

Abschlussbericht 33559/01

„Technologische Weiterentwicklung des Verfahrens zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm mittels CO₂-Extraktion (Budenheim ExtraPhos[®]-Verfahren)“



Rerik den 5.12.2019

Projektbearbeitung:

Dipl.-Ing. Ulrich Kotzbauer, Dipl.-Ing. (FH) Michael Poganski

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	33559/01	Referat	31	Fördersumme	124.185,00 €
----	-----------------	---------	-----------	-------------	---------------------

Antragstitel	Technologische Weiterentwicklung des Verfahrens zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm mittels CO₂-Extraktion (Budenheim ExtraPhos®-Verfahren)
---------------------	--

Stichworte	Recycling, Ressource, Abwasser, Klärschlamm, Phosphor
-------------------	---

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
31 Monate	06.02.2017	05.09.2019	

Zwischenberichte	05.02.2018
------------------	------------

Bewilligungsempfänger	Rotaria Energie- und Umwelttechnik GmbH Kirchweg 21 18230 Ostseebad Rerik	Tel Fax Projektleitung Ulrich Kotzbauer Bearbeiter Michael Poganski
------------------------------	---	--

Kooperationspartner	Chemische Fabrik Budenheim KG, 55257 Budenheim
----------------------------	--

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die Chemische Fabrik Budenheim KG hat erst in Laborversuchen und später im Technikumsmaßstab das ExtraPhos-Verfahren entwickelt. In der Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (FH ICT) und Fraunhofer Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS) wurde das Verfahren untersucht und weiterentwickelt.

Ziel dieses Vorhabens ist die Umsetzung des ExtraPhos-Verfahrens vom Technikumsmaßstab in eine technische Pilotanlage, welche nach Fertigstellung in den Verfahrensablauf der Kläranlage Mainz integriert werden soll. Die Pilotanlage ist so konzipiert, dass sie eine möglichst hohe Bandbreite von verschiedensten Versuchsreihen ermöglicht und so wichtige Erkenntnisse für die spätere Umsetzung des ExtraPhos-Verfahrens auf Großkläranlagen liefern kann.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im ersten Arbeitsschritt wurden die Anforderungen an eine Pilotanlage diskutiert und folgenden grundsätzlichen Anforderungen sollte die Pilotanlage gerecht werden:

- Mobilität / Umsetzbarkeit zwecks möglicher Aufstellung an verschiedenen Standorten
- Hochwertige und langlebige Komponenten und Konstruktion
- Abdeckung eines möglichst großen Versuchsspektrums
- Weitgehend automatisierte Fahrweise
- Trenddarstellung und Archivierung aller wichtigen Betriebsparameter und Messwerte

In einem nächsten Schritt wurde das Verfahren in seine groben verfahrenstechnischen Stufen aufgeteilt, welche sich wie folgt darstellen lassen:

- Extraktion/Rücklösung
- Feststoffabtrennung
- Fällung und Abscheidung

Diese wurden dann anhand von Versuchsergebnissen bemessen und konstruiert. Bei der Konstruktion auftretende Fragen wurden zum Teil an die Hochschule Wismar weitergeleitet und dort bearbeitet. Dies gilt zum Beispiel für die Ermittlung der Parameter für die Sedimentation des Di-Calcium-Phosphats sowie Untersuchungen zur Schaumbildung bei der Entspannung von mit Kohlensäure versetztem Faulschlamm.

Ergebnisse und Diskussion

Auf der Grundlage von diskontinuierlichen Versuchen im Labormaßstab zur Rücklösung von Phosphaten aus Faulschlamm mit Kohlenstoffdioxid wurde ein Konzept für eine pilotmaßstäbliche Versuchsanlage für eine Rückgewinnung von Di-Calcium-Phosphat aus Faulschlamm erstellt. Eine derartige Rückgewinnung von Phosphaten aus Klärschlamm verlangt die im Nov. 2017 in Kraft getretene Novelle der Klärschlammverordnung ab 2029 von Kläranlagen mit einer Kapazität von mehr als 100.000 EW und ab 2013 für Kläranlagen mit einer Kapazität von mehr als 50.000 EW.

Die Umsetzung dieser konzeptionellen Ansätze in eine konkrete Anlage, die den Anforderungen und Zielsetzungen des Auftraggebers entsprechen, waren erkennbar mit umfangreichen Detailengineering und Konstruktionsarbeiten verbunden, was zum Teil sogar absehbar weitere Versuche zur Ermittlung von erforderlichen Daten für die Ausführungsplanung und Konstruktion erfordern sollte. Vor diesem Hintergrund wurde das Forschungsvorhaben beantragt, das Gegenstand dieses Schlussberichts ist. Im Ergebnis des Forschungsvorhabens ist eine mobile, variable Pilotanlage entstanden. Durch den Betrieb der Pilotanlage soll dieses Verfahren in verschiedenen Kläranlagen untersucht, demonstriert und optimiert werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Pilotanlage wurde nach Fertigstellung auf dem Gelände der Fa. Rotaria in Anwesenheit des Ministers für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern Herrn Dr. Backhaus der Öffentlichkeit vorgestellt.

Vor der Inbetriebnahme auf dem Betriebsgelände Klärwerk Mainz wurde die Versuchsanlage in Beisein der Umweltministerin des Landes Rheinland-Pfalz Frau Ulrike Höfken und des Generalsekretärs der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Herrn Dr. Heinrich Bottermann offiziell eingeweiht.

Neue Erkenntnisse aus der Ausführungsplanung und Konstruktion im Rahmen des Forschungsvorhabens sowie aus dem Betrieb der Kläranlage wurden gemeinsam von der Fa. Chemische Fabrik Budenheim und der Fa. Rotaria Energie- und Umwelttechnik GmbH als Patentschrift DE 10 2017 123 807 A1 veröffentlicht und schutzrechtlich verwertet.

Fazit

Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens war die patentrechtlich geschützte Idee der Fa. Chemische Fabrik Budenheim aus Faulschlamm Phosphat zurückzugewinnen, indem schwerlösliches Phosphat im Faulschlamm durch die Wirkung von Kohlensäure in Lösung überführt wird, und anschließend das gelöste Phosphat in einer Fest-Flüssig-Trennung von den Feststoffen des Faulschlamm abgetrennt wird. Das Phosphat wird aus dem Zentrat als Di-Calcium-Phosphat gefällt, abgetrennt und entwässert.

Mit dem Bau der Pilotanlage wurde ein Instrument zur weiteren Untersuchung dieses Verfahrens in verschiedenen Kläranlagen geschaffen und so die Erforschung der Phosphatrücklösung vorangetrieben.

Inhalt

1	Verzeichnisse	III
1.1	Abkürzungsverzeichnis	III
1.2	Abbildungsverzeichnis	IV
1.3	Tabellenverzeichnis	VII
2	Motivation	1
3	Methodik/Vorgehensweise/Projektverlauf	3
4	Projektergebnisse	4
4.1	Verfahrensübersicht, Anforderungen und Funktion der einzelnen Baugruppen.....	4
4.2	Sicherheitstechnische Anforderungen an die Pilotanlage	7
4.3	Konstruktion und Ausführung der Pilotanlage und der einzelnen Baugruppen	13
4.3.1	Einhausung der Pilotanlage	13
4.3.2	Schlammbeschickung – BG 01	17
4.3.3	Extraktionsbereich – BG 02	28
4.3.4	Expansionsbereich – BG 03 und BG 04	44
4.3.5	Fest-Flüssig-Trennung – BG 05.....	53
4.3.6	Fällung und Abtrennung des Di-Calcium-Phosphats – BG 06 und BG 07	57
4.4	Aufbau und Funktion der Pilotanlage	73
5	Öffentlichkeitsarbeit	79
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	81
7	Literaturverzeichnis	83
8	Anhang	84
	Anhang I: R und I-Schema BG – 01- BG – 04	
	Anhang II: R und I-Schema BG – 05	
	Anhang III: R und I-Schema BG – 06 und BG – 07	

Anhang IV: technische Zeichnungen T1.01

Anhang V: Konformitätsbescheinigung T3.01

Anhang VI: Messstellenliste

Anhang VII: Antriebsliste

Anhang VIII: Armaturenliste.....

1 Verzeichnisse

1.1 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Abb.	Abbildung
BG	Baugruppe
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DCP	Di-Calcium-Phosphat
ExtraPhos [®]	Verfahren zur Phosphatrückgewinnung aus Klärschlamm mit Kohlensäure
E+H	Endress and Hauser
EW	Einwohnergleichwerte
FHM	Flockungshilfsmittel
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
IBC	Intermediate Bulk Container/Großpackmittel
IDM	Induktive Durchflussmessung
Lfg. Nr	Laufende Nummer
MAK-Werte	Maximale Arbeitsplatzkonzentration-Werte
pH-Wert	Negativer dekadischer Logarithmus der H ⁺ -Konzentration
R&I-Schema	Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema
RSR	Rohrschlaufenreaktor
TetraPhos [®]	Verfahren zur Phosphatrückgewinnung aus Klärschlammmasche
TCP	Tri-Calcium-Phosphat
TR	Trockenrückstand
t _R	Verweildauer
TS	Trockensubstanzgehalt
WS	Wirksubstanz

1.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: vereinfachtes Verfahrensfliessbild des ExtraPhos®-Verfahrens.....	1
Abbildung 2: Einteilung der Anlage in Baugruppen und Aufteilung der Baugruppen in die Container	5
Abbildung 3: Auslass am Containerboden.....	10
Abbildung 4: Kohlenstoffdioxidmessung am Containerboden	10
Abbildung 5: eingebaute Berstscheibe mit noch nicht angeschlossener Abfuehrung.....	11
Abbildung 6: durch Ueberdruck ausgeloeste Berstscheibe	11
Abbildung 7: Beispielbild eines High-Cube-Open-Door-Container	13
Abbildung 8: Konstruktionsdatenblatt des High-Cube-Open-Door-Container.....	14
Abbildung 9: Bau des Rahmens	15
Abbildung 10: Eingebaute Rahmenteile.....	15
Abbildung 11: Zu- und Ableitungen Container 1 (rechts) und Container 2 (links)	16
Abbildung 12: Vereinfachtes Verfahrensschema der Schlammbeschickung – BG 01	17
Abbildung 13: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 01	19
Abbildung 14: 3D-Konstruktion der Baugruppe BG 01	21
Abbildung 15: Detailansicht Verdunnungsstrecke.....	21
Abbildung 16: Ueber- bzw. Unterdrucksicherung V1.09.....	23
Abbildung 17: Rührwerk T1.01	23
Abbildung 18: Konstruktionszeichnung T1.01	23
Abbildung 19: Konstruktionszeichnung T1.01 mit Messstellen	24
Abbildung 20: Verzopfung an den Rührorganen.....	26
Abbildung 21: Feststoff- und Faserzerkleinerer Fabrikat Vogelsang; Typ Rota-cut Mazerator	26
Abbildung 22: Vereinfachtes Verfahrensschema des Rohrschlaufenreaktor mit Expansion und Gasrückfuehrung	29
Abbildung 23: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 02.....	31
Abbildung 24: Konstruktionszeichnung des Rohrschlaufenreaktors	33
Abbildung 25: Befestigungssystem des Rohrschlaufenreaktors	34
Abbildung 26: fertigmontierter Rohrschlaufenreaktor vor dem Container	35
Abbildung 27: Umbau der Ueberstroemventile	36
Abbildung 28: Dosierung von fluessigem und gasfoermigem Kohlenstoffdioxid	37

