verhältnis von 100: 5-10 : 1 liegen. Der BSB<sub>5</sub> kann dabei äquivalent zum Kohlenstoffgehalt angesetzt werden. Das Verhältnis liegt am Standort Mahlitzsch den in Tabelle 27 angegebenen Werten.

Tabelle 27: C:P-Verhältnisse im Zulauf 2022 – 2024

Jahr	C	N	P
2022	100	5,9	1,7
2023	100	5,1	1,4
2024	100	4,6	1,6

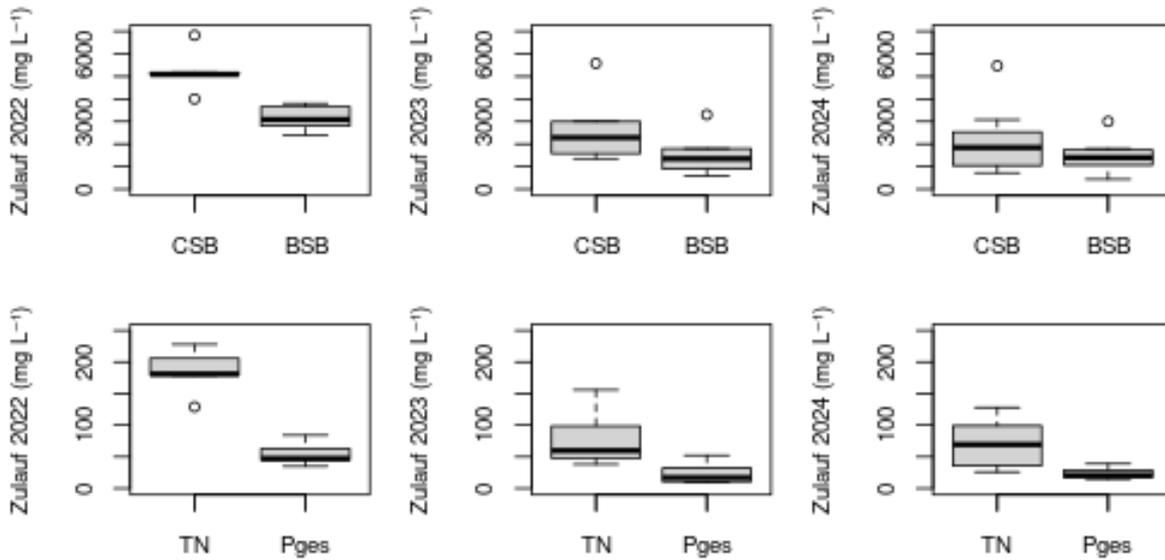


Abbildung 22: Schwankungsbereiten der Zulaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch 2022-2024

Die Ablaufkonzentrationen (Abbildung 23) für den BSB und CSB liegen weit unter den behördlich vorgeschriebenen Grenzwerten. Auch der Stickstoff (TN) kann wesentlich reduziert werden. Lediglich bei Gesamtposphor ist eine Elimination nur in geringem Maße gegeben, was darauf zurückzuführen ist, dass nur eine bestimmte P-Fracht durch Akkumulation in der Biomasse und Adsorption im Filterkörper zwischengespeichert werden kann, die je nach Stoffwechselforgängen und Adsorptionsvermögen auch eine Freisetzung von Phosphor zur Folge haben kann. Negative Wirkungsgrade, wie sie in Abbildung 23 dargestellt sind, sind dann die Folge.

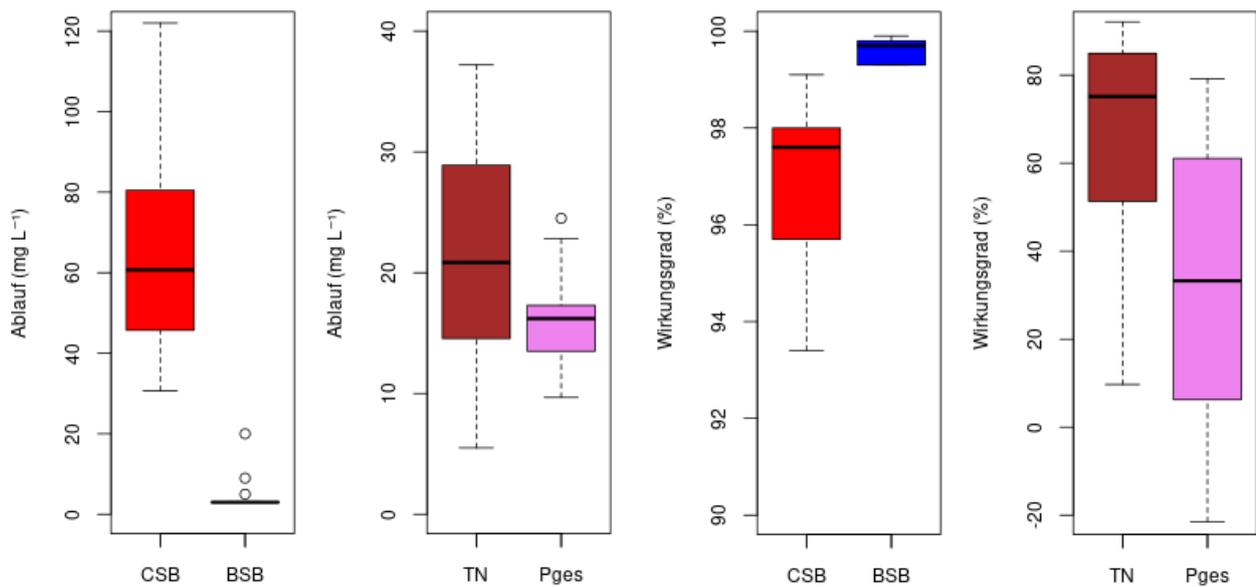


Abbildung 23: Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade am Standort Mahlitzsch 2022-2024

Der Wirkungsgrad bezüglich des CSB-Abbaus wurden ab 2023 für die 1. und 2. Stufe separat ermittelt. Wie in Abbildung 24 zu sehen ist, liegt der Wirkungsgrad in der 1. Stufe wesentlich höher als in der 2. Stufe. Die höherer Effizienz ist mit den hohen Zulaufkonzentrationen an leicht abbaubaren organischer Substraten zu begründen.

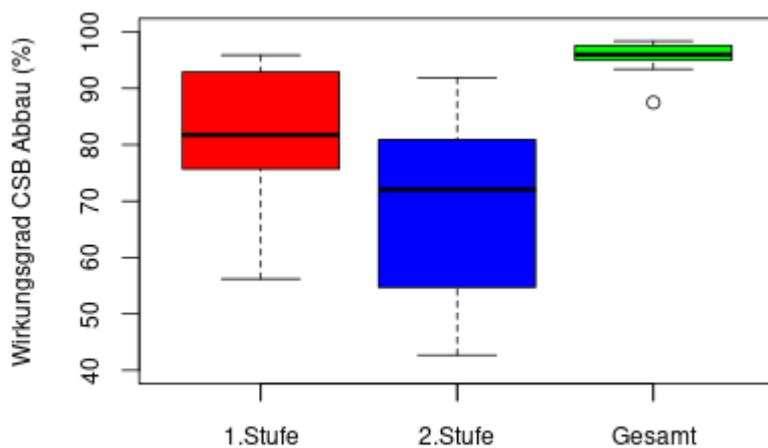


Abbildung 24: Wirkungsgrad für den Abbau von CSB den unterschiedlichen Stufen am Standort Mahlitzsch

### 9.2.6 Einfluss von Temperatur und pH auf die Reinigungsleistung

Die vergleichende Betrachtung von Temperatur, pH, Leitfähigkeit und mit den Ablaufwerten von CSB und Stickstoff ergab keine Rückschlüsse zum unmittelbaren Einfluss dieser Parameter (siehe Anlage 12.17).

### 9.2.7 Kolmation der 1. Stufe

Die Kolmation der ersten Stufe wurde durch Druckmessungen temporär überwacht. Für den Standort konnte ein linearer Zusammenhang von Betriebszeit ein Anstieg des Drucks im Beschickungssystem festgestellt werden. Nach einer Hochdruckspülung der Beschickungsleitungen wurde nach ca. 140 Betriebstagen ein Druckanstieg um 2mWS festgestellt (Abbildung25).

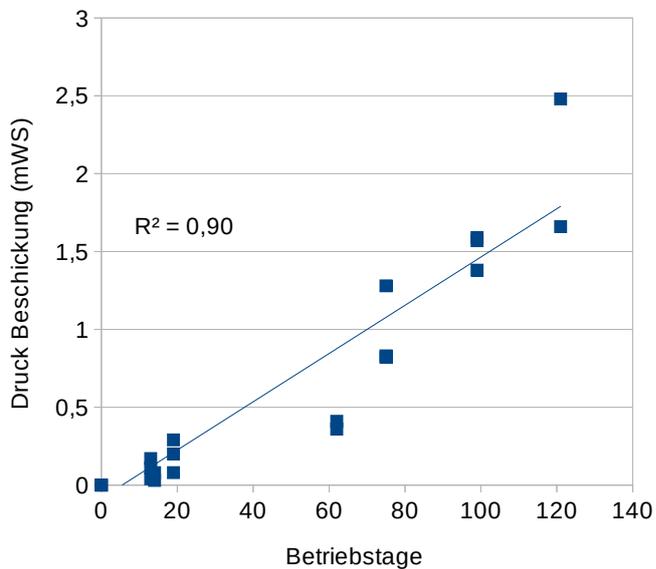


Abbildung 25: Druckanstieg im Beschickungssystem in Abhängigkeit der Betriebszeit

### 9.2.8 Betriebliche Aspekte

Aufgrund der Erfahrungen mit der Überlastung der Anlage, wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um ein weiteres Versagen zu vermeiden. Die Auswirkungen einzelner Maßnahmen können nicht quantifiziert werden. Es ist aber festzustellen, dass folgende Eingriffe sich positiv auf den Anlagenbetrieb auswirken haben:

- Einhaltung von Beschickungspausen von mindestens 3h, um eine gute Belüftung der Filter zu gewährleisten
- Rückführung von gereinigtem Ablauf (Rezirkulation) zur Reduzierung der Zulaufkonzentrationen
- Ausbindung von Bodenabwässern des Melkstandes (Reduzierung der Fracht- und Schlammbelastung)

Folgende Maßnahmen zur Pflege der Anlage und zur Aufrechterhaltung der Funktion erscheinen gleichfalls sehr wichtig für den langfristigen Betrieb:

- regelmäßige Spülung des Beschickungssystems
- Zurückdrängen von Fremdbewuchs/ Wildwuchs
- Regelmäßige Sichtkontrolle durch einen Mitarbeiter

### 9.3 Messungen am Standort Dittmannsdorf

#### 9.3.1 Abwasseraufkommen und Beschickungsmengen

Das Abwasseraufkommen der PKA in Dittmannsdorf liegt im Zeitraum 2023- 2024 im Mittel bei 1,7 m³/d. Der Wert liegt unter dem Bemessungswert von 3,9 m³/d.

Tabelle 28: Zuflüsse zum Pufferspeicher 2023 und 2024

Pufferspeicher	2023	2024
Mittel Zulauf	1,7	1,7
Min Zulauf	0,2	0,0
Max Zulauf	4,2	4,1
Mittel Rezirkulation	0,0	0,1
Min Rezirkulation	0,0	0,0
Max Rezirkulation	0,0	1,3

Zulaufvolumenstrom, Beschickungsmengen und die Flächenbelastungen der 1. und 2. Stufe sind in Tabelle 29 zusammengefasst. Die Flächenbelastung betrug bei der 1.Stufe 1,4 L/m², die 2. Stufe wurde mit 6,9 L/m² beaufschlagt.

Tabelle 29: Abwasseraufkommen und Beschickungsmengen am Standort Dittmannsdorf 2023

Stufe	Zeitraum	Mittelwert Abwasseraufkommen (m³/d)	Beschickungsmenge (m³/Beschickung)	Flächenbelastung (L/m²)		Anzahl max. Flächenbelastung > 10 L/m²	Bemerkung
				Maximum	Mittel		
1	04.01.-12.11.23	1,74	0,14	10	2,7	3	WS-Messung in Pufferspeicher
2	07.09.-02.10.23	1,46	0,65	6,9	6,7	0	WS-Messung in ZB

Die Ganglinien des Abwasseranfalls und der Beschickung der 1. Stufe sind in Abbildung 26 dargestellt.

Die 2. Stufe wird ca. 2-3 Mal am Tag beschickt (siehe Anlage 12.18 ).

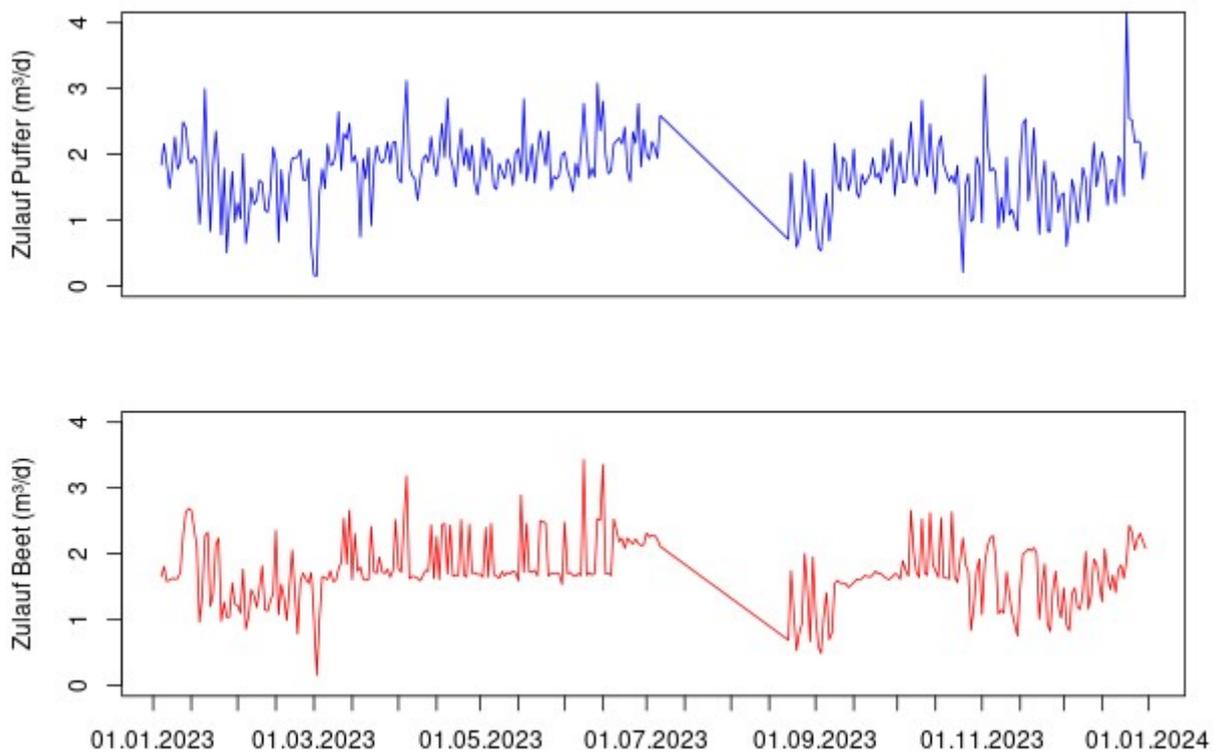


Abbildung 26: Volumenströme zum Pufferspeicher (Zulauf Puffer) und in die 1- Stufe (Zulauf Beet) am Standort in Dittmannsdorf 2023

In Anlage 12.18 sind die Ganglinien des Jahres 2024 sowie die Wochenganglinien der Betriebsjahre 2023 und 2024 enthalten.

### 9.3.2 Konzentrationen, Frachten und Reinigungsleistung am Standort Dittmannsdorf

Die Zulaufkonzentrationen am Standort Dittmannsdorf liegen niedriger als bei der Anlage in Mahlitzsch (Abbildung 27). Die Anlage zeigt eine sehr gute Reinigungsleistung, die auch eine Folge der relativ niedrigen Flächenbelastung ist.

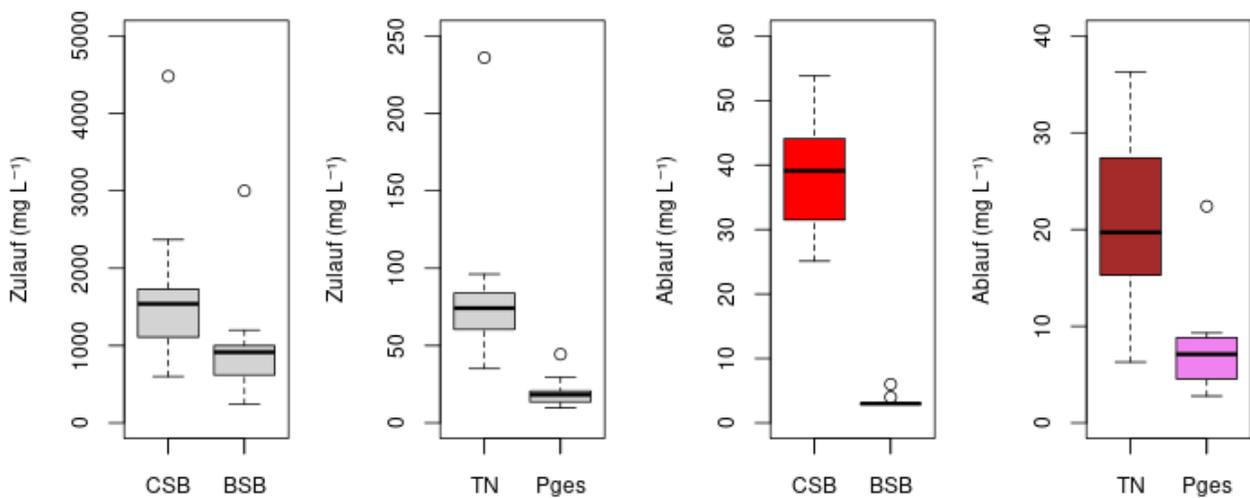


Abbildung 27: Zu- und Ablaufkonzentrationen am Standort Dittmannsdorf 2023-2024

Frachten ergeben sich anhand der Konzentrationen und Abflussmessungen entsprechend Tabelle 30.