Abbildung 29: Detailansicht Rohrschlaufenreaktor Kohlenstoffdioxid dosierung mit Bypass sowie dazugehörige Messeinrichtungen.....	38
Abbildung 30: Ursprüngliche Konstruktion der Kohlenstoffdioxid dosierung	39
Abbildung 31: überarbeitete Kohlenstoffdioxid dosierung	40
Abbildung 32: Dosierungseinrichtung für flüssiges Kohlenstoffdioxid mit dynamischem Mischer	42
Abbildung 33: Vereinfachtes Verfahrensschema BG 03 und BG 04	44
Abbildung 34: schematischer Aufbau des Versuchsstands LV 02 (links) und Foto des Extraktionsreaktor (rechts) (Genthe, 2016).....	45
Abbildung 35: Ausführungsrohrleitungs- und Instrumentierungsschema – BG03 und BG 04	46
Abbildung 36: Konstruktionszeichnung des Expansionsgefäßes T3.01	48
Abbildung 37: Schauglas mit Spülwasseranschluss und Wischer	49
Abbildung 38: T3.01 mit Anbauteilen sowie Schaumfalle T3.02 und Konzentrationsausgleichbehälter.....	50
Abbildung 39: Konstruktion der Schaumfalle	51
Abbildung 40: Konstruktionszeichnung der Schaumfalle	51
Abbildung 41: Gasstrecke mit Tropfenabscheider	52
Abbildung 42: Schematischer Aufbau der Gasstrecke.....	52
Abbildung 43: Vereinfachtes Verfahrensschema der Baugruppe BG 05	54
Abbildung 44: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema BG 05	55
Abbildung 45: Logarithmische Darstellung der Löslichkeitsisothermen einiger Calciumphosphate	58
Abbildung 46: Korngrößenanalyse von geflocktem DCP der Versuchsanlage Budenheim	59
Abbildung 47: Schema der Zonensedimentation (Tomas, 2015)	61
Abbildung 48: Hydrozyklon	62
Abbildung 49: Überlauf- und Unterlauf des Hydrozyklons.....	62
Abbildung 50: vereinfachtes Verfahrensschema der Baugruppen BG 06 und BG 07	63
Abbildung 51: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 06 und BG 07	64
Abbildung 52: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Kalkmilchansetzstation BG 06	65
Abbildung 53: Kalkmilchansetzstation BG 06	66

Abbildung 54: Dosierstrecke verdünnte Kalkmilch und natives Flockungshilfsmittel BG 06	67
Abbildung 55: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Fällungsreaktors und der Peripherie BG 06	68
Abbildung 56: Konstruktion des Fällungsreaktors T6.01	69
Abbildung 57: Überstandabzug T6.01	70
Abbildung 58: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema Baugruppe BG 07	71
Abbildung 59: Sackfilter in Ringhalter und Tonne	71
Abbildung 60: Tonne mit Ringhalter und Ablauf durch den Boden	71
Abbildung 61: Zentratauffangwanne T7.03	72
Abbildung 62: Zentratauffangwanne T7.03 mit T7.01 und T7.02.....	72
Abbildung 63: Vorentwurf der Anlage	73
Abbildung 64: Konstruktionszeichnung Container 1	75
Abbildung 65: Konstruktionszeichnung Container 2	75
Abbildung 66: Ansicht Innenseite von Tür C1 bzw. Höhe T1.01 ausgesehen.....	77
Abbildung 67: Ansicht von innen nach außen Blickend beide Längsseine Schnitt durch Containermitte längs.....	77
Abbildung 68: 3D Ansicht Container 1	77
Abbildung 69: 3D Ansicht Container 2	78
Abbildung 70: 3D Ansicht Container 2	78
Abbildung 71: Vorstellung der Pilotanlage in Rerik mit Herrn Dr. Backhaus und dem Inhaber der Fa. Rotaria Energie- und Umwelttechnik Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Kotzbauer	79
Abbildung 72: Einweihung der Pilotanlage auf der Kläranlage Mainz von links: Umweltdezernentin Katrin Eder, Abteilungsleiter beim Wirtschaftsbetrieb Mainz-Mombach Herbert Hochgürtel, Umweltministerin Ulrike Höfken, Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Dr. Heinrich Bottermann, Projektleiterin Eva Opitz	79
Abbildung 73: Umweltministerin Frau Höfken und DBU-Generalsekretär Herr Dr. Bottermann starten die Pilotanlage.....	80

1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Baugruppenübersicht	4
Tabelle 2:	Legende zu den Konstruktionszeichnungen BG01	20
Tabelle 3:	Auszug aus der Legende Rohrschlaufenreaktor, Kohlenstoffdioxiddosierung mit Bypass sowie dazugehörige Messeinrichtungen	38
Tabelle 4:	Sinkgeschwindigkeiten von DCP-Kristallen mit Partikeldurchmessern von 3 und 10 μm	60

2 Motivation

Die Phosphatrückgewinnung aus Faul- bzw. Klärschlamm ist aufgrund der Novellierung der Klärschlammverordnung vom Okt. 2017 in der Abwasserbranche aktuell ein dringliches Thema. Es gibt verschiedene Ansätze, Phosphat aus dem Klärschlamm zurückzugewinnen. Hier seien beispielhaft das Remondis Verfahren TetraPhos® als Vertreter der Rückgewinnung aus der Klärschlammasche und das Stuttgarter Verfahren sowie das ExtraPhos®-Verfahren (ehemals Budenheimverfahren) als Vertreter der Rückgewinnung aus dem Faulschlamm genannt.

Die Rückgewinnung aus Faul- bzw. Klärschlamm hat den Vorteil, dass der Pfad der Mitverbrennung, z.B. in der Zementindustrie, dann weiter offensteht. Bei den meisten Verfahren wird Mineralsäure zur Rücklösung der Phosphate aus dem Klärschlamm eingesetzt. Dies hat den Nachteil, dass die Säure im Faulschlamm verbleibt und nicht zurückgewonnen werden kann. Das ExtraPhos®-Verfahren realisiert die pH-Wertabsenkung und damit die Phosphatrücklösung durch den Einsatz von Kohlenstoffdioxid bei hohen Drücken. Dies hat den Vorteil, dass das Kohlenstoffdioxid nach der Extraktion wieder ausgast und so nach einer Verdichtung wiederverwendet werden kann. Das rückgelöste Phosphat wird in der anschließenden Faulschlammentwässerung von den phosphatabgereicherten Faulschlammfeststoffen abgetrennt. Die phosphatabgereicherten Faulschlammfeststoffe können als Ersatzbrennstoff, z.B. in der Zementherstellung, genutzt werden. Die Zementherstellung wird als Ersatzbrennstoffverwerter immer an prominenter Stellung genannt, da bei einer Verwertung in der Zementherstellung die Aschedeponierung entfällt, weil die Asche im Zement stofflich verwertet wird. Das im Filtrat oder Zentrat enthaltene Phosphat wird durch Zugabe von Kalkmilch als Di-Calcium-Phosphat gefällt, abgetrennt, entwässert und kann zur Herstellung von z.B. Dünger genutzt werden. Abbildung 1 zeigt das Verfahren schematisch.

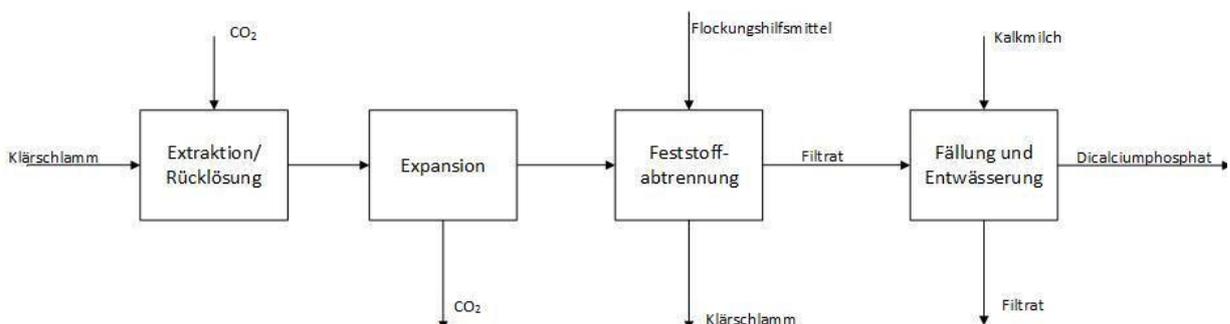


Abbildung 1: vereinfachtes Verfahrensfliessbild des ExtraPhos®-Verfahrens

Für die Anwendung auf Kläranlagen in der betrieblichen Praxis wird für das ExtraPhos®-Verfahren ein kontinuierlicher Betrieb angestrebt. Für diesen kontinuierlichen Betrieb sollte eine Pilotanlage auf der Grundlage des in Abbildung 1 dargestellten

Verfahrensschemas für einen Durchsatz von 2 m³/h entwickelt, konstruiert und gebaut werden, die mit Faulschlamm verschiedener Kläranlagen betrieben werden kann, die mobil ist und die deshalb in zwei Seefrachtcontainer eingebaut werden sollte.

Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung wurde der Forschungsantrag (33559/01) gestellt, dessen Abschlussbericht Gegenstand der nachstehenden Ausführungen ist. Der Abschlussbericht umfasst die Darstellung der Konstruktion und Ausführung der Pilotanlage einschließlich aller dazu erforderlichen Voruntersuchungen zur Präzisierung der technischen Anforderungen in den einzelnen Prozessschritten.

3 Methodik/Vorgehensweise/Projektverlauf

In den nachfolgenden Ausführungen wird beschrieben, wie die einzelnen Baugruppen der Pilotanlage projektiert und konstruiert wurden. Die Projektierung und konstruktive Ausführung der einzelnen Baugruppen wird nachvollziehbar begründet. Ausgangspunkt der Projektierung und der konstruktiven Arbeiten ist das in Abbildung 1 dargestellte Verfahrensschema. Zur Klärung der bei der Projektierung der einzelnen Prozessstufen entstehenden Fragestellungen wurden Untersuchungen und Versuche konzipiert und soweit als möglich auch durchgeführt. Diverse dieser Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der Hochschule Wismar durchgeführt, die zu diesem Zweck als Partner in das Forschungsvorhaben eingebunden war. Probleme, die beim Probetrieb sowie im Betrieb der Anlage aufgetreten sind, werden erläutert und die Maßnahmen zur Behebung der Probleme dargestellt.

4 Projektergebnisse

4.1 Verfahrensübersicht, Anforderungen und Funktion der einzelnen Baugruppen

Nachfolgend werden die Baugruppen zunächst im einer Verfahrensübersicht vorgestellt. Es werden die Anforderungen an die einzelnen Baugruppen präzisiert und die Nahtstellen spezifiziert. Anschließend werden für jede Baugruppe getrennt Ausführung, Konstruktion und Automatisierung detailliert erläutert und begründet. Abschließend werden das Zusammenwirken der Baugruppen in funktioneller Hinsicht vorgestellt und die technische Umsetzung sowie die Automatisierung der Gesamtanlage erläutert.

Die ExtraPhos[®]-Pilotanlage ist für den kontinuierlichen Betrieb konstruiert worden und in 8 Baugruppen unterteilt, die in zwei Seefrachtcontainern untergebracht sind, damit die Anlage transportable ist und an verschiedenen Kläranlagenstandorten das Potential dieses Verfahrens für die durch die Bundesregierung angestrebte Phosphatrückgewinnung aus Klärschlamm demonstrieren kann. Der Kohlenstoffdioxidspeicher ist außerhalb der Container aufgestellt. Der Anlage werden Faulschlamm, Kohlenstoffdioxid (gasförmig und flüssig), Betriebs- und Trinkwasser sowie Flockungshilfsmittel und Kalkmilch zugeführt. Abgeführt werden entwässerter im Phosphatgehalt abgereicherter Faulschlamm, Zentrat, Kohlenstoffdioxid und Di-Calcium-phosphat.

In dem ersten Container sind die Schlammbeschickung, der Extraktionsbereich, der Expansionsbereich sowie der Leitstand untergebracht. Im zweiten Container sind die Schlammmentwässerung, die Phosphatfällung und die Phosphatschlamm sedimentation sowie -entwässerung und die Spül- und Restwasserentsorgung sowie die Betriebs- und Trinkwasserversorgung untergebracht. Tabelle 1 enthält eine Baugruppenzusammenstellung und Abbildung 2 zeigt schematisch die Anordnung der Baugruppen und der wesentlichen Komponenten der Baugruppen in den Seefrachtcontainern.