Tabelle 30: CSB-Fracht im Zulauf 2023 am Standort Dittmannsdorf

Parameter	Konzentration (mg/l)	Fracht (kg/d)*	Einwohnerwerte (EW)
2023			
CSB	1473,5	2,5	31,3
BSB5	924,5	1,6	19,6
TN	84,7	0,14	13,1
P	16,6	0,03	14,1
2024			
CSB	1637,5	2,8	34,8
BSB5	965,7	1,6	20,5
TN	71,0	0,12	11,0
P	21,3	0,04	18,1

\* nach Vorklärung

Das Verhältnis von Kohlenstoff Stickstoff und Phosphor liegt im Bereich einer guten Abbaubarkeit.

Tabelle 31: C:P-Verhältnisse im Zulauf am Modellstandort Dittmannsdorf

Jahr	C	N	P
2023	100	9,2	1,8
2024	100	7,4	2,2

Die Reinigungsleistung der Dittmannsdorfer Anlage ist in Abbildung 28 dargestellt. Ähnlich wie bei der Anlage am Standort Mahlitzsch erfolgte eine wesentliche Reduktion der organischen Fracht (CSB) in der 1. Stufe.

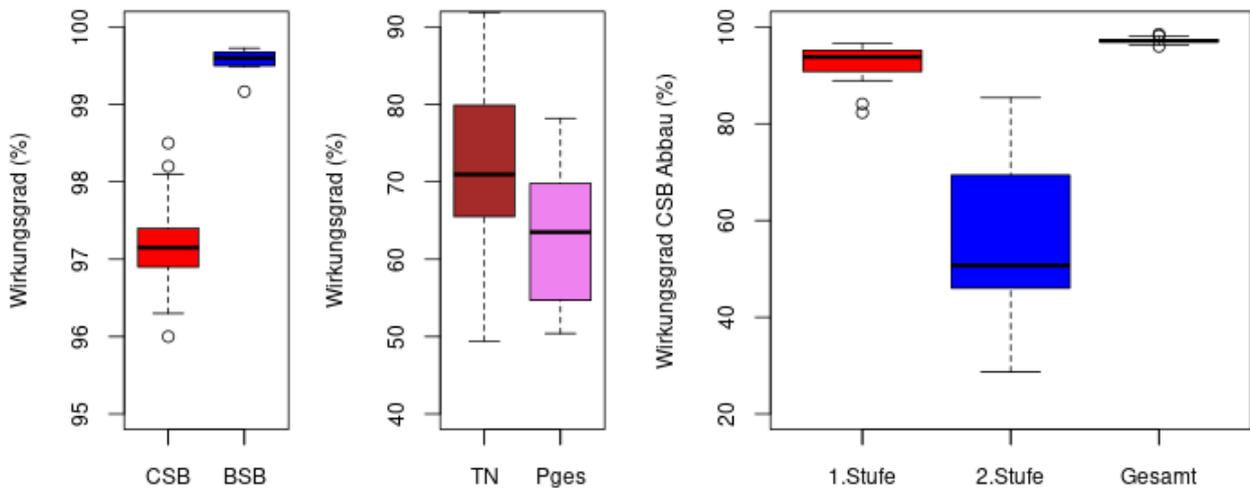


Abbildung 28: Wirkungsgrad der der Anlage am Standort Dittmannsdorf

#### 9.4 Gemeinsame Auswertung der Datensätze der Modellstandorte

##### 9.4.1 Hydraulische Flächenbelastung

Der Einfluss des Beschickungsregimes auf die Reinigungsleistung wurde anhand der hydraulischen Flächenbeschickung (Abbildung 29) beurteilt. Ein eindeutiger Zusammenhang kann nicht unmittelbar abgeleitet werden, da die hydraulische Belastung immer im Zusammenhang mit der organischen Fracht betrachtet werden muss. Die Streuung der Werte deutet dies auch an.

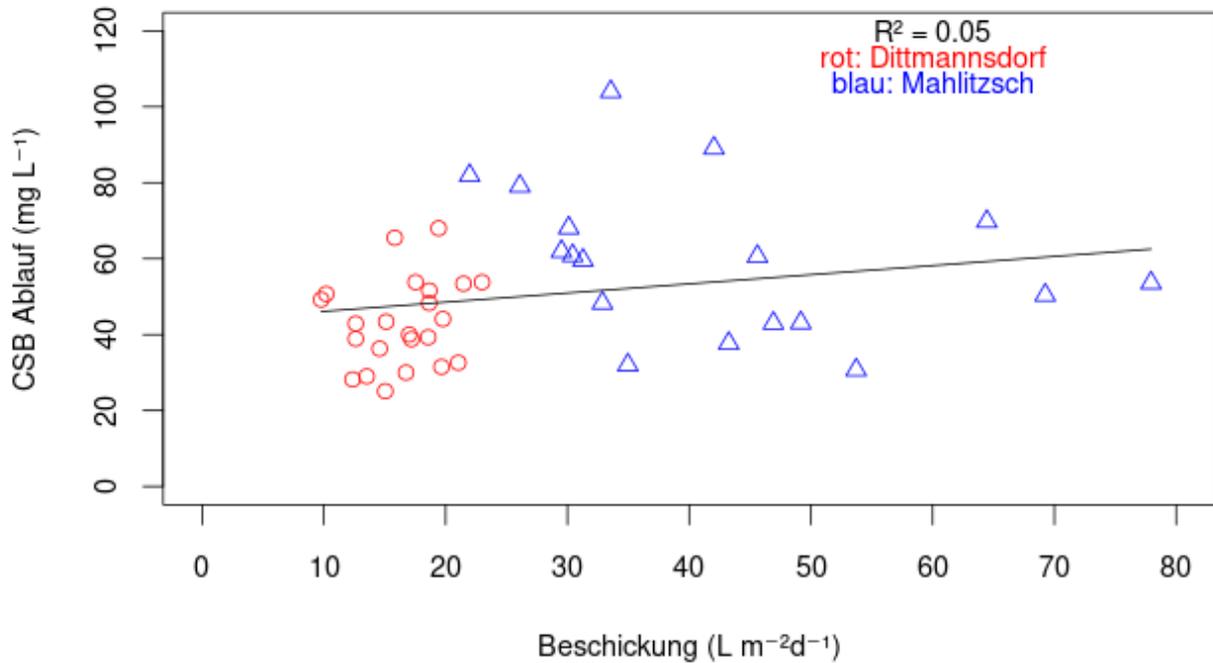


Abbildung 29: Hydraulische Flächenbelastung und Ablaufwerte an den Modellstandorten

Eine Differenzierung der hydraulischen Belastung nach den CSB- Zulaufkonzentration zeigt deutlich, dass mit höheren Belastungen zugleich Beschickungsmengen reduziert werden sollten (Abbildung30).

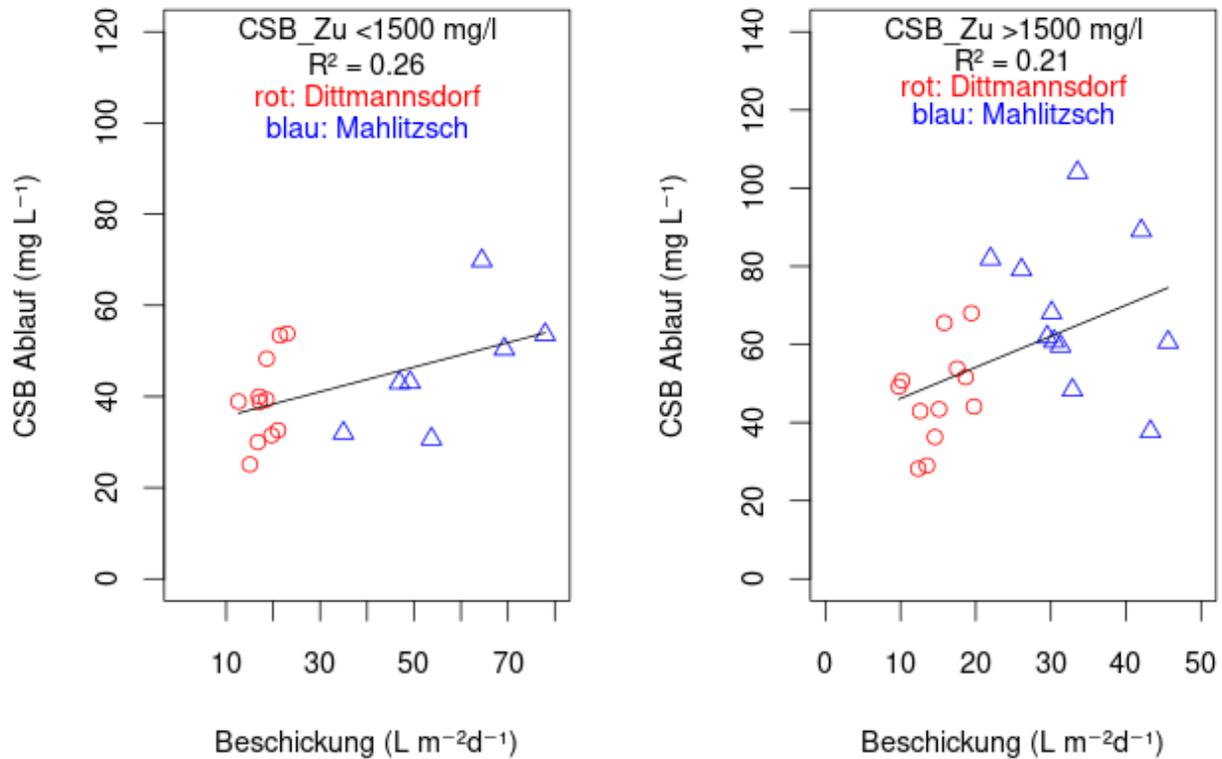


Abbildung 30: Hydraulische Flächenbelastung und Ablaufwerte an den Modellstandorten differenziert nach der Zulaufkonzentration des CSB

#### 9.4.2 Mittlere Frachtbelastung der Filterfläche

Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, nimmt die Reinigungsleistung mit erhöhter Flächenbelastung ab. Wird eine Flächenbelastung von 80 g/m<sup>2</sup> eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass in Bezug auf den CSB ein Wert von 50- 80mg/l im Ablauf eingehalten werden kann. Messdaten der Großanlagen und Säulenversuche zeigen diesbezüglich trotz sehr unterschiedlicher Randbedingungen Ergebnisse, die einander ergänzen und somit sehr ähnliche Schlussfolgerungen zulassen.

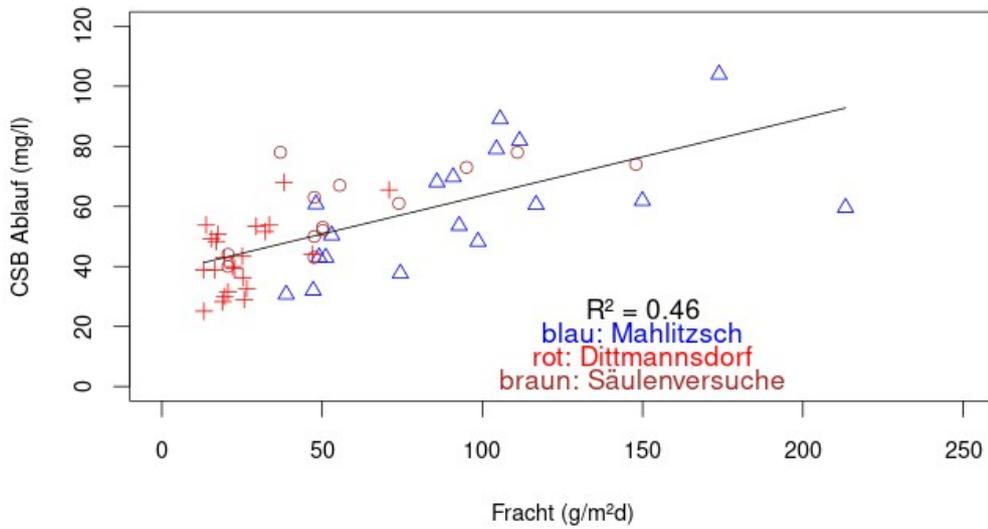


Abbildung 31: Mittlere tägliche CSB-Flächenbelastung und Reinigungsleistung

### 9.4.3 Stickstoffabbau

Die Stickstoffelimination erfolgt an beiden Standorten mit hohen Wirkungsgraden von 70-80 % (Abbildung 32).

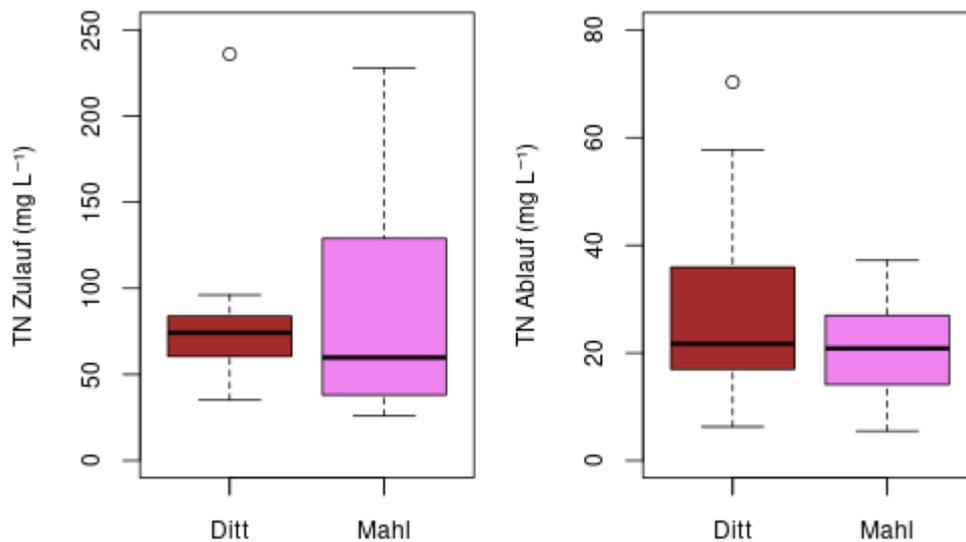
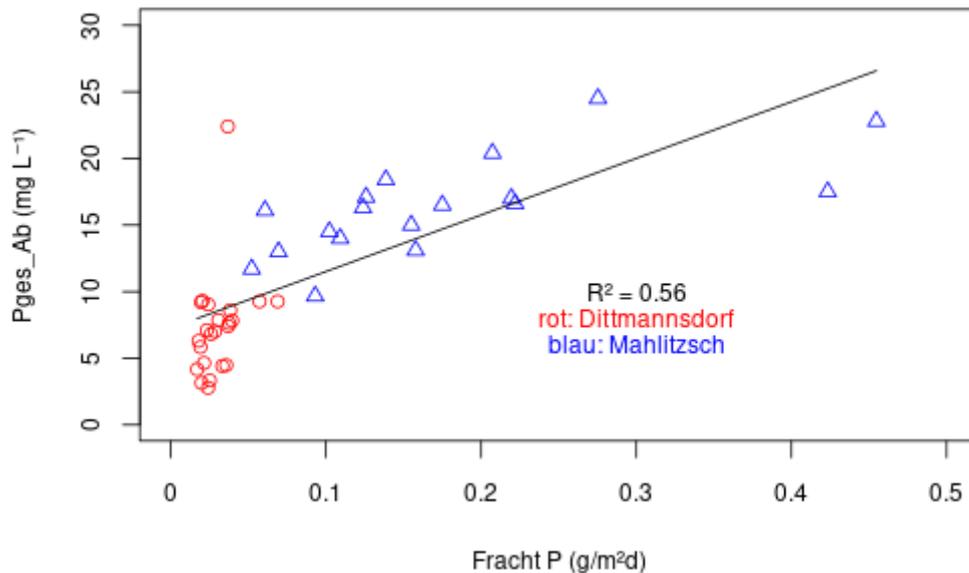


Abbildung 32: Stickstoffablaufwerte an den Modellstandorten im Vergleich

Die Stickstoffreduktion bei der Anlage in Mahlitzsch liegt etwas höher als bei der Anlage in Dittmannsdorf. Es wird vermutet, dass das C:N-Verhältnis ein Grund für die unterschiedlichen Umsatz an den Standorten sein könnte (siehe Anlage 12.21).

#### 9.4.4 Phosphorelimination

Die Phosphorelimination ist durch die Begrenzung der biologischen Umsatz- und Adsorptionsprozesse limitiert. Wie in Abbildung zeigt, darf sollte eine Flächenbelastung der ersten Stufe von  $< 0,05 \text{ g P/m}^2\text{d}$  eingehalten werden um Ablaufwerte unter  $P_{\text{ges}} < 10 \text{ mg/L}$  zu erzielen. Eine hohe Elimination von Phosphor ist nur durch zusätzliche Maßnahmen möglich.