Tabelle 1: Baugruppenübersicht

Lfd. Nr.	Bezeichnung
BG 1	Schlammbeschickung
BG 2	Extraktionsbereich
BG 3	Expansionsbereich
BG 4	CO ₂ -Recycling (nicht in Abb. 2 dargestellt)
BG 5	Schlammmentwässerung
BG 6	Phosphatfällung und -sedimentation
BG 7	Phosphatentwässerung
BG 8	Spül- und Restwasserentsorgung, Betriebs- und Trinkwasserversorgung (nicht in Abb. 2 dargestellt)

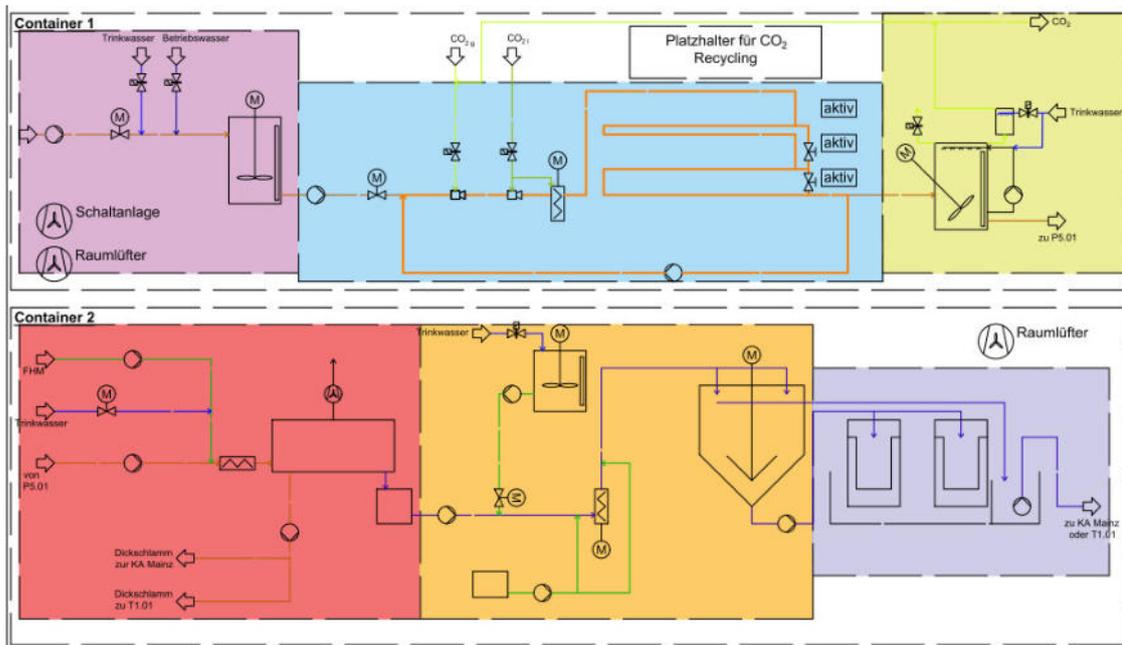


Abbildung 2: Einteilung der Anlage in Baugruppen und Aufteilung der Baugruppen in die Container

Schlammbeschickung – BG 01:

Baugruppe 1 umfasst die Zulaufpumpe für den Klärschlamm in den Vorlagetank und die Klärschlammverdünnung mit Trink- oder Betriebswasser. Die Zulaufpumpe fördert den Klärschlamm aus der kläranlagenseitigen Vorlage in den Vorlagetank der Pilotanlage. Unmittelbar vor der Einbindung der Schlammeleitung in den Vorlagetank binden jeweils eine Leitung für Trinkwasser und Betriebswasser in die zuführende Rohrleitung ein. Die Verdünnung wird nach dem TS-Gehalt im Vorlagetank geregelt. Für das Erreichen des geforderten Wirkungsgrads der Phosphorrückgewinnung kann die Einstellung eines klärschlammspezifischen Feststoffgehalts erforderlich sein.

Extraktionsbereich – BG 02:

Die Baugruppe 2 – Extraktionsbereich – besteht aus der Beschickungspumpe des Extraktionsbereichs, den Dosierstellen für gasförmiges und flüssiges Kohlenstoffdioxid und dem Rohrschlaufenreaktor. Der Faulschlamm wird durch die Beschickungspumpe dem Vorlagetank mit konstantem Volumenstrom entnommen und durch den Extraktionsreaktor gedrückt. Der Druck im Extraktionsreaktor ist durch ein Entlastungsventil einstellbar. Im Extraktionsreaktor kann ein einstellbarer konstanter Druck von bis zu 16 bar gefahren werden. Unter dem erhöhten Druck wird im Expansionsreaktor gasförmiges oder flüssiges Kohlenstoffdioxid in den Klärschlamm dosiert und eingemischt. Das eingebrachte Kohlenstoffdioxid löst sich als Kohlensäure im Faulschlamm, dissoziiert und führt zu einer pH-Wert-Absenkung im Faulschlamm. Durch die Kohlensäure in Verbindung mit der pH-Wertabsenkung wird Phosphat in

Lösung gebracht. Im Rohrschlaufenreaktor werden Druck und pH-Wert gemessen. Auf einen zusätzlichen als Rührreaktor ausgeführten Extraktionsreaktor wurde aus Platzgründen im Vorfeld der Planung der Pilotanlage verzichtet. Bei z.B. einem zu hohen pH-Wert im Ablauf des Rohrschlaufenreaktors kann der Klärschlamm vor der Druckentlastung mit einer Rezirkulationspumpe zurückgeführt werden und erneut mit Kohlenstoffdioxid vermischt werden.

Expansionsbereich – BG 03:

Am Ende des Rohrschlaufenreaktors wird der Klärschlamm in ein Expansionsgefäß entspannt. Bei der Entspannung geht aufgrund der Druckabsenkung das im Extraktionsreaktor im Klärschlamm unter Druck in Lösung gebrachte Kohlenstoffdioxid zumindest teilweise aus und der pH-Wert im Klärschlamm kann wieder etwas ansteigen. Ein Ausfällen von Phosphaten im Expansionsgefäß oder in der nachfolgenden Fest/Flüssig-Trennung aufgrund eines eventuellen pH-Wert-Anstiegs sind zu vermeiden. Einer eventuellen Schaumbildung bei der Entspannung aufgrund einer Kohlenstoffdioxidausgasung ist wirkungsvoll durch eine geeignete Strömungsführung und ggf. weitere geeignete Maßnahmen entgegen zu wirken.

CO₂-Recycling – BG 04:

Das im Expansionsgefäß ausgasende Kohlenstoffdioxid kann durch einen Verdichter abgesaugt und der Dosierstrecke wieder zugeführt werden. Das Kohlenstoffdioxid wird somit recycelt und der Bedarf an frischem Kohlenstoffdioxid gesenkt. Diese Baugruppe wurde als nachrüstbare Option planerisch und ausführungstechnisch im Hinblick auf die Schnittstellen zu berücksichtigt aber weder inhaltlich oder im Hinblick auf die Ausführung planerisch und konstruktiv bearbeitet.

Schlammwässerung – BG 05:

Der entspannte Klärschlamm wird aus dem Expansionsgefäß mit einer Pumpe einer Dekanterzentrifuge zugeführt. In der Leitung zur Dekanterzentrifuge wird der Klärschlamm mit Flockungshilfsmittel versetzt. Üblicherweise werden Flockungshilfsmittel nur im schwach sauren oder schwach alkalischen pH-Wert Bereich eingesetzt. Für diesen pH-Wertbereich sind Aufbereitung und Dosierung für eine effektive Nutzung des Flockungshilfsmittels bekannt. Über die Verwendung von Flockungshilfsmitteln im sauren pH-Wertbereich ist bislang nur wenig bekannt. Deshalb wurden orientierende Versuche im Labormaßstab durchgeführt, um die Flockung im sauren pH-Wert-Bereich mit konventionellen und nativen bzw. nachhaltigen Stärke basierten Flockungshilfsmittel zu testen. In der Dekanterzentrifuge wird der geflockte Klärschlamm in Zentrat bzw. Zentrifugat und Feststoffe getrennt. Die abgetrennten Klärschlamm-Feststoffe können entweder in den Vorlagetank zur erneuten Behandlung

zurückgeführt oder der Kläranlagenseitigen Entsorgung zugeführt werden. Das Zentrat und die darin gelösten Phosphate werden in der nächsten Baugruppe „Phosphatfällung und -sedimentation“ durch Fällung als Di-Calcium-Phosphat und die anschließende Filtration weiter behandelt.

Phosphatfällung und -sedimentation – BG 06:

Zur Abscheidung, der im Filtrat gelösten Phosphate, aus dem Filtrat wird dieses mit starkverdünnter Kalkmilch versetzt und vorsichtig auf einen pH-Wert um 6,5 eingestellt. Die Zugabe der Kalkmilch erfolgt unter hoher Energiezufuhr in einem dynamischen Mischer, was zu einer bevorzugten Bildung von Di-Calcium-Phosphat führt. Das entstehende Di-Calcium-Phosphat sedimentiert in einem Absetzbehälter. Der klare Überstand des Absetzbehälters wird über einen Überlauf abgeleitet und in einer Auffangwanne aufgefangen. Der Überstand kann zur Verdünnung des Faulschlammes in den Vorlagetank gepumpt werden oder dem Zulauf der Kläranlage zugeführt werden. Über die Di-Calcium-Phosphat Fällung in der betrieblichen Praxis ist bislang noch wenig bekannt. Angaben über die Leistungsdichte und geeignete Rührorgane für eine hohe Ausbeute an abscheidbaren Kristallen bei der Fällung von Di-Calcium-Phosphat sind ebenso wenig in der Literatur zu finden wie Angaben zum Sedimentations- und Eindickverhalten und zu den Eigenschaften des gefällten Di-Calcium-Phosphats.

Entwässerung des Di-Calcium-Phosphat-Kristallisats – BG 07:

Die ausgefällten und statisch eingedickten Di-Calcium-Phosphate werden in einer Filtersackanlage entwässert. Über die Filtrationseigenschaften von Di-Calcium-Phosphat ist allerdings bislang wenig bekannt, sodass hierzu Vorversuche durchgeführt wurden. Das Filtrat wird in einer Auffangwanne aufgefangen und kann entweder zur Verdünnung des Faulschlammes eingesetzt oder zur Kläranlage abgeleitet werden. Der Rückstand in den Filtersäcken stellt das Produkt des Prozesses dar. Di-Calcium-Phosphat kann unstreitig als gut biologisch verfügbarer Phosphatdünger genutzt werden.

Spül- und Restwasserentsorgung. Betriebs- und Trinkwasserversorgung – BG 08:

In der achten Baugruppe sind alle Zuläufe und Abläufe wässriger Medien, wie beispielsweise Trink- und Betriebswasser sowie Kondensate und Filtrate, zusammengefasst.

4.2 Sicherheitstechnische Anforderungen an die Pilotanlage

Durch die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Pilotanlage sollen die mit dem Betrieb der Pilotanlage verbundenen Gefährdungen vor allem für das Bedienpersonal

aber auch für die Anlage aufgezeigt und minimiert werden. Gefährdungen für das Betriebspersonal und auch für die Anlage können ausgehen von:

- einem Austritt von Gasen
 - die brennbar sind (z.B. CH₄)
 - die giftig sind (z.B. H₂S)
 - die zu Erstickungen führen können (z.B. CO₂)
- Gefahren durch verdichtete Gase bei Versagen von Wandungen (Berstgefahren) oder Bersten von Behältern oder Rohrleitungen durch hohe Drücke
- Gefahr durch Säuren und Laugen (Kalkmilch)
- Gefahr durch rotierende Maschinenteile: Rührwerke, Zentrifugen und Pumpen
- Absturzgefahr
- Infektionsgefahr

Austritt von Gasen

Aufgrund der Verarbeitung von Faulschlamm und dessen Begasung mit CO₂ unter Druck sowie dessen anschließende Entspannung und Entwässerung in einer Zentrifuge kann in allen diesen Verfahrensstufen das Ausgasen von Methan, Schwefelwasserstoff und vor allem von CO₂ aus dem Schlamm nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Des Weiteren sind bei der Dosierung des CO₂ aus dem CO₂-Lagertank in den Schlamm Leckagen zu nicht auszuschließen, die zu einem Austritt von CO₂ führen können.

Das Austreten von Gasen in der Anlage ist zu vermeiden und es ist eine Ableitung austretender Gase, deren Austreten nicht sicher ausgeschlossen werden kann, so zu besorgen, dass Gefährdungen des Bedienpersonals oder der Anlage ausgeschlossen werden können.

In der Faulschlammvorlage T1.01 kann es aufgrund des im Faulgas enthaltenen Methans und Schwefelwasserstoffs zu einer explosiven Atmosphäre kommen. Dieser Explosionsgefahr wird Rechnung getragen, in dem im Behälter T1.01 konsequent Zündquellen ausgeschlossen sind (keine elektrischen Bauteile, nicht metallische Dichtung der Rührwelle, im Betrieb hoher Füllstand). Des Weiteren ist der Behälter T1.01 gasdicht verschlossen. Das bei einem Überdruck ausströmende Gas wird aus dem Container abgeführt und in der Umgebungsluft werden die brennbaren Gase sehr schnell auf Gehalte unterhalb der Zündfähigkeit vermischt. Der Faulschlamm wird beim Ablauf aus dem Faulbehälter in aller Regel in der Schlammvorlage Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Anschließend der Faulschlamm wird nach einer Zwischenspeicherung bei Umgebungsbedingungen im Vorlagetank T1.01 unter erhöhtem Druck auf den geforderten TR-Gehalt verdünnt. Unter diesen Verhältnissen ist nicht von einem Ausgasen von Methan, Schwefelwasserstoff oder CO₂ auszugehen. Ein Ausgasen von Methan, Schwefelwasserstoff oder CO₂ ist nur zu erwarten, sofern sich im T1.01 ein Unterdruck einstellt. Der Einstellung eines Unterdrucks wird aber

durch eine Über-/Unterdrucksicherung entgegengewirkt, die im Vorlagebehälter T1.01 einen Druck von ca. $p = 1,2$ bar einregelt.

Die Anlage ist ab der Vorlage bis zum Auswurf des entwässerten Faulschlammes geschlossen ausgeführt. Einem Austreten von Gasen wird somit technisch entgegengewirkt. Der Behälter T1.01 sowie der Rohrschlaufenreaktor und der Behälter T3.01 sind mit Überdrucksicherungen und einer Drucküberwachung ausgerüstet. Aus den Überdrucksicherungen austretende Gase werden in geschlossenen Leitungen durch die Bodenöffnungen nach außen abgeführt.

Da in dem gesamten System mit erhöhten Drücken gearbeitet wird, können Leckagen nicht systemimmanent ausgeschlossen werden. Aufgrund der Begasung mit CO_2 unter erhöhtem Druck ist nicht mit einer Ausgasung von Methan oder Schwefelwasserstoff zu rechnen. Eine Ausgasung und Leckage von CO_2 kann aber nicht ausgeschlossen werden. In Anbetracht der deutliche höheren Dichte von CO_2 im Vergleich zu Luft wird CO_2 , sofern es durch Leckage in den Container eintritt, durch eine ständige Luftzufuhr in den Container und in den Boden eingelassene Luftauslässe (Vergleich Abbildung 3) ständig aus dem Container verdrängt. Die in jedem Container vorgesehenen Ventilatoren führen bis zu $475 \text{ m}^3/\text{h}$ Luft zu und sorgen damit rechnerisch für einen kompletten Luftaustausch innerhalb von 5 min. Die mit den Ventilatoren eingesaugte Zuluft fördert die Verdrängung von Kohlenstoffdioxid durch die in die Böden eingearbeiteten Auslässe. Zudem wird die Raumluft im Container durch eine Ex-Tox-Messung auf gefährdende Gehalte an Methan, Schwefelwasserstoff und CO_2 überwacht. Eine der in Bodennähe befindliche Messstellen ist in Abbildung 4 dargestellt. Durch den bodennahen Einbau wird sich im Container ansammelndes Kohlenstoffdioxid möglichst früh erfasst, da sich das Kohlenstoffdioxid aufgrund der im Vergleich zu Luft höheren Dichte am Boden ansammelt. Bei Überschreiten der MAK-Werte wird Alarm ausgelöst. Dieser Alarm ist auch außerhalb der Container durch eine rote Alarmleuchte angezeigt.

Mit diesem Sicherheitskonzept wird ein wirksamer Schutz des Betriebspersonals in der Anlage selbst bei Gas-Leckagen sichergestellt. Eine Gefährdung der Anlage bei Gasaustritt ist nicht zu besorgen, da eine Bildung explosionsfähiger Gasgemische ausgeschlossen ist, abgesehen vom Gasraum im Behälter T1.01 und im Gasraum des Behälters T1.01 sind keine Zündquellen vorhanden.

Bei einem unplanmäßigen Austritt von Gasen ist die Anlage durch Betätigen der im Container und außen am Container vorgesehenen Notaus-Schalter in den sicheren Zustand zu überführen.



Abbildung 3: Auslass am Containerboden



Abbildung 4: Kohlenstoffdioxidmessung am Containerboden

Bersten von Komponenten durch Überdruck

Überdruck von mehreren bar herrschen in den Bereichen Lagerung von CO₂, Dosierung von CO₂ sowie im Rohrschlaufenreaktor einschließlich Rezirkulationsleitung. Ein Überdruck von wenigen bar herrscht in dem Expansionsgefäß. In anderen Funktionsbereichen herrschen nur Überdrücke von unter 1 bar.

Tanks, Aggregate, Rohrleitungen und Armaturen sind in sämtlichen Funktionsbereichen in deutlich höheren Druckfestigkeitsklassen ausgeführt als erforderlich. Zudem sind alle Bereiche individuell durch Überdruckventile absichert und im Rohrschlaufenreaktor ist eine Berstscheibe verbaut. Diese hohe Absicherung gegen Überdruck ist vor dem Hintergrund der Gefahr von Verstopfungen in Anlagen, in denen Faulschlamm verarbeitet wird, als angemessen anzusehen. Durch die weitgehende getrennte Absicherung aller Bereiche gegen Überdruck und Unterdruck, sofern dies indiziert ist, sind umfassende Maßnahmen gegen eine Gefährdung von Bedienpersonal und die Anlage gegen Über- und Unterdruck vorgesehen.

Bei einem Ansprechen einer Überdrucksicherung oder der Berstscheibe ist die Anlage durch Betätigen der im Container und außen am Container vorgesehenen Notaus-Schalter in den sicheren Zustand zu überführen.



Abbildung 5: eingebaute Berstscheibe mit noch nicht angeschlossener Abführung



Abbildung 6: durch Überdruck ausgelöste Berstscheibe

Säuren und Laugen

Die einzige Säure, die in der Anlage planmäßig eingesetzt wird, ist Kohlensäure. Kohlensäure ist eine schwach dissoziierte Säure, die bei Umgebungsbedingungen nur gering korrosiv wirkt und bei Umgebungsbedingungen auch im Hinblick auf den Arbeitsschutz recht unproblematisch ist. Problematisch ist der Umgang mit Kohlensäure bei hohem Druck, da es bei der Entspannung von CO_2 zu niedrigen Temperaturen kommen kann, insbesondere sofern das CO_2 flüssig dosiert werden soll. Bei Kontakt besteht die Gefahr von Erfrierungen. Ein Kontakt mit flüssigem CO_2 ist aber aufgrund der festen Verrohrung nicht möglich. Die Verrohrung ist mit einer fachgerechten

Wärmeisolierung versehen, so dass auch ein Kontakt mit den extrem kalten Leitungen nicht möglich ist.

Als Lauge bzw. alkalisch wirkender Stoff wird ausschließlich handelsübliche stabilisierte Kalkmilch eingesetzt. Die in geeigneten Gebinden (Kanistern oder IBC) angelieferte stabilisierte Kalkmilch (25 oder 40 %-m) ist in den Kalkmilchansatzbehälter T6.03 umzufüllen. In dem Kalkmilchansatzbehälter T6.03 wird die stabilisierte Kalkmilch auf die für die Versuche erforderliche Konzentration verdünnt. Beim Umgang mit Kalkmilch ist unbedingt die geeignete persönliche Schutzausrüstung wie Schürze, Handschuhe und Schutzbrille zu tragen und es ist mit angemessener Vorsicht vorzugehen. Kalkmilch verursacht bei Kontakt Hautreizungen und schwere Augenschäden. Bei Kontakt mit Kalkmilch ist sofort mit Trinkwasser zu spülen, das Vorhalten einer Augendusche ist unbedingt zu empfehlen.

Beim Umgang mit den o.g. Chemikalien bzw. Gefahrstoffen sind die einschlägigen Sicherheitsdatenblätter der Lieferanten zu beachten. Die Regelungen der Gefahrstoffverordnung sind zu beachten.

Schnellrotierende Teile

Alle schnellrotierenden Teile, Rührwellen, Pumpenwellen und Dekantertrommel sind weitgehend gekapselt ausgeführt. Durch enganliegende, angemessene Arbeitskleidung kann ein Einziehen von Bekleidungsstücken durch die schnellrotierenden Teile sicher vermieden werden.

Infektionsgefahr

Abwasser und mehr noch Klärschlamm enthalten infektiöse Keime in hohen Konzentrationen. Einer Infektionsgefahr für das Betriebspersonals durch diese Keime wird weitgehend durch die gasdichte Ausführung der Anlage und die Abführung aller Abluft und Abgase durch den Containerboden sowie der ständigen Zufuhr von Außenluft in den Container entgegengewirkt.

Bei der Handhabung des Schlammes und der Entnahme von Schlammproben ist die übliche Vorsorge und Vorsicht einzuhalten. Durch Latex-Handschuhe und Mundschutz sowie Reinigen und Desinfizieren der Hände sind Infektionen zu vermeiden. Bei Verletzungen, auch kleinen Verletzungen ist ein Arzt zu konsultieren.

4.3 Konstruktion und Ausführung der Pilotanlage und der einzelnen Baugruppen

4.3.1 Einhausung der Pilotanlage

Für die Einhausung der Anlage werden in Anbetracht der geforderten Mobilität und einer guten Zugänglichkeit der Anlagenkomponenten und -installation bei einer möglichst kompakten Bauweise zwei High-Cube-Open-Door-Containern vorgesehen. Container können aufgrund der Standardisierung und der auch für die besonderen Ausführungen (High-Cube) genormten Abmaße gut mit üblichen, gut verfügbaren und kosteneffizienten Transportmitteln, in diesem Fall Tieflader-LKW-Einheiten, transportiert werden. Die Pilotanlage ist modular aufgebaut und kann mit weiteren Containern um weitere Prozessstufen, z.B. eine Stufe zum Kohlenstoffdioxidrecycling, erweitert werden. Der Einbau in Open-Door-Container ermöglicht eine gute Zugänglichkeit der Anlagenkomponenten von drei Außenseiten, da die Wände an drei Außenseiten als aufklappbare Türen ausgeführt sind. Bei normalen Seefrachtcontainern ist die Zugänglichkeit nur von einer Stirnseite und maximal einer Seitentür gegeben. High-Cube-Container sind mit einer Höhe von 2,9 m gut 30 cm höher als Standardcontainer. Ein Einbau in Standard Seecontainer hätte bei vergleichbarer Zugänglichkeit der Anlagenkomponenten und -installationen den Einsatz von zumindest 3 oder 4 Containern erfordert. Abbildung 7 zeigt ein Foto sowie Abbildung 8 ein Konstruktionsdatenblatt eines High-Cube-Open-Door-Containers.