#### 9.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Anhand der Messwerte und Betriebsüberwachung bei den Großanlagen kann Folgendes festgestellt werden:

- An beiden Modellstandorten besitzen die PKA eine sehr hohe Reinigungsleistung in Bezug auf organische Belastungen.
- Die Stickstoffelimination liegt bei Medianwerten zwischen 70 und 80 % (obere Werte der Literaturangaben für Pflanzenkläranlagen)
- Die Phosphorelimination liegt Bereich der Erwartungswerte entsprechend der Literatur. Teilweise kommt es auch zur Remobilisierung von Phosphor.
- Der Rückhalt von AFS in der Vorklärung liegt unter den Empfehlungen nach DWA-A262. Durch eine Rezirkulation kann die AFS-Konzentration jedoch abgesenkt werden.
- Durch die hohe organische Belastung ist eine regelmäßige Spülung der Beschickungssysteme erforderlich.
- Die mittlere hydraulische Flächenbelastung sollte entsprechend der CSB-Konzentration gewählt werden. Bei CSB-Zulaufkonzentrationen von 2000 mg/l sollte das Beschickungsvolumen nicht höher als  $5 \text{ L/m}^2$  liegen und Beschickungspausen von mindestens 3h eingehalten werden.

- Bei Einhaltung einer CSB-Flächenbelastung von 80g/m<sup>2</sup> können Ablaufwerte der Anlagen unter 80mg/L eingehalten werden.

## 10 Öffentlichkeitsarbeit, Verwertung

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit und Verwertung wurden folgende Arbeiten durchgeführt.

- Vorstellung des Projektes PKA Hof Mahlitzsch bei der Wasserbehörde des LRA Mittelsachsen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für eine weitere Anlage (PKA Agrargenossenschaft Dittmannsdorf) im Herbst 2021
- Führung über die Anlage in Mahlitzsch am 02.07.22
- Vorstellung des Vorhabens an der TU Dresden im Rahmen Vorlesungsreihe am 27.06.23
- Vortrag zum Aufbau der zweistufigen Anlage an der TU Dresden am 21.09.23 im Rahmen eines Projekttreffens des Forschungsvorhabens Medzero-Solvent (BMBF)
- Vorstellung und Diskussion des Einsatzes von zweistufigen Anlagen für die Reinigung von Industrieabwasser, Online für die B.Braun GmbH Berggießhübel am 19.10.23
- Vorstellung des Konzeptes einer zweistufigen Anlage für einen Restaurantbetrieb am 02.11.23 (BPS, Döbeln)
- Bau einer weiteren zweistufigen PKA auf Basis der Erkenntnisse aus dem laufenden Projekt am Standort Roßwein für einen Restaurantbetrieb im April 2024
- Vorstellung des Vorhabens an der TU Dresden im Rahmen Vorlesungsreihe am 16.06.24
- Führung über die PKA Mahlitzsch für Fachpublikum am 22.09.24
- Vortrag auf Fachkolloquium zur Industriewasserbehandlung am 24.10.2024 (TU Dresden)
- Nutzung der Erkenntnisse für Vorversuche und die Entwurfsplanung einer Anlage zur Behandlung von Lösungsmittelhaltigen Abwasser 2025

## 11 Literatur

- Adhikari U., Harrigan T., Reinhold D.M. (2015). Use of duckweed-based constructed wetlands for nutrient recovery and pollutant reduction from dairy wastewater. *Ecological Engineering* 78 (2015) 6–14.
- Austermann-Haun U. und Carozzi A. (2011). Behandlung von Abwasser aus der Milchindustrie. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 58 (10) 942-949 .
- Bamberg, Günter; Baur, Franz; Krapp, Michael (2012): *Statistik*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Comino E., Riggio V., Rosso M. (2011). Mountain cheese factory wastewater treatment with the use of a hybrid constructed wetland. *Ecological Engineering* 37 (2011) 1673–1680.
- Cooper, P., Griffin P., Humphries, S., Pound, A. (1999). Design of hybrid reed bed system to achieve complete nitrification and denitrification of domestic sewage. *Water Science & Technology* 40 (3) 283-289.
- DWA (2011). Merkblatt DWA-M 708 Abwasser bei der Milchverarbeitung. Herausgeber: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. DWA. ISBN: 978-3-941897-95-3.
- DWA (2017). Arbeitsblatt DWA-A 262 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers, Herausgeber: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., ISBN: 978-3-88721-547-7.
- Galliot A. und Merlin G. (2008). A combined system including constructed wetlands for treatment of dairy farm effluents. Indore, India: Vikram University and IWA, 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 250-258.
- Geary P. M. und Moore J. A. (1999). Suitability of a treatment wetland for dairy wastewaters. *Water Science & Technology* 40 (3) 179-185.
- Green M., Gidron E., Lahav O., Tarre, S. (2002). Treatment of dairy wastewater using a vertical bed with passive aeration. *Proceedings of the 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, 16–19 September 2002, n: Mbwette T.S.A., ed. University of Dar Es Salaam, Tanzania: Comprint International Limited, 324-332.
- Gemeinde Ahrenshagen (2003). Untersuchung der dezentralen gewerblichen Reinigung von Abwässern eines landwirtschaftlichen Produktionsbetriebes (Milchviehanlage) in einer Pflanzenkläranlage. Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, AZ 08690.
- Glück, Bernd (1988). *Hydrodynamische und gasdynamische Rohrströmung. Druckverluste. Bausteine der Heizungstechnik. Berechnung/Software*. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen.
- Healy M.G., Rodgers M., Mulqueen J. (2006). Performance of a stratified sand filter in removal of chemical oxygen demand, total suspended solids and ammonia nitrogen from high-strength wastewaters. *Journal of Environmental Management* 83(4), 409-415.
- Healy M. G., Rodgers M., Mulqueen J. (2007). Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology* 98 (16) 2268-2281.
- Hedderich, Jürgen; Sachs, Lothar (2016): *Angewandte Statistik. Methodensammlung in R. 15., überarbeitete und verbesserte Auflage*. Springer Spektrum.
- Karpiscak M. M., Freitas R. J., Gerba C. P., Sanchez L. R., Shamir E. (1999). Management of dairy waste in the Sonoran Desert using constructed wetland technology. *Water Science & Technology* 40 (3) 57-65.
- Karpiscak M.M., Sanchez L.R., Freitas R.J., Gerba C.P. (2001). Removal of bacterial indicators and pathogens from dairy wastewater by a multi-component treatment system. *Water Science & Technology* 44 (11-12) 183-190.
- Lebensministerium Österreich (2009). Endbericht zur 3. Stufe des Forschungsprojektes Bepflanzte Bodenfilter. Verfasser: Ö K O R E AL Gesellschaft für Ökologieprojekte m.b.H. Forschung & Entwicklung, Herausgeber:

Lebensministerium Österreich.

- Lienard A., Esser D., Houdoy D., Sabalcagaray P. (2002). Design criteria and performances of reed bed filters for the treatment of washing parlour effluents. 8th international conference on wetlands systems for water pollution control, Sep 2002, Arusha, France, 534 – 542.
- Lee M, Drizo A., Druschel G., Hayden N., Twohig E. (2008). Treating High BOD and P Concentrated Dairy Effluent with Pilot-Scale Hybrid and Integrated Constructed Wetlands. 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Indore, India.
- Mantovi P., Marmiroli M., Maestri E., Tagliavini S., Piccinini S., Marmiroli N. (2003) Application of a horizontal subsurface flow constructed wetland on treatment of dairy parlor wastewater. *Bioresource Technology* 88 (2003) 85–94
- Newman J. M. und Clausen, J. (1997). Seasonal effectiveness of a constructed wetland for processing milkhouse wastewater. *Wetlands* 17 (3) 375-382.
- Paul, Urte, Christian Karpf und Thomas Schalk (2018): „Hydraulic simulation of perforated pipe systems feeding vertical flow constructed wetlands“. *Water Science & Technology* 77 (5), S. 1431-1440. DOI: 10.2166/wst.2018.025
- Paul, Urte, Christian Karpf und Peter Mosig (2019). „Hydraulische Modellierung als Werkzeug zur Bemessung und Bewertung der Beschickung von Bodenfiltern“. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 66(5), S. 378–384.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rossman, Lewis A. (2000). *Epanet2 Users Manual*. United States Environmental Protection Agency.
- Rustige H. und Platzer C. (2001). Nutrient removal in subsurface flow constructed wetlands for application in sensitive regions. *Water Science & Technology* 44 (11-12) 149-155.
- Sharma P.K., Takashi I., Kato, K., Ietsugu, H., Tomita, K., Nagasawa, T. (2013). Effects of load fluctuations on treatment potential of a hybrid sub-surface flow constructed wetland treating milking parlor waste water. *Ecological Engineering* 57 (2013) 216-225
- Tanner C. C. (1992). *Treatment of dairy farm wastewaters in horizontal and up-flow gravel-bed constructed wetlands*. Sydney, Australia: Australian Water and Wastewater Association.
- Wallace S. D. (2001). *Treatment of cheese processing waste using subsurface flow wetlands*. Wetland and Remediation. 2<sup>nd</sup> International Conference, Burlington, Vermont, September 5-6, 2001.
- Zippel, Martin (2014). „Untersuchungen zur Beschickung von vertikal durchströmten Bodenfiltern“. Magisterarbeit. Technische Universität Dresden.

## 12 Anlagen

**12.1 Anlage Zusammenfassung Modellergebnisse hydraulische Berechnung Stufe 1**

	Basisvarianten			C kleinerer Verteiler		C Durchmesser Zulauf und Emitter			C andere Pumpe	C größere Abstände Emitter
	Basis „M“ = A	Basis „M“ mit größeren Abstände n = B	Basis „O“ = C	C div40	C div40 em3	C em3	C ZL50mm	C ZL50mm em3	C ap50	Basis „O“ mit größeren Abstände n = D
Anzahl Stränge	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Anzahl Öffnungen je Strang	40	30	38	38	38	38	38	38	38	28
Abstand zwischen Strängen	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Abstand zwischen Öffnungen	0,25	0,33	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33
Durchmesser Öffnungen	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3	3,5	3	3,5	3,5
Höhe Wasserspiegel in Vorlage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Länge Zulaufleitung	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Verlustbeiwert Zulaufleitung	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Durchmesser Zulaufleitung	40	40	40	40	40	40	50	50	40	40
Durchmesser Verteilerleitung	104	104	104	40	40	104	104	104	104	104
Durchmesser Stränge	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Volumen Rohrsystem in m <sup>3</sup>	0,177	0,176	0,217	0,128	0,128	0,217	0,231	0,231	0,217	0,215
Durchfluss in L/min	144,8	144,7	144,9	143,6	143,5	144,7	204,4	204,1	170,0	144,7
Durchfluss in L/s	2,41	2,41	2,41	2,39	2,39	2,41	3,41	3,40	2,83	2,41
Durchfluss in m <sup>3</sup> /h	8,69	8,68	8,69	8,62	8,61	8,68	12,27	12,24	10,20	8,68
Beschickungsrate in L/min/m <sup>2</sup>	2,90	2,95	3,08	3,06	3,05	3,08	4,35	4,34	3,62	3,15
Förderhöhe Pumpe in m	9,35	9,36	9,35	9,39	9,39	9,35	7,34	7,35	12,79	9,35
Wirkungsgrad Pumpe in %	30,05	30,04	30,05	30	29,99	30,05	30,03	30,06	25,63	30,05
Austauschzeit Rohrvolumen in min	1,22	1,22	1,50	0,89	0,89	1,50	1,13	1,13	1,28	1,48

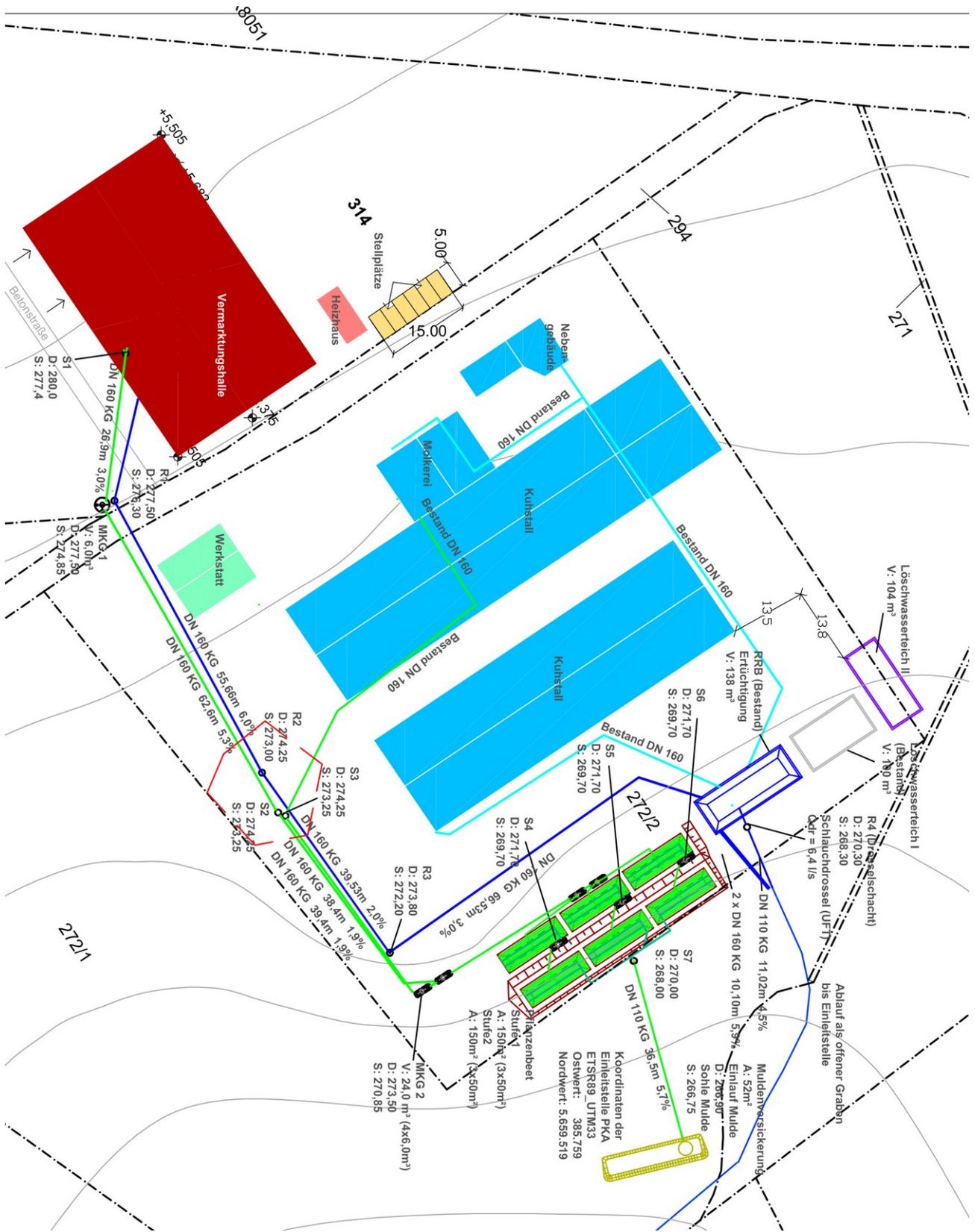
	Basisvarianten			C kleinerer Verteiler		C Durchmesser Zulauf und Emitter			C andere Pumpe	C größere Abstände Emitter
	Basis „M“ = A	Basis „M“ mit größeren Abstände n = B	Basis „O“ = C	C div40	C div40 em3	C em3	C ZL50mm	C ZL50mm em3		
Fließgeschwindigkeit Zulaufleitung in m/s	1,92	1,92	1,92	1,90	1,90	1,92	1,74	1,73	2,25	1,92
Drücke an den Emittlern in mWS: Minimum	0,0175	0,0336	0,0217	0,0159	0,0336	0,0414	0,0430	0,0823	0,0298	0,0412
... 1. Quartil	0,0181	0,0343	0,0228	0,0176	0,0355	0,0426	0,0453	0,0847	0,0313	0,0423
... Median	0,0194	0,0356	0,0235	0,0214	0,0396	0,0433	0,0467	0,0861	0,0323	0,0431
... Mittelwert	0,0213	0,0375	0,0234	0,0235	0,0429	0,0432	0,0466	0,0860	0,0322	0,0430
... 3. Quartil	0,0236	0,0401	0,0239	0,0285	0,0503	0,0438	0,0477	0,0871	0,0329	0,0435
... Maximum	0,0316	0,0478	0,0254	0,0400	0,0608	0,0453	0,0510	0,0904	0,0352	0,0449
Abgaben an den Emittlern in L/min: Minimum	0,2197	0,3044	0,2446	0,2095	0,2237	0,2486	0,3448	0,3503	0,2868	0,3374
... 1. Quartil	0,2238	0,3078	0,2507	0,2204	0,2301	0,2521	0,3537	0,3553	0,2941	0,3421
... Median	0,2313	0,3136	0,2545	0,2429	0,2430	0,2542	0,3593	0,3584	0,2987	0,3450
... Mittelwert	0,2413	0,3215	0,2541	0,2519	0,2517	0,2539	0,3587	0,3580	0,2982	0,3446
... 3. Quartil	0,2551	0,3326	0,2571	0,2807	0,2739	0,2556	0,3628	0,3603	0,3016	0,3469
... Maximum	0,2953	0,3635	0,2650	0,3324	0,3010	0,2599	0,3753	0,3671	0,3117	0,3524
Variationskoeffizient der Abgaben in %	8,97	5,29	1,78	14,56	9,65	0,98	1,90	1,05	1,83	0,98
Energiebedarf in kWh/m <sup>3</sup>	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,067	0,067	0,136	0,085
mittlere Leistung der Pumpe in kW	0,737	0,737	0,737	0,735	0,735	0,736	0,817	0,816	1,387	0,736
relative Jahreskosten Pumpe	100%	100%	100%	101%	101%	100%	79%	79%	160%	100%