Abbildung 7: Beispielbild eines High-Cube-Open-Door-Container

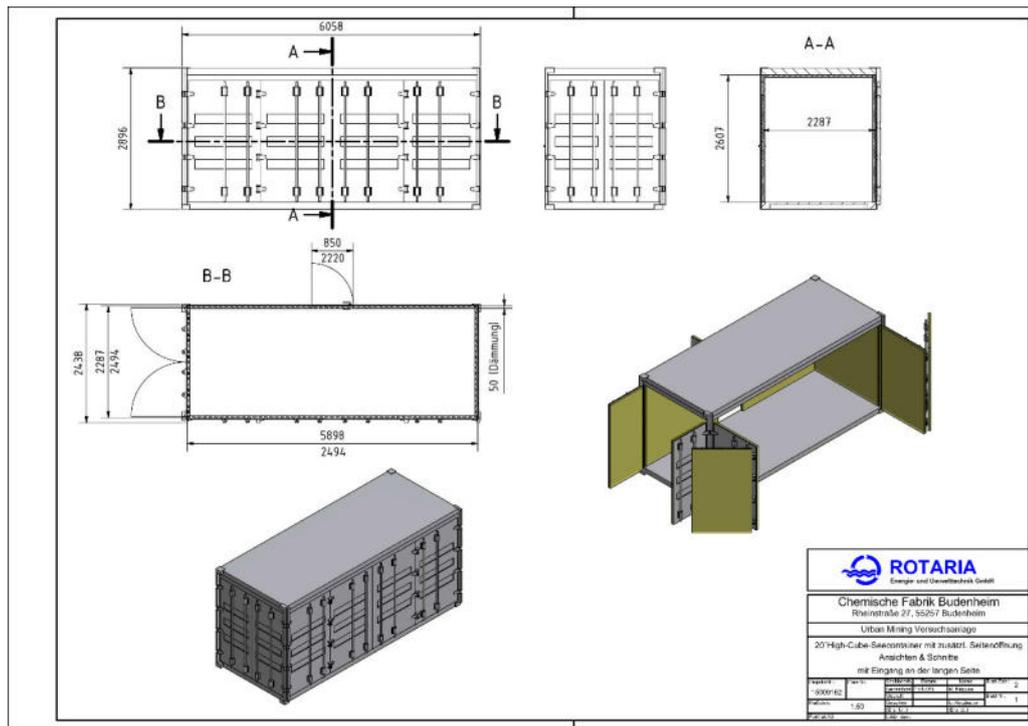


Abbildung 8: Konstruktionsdatenblatt des High-Cube-Open-Door-Container

Die Zugänglichkeit der Anlagekomponenten und -installation ist zum einen schon für die Montagearbeiten erforderlich, insbesondere aber für Wartungs- und Reparaturarbeiten zu berücksichtigen. Vor dem Hintergrund, dass es sich bei der zu planenden und zu konstruierenden Anlage um eine Pilotanlage handelt, sind im Hinblick auf die Zugänglichkeit auch Änderungsarbeiten zu berücksichtigen, deren Notwendigkeit sich erst im Pilotbetrieb zeigen. Die Zugänglichkeit von zwei Seiten erlaubt im Vergleich zu einfachen Seefrachtcontainern deutlich vereinfachte nachträgliche Schweißarbeiten an Behältern und Apparaten, ohne diese aufwendig erst aus- und später wieder einbauen zu müssen. Des Weiteren ermöglicht auch die Zugänglichkeit von drei Seiten eine kompaktere Anordnung der Komponenten bei immer noch guter Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturarbeiten wie z.B. beim Wechsel von Verschleißteilen wie z.B. Statoren und Rotoren bei Drehkolbenpumpen oder beim Ausbau und späterem Wiedereinbau von Aggregaten für eine Reparatur von Lagern, Motoren und anderen Bauteilen.

Vor dem Hintergrund eines ganzjährigen Betriebs der Pilotanlage wurden die Container mit einer Wärmeisolierung an allen Tür- und Wandflächen auf der Innenseite versehen. Aufgrund des Einbaus der Anlage in Container wurden Stahlprofile für die belastbare Befestigung von Komponenten und Rohrleitungen konstruiert und in die Container im erforderlichen Umfang eingebaut. Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen entsprechende Montagerahmen in der Fertigung und im eingebauten Zustand.

Neben der Isolierung wurde die Frostsicherheit der Container durch elektrische Heizungen sichergestellt.

Um eine möglichst kompakte Anordnung der Pumpen und Behälter bei guter Montier- und Demontierbarkeit zu erreichen, wurden zahlreiche Rohrleitungen mit Verschraubungen unterbrochen. Durch das Herausnehmen der so geschaffenen Rohrleitungsstücke wird Platz geschaffen, um an die Pumpen oder Behälter zu kommen oder um diese aus- und einbauen zu können oder um Verschleißteile wechseln zu können.



Abbildung 9: Bau des Rahmens



Abbildung 10: Eingebaute Rahmenteile

Die zu- und abgeführten Rohrleitungen und elektrischen Anschlüsse sind so angeordnet, dass Beschädigung beim Transport vermieden werden. Dies wird zum einen durch die Konzentration der Anschlüsse auf wenige Stellen und zum anderen durch den nur sehr geringe Überstand über die Containerwand ermöglicht. Die Abdeckung der elektrischen Anschlüsse ragen maximal 25 cm über die Containerwand hinaus.



Abbildung 11: Zu- und Ableitungen Container 1 (rechts) und Container 2 (links)

4.3.2 Schlammbeschickung – BG 01

Um einen kontinuierlichen Betrieb sicherstellen zu können, ist eine Klärschlammvorlage erforderlich.

Auf Kläranlagen ist für Versuche zur Phosphorrückgewinnung immer eine ausreichende Menge Faulschlamm im Faulbehälter oder in Nacheindickern vorhanden, die der Pilotanlage notfalls auch über Zwischenspeicher zugeführt werden kann. Als Zwischenspeicher können z.B. Containermulden zum Einsatz kommen, sofern eine Aufstellung der Pilotanlage in der Nähe der Faulbehälter oder Nacheindicker nicht möglich sein sollte. Bei einem Durchsatz von 2 m³/h dürfte eine 20 m³ Containermulde als Zwischenspeicher gut ausreichend sein, um eine konstante Zufuhr an Faulschlamm zur Pilotanlage sicherzustellen, da bei physikalisch-chemischen Prozessen, wie sie im ExtraPhos[®]-Verfahren angewandt werden, ein werktäglicher Betrieb mit Betriebsunterbrechungen an Wochenenden und Feiertagen durchaus möglich und üblich ist. Bei einer Störung der Faulschlammzufuhr in den Zwischenspeicher dürfte eine Überbrückungszeit von gut 10 h zur Beseitigung der Störung für einen möglichst kontinuierlichen Prozess an Werktagen ausreichend angesetzt sein.

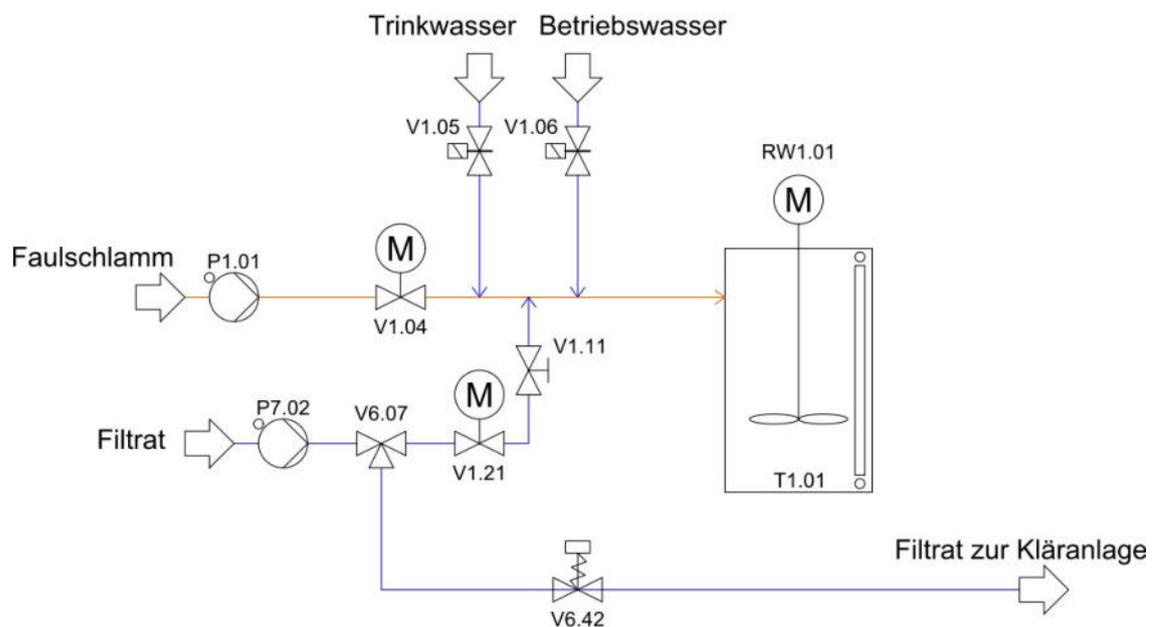


Abbildung 12: Vereinfachtes Verfahrensschema der Schlammbeschickung – BG 01

Abbildung 12 zeigt das Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe 1 reduziert auf die verfahrenstechnisch wesentlichen Komponenten auf dem Niveau einer konzeptionellen Entwurfsplanung. Auf der Grundlage dieser Planung können mit einiger Erfahrung die Baukosten abgeschätzt und Leistungsverzeichnisse erstellt werden.

Im Vorlagetank der Pilotanlage soll ca. 1 m³ Faulschlamm mit einem frei wählbaren TS-Gehalt vorgehalten werden. Dazu wird durch die Pumpe P1.01 Faulschlamm aus dem Vorlagebecken der Kläranlage angesaugt und in den Vorlagetank gepumpt. Zur Einstellung des TS-Gehaltes wird wahlweise Trinkwasser, Betriebswasser oder Filtrat

unmittelbar vor dem Vorlagetank in die Rohrleitung zugegeben. Die Zugabe des Faulschlammes und des Verdünnungsmediums richtet sich nach dem Füllstand und dem TS-Gehalt im Vorlagetank. Nicht dargestellt ist die manuell zu aktivierende Möglichkeit auch schon behandelten und entwässerten Faulschlamm als sogenannten Dickschlamm direkt in die Schlammvorlage einzuspeisen.

Abbildung 13 zeigt das ausführungsreife Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe 1 nach Ausarbeitung der Ausführung und Konstruktion im Detail. Der Unterschied der beiden Darstellungen zeigt Art und Umfang der Ausführungs- und Konstruktionsarbeiten, die bei der Umsetzung einer Entwurfsplanung in eine im Detail durchkonstruierte und ausführungsreife Planung zu leisten ist. Bei der Umsetzung einer Entwurfsplanung in eine ausführungsreife Planung und einer detaillierten Konstruktion der Anlage sind insbesondere bei einer neuartigen Anlage zahlreiche Detailfragen im Zusammenhang mit der Auswahl und Konstruktion der Komponenten sowie im Hinblick auf deren Verbindung und räumlichen Anordnung zu klären, die sich von einer Klärung der Beständigkeit von Werkstoffen und Dichtungsmaterialien sowie Lagern, etc. im Hinblick auf die Betriebsbedingungen wie z.B. Druck und Temperatur sowie Korrosion und Abrasion bis hin zu Fragen der technischen Eignung und Bemessung der Komponenten erstrecken. Geeignete Aggregate und Armaturen sind auszuwählen und geeignete Behälter, Apparate und Verbindungen sind zu konstruieren. Spülstutzen sowie Ein- und Ausbauarmaturen sind im erforderlichen Umfang vorzusehen, Wartungs- sowie Ein- und Ausbaumöglichkeiten aller Komponenten sind zu beachten und es sind geeignete Stellen und Vorrichtungen für die Einbindung der Messstellen vorzusehen. Des Weiteren ist die angedachte Funktion durch das Vorsehen von geeigneten Vorrichtungen und geplanten Maßnahmen zur Kontrolle möglicher, aber nicht gewollter Zustände, wie z.B. Schaumbildung, Bildung von Belägen, etc. sicherzustellen. Gegenstand der nachstehenden Ausführungen ist die Darstellung der Umsetzung der angedachten Funktionen der Pilotanlage in eine ausführungsreife Konstruktion unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte und damit der Arbeiten, die Gegenstand des Forschungsvorhabens waren. In der Darstellung sind die Arbeiten, die eher handwerkliche Ingenieur Tätigkeit sind, nicht von den Arbeiten zu trennen, die aufgrund des innovativen Charakters der Anlage über die routinemäßige Umsetzung üblicher Aufgabenstellungen und Anforderungen hinausgehen und zum Teil auch noch Vorversuche erforderten, ohne dass, das Verständnis für die Pilotanlage insgesamt verloren gehen würde, sodass beide im jeweils erforderlichem Umfang dargestellt werden.