## 12.2 Anlage Zusammenfassung Modellergebnisse hydraulische Berechnung Stufe 2

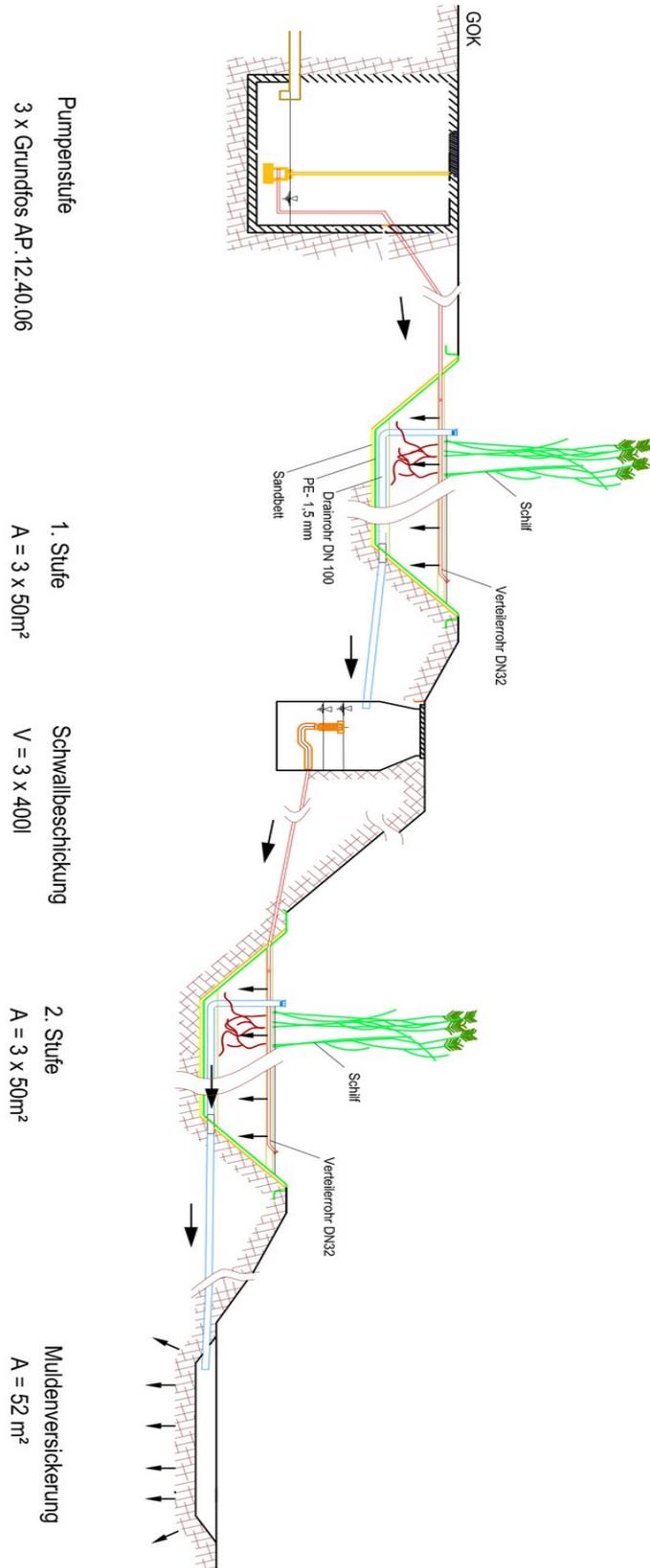
		Basisvarianten			C Durchmesser Emitter	C größere Abstände Emitter	
		Basis „M“ = A	Basis „M“ mit größeren Abständen n = B	Basis „O“ = C	C em3	Basis „O“ mit größeren Abständen = D	D em3
inp-Datei		MaMoPrfSt2	MaMoPrfSt2B	MaMoPrfSt2C	MaMoPrfSt2C_em3	MaMoPrfSt2D	MaMoPrfSt2D_em3
Anzahl Stränge		15	15	15	15	15	15
Anzahl Öffnungen je Strang		40	30	38	38	28	28
Abstand zwischen Strängen	m	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Abstand zwischen Öffnungen	m	0,25	0,33	0,25	0,25	0,33	0,33
Durchmesser Öffnungen	mm	3,5	3,5	3,5	3	3,5	3
Höhe Wasserspiegel in Vorlage	m	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Länge Zulaufleitung	m	20	20	20	20	20	20
Verlustbeiwert Zulaufleitung		100	100	100	100	100	100
Durchmesser Zulaufleitung	mm	104	104	104	104	104	104
Durchmesser Verteilerleitung	mm	104	104	104	104	104	104
Durchmesser Stränge	mm	28	28	28	28	28	28
Volumen Rohrsystem	m <sup>3</sup>	0,322	0,321	0,349	0,349	0,347	0,347
Durchfluss	L/min	177,5	174,4	179,3	175,5	175,5	169,1
Durchfluss	L/s	2,96	2,91	2,99	2,92	2,93	2,82
Durchfluss	m <sup>3</sup> /h	10,6	10,5	10,8	10,5	10,5	10,1
Beschickungsrate	L/min/m <sup>2</sup>	3,55	3,56	3,81	3,73	3,82	3,68
Austauschzeit Rohrvolumen	min	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1
Fließgeschwindigkeit in der Zulaufleitung	m/s	0,35	0,34	0,35	0,34	0,34	0,33
Drücke an den Emittlern: Minimum	m	0,026	0,049	0,033	0,061	0,061	0,106

		Basisvarianten			C Durchmesser Emitter	C größere Abstände Emitter	
		Basis „M“ = A	Basis „M“ mit größeren Abständen n = B	Basis „O“ = C	C em3	Basis „O“ mit größeren Abständen = D	D em3
... 1. Quartil	m	0,027	0,050	0,035	0,063	0,062	0,108
... Median	m	0,029	0,052	0,036	0,064	0,063	0,109
... Mittelwert	m	0,032	0,054	0,036	0,064	0,063	0,109
... 3. Quartil	m	0,035	0,058	0,037	0,064	0,064	0,109
... Maximum	m	0,047	0,069	0,039	0,067	0,066	0,112
Abgabe an den Emitter: Minimum	L/min	0,270	0,367	0,303	0,301	0,409	0,398
... 1. Quartil	L/min	0,274	0,371	0,310	0,306	0,415	0,401
... Median	L/min	0,285	0,379	0,315	0,308	0,418	0,403
... Mittelwert	L/min	0,296	0,387	0,315	0,308	0,418	0,403
... 3. Quartil	L/min	0,313	0,401	0,318	0,310	0,421	0,404
... Maximum	L/min	0,359	0,436	0,329	0,315	0,428	0,408
Variationskoeffizient der Abgaben	%	8,70	5,13	1,86	1,02	1,01	0,55

### 12.3 Anlage: Lageplan PKA Hof Mahlitzsch



### 12.4 Aufbau der Pflanzenbeete (Hof Mahlitzsch)



## 12.5 Fotodokumentation der Großanlage Hof Mahlitzsch

15.03.2022 – 11.05.2022



Planum



Zwischenbehälter 3. Straße



Erstellung oberes Beet, 3. Straße



Dichtheitstest 3 Straße



Beschickung 3. Straße (oberes Beet)



Beschickung 3. Straße (unteres Beet)



MKG 2 (Molkerei/ Melkstand)



Verlegung Folie 2. Straße



Befüllung Beete 2. Straße



Installation SchwallbeschickerVersick

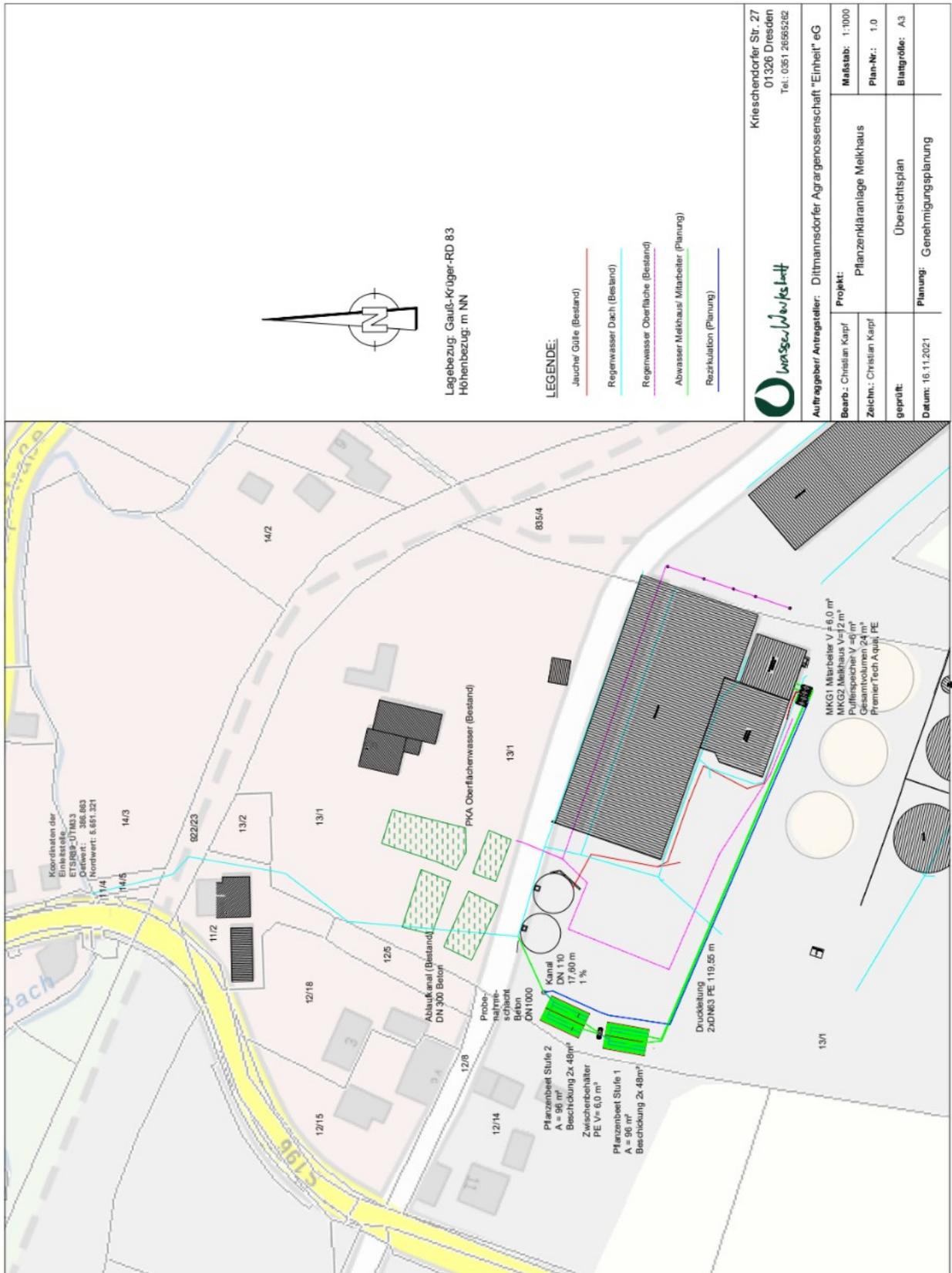


Versickerungsmulde

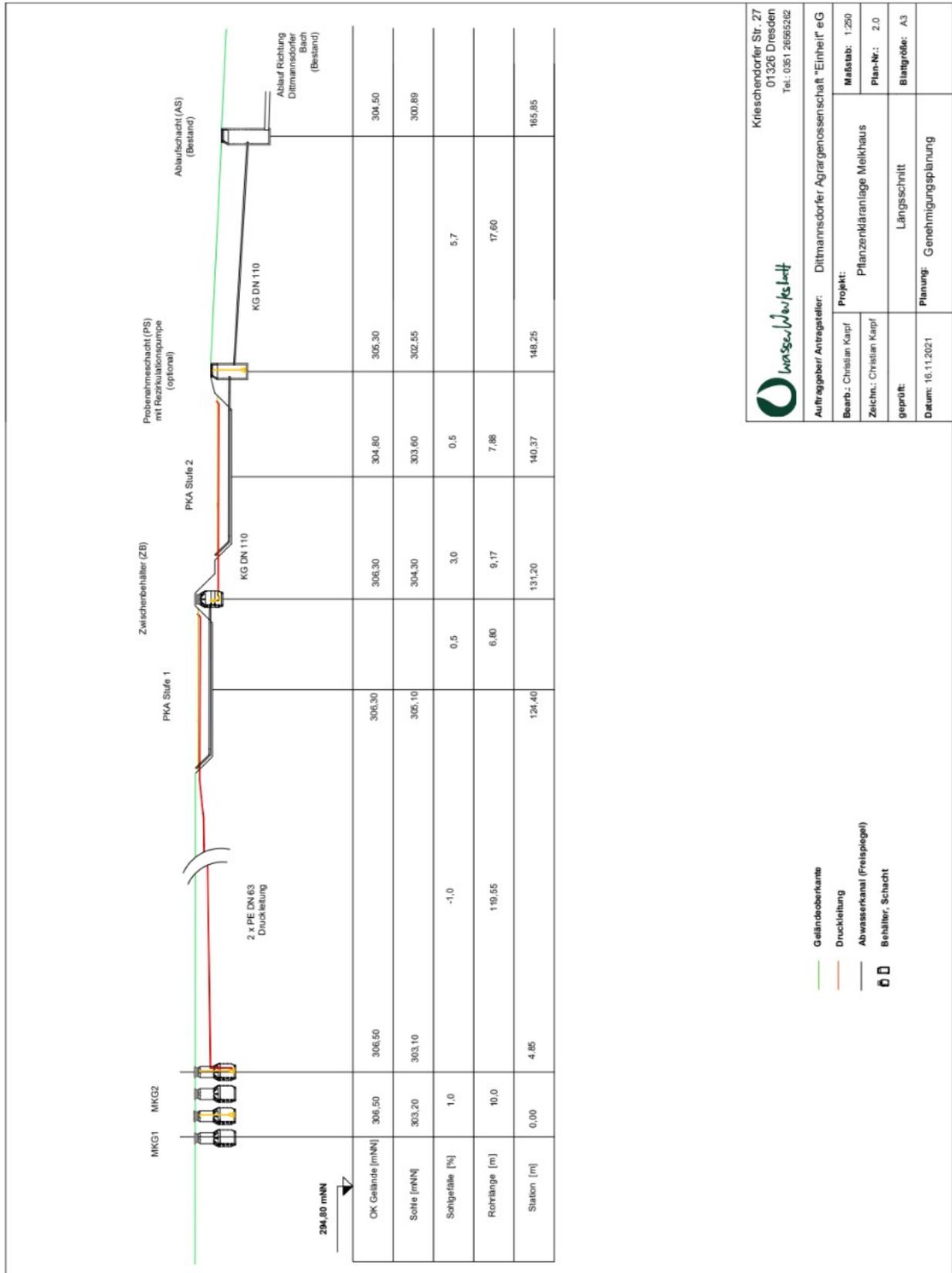


Fertigstellung PKA

### 12.6 Anlage: Lageplan PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft



### 12.7 Längsschnitt PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft



**Wasserwerkstatt**

Kriessendorfer Str. 27  
01326 Dresden  
Tel.: 0351 26565262

**Auftraggeber/Antragsteller:** Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft "Einheit" eG

**Projekt:** Pflanzenkläranlage Melkhaus

**Bearb.:** Christian Karpf **Maßstab:** 1:250

**Zeichn.:** Christian Karpf **Plan-Nr.:** 2.0

**geprüft:** **Längsschnitt**

**Datum:** 16.11.2021 **Planung:** Genehmigungsplanung

**Blattgröße:** A3

## 12.8 Fotodokumentation Bau der PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft



Erdebecken Beet 1



Erdbecken Beet 2



Drainagesystem Beet 1



Drainagesystem Beet 2



Beschickung Beet 1



Beschickung Beet 2



Rohrgraben Rezirkulation



Rohrgraben Druckrohr Zulauf Beet 1



Querung Fahrweg/ Medien



Rohrgraben hinter Melkstand

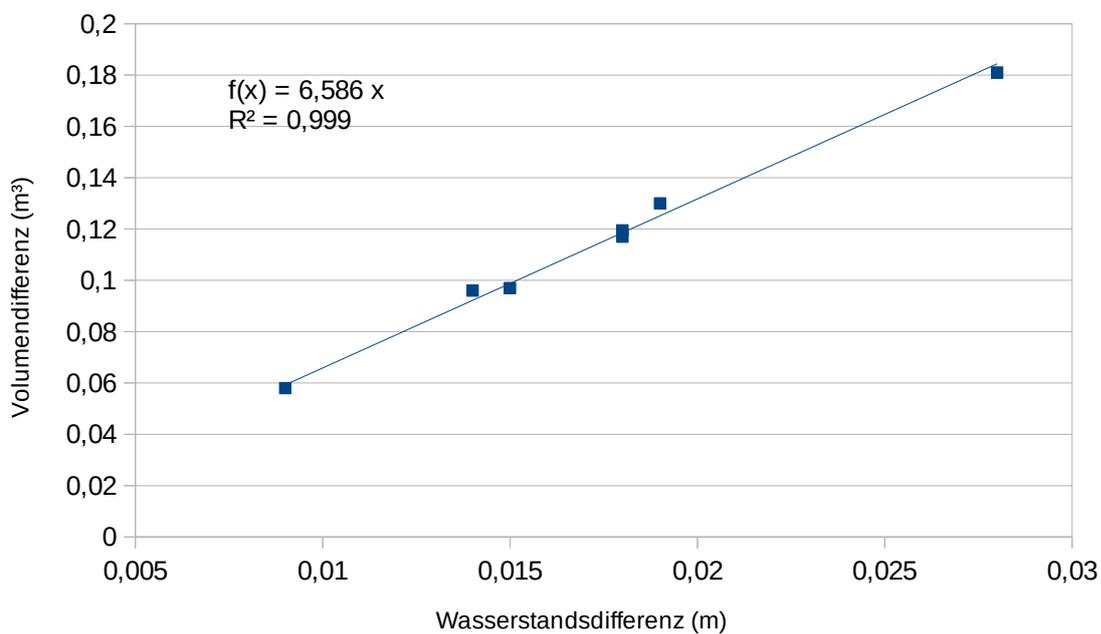


Vorklärung Sanitärabwasser MKG1

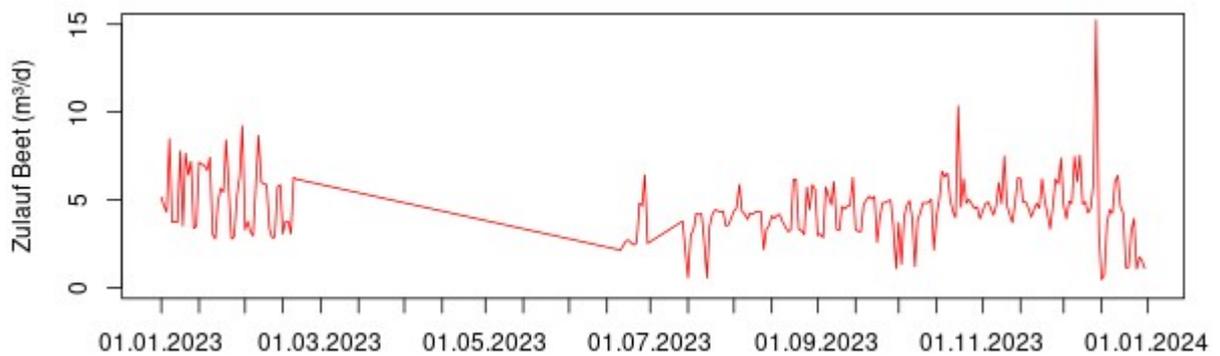
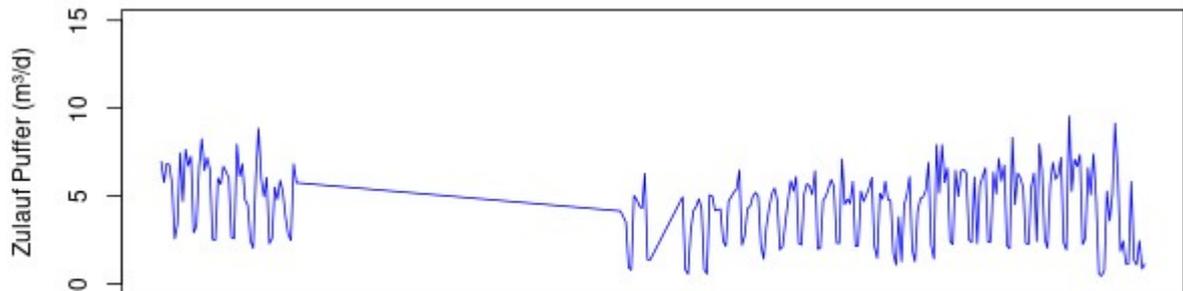
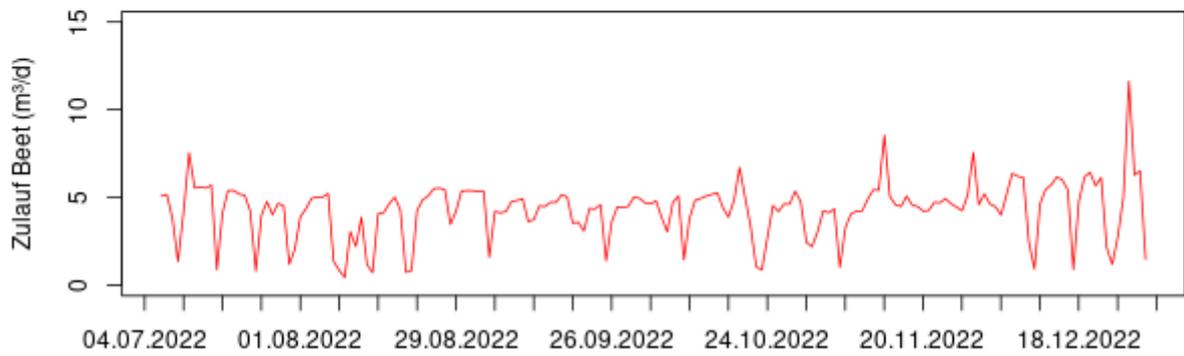
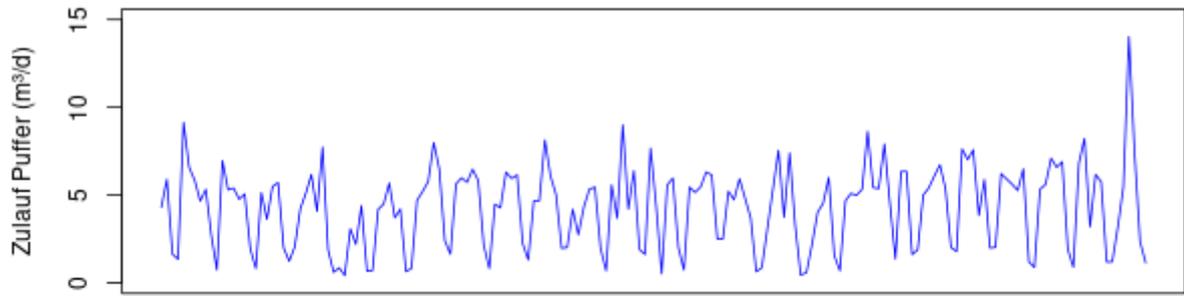