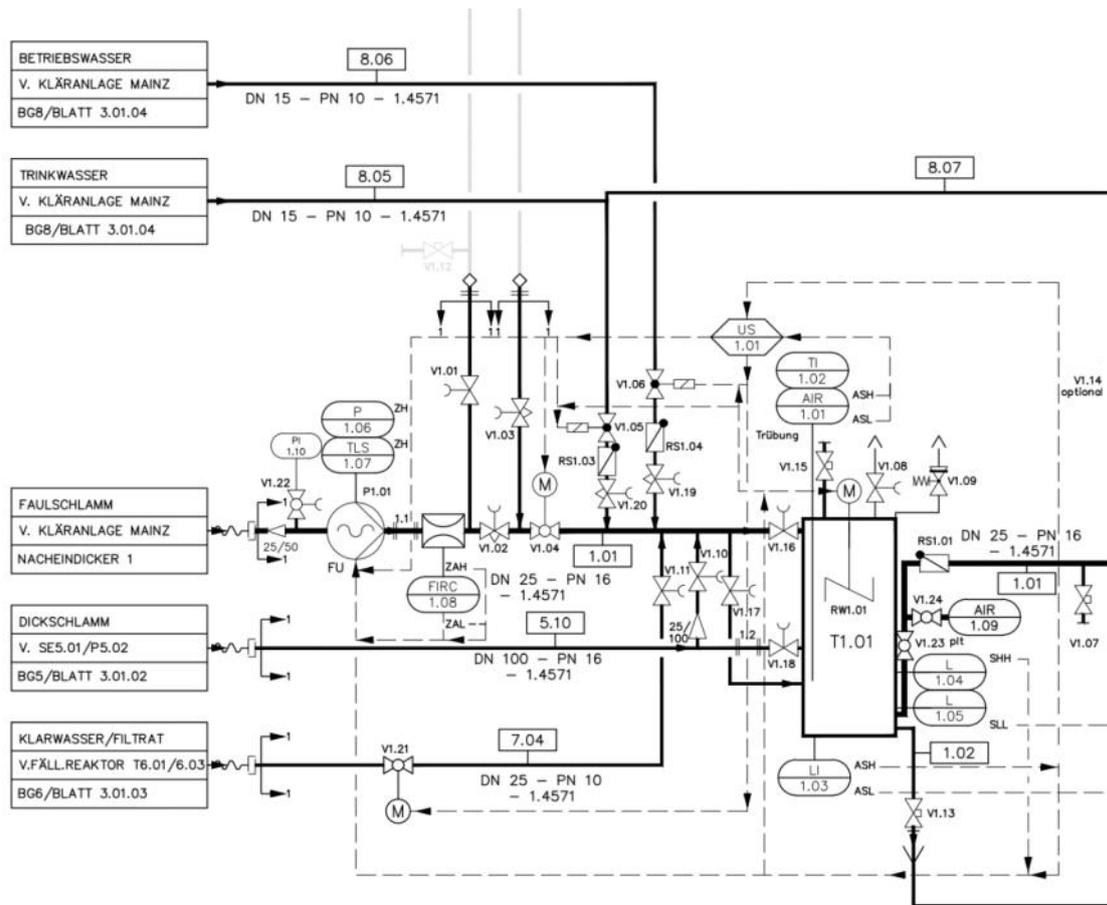


Abbildung 13: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 01

Mit der Exzentrerschneckenpumpe P1.01 wird Faulschlamm der Kläranlage mit einem maximalen Volumenstrom von bis zu $Q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ und einem Trockensubstanzgehalt von $TS = \text{ca. } 4 \%$ dem Vorlagetank zugeführt. Die Exzentrerschneckenpumpen in der Anlage sind überwiegend als baugleiche einstufige Blockpumpen ausgeführt. Neben der Pumpe P1.01 sind auch die Pumpen P5.01, P6.01, P7.01, P7.02 als Fabrikat Seepex, Typ BN 2-6L ausgeführt. Dies reduziert die Menge der vorzuhaltenden Ersatzteile. Die Exzentrerschneckenpumpen dienen im Wesentlichen der Förderung eines konstanten überschaubaren Volumenstroms von bis zu $2 \text{ m}^3/\text{h}$ von Schlamm und Suspensionen weitgehend unabhängig von deren Feststoffgehalt und deren Viskosität sowie den saug- und druckseitigen Druckverhältnissen im Bereich einer gut pumpfähigen Konsistenz und geringer Förderdrücke, wie sie in der geplanten Pilotanlage für diese Pumpen zu erwarten sind. Für diese Anwendung bzw. Aufgabe sind einstufige Exzenterpumpen besonders gut geeignet. Zum Schutz der Pumpe P1.01 sind ein Trockenlaufschutz mittels Statortemperaturüberwachung sowie eine Drucküberwachung zur Vermeidung von druckseitigem Überdruck vorgesehen. Aufgrund der Statortemperaturüberwachung kann auf eine Füllstandmessung in der bauseitigen Schlammvorlage verzichtet werden.

Der dem Vorlagebehälter mit der Pumpe P1.01 zu geführte Volumenstrom wird mit dem IDM FIRC1.08 Fabrikat E+H Typ Promag 50 erfasst und dokumentiert. Die Pumpe P1.01 wird über den Füllstand im Vorlagebehälter geregelt. Es wird ein Soll-Füllstand

im Vorlagebehälter vorgegeben. Die Pumpe P1.01 ist mit den Alarmpunkten Trockenlaufschutz, Überdruck und dem Füllstand „übertoll“ verriegelt.

Für die Faulschlammzufuhr in den Vorlagebehälter wird das Ventil V1.04 motorisch geöffnet und eine Transzeit danach, die ein Auffahren der Armatur erlaubt, wird die Pumpe P1.01 zugeschaltet. Zum Abschalten der Faulschlammzufuhr wird zunächst die Pumpe P1.01 abgeschaltet und nach einer Transzeit, die ein Auslaufen der Pumpe erlaubt, wird die Armatur geschlossen. Diese Schaltung wurde bei allen weiteren zwangsfördernden Pumpen ebenso vorgesehen.

Neben dem Faulschlamm kann auch Dickschlamm in den Vorlagebehälter eingeführt werden, der als Feststoff in der Zentrifuge dieser Anlage nach der Laugung des Faulschlammes abgetrennt und anschließend zurückgeführt oder entsorgt werden kann. Die komplette Fertigstellung der Rückführung wurde nachgerüstet. Die Dickschlammzufuhr erfolgt manuell gesteuert.

Abbildung 14 zeigt die Konstruktion der Baugruppe BG 01 mit den verschiedenen Zulaufmedien wie Faulschlamm, Dickschlamm, Betriebs-, Trinkwasser und Filtrat in 3D. Tabelle 2 enthält einen Auszug aus der Legende. Die Zeichnung im Original und die vollständige Legende sind im Anhang enthalten.

Tabelle 2: Legende zu den Konstruktionszeichnungen BG01

Pos. Nr.	Benennung	Bemerkung
2	Vorlagebehälter	T1.01
304	Elektrokugelhahn	V1.04
313	Promag 50 W25	FIRC 2.01
316	Magnetventil	V1.06/V1.05
501	Pumpe BN 2-6L	P2.01

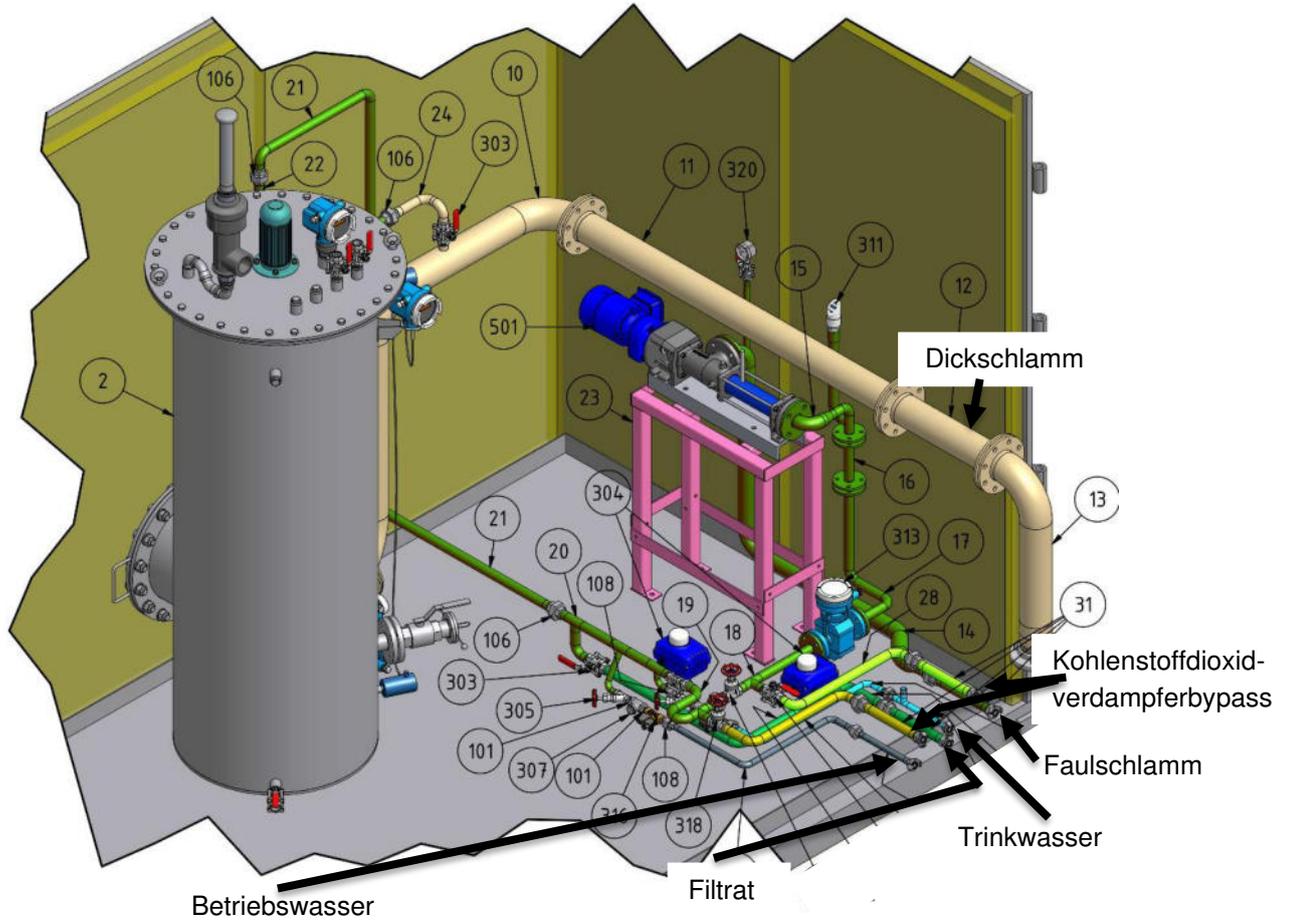


Abbildung 14: 3D-Konstruktion der Baugruppe BG 01

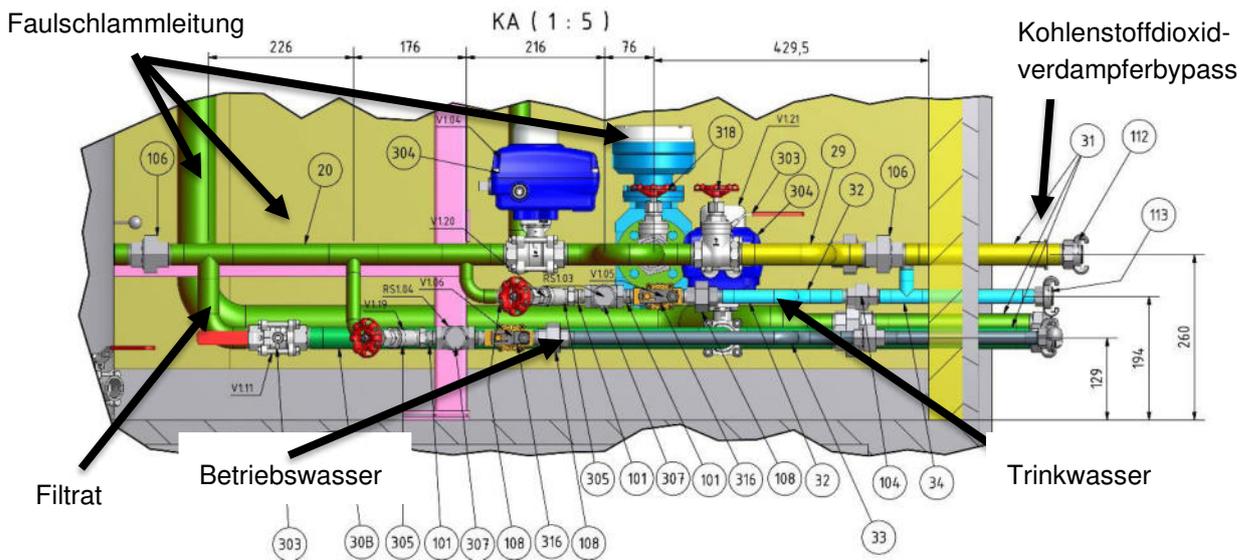


Abbildung 15: Detailansicht Verdünnungsstrecke

Zur Verdünnung des zugeführten Schlammes kann Trink-, Betriebswasser oder Filtrat aus der Di-Calcium-Phosphat-Fällung und Entwässerung genutzt werden. Die Verdünnungsmedien werden noch in der Zulaufleitung zum Vorlagebehälter in den Faulschlamm eingeleitet. Die Zugabe von Trink- und Betriebswasser erfolgt über Magnetventile V1.05 (316) bzw. V1.06 (316) (Fabrikat Landefeld, Typ SLP eco). Die Zugabe des Filtrats aus der Phosphatabscheidung wird über den motorischen Kugelhahn V1.21 (32; Fabrikat End Armaturen, Typ ZA-NE) und die Pumpe P7.02 (Fabrikat Seepex Typ BN 2-6L) der Baugruppe BG07 gesteuert. Das Verdünnungsmedium – Trinkwasser, Betriebswasser und Filtrat - wird durch Aktivieren des jeweiligen Tasters ausgewählt. Die Ventile, für die nicht angewählten Verdünnungsmedien werden verriegelt.

Der Faulschlamm bzw. der verdünnte Faulschlamm kann in den Vorlagebehälter T1.01 wahlweise im oberen Teilbereich oder im unteren Teilbereich zugeführt werden. Die Zuleitung des Faulschlammes unterhalb oder oberhalb des Flüssigkeitsspiegels wurde gewählt, um den Effekt der Einleitstelle auf das Mischverhalten des Faulschlammes mit dem Verdünnungswasser zu untersuchen. Insbesondere für die Einmischung des entwässerten und zurückgeführten Faulschlammes scheint eine Einleitung in der Nähe des Rührorgans angezeigt zu sein.

Der Behälter T1.01 mit einem Nutzvolumen von 750 l ist nachfolgend dargestellt. Dies entspricht einer rechnerischen mittleren Verweildauer von 22,5 min bei dem geplanten Durchsatz von 2 m³/h. Aus Platzgründen war ein größeres Speichervolumen in dem Container nicht realisierbar. Die Vorlage ist luftdicht verschlossen und mit einem Rührwerk sowie einer Füllstandüberwachung – kontinuierliche Messung L1.03 sowie Max. L1.04; (16) und Min. L1.05 (8) Alarm – ausgerüstet. Der Behälter ist luftdicht verschlossen, damit eventuell aus dem Schlamm austretende Gase wie Methan, Schwefelwasserstoff und Kohlenstoffdioxid kontrolliert abgeleitet werden können. Die kontinuierliche Füllstandmessung L1.03 ist in Anbetracht des leichten Überdrucks im Vorlagebehälter T1.01 als Differenzdruckmessung (21a+b) ausgeführt. Die Differenzdruckmessung hat zudem den Vorteil, dass sie nicht durch Schaum gestört wird. Die Temperaturmessung 5a 1.02 ist als Thermoelement Fabrikat Endress + Hauser (E+H), Typ Thermophant T TTR31 ausgeführt. In Abbildung 19 ist die Messtechnik des Behälters T1.01 dargestellt.

Um eine ausreichende Vermischung in dem Vorlagebehälter sicherzustellen und ein Absetzen von Faulschlammbestandteilen zu verhindern, sind ein Rührwerk RW1.01 Fabrikat Turborührwerke sowie Strömungsstörer vorgesehen. Diese sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt. Das Rührwerk ist auf eine Leistung von 0,15 kW und eine Drehzahl von 950 U/min ausgelegt. Bei einer Unterschreitung des Füllstands im Vorlagebehälter, bei dem die Überdeckung des Rührorgans zu gering wird, wird das Rührwerk abgeschaltet und es wird erst wieder bei einem Füllstand zugeschaltet, der über dem Ausschaltfüllstand liegt und somit auch eine ausreichende Überdeckung des Rührorgans sicherstellt.



Abbildung 16: Über- bzw. Unterdrucksicherung V1.09

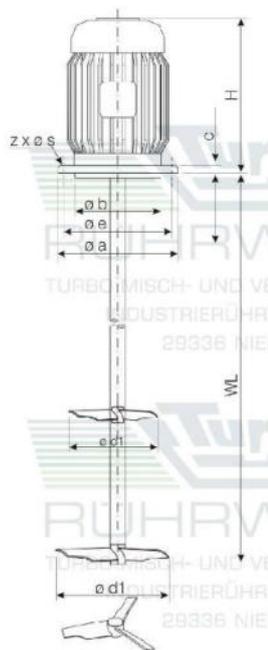


Abbildung 17: Rührwerk T1.01

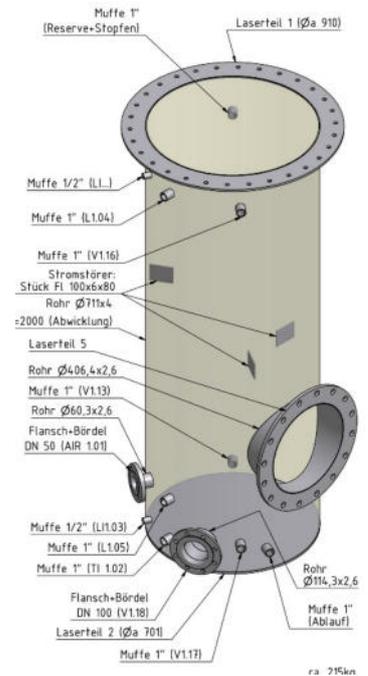


Abbildung 18: Konstruktionszeichnung T1.01

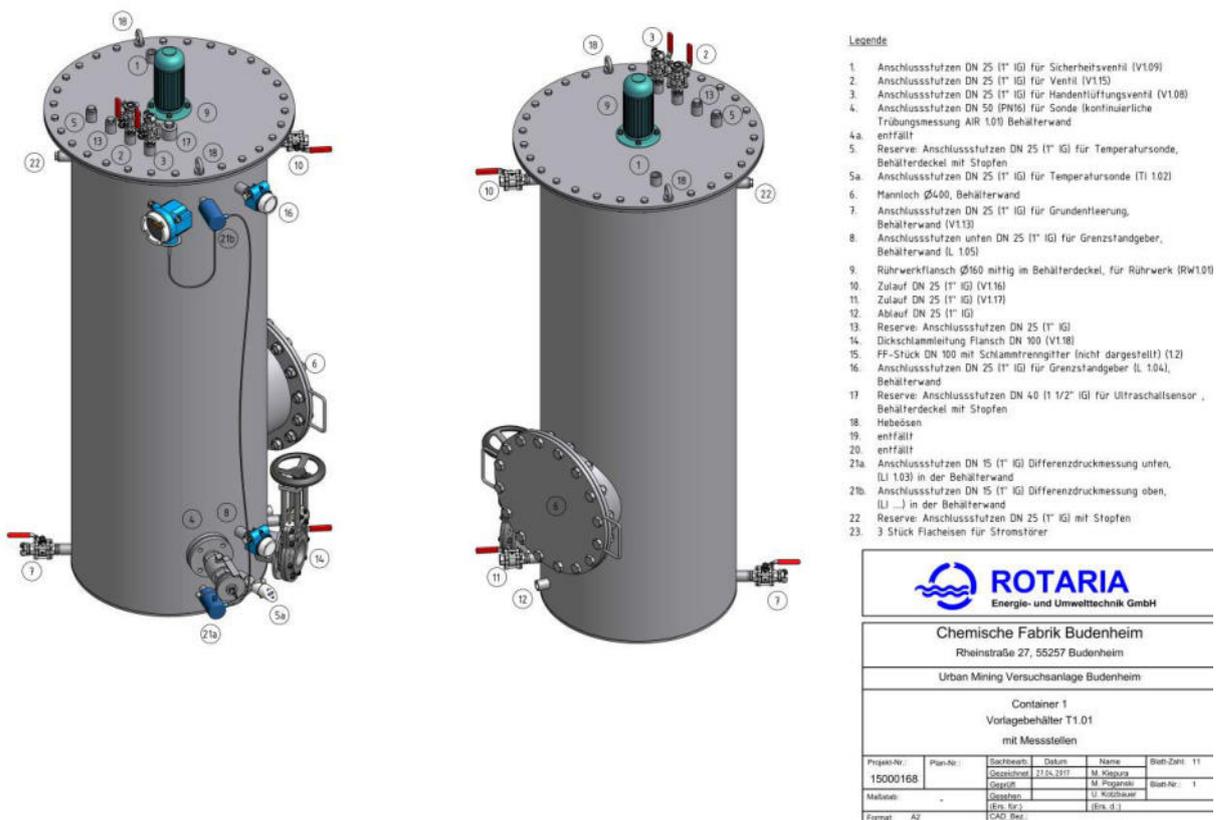


Abbildung 19: Konstruktionszeichnung T1.01 mit Messstellen

Die on-line-Messung des TR- bzw. TS-Gehalts mit einer optischen 4-Kanal Trübungssonde, die Transmission und Streuung erfasst, hat sich im Belebtschlamm in zahlreichen Kläranlagen in der Praxis bewährt, wird im Faulschlamm aber noch nicht verbreitet genutzt. Alternative Messverfahren zu einer on-line-Messung des TR- bzw. TS-Gehalts sind aber zurzeit nicht bekannt. Vor dem Hintergrund dieser Unsicherheit ist für die Einstellung des TR- bzw. TS-Gehalts im Faulschlamm im Vorlagebehälter eine manuelle Voreinstellung des Verdünnungsverhältnisses des zugeführten Faulschlammes mit Verdünnungswasser über Handarmaturen entsprechend der off-line bestimmten TR- bzw. TS-Gehalte vorgesehen, die mit der optischen on-line-Messung der Trübung überwacht wird und gegebenenfalls über ein Zu- bzw. Abschalten der Faulschlamm- oder Verdünnungswasserzufuhr bei Über- bzw. Unterschreiten des mit der Trübung gemessenen TR- bzw. TS-Gehalts korrigiert wird. Die Trübungsmessung ist als Fabrikat E+H; Typ Trubimax CUS51D mit einer Wechselarmatur Fabrikat E+H Typ Cleanfit CUA451 ausgeführt. Diese Sonde ist im unteren Bereich des Vorlagebehälters eingebaut. Die Wechselarmatur ermöglicht eine Reinigung des Sensors ohne Betriebsunterbrechung. Der Trubimax CUS51D verwendet das Vierstrahl-Wechsellicht-Verfahren und nutzt dabei vor allem die Streustrahlung von 90° und 135°. Durch die doppelte Ausführung der Lichtquellen und der beiden Empfangsquellen für 90° und 135° werden Störeinflüsse wie Fremdlicht, Alterung und Verschmutzung der LED kompensiert. Für Faulschlamm wird von der Firma E+H insbesondere die 135° Messung empfohlen, da bei hohen Feststoffgehalten die

Messung mit der 90° Streustrahlung weniger zuverlässig ist. Die Firma Rotaria hat diese TR-Sonden bereits zur Messung von TS-Gehalten im Belebt- und Überschussschlamm mehrfach verbaut und sie haben sich auch in der Praxis bewährt. Orientierende Vorversuche mit Faulschlamm haben recht vielversprechende Ergebnisse ergeben. Im Zuge der Inbetriebnahme sind aber die Parametrierungen der Verdünnungswasserzufuhr und des Rührwerks zu überprüfen und zu optimieren.