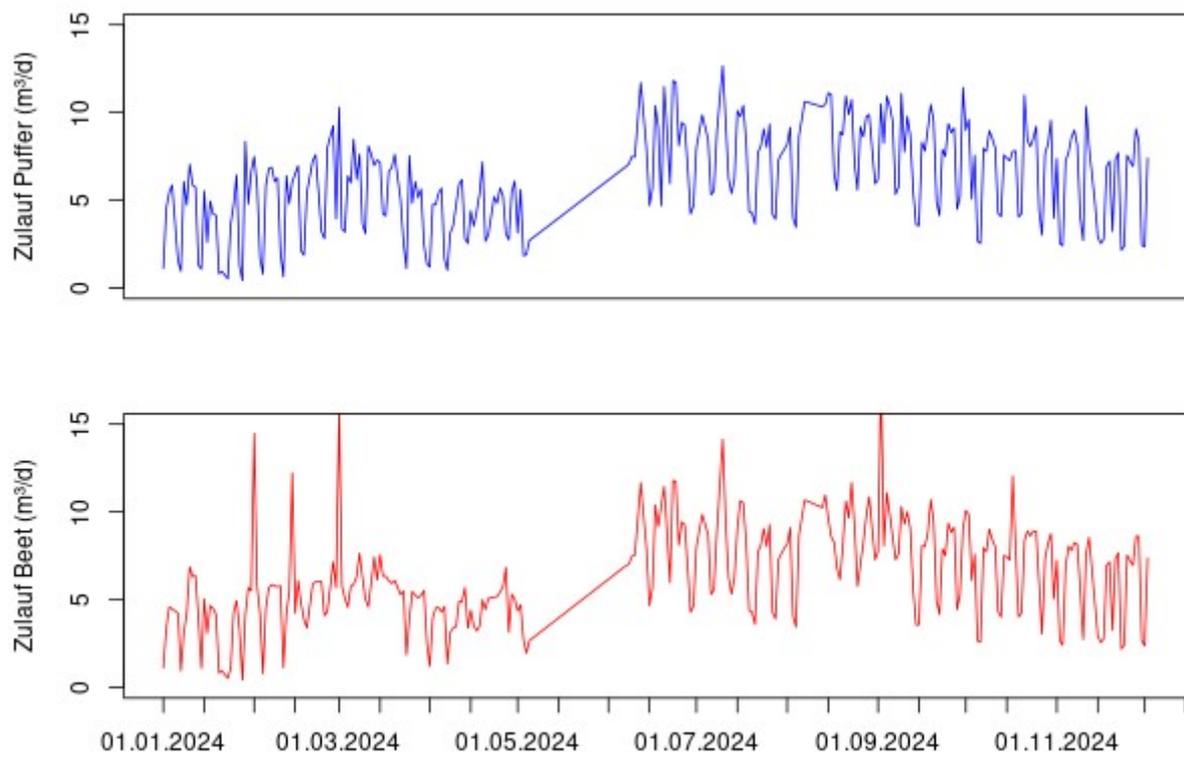
MKG 2 und Pufferspeicher

### 12.9 Wasserstands-Volumen-Beziehung für den Pufferspeicher am Standort Mahlitzsch



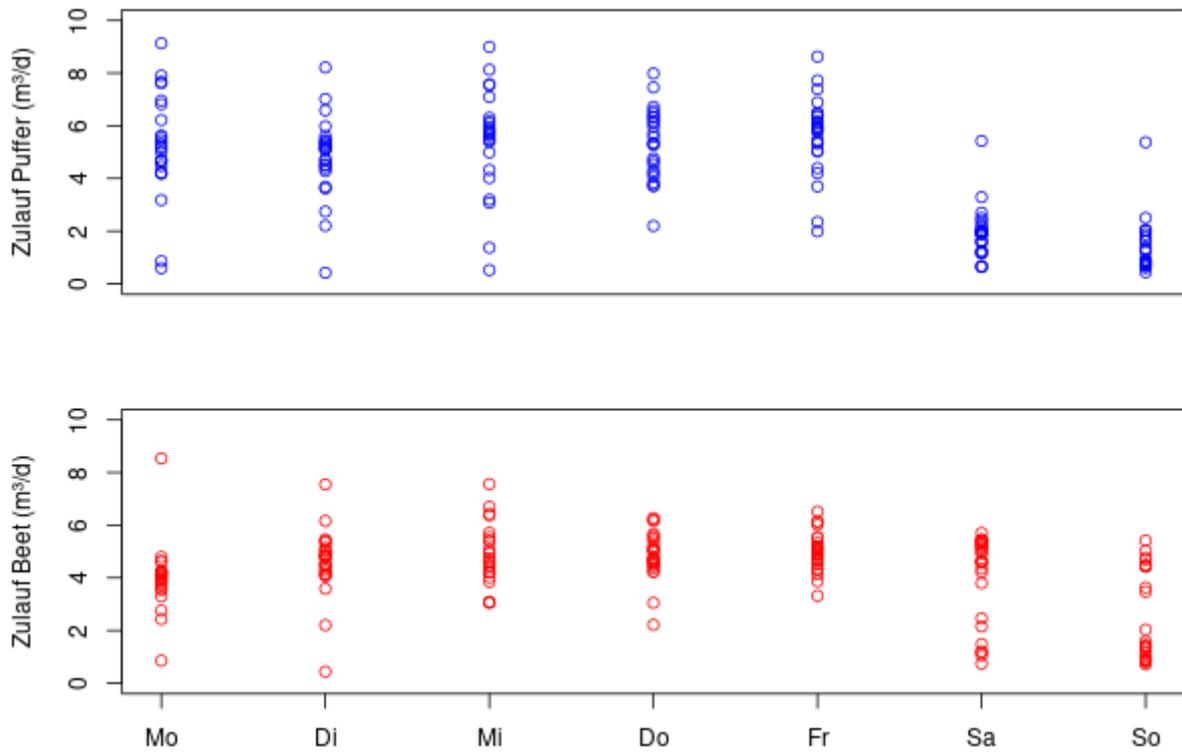
### 12.10 Zulaufganglinien



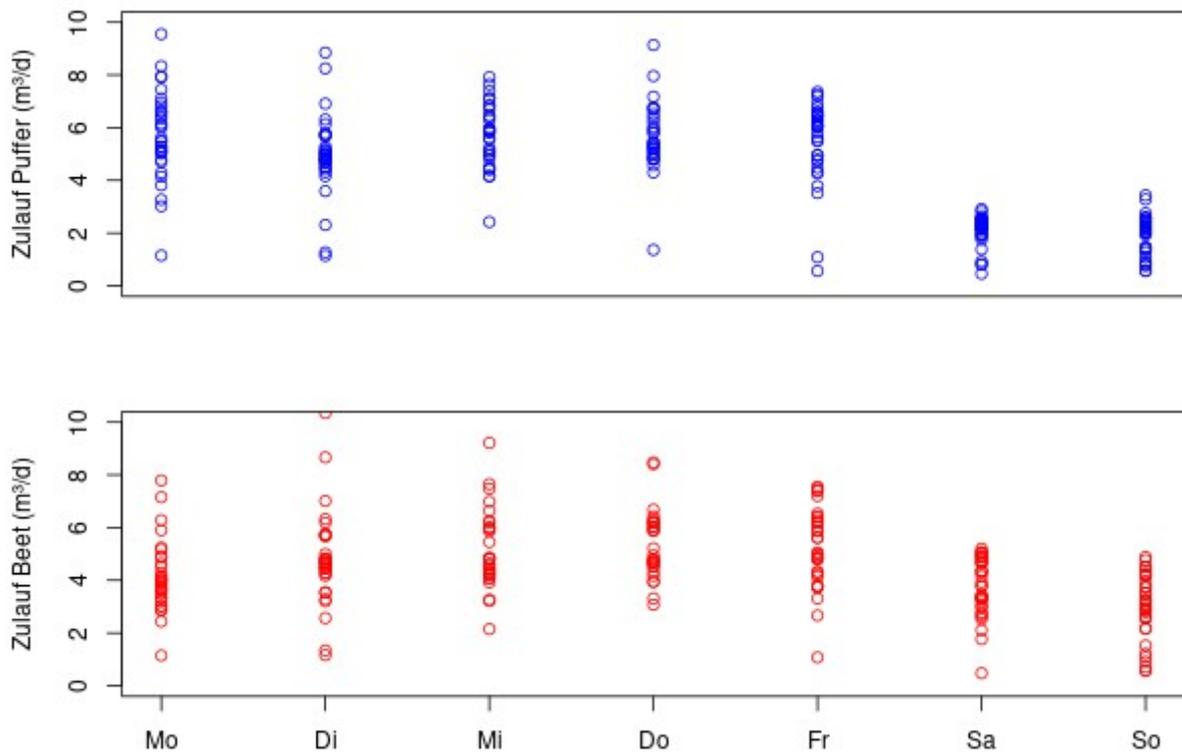


### 12.11 Wochenganglinien am Standort Mahlitzsch 2022-2024

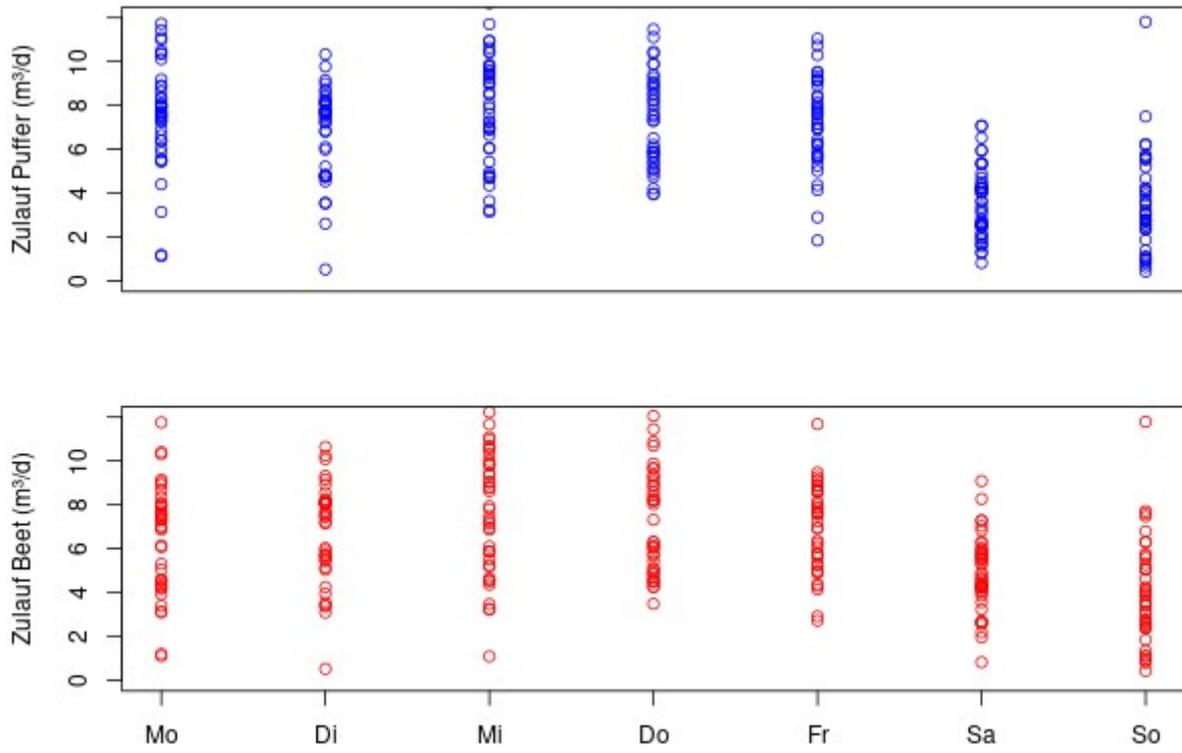
Wochengang 2022



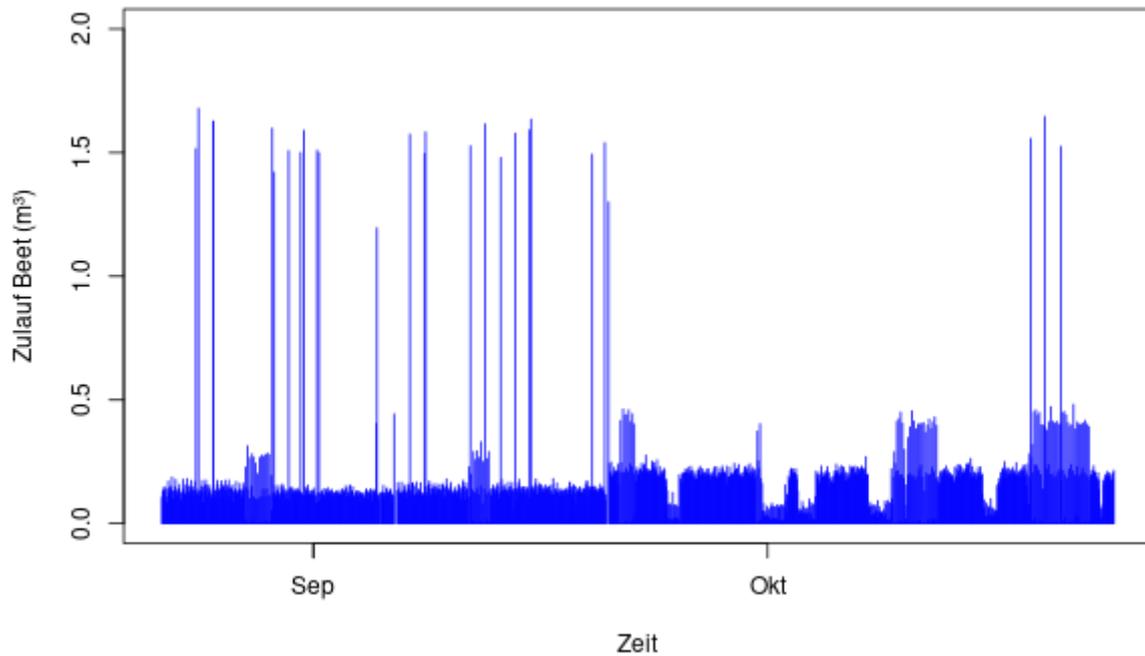
Wochengang 2023



Wochengang 2024



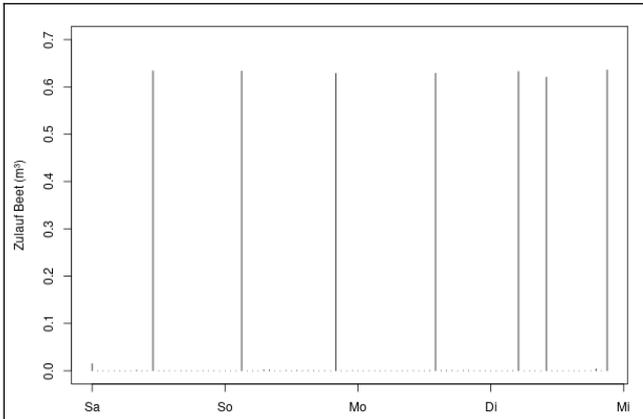
## 12.12 Beschickung Mahlitzsch, Filterstufe 1



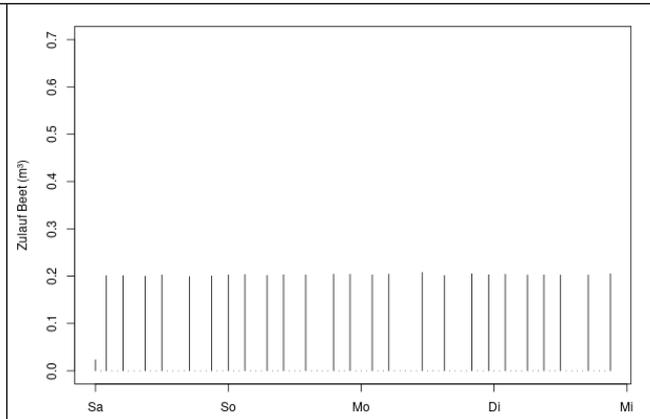
Auswertungszeitraum: 22.08.23 – 12.10.23

Die Beschickung erfolgt stündlich. Es wird jeweils ein Beet beschickt. Bei hohem Abwasseranfall und gefülltem Pufferspeicher werden alle 3 Pumpen gleichzeitig angesteuert (Maximalwerte).

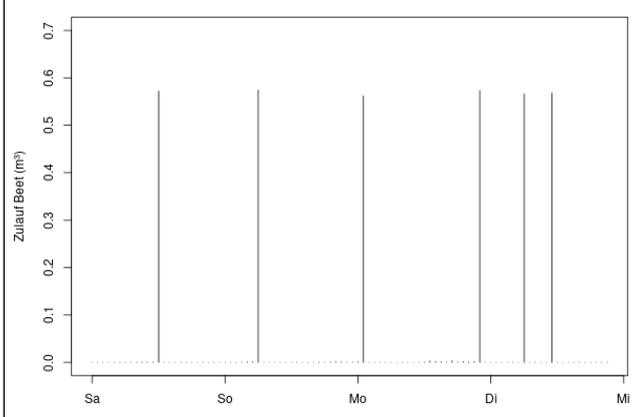
### 12.13 Beschickung Mahlitzsch Filterstufe 2



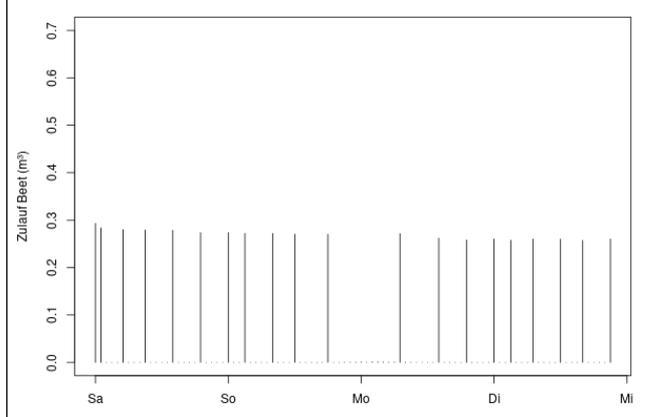
ZB1: vor Optimierung



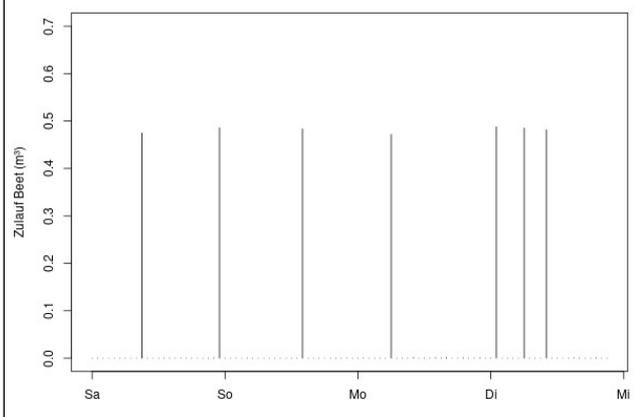
ZB1: nach Optimierung



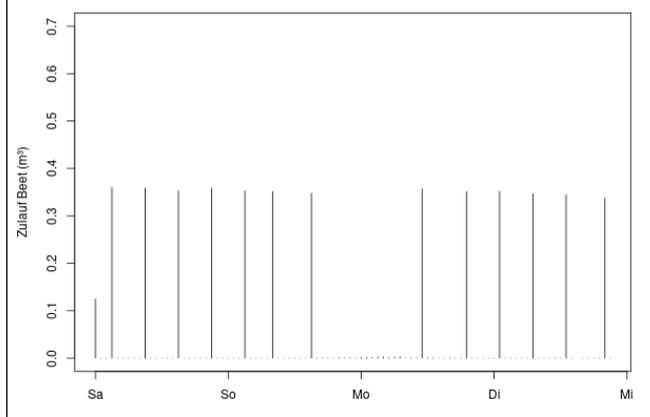
ZB2: vor Optimierung



ZB2: nach Optimierung



ZB3: vor Optimierung



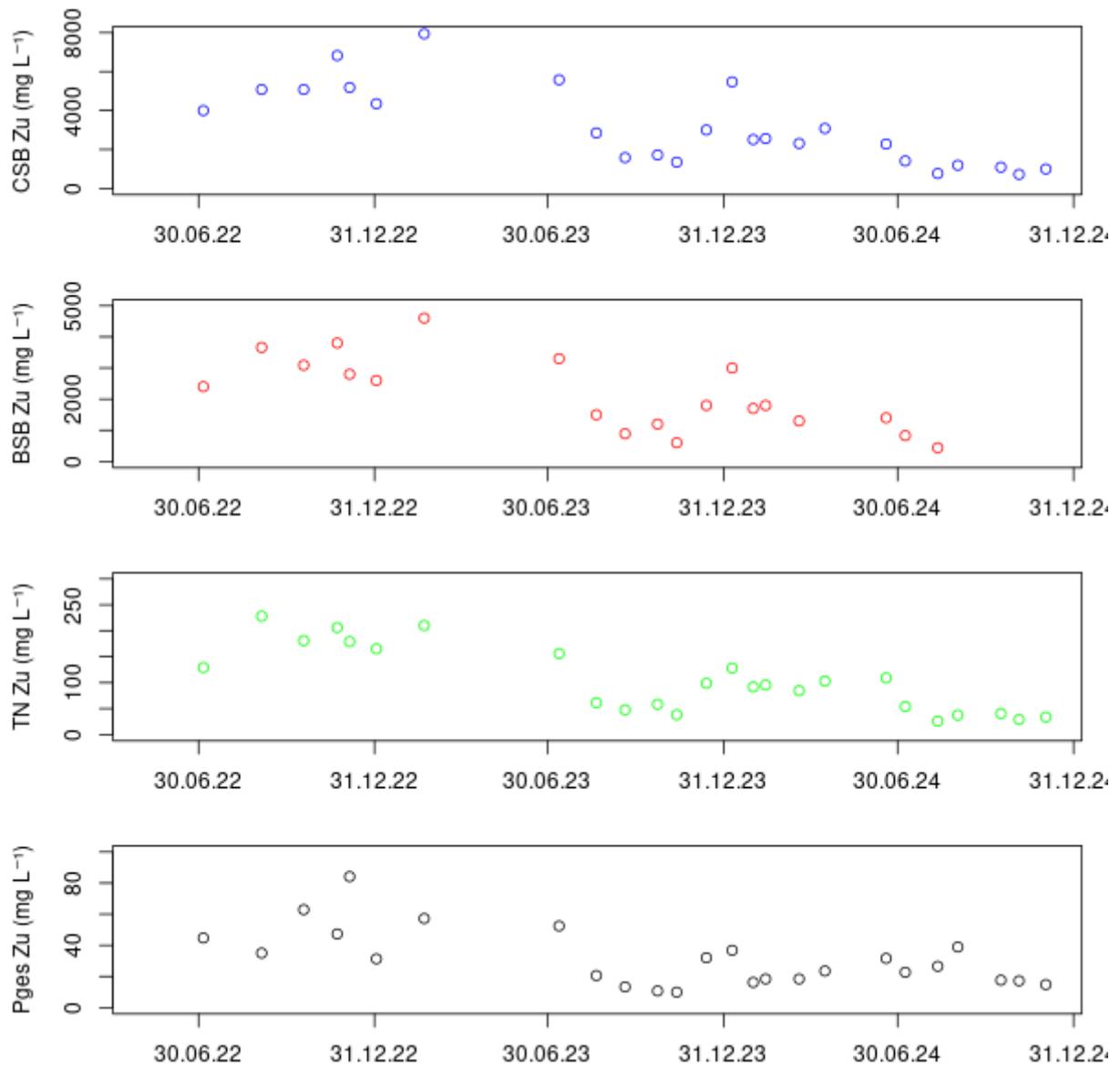
ZB3: nach Optimierung

## 12.14 Zulaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch

Datum	Zu_pH	Zu_LF	Zu_T	Luft T	Zu_CSB	Zu_BSB
	(-)	µSi/cm	°C	°C	mg/l	mg/l
20.06.22	6,5	2240	23	18		
06.07.22	6,35	2800	22,4	16	4000	2400
05.09.22	6,02	2860	23,8	19	5080	3660
19.10.22	6,09	2240	21,7	10	5080	3090
23.11.22	10,07	2980	19	8	6820	3800
06.12.22	5,97	1973	16,7	4	5180	2800
03.01.23	5,65	1571	17,4	8	4350	2600
22.02.23	6,2	2450	19,2	13	7940	4600
13.07.23	4,77	2550	25	27	5580	3300
21.08.23	6,59	1866	24,8	34	2850	1500
20.09.23	7,43	1863	22,6	20	1580	890
24.10.23	6,81	1287	20,9	16	1720	1200
13.11.23	7,59	1531	15,3	9	1350	600
14.12.23	6,09	2096	15	3	3000	1800
10.01.24	9,18	1741	16,4		5470	3000
01.02.24	9,95	1594	14,7	5	2510	1700
14.02.24	8,42	1725	17,7	12	2560	1800
20.02.24	9,48	1959	18,4			
23.02.24	10,06	1999				
27.02.24	8,98	2390	12,3			
20.03.24	7,64	1644	15,4	10	2310	1300
16.04.24	6,6	1536	16,4	7	3080	
19.06.24	7,22	2770	19,4	15	2280	1400
09.07.24	8,79	2640	22,6	25	1410	830
12.08.24	7,22	2360	23,5	25	765	440
02.09.24	6,8	2680	21,8	18	1190	
17.10.24	7,13	1993	17,6	18	1090	
05.11.24	7,4	1849	15,4	10	722	
03.12.24	8,17	2069	11,8	5	997	
Mittelwert	7	2112	19	14	3157	2136
Min	4,77	1287	11,8	3,0	722	440
Max	10,07	2980	25,0	34,0	7940	4600
StAbw	1,43	462	3,8	7,9	2029	1177

Datum	Zu_Tnb	Zu_Pges	AFS
	mg/l	mg/l	mg/l
06.07.22	129	44,7	
05.09.22	228	35	
19.10.22	181	62,9	
23.11.22	206	47,3	
06.12.22	179	84,1	990
03.01.23	165	31,3	980
22.02.23	210	57,2	1670
13.07.23	156	52,4	750
21.08.23	61,2	20,6	340
20.09.23	47,6	13,3	260
24.10.23	58,4	10,7	320
13.11.23	38,1	9,94	270
14.12.23	98,6	32	110
10.01.24	128	36,8	630
01.02.24	91,6	16,2	402
14.02.24	95,4	18,4	550
20.03.24	84,5	18,4	87,2
16.04.24	103	23,5	620
19.06.24	109	31,6	124
09.07.24	54,1	22,7	106
12.08.24	25,9	26,5	211
02.09.24	37,5	38,9	74,8
17.10.24	40,5	17,6	210
05.11.24	29	17,2	180
03.12.24	33,8	14,8	64
Mittelwert	103,6	31,4	426
Min	25,9	9,9	64
Max	228,0	84,1	1670
StAbw	63,2	18,4	404

Zulaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch

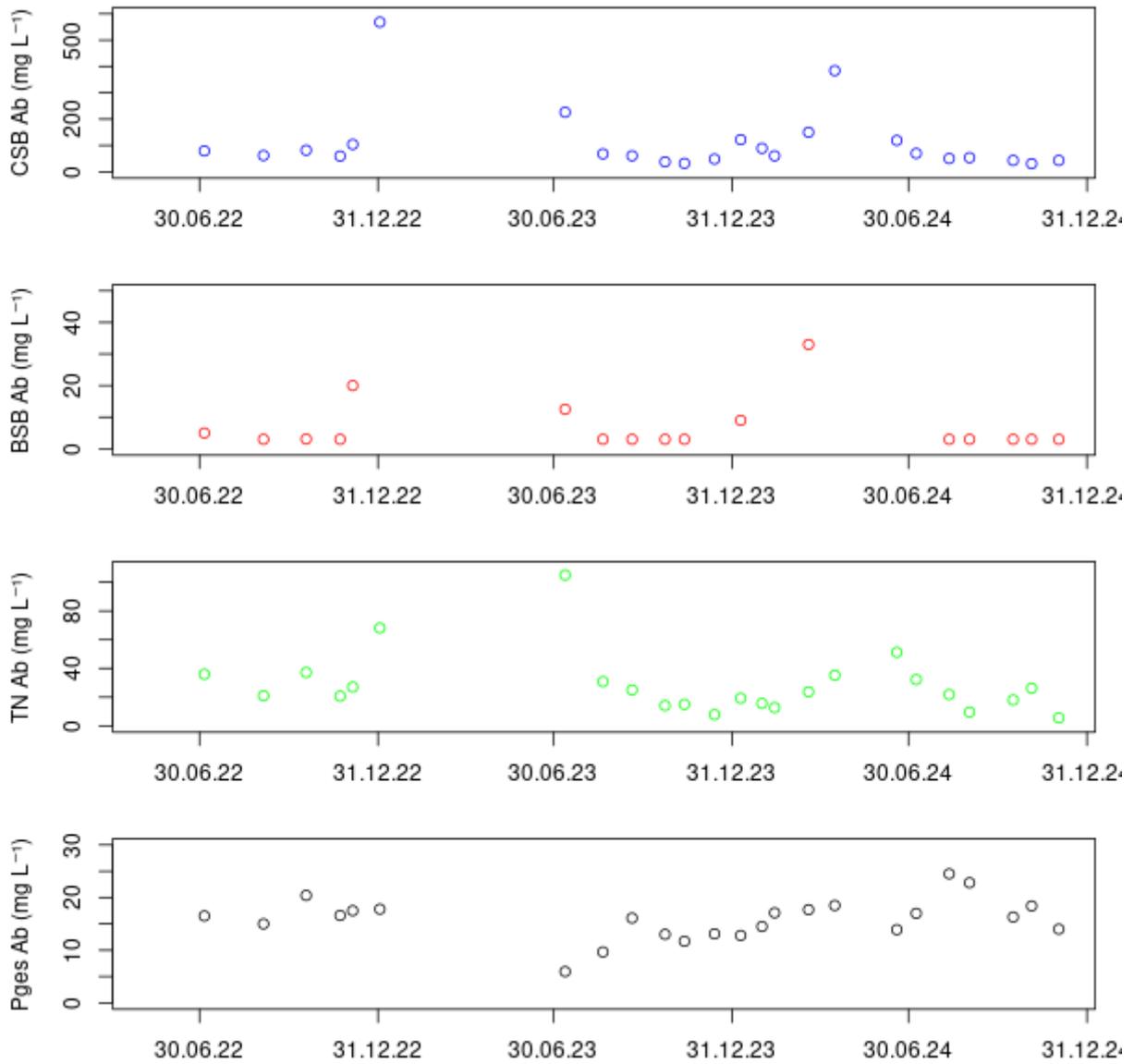


### 12.15 Ablaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch

Datum	Ab_pH (-)	Abl_LF μSi/cm	Ab_T °C	Ab_CSB mg/l	Ab_BSB mg/l	Ab_Pges mg/l
20.06.22	7,53	2290	18,7			
06.07.22	7,46	2290	19,6	79,1	5	16,5
05.09.22	7,96	2880	18,7	61,9	3	15
19.10.22	7,42	2114	13,9	81,9	3,1	20,4
23.11.22	8,53	2014	9	59,6	3	16,6
06.12.22	6,97	2520	7,1	104	20	17,5
03.01.23	6,76	1923	9,1	568	300	17,8
22.02.23						
13.07.23	7,12	2460	19,8	226	12,5	5,94
21.08.23	7,07	1936	22,3	68,1	3	9,67
20.09.23	7,38	3120	18,6	60,8	3	16,1
24.10.23	7,2	2270	15,2	37,7	3	13
13.11.23	7,25	2130	11,9	32	3	11,7
14.12.23	7,12	2015	7,6	48,3		13,1
10.01.24	7,38	2120	6,2	122	9	12,8
01.02.24	6,9	2133	6,5	89,1		14,5
14.02.24	6,88	1535	8,3	60,6		17,1
23.02.24	6,9	1806				
20.03.24	6,95	1922	10,5	150	33	17,7
16.04.24	6,73	2107	11,5	384		18,5
19.06.24	6,87	2450	17,9	119		13,9
09.07.24	6,97	2180	20	69,8		17
12.08.24	7,18	2680	21	50,4	3	24,5
02.09.24	7,14	3000	19,9	53,6	3	22,8
17.10.24	7,07	2150	15,1	43	3	16,3
05.11.24	6,96	2187	13,8	30,7	3	18,4
03.12.24	6,93	2024	9,1	43,1	3	14
Mittelwert	7,18	2241	14,05	110,1	23	16
Min	6,73	1535	6,20	30,7	3	6
Max	8,53	3120	22,30	568,0	300	25
StAbw	0,39	366	5,29	123,8	70	4

Datum	Ab_Tnb	Ab_NO3N	Ab_NO2N	Ab_NH4N
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
06.07.22	35,9	32,8	0,121	0,1
05.09.22	21	15,4	0,039	0,08
19.10.22	37,2	26,9	0,15	2,28
23.11.22	20,7	15,7	0,044	0,27
06.12.22	27	9,5	2,35	6,15
03.01.23	68,1	1,8	0,015	48,2
13.07.23	105	68,5	0,34	0,56
21.08.23	30,8	19,4	0,015	0,08
20.09.23	25	15,8	0,015	0,08
24.10.23	14,1	8,1	0,015	0,08
13.11.23	15	6,3	0,015	0,08
14.12.23	7,8	5,6	0,015	0,08
10.01.24	19,2	12,9	0,041	2,59
01.02.24	15,6	6,9	1,72	2,3
14.02.24	12,7	3	0,384	6,8
20.03.24	23,7	1	0,015	16
16.04.24	35,2	1,2	0,015	28,8
19.06.24	51,2	27,4	0,112	2,02
09.07.24	32,2	22,4	0,036	0,3
12.08.24	21,8	15,5	0,015	0,08
02.09.24	9,6	7,3	0,015	0,08
17.10.24	18	17,6	0,015	0,08
05.11.24	26,2	16,8	0,015	0,08
03.12.24	5,5	2,98	0,015	0,26
Mittelwert	28,3	15,0	0,2	4,9
Min	5,5	1,0	0,0	0,1
Max	105,0	68,5	2,4	48,2
StAbw	21,5	14,4	0,6	11,3

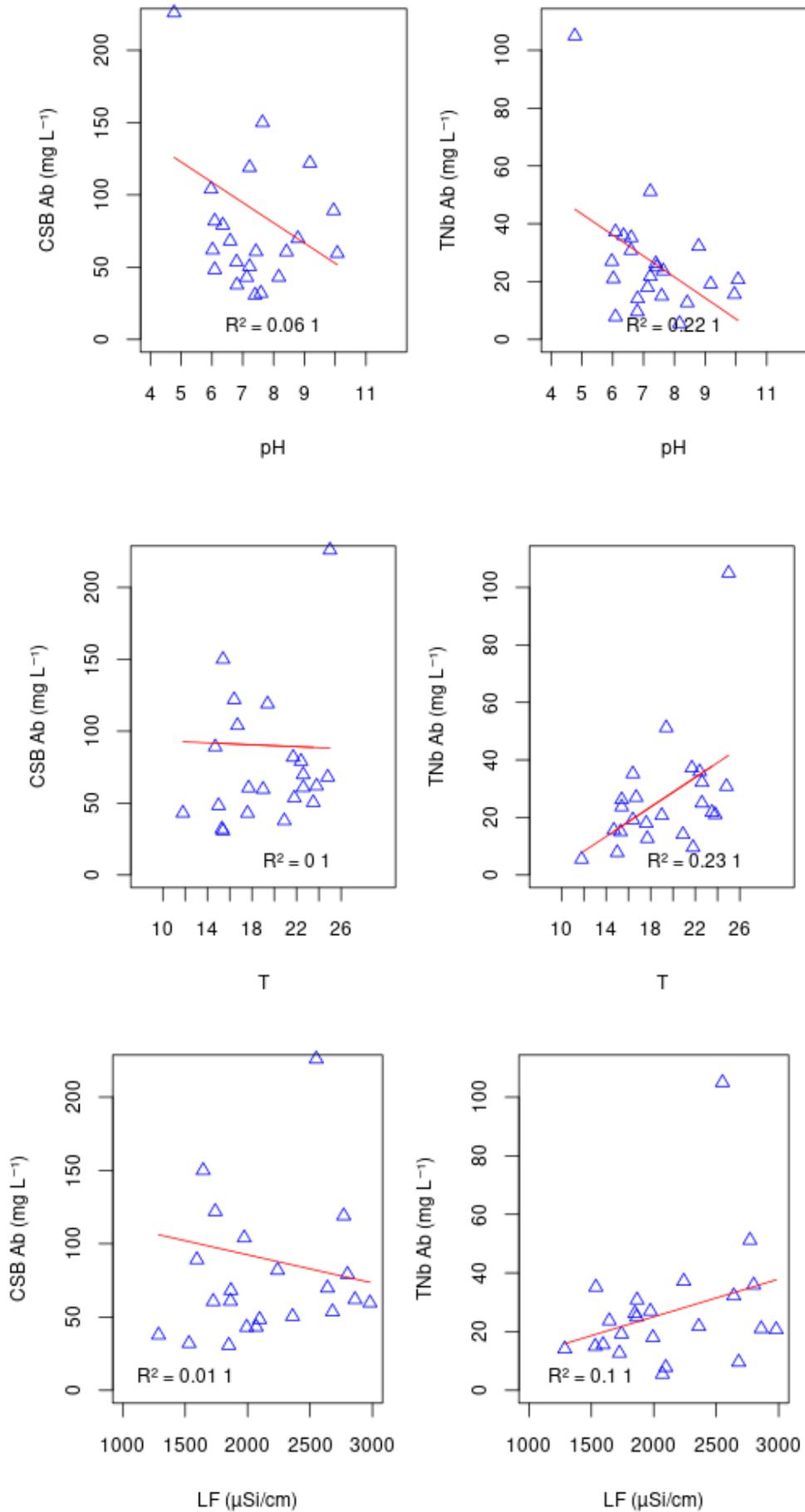
Ablaufkonzentrationen am Standort Mahlitzsch



## 12.16 Konzentrationsmessungen im Zwischenbehälter (ZB) am Standort Mahlitzsch

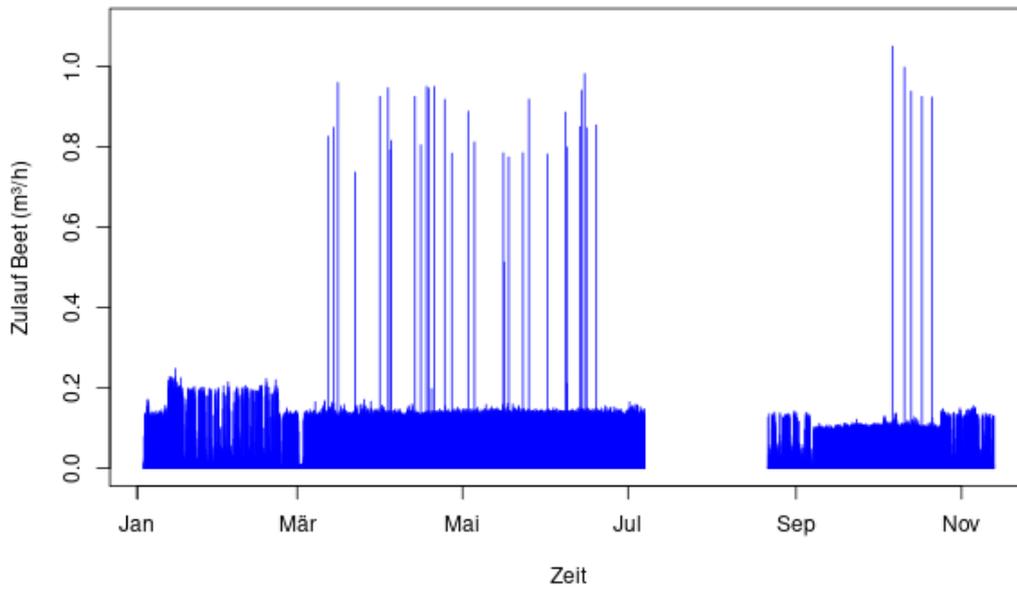
Datum	ZB_CSB
	mg/l
14.12.23	490
10.01.24	1330
01.02.24	1100
14.02.24	674
19.06.24	456
09.07.24	154
12.08.24	172
02.09.24	267
17.10.24	116
05.11.24	119
03.12.24	226
Mittelwert	464
Min	116
Max	1330
StAbw	414

### 12.17 Korrelationsuntersuchungen am Standort Mahlitzsch

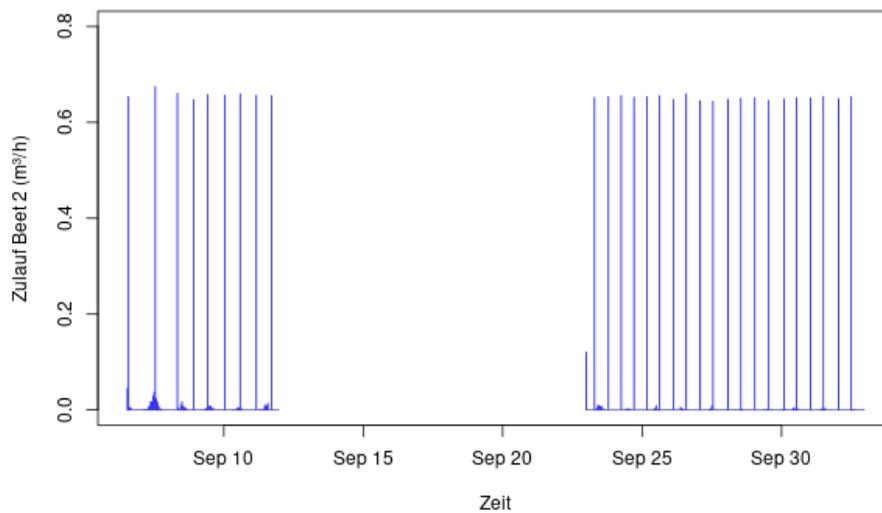


### 12.18 Abwasseraufkommen PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft

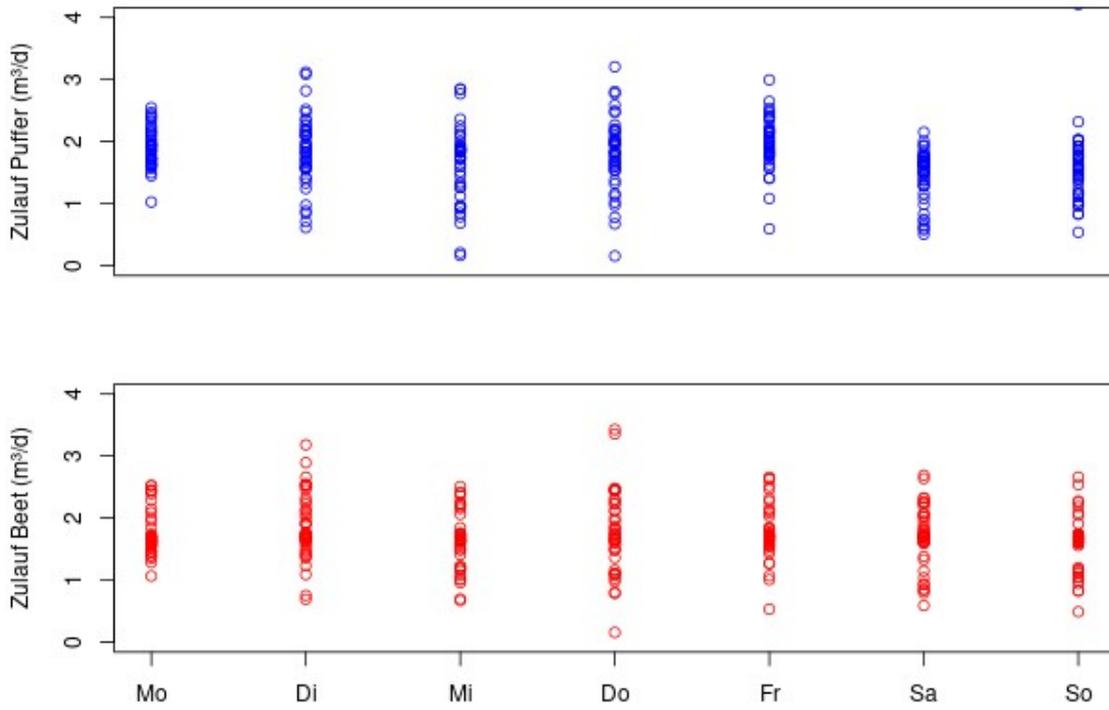
Ganglinie (Stundenwerte) am Standort Dittmannsdorf



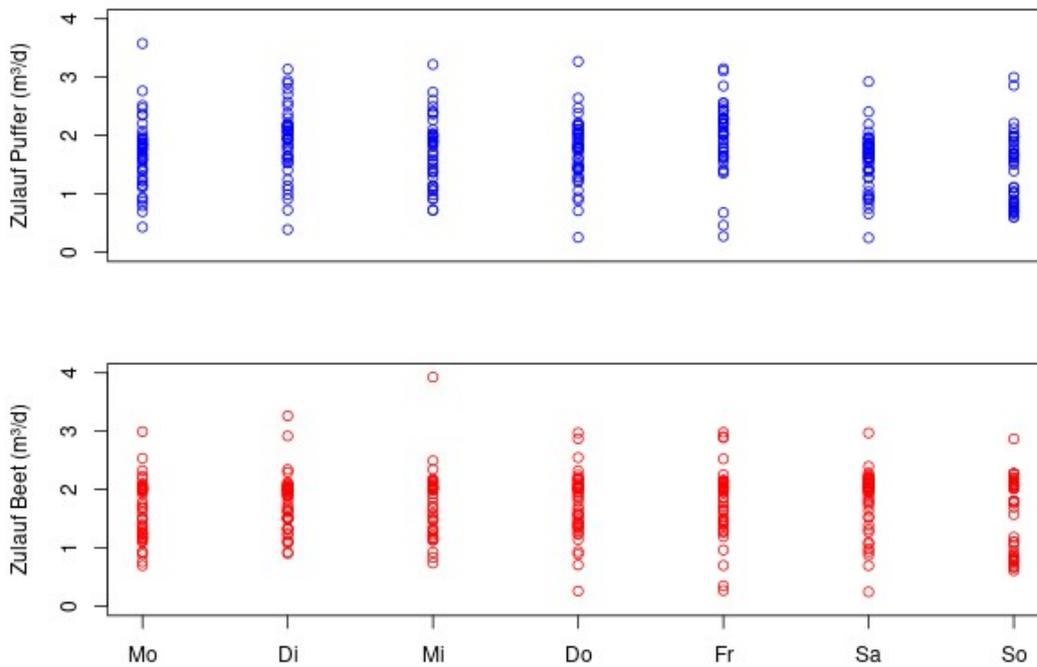
Beschickungen der 2. Stufe während der temporären Messungen im September/ Oktober 2023 (Trockenwetter-Perioden)



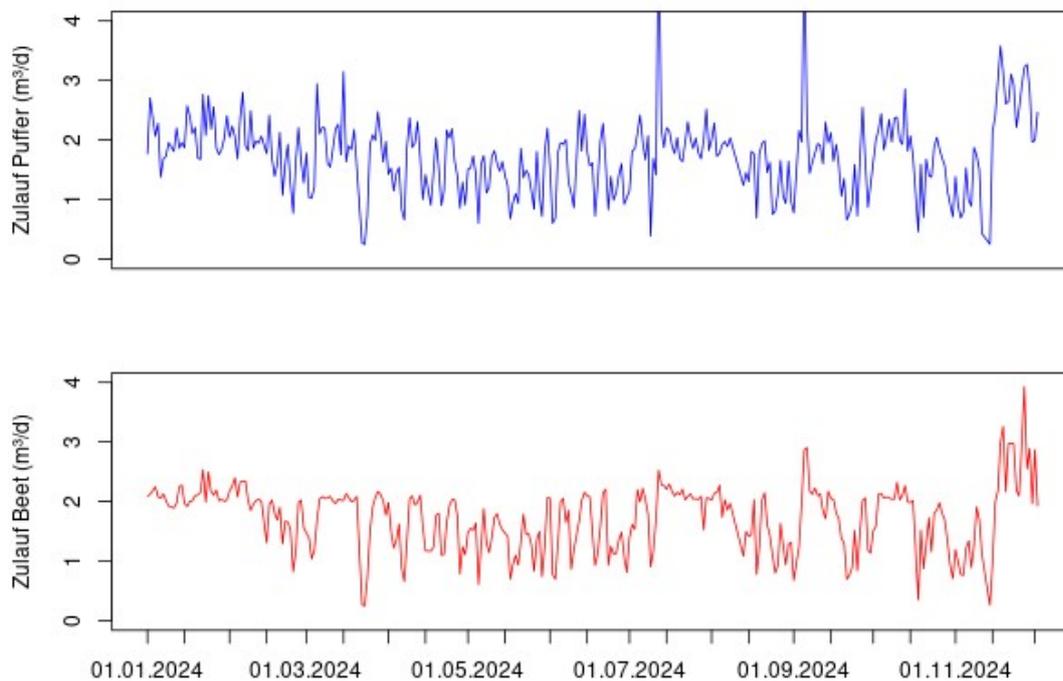
Wochengang 2023 am Standort Dittmannsdorf



Wochengang 2024 am Standort Dittmannsdorf



Zulaufanglinien 2024 am Standort Dittmannsdorf

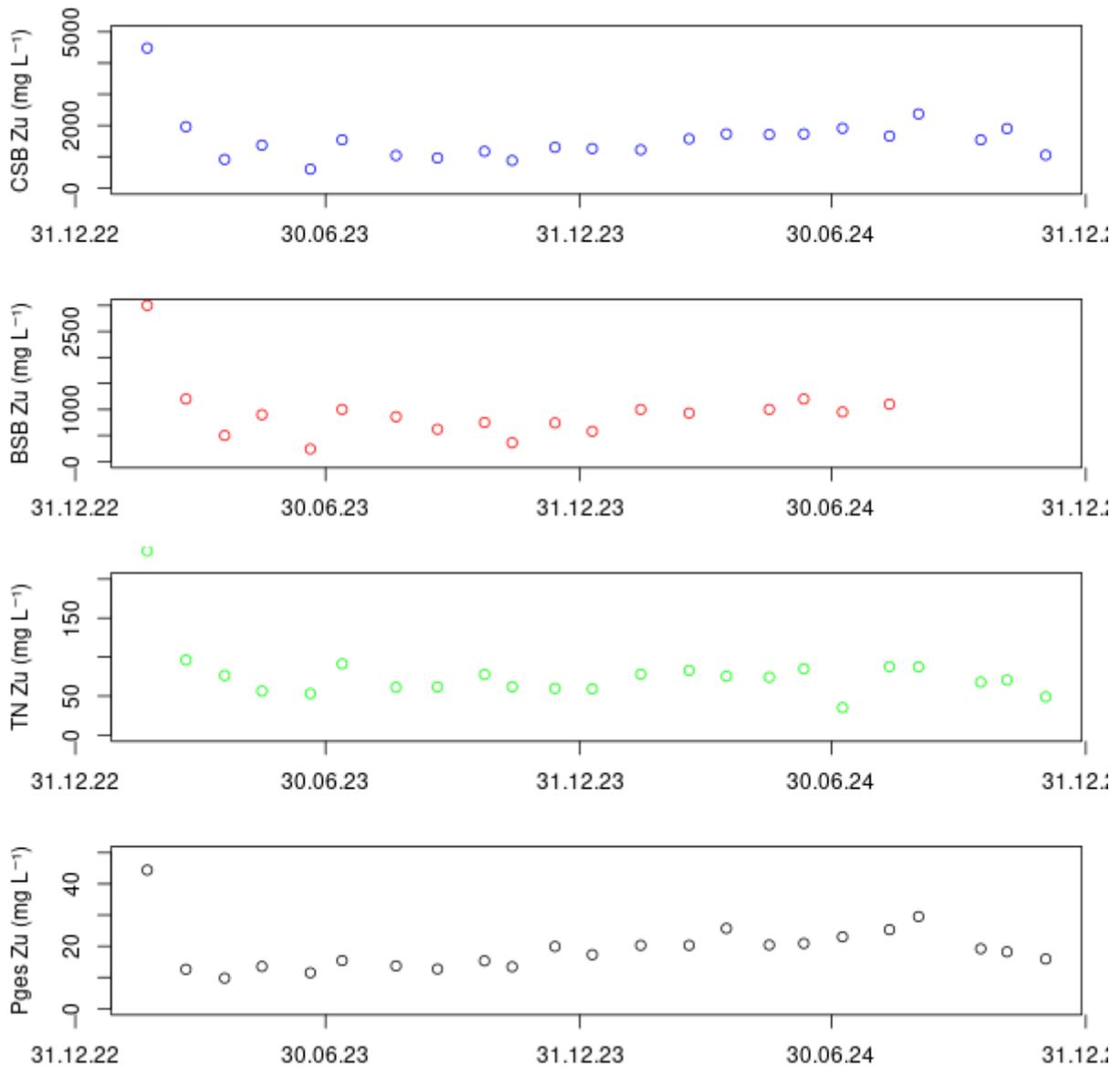


### 12.19 Zulaufkonzentrationen PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft

Datum	Zu_pH	Zu_LF	Zu_T	Luft_T	Zu_CSB	Zu_BSB
	(-)	µSi/cm	°C	°C	mg/l	mg/l
22.02.23	5,34	2119	16,7	13	4480	3000
22.03.23	6,35	1434	16,5	13	1960	1200
19.04.23	6,44	1082	16,9	12	913	500
16.05.23	6,37	1060	17,8	15	1370	900
20.06.23	6,38	981	25,7	34	600	240
13.07.23	6,37	1154	23,6	25	1540	1000
21.08.23	6,55	1072	27,6	36	1040	860
20.09.23	6,35	1079	25,5	26	960	620
24.10.23	6,32	1204	20,8	15	1170	750
13.11.23	6,69	1038	16,1	8	876	360
14.12.23	6,27	854	13,9	5	1300	740
10.01.24	6,03	849	12,4		1260	580
14.02.24	5,97	811	15,8	15	1220	1000
20.03.24	5,92	825	15,9	10	1570	930
16.04.24	5,83	870	13,3	12	1730	
17.05.24	5,69	943	19,7	15	1710	1000
11.06.24	6,12	912	14,8	15	1730	1200
09.07.24	6,11	811	24,2	25	1910	950
12.08.24	5,72	876	25,6	26	1660	1100
02.09.24	5,66	1014	25	22	2370	
17.10.24	5,86	958	20,5	18	1540	
05.11.24	5,56	741	19,2	10	1900	
03.12.24	6	765	14,1	5	1050	
Mittelwert	6,08	1020	19,2	17,0	1559	941
Min	5,34	741	12,4	5,0	600	240
Max	6,69	2119	27,6	36,0	4480	3000
StAbw	0,35	289	4,7	8,5	764	582

Datum	Zu_Tnb	Zu_Pges	AFS
	mg/l	mg/l	mg/l
22.02.23	236	44,4	388
22.03.23	96,2	12,6	288
19.04.23	76,4	9,78	200
16.05.23	56,4	13,5	240
20.06.23	53,3	11,5	37
13.07.23	91,2	15,4	260
21.08.23	61,2	13,7	200
20.09.23	61,8	12,7	95
24.10.23	77,6	15,3	99
13.11.23	61,9	13,4	140
14.12.23	59,8	19,9	180
10.01.24	59,3	17,3	170
14.02.24	78	20,3	164
20.03.24	82,9	20,3	246
16.04.24	75,4	25,7	250
17.05.24	74,2	20,4	240
11.06.24	84,9	20,9	290
09.07.24	35,1	23	139
12.08.24	87,7	25,3	228
02.09.24	87,4	29,5	254
17.10.24	67,8	19,2	14,8
05.11.24	70,4	18,2	360
03.12.24	49	15,9	96
Mittelwert	77,6	19,1	199
Min	35,1	9,8	15
Max	236,0	44,4	388
StAbw	37,6	7,4	94

Zulaufkonzentrationen Standort Dittmannsdorf

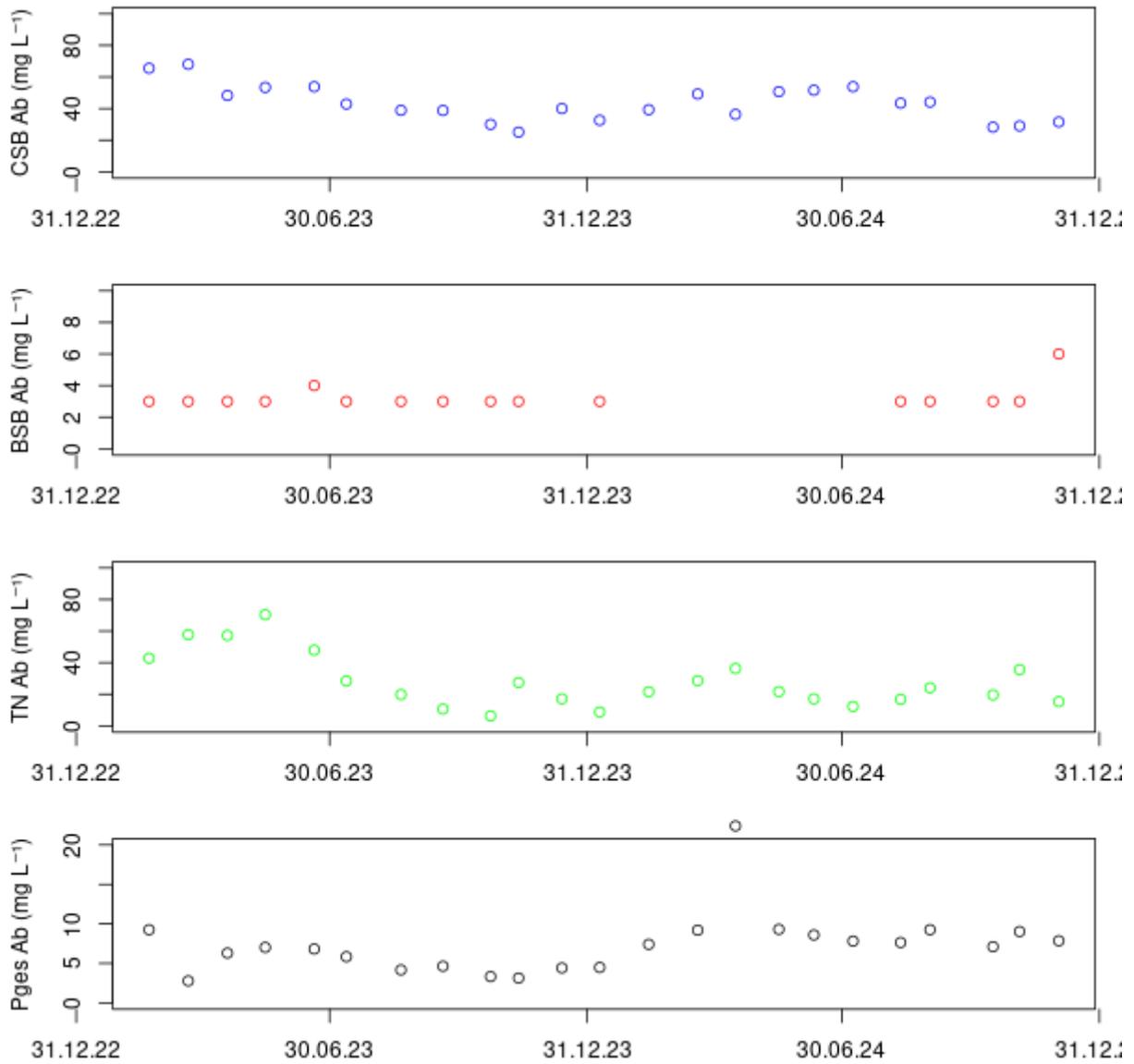


## 12.20 Ablaufkonzentrationen PKA Dittmannsdorfer Agrargenossenschaft

Datum	Ab_pH	Abl_LF	Ab_T	Ab_CSB	Ab_BSB	Ab_Pges
	(-)	µSi/cm	°C	mg/l	mg/l	mg/l
22.02.23	6,79	1247	7	65,5	3	9,26
22.03.23	6,83	1075	9,2	68	3	2,78
19.04.23	6,4	765	12,5	48,3	3	6,3
16.05.23	6,57	1048	12,9	53,4	3	7,02
20.06.23	6,8	890	20,8	53,8	4	6,82
13.07.23	6,86	758	21,7	42,9	3	5,84
21.08.23	6,91	782	22,9	38,9	3	4,17
20.09.23	7,1	890	19,6	38,8	3	4,64
24.10.23	7,19	680	13,8	30	3	3,33
13.11.23	7,15	745	11,2	25,1	3	3,14
14.12.23	6,92	500	6,6	40		4,42
10.01.24	6,87	543	5,1	32,6	3	4,48
14.02.24	6,86	484	8,5	39,3		7,41
20.03.24	7,04	628	9,8	49,2		9,2
16.04.24	6,6	634	11,4	36,3		22,4
17.05.24	6,52	598	15,7	50,7		9,31
11.06.24	6,93	572	14,1	51,6		8,6
09.07.24	6,95	546	18	53,8		7,82
12.08.24	6,99	640	20,4	43,4	3	7,64
02.09.24	6,66	920	18,7	44,1	3	9,26
17.10.24	6,83	546	11,8	28,2	3	7,11
05.11.24	6,72	613	12	29	3	9,03
03.12.24	6,83	533	8,4	31,5	6	7,86
Mittelwert	6,84	723	13,6	43,2	3	7,3
Min	6,40	484	5,1	25,1	3	2,8
Max	7,19	1247	22,9	68,0	6	22,4
StAbw	0,20	204	5,2	11,5	1	3,9

Datum	Ab_Tnb	Ab_NO3N	Ab_NO2N	Ab_NH4N
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
22.02.23	42,8	4,5	0,028	34,1
22.03.23	57,7	12,6	0,11	39,5
19.04.23	57,2	57,2	0,381	0,54
16.05.23	70,3	58,5	0,015	0,08
20.06.23	47,9	30,9	0,015	0,08
13.07.23	28,4	18,1	0,015	0,08
21.08.23	19,8	10,1	0,015	0,13
20.09.23	10,6	3,8	0,015	0,19
24.10.23	6,3	4,9	0,015	0,08
13.11.23	27,4	9,5	0,015	0,08
14.12.23	17,1	13	0,015	0,08
10.01.24	8,8	8,1	0,015	0,08
14.02.24	21,6	15,1	0,015	0,08
20.03.24	28,6	20,7	0,015	0,08
16.04.24	36,3	25,7	0,015	0,08
17.05.24	21,7	14,5	0,015	0,11
11.06.24	17,1	10,1	0,015	0,08
09.07.24	12,3	8,8	0,015	0,08
12.08.24	16,8	11,47	0,015	0,08
02.09.24	24,1	21	0,015	0,08
17.10.24	19,6	19	0,015	0,08
05.11.24	35,6	24,7	0,015	0,08
03.12.24	15,3	11,3	0,015	0,08
Mittelwert	28,0	18,0	0,0	3,3
Min	6,3	3,8	0,0	0,1
Max	70,3	58,5	0,4	39,5
StAbw	17,1	14,4	0,1	10,6

Ablaufkonzentrationen Standort Dittmannsdorf



Datum	ZB_LF (-)	ZB_T µSi/cm	CSB_ZB °C	Wirk_CSB mg/l
22.02.23	1573	7,7		98,5
22.03.23	1306	10,3	198	96,5
19.04.23	1042	10,5	108	94,7
16.05.23				96,1
20.06.23	937	23,4		91,0
13.07.23	849	21,7		97,2
21.08.23	840	21,1	64,1	96,3
20.09.23	864	20	67,5	96,0
24.10.23	803	14,5	60,8	97,4
13.11.23	788	11,2	49,7	97,1
14.12.23	605	6,8	56,1	96,9
10.01.24	694	5	223	97,4
14.02.24	646	10,3	112	96,8
20.03.24	710	11,8	161	96,9
16.04.24	738	11,9	160	97,9
17.05.24	720	17,2	189	97,0
11.06.24	647	15,1	109	97,0
09.07.24	578	17,8	103	97,2
12.08.24	682	19,2	80,3	97,4
02.09.24	678	18,4	81,4	98,1
17.10.24	619	13,7	55,5	98,2
05.11.24	624	12,5	66,4	98,5
03.12.24	599	9,2	167	97,0
Mittelwert	797,36	14	111,1	96,8
Min	578,00	5	49,7	91,0
Max	1573,00	23	223,0	98,5
StAbw	242,60	5	55,1	1,5

### 12.21 Vergleichende Analysen der Modellstandorte

Korrelationen CN-Verhältnis und TN-Ablaufwerte