Am Behälterkopf des Vorlagetanks T1.01 befinden sich zwei Kugelhähne, die als Reserve für weitere Messstellen oder andere Erweiterungen vorgesehen sind. Am Behälterkopf ist die in Abbildung 16 dargestellte Über- und Unterdrucksicherung der Firma Schwabenkunststoff installiert. Diese ist erforderlich, da der Füllstand des Behälters schwankt. Es ist ein Überdruck erforderlich, da aus dem Faulschlamm Gase wie Schwefelwasserstoff, Kohlenstoffdioxid und Methan austreten können, die kontrolliert durch den Containerboden abgeführt werden. Der Überdruck unterstützt zudem den Zufluss zur Pumpe P2.01, da der Schlamm durchaus recht hochviskos sein kann und die Pumpe P2.01 nicht selbstansaugend ausgeführt ist. Der Überdruck wurde auf 40 mbar eingestellt. Die Zu- bzw. Abgasleitung der Über- und Unterdrucksicherung wurde durch den Containerboden nach außen geführt.

Die Ablaufleitung der Vorlage in Richtung Rohrschlaufenreaktor bzw. Pumpe P2.01 ist mit einer Rückschlagklappe RS1.01 ausgestattet, um zu verhindern, dass Faulschlamm aus dem unter Druck stehenden Rohrschleifen-Reaktor durch die Pumpe zurück in die Vorlage gedrückt wird. Die pH-Wertmessung AIR1.09 Fabrikat E+H Typ Orbisint CPS11D misst in der Saugleitung zur Pumpe P 2.01 den pH-Wert des Faulschlammes vor der Behandlung.

Alle pH-Wert-Sonden wurden als baugleiche Blockgruppen ausgewählt. Dies hat den Vorteil, dass mit allen Messsonden gleich verfahren werden kann und diese untereinander austauschbar sind. Die gleiche Handhabung ist im Hinblick auf die regelmäßig erforderlichen Kalibrierungen von Vorteil. Die Austauschbarkeit ermöglicht es bei einem Ausfall einer Sonde an entscheidender Stelle, eine Sonde einzusetzen, die an einer weniger wichtigen Stelle eingesetzt ist. Aus diesem Grund sind alle pH-Sonden so ausgewählt, dass sie den Bedingungen im Rohrschlaufenreaktor standhalten. Die Sonden müssen druckstabil bis 16 bar sein, einen langen Schaft besitzen, um mittig im Rohrschlaufenreaktor zu sitzen, und der rauen Messumgebung gegenüber stabil sein. Weitere Vorteile der Memosens-pH-Sonden sind die kontaktlosen korrosionsfreien Anschlüsse und die mögliche Datenabfrage zum Sensorzustand, wie Ansprechzeiten, Steilheit, Nullpunkt und Verschleiß. So soll sichergestellt werden, dass mit den pH-Wert Messungen zuverlässige und belastbare Werte erzielt werden.

Bei der Inbetriebnahme der Anlage in der Kläranlage Mainz haben sich Fremd- und Grobstoffe im Faulschlamm als ein Problem erwiesen, da diese Fremd- und Grobstoffe in der Anlage zu Verstopfungen geführt haben. Um einen praxisnahen Betrieb zu ermöglichen, wurde entschieden die Anlage mit einem Feststoff- und Faserzerkleinerer

Fabrikat Vogelsang; Typ Rota-cut Mazerator nachzurüsten. So wurde ermöglicht, Faulschlamm mit all seinen Inhaltsstoffen durch die Pilotanlage zu fahren, wenn auch mit reduzierter Partikelgrößenverteilung, die aber auch im Praxisbetrieb auf den Kläranlagen hergestellt werden kann. Bei Anlagen in größerem Maßstab dürfte eine Feststoff- und Faserzerkleinerung wohl nicht immer erforderlich sein, sie dürfte aber dennoch in aller Regel angeraten sein.



Abbildung 20:
Verzopfung an den
Rührorganen



Abbildung 21: Feststoff- und Faserzerkleinerer Fabrikat Vogelsang; Typ Rota-cut Mazerator

Zur Optimierung des Eintrags des Kohlenstoffdioxids in den Faulschlamm, war angedacht die zur Verdampfung des flüssigen Kohlenstoffdioxids erforderliche Wärme zur Abkühlung des Faulschlammes und somit zur Erhöhung der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid im Faulschlamm zu nutzen. Es war angedacht, einen Bypass um den Kohlenstoffdioxidverdampfer vorzusehen und mit dem auf einen Druck unter 16 bar entspannten und teilweise verdampften Kohlenstoffdioxid die Wandungen des Vorlagebehälters zu kühlen und mit der dem Faulschlamm im Vorlagebehälter entzogenen Wärme das noch flüssig vorliegende Kohlenstoffdioxid zu verdampfen.

Bei der adiabaten Drosselung des bei 16 bar flüssig abgelagerten Kohlenstoffdioxids ($h' = 140,5 \text{ kJ/kg}$) in einem Ventil stellt sich im dann teilweise verdampften, teilweise noch flüssig vorliegendem Kohlenstoffdioxid eine Temperatur von unter $-26,6 \text{ °C}$ ein. Die Temperatur, die sich im CO_2 einstellt, nimmt mit dem Druck ab, auf den das CO_2 gedrosselt wird und der Anteil des verdampften CO_2 nimmt entsprechend zu. Eine adiabate Drosselung erfolgt isenthalp. Pro kg CO_2 , das dem Rohrschlaufenreaktor mit 15 bar und 15 °C ($h = 486,9 \text{ kJ/kg}$) zugeführt werden soll, liegt die zuzuführende Wärmemenge bei $357,2 \text{ kJ/kg}$. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei 15 °C

die physikalische Löslichkeit von CO_2 in Wasser bei ca. $2 \text{ kg/m}^3/\text{bar}$ liegt, ergibt sich für einen Druck von 15 bar, der im Rohrschlaufenreaktor gefahren werden soll, eine maximale Lösung von $30 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2$ in Wasser. In Abhängigkeit vom pH-Wert dissoziiert ein Teil des physikalisch gelösten CO_2 zu Hydrogencarbonat und Carbonat. Bei einem pH-Wert von $\text{pH} = 5$ liegen im Gleichgewichtszustand 95 % des CO_2 physikalisch gelöst und 5 % dissoziiert vor, bei $\text{pH} = 6$ sind dies respektive 70 % CO_2 physikalisch gelöst und 30 % dissoziiert. Insgesamt ist sofern davon auszugehen, dass einem CO_2 Druck von 15 bar und einem Erreichen eines pH-Werts von $\text{pH} = 5$ durch Chemisorption $31,6 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2$ im Wasser aufgenommen werden, bei Erreichen eines pH-Werts von p

$$\dot{Q}_V = \Delta h_V \cdot \dot{m}_{\text{CO}_2} = 357,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 42,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cong 14.846 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \quad (1)$$

$$\Delta T_{\text{FS}} = \frac{\dot{Q}_V}{\dot{m}_{\text{FS}} \cdot c_{p,\text{H}_2\text{O}}} = \frac{14.846 \text{ kJ h kg K}}{\text{h } 2.000 \text{ kg} \cdot 4,19 \text{ kJ}} \cong 3,5 \text{ K} \quad (2)$$

4.3.3 Extraktionsbereich – BG 02

Der Extraktionsbereich besteht im Wesentlichen aus einem Aufschlussreaktor. In der Ursprungskonzeption der Pilotanlage war seitens des Bauherrn und des Planers eine Ausführung des Aufschlussreaktors als Rührkesselreaktor und alternativ als Rohrschlaufenreaktor vorgesehen. Die begrenzten Platzverhältnisse in den Containern erforderten aber eine Festlegung auf eine der beiden angedachten Ausführungen, zumal die Ausführungen als Rührkesselreaktor oder als Rohrschlaufenreaktor mit einer bis zu 25-fachen Rückführung als Option keine unterschiedlichen Ergebnisse im Prozessverhalten erwarten lassen. Aufgrund der technisch nicht trivialen konstruktiven Anforderungen bei der Ausführung des Aufschlussreaktors als Rührkesselreaktor und der besseren Nutzung des begrenzten Raumangebots in einem Container durch den Rohrschlaufenreaktor wurde eine Ausführung als Rohrschlaufenreaktor festgelegt, zumal auch gegebenenfalls erforderliche Modifikationen dieses für die Funktion des Prozesses zentralen Bauteils bei einer Ausführung als Rohrschlaufenreaktor deutlich einfacher nachträglich zu realisieren sind.

In dem als Rohrschlaufenreaktor ausgeführten Aufschlussreaktor erfolgt eine Kohlenstoffdioxiddosierung unter erhöhtem Druck. Durch die Kohlenstoffdioxiddosierung am Anfang des Rohrschlaufenreaktors in den Faulschlamm bei erhöhtem Druck werden der pH-Wert im Faulschlamm abgesenkt und Phosphate in Lösung überführt, die anschließend nach der Entspannung von den Feststoffen abgetrennt werden. Der erhöhte Druck in dem Rohrschlaufenreaktor wird durch Druckhalteventile am Ende des Rohrschlaufenreaktors geregelt. Durch die Länge des Rohrschlaufenreaktors wird eine ausreichende Reaktionszeit für die Auflösung der schwerlöslichen Phosphatverbindungen erreicht. Der mit Kohlensäure versetzte Faulschlamm kann vom Ende des Rohrschlaufenreaktors vor der Druckentlastung wieder zum Anfang des Rohrschlaufenreaktors mit geringem Energieaufwand zurückgepumpt und erneut mit Kohlenstoffdioxid versetzt werden. Mit der Ausführung als Rohrschlaufenreaktor wird eine hohe Flexibilität im Hinblick auf die noch nicht absehbar zu realisierenden Versuchsbedingungen geschaffen.

Bei einer Ausführung als Rührkesselreaktor wären die statischen Anforderungen aufgrund des erhöhten Betriebsdrucks zu berücksichtigen und die Problematik der Abdichtung bei der Rührwellendurchführung konstruktiv zu lösen sowie die Probleme bei der Ausführung der CO₂-Dosierung. In einem Rührkesselreaktor würde überdosiertes CO₂ sich im Rührkessel ansammeln und müsste bevorzugt zur Einmischung in den Faulschlamm genutzt werden, um nicht letztendlich den gesamten Reaktor zu füllen. Dies könnte ähnlich wie bei der Herstellung von Druckwasser in Druckentspannungsflotationsanlagen gelöst werden, in dem das CO₂ füllstandgeregelt in den Rührkessel eingespeist und dann vom Rührkessel mit einer Venturi-Belüftung in den Faulschlamm eingemischt und eingetragen wird. Das CO₂ kann dann auch mehrmals in den Faulschlamm eingemischt werden. Auch bei einem Rohrschlaufenreaktor, der von unten nach oben mit stetiger geringer Steigung

durchströmt wird, kann das sich im Reaktorkopf abscheidende überschüssige CO₂ wieder in einen Venturiwäscher zurückgeführt werden, sollte es sich herausstellen, dass eine mehrfache Zuführung von CO₂ in geringerer Menge nicht vorteilhaft ist. Allerdings ist die konstruktive Gestaltung einer Einsaugung des CO₂ aus dem Rührkessel in den zugeführten Faulschlamm in einer Venturi-Belüftung aufgrund des Feststoffgehalts und der erhöhten Viskosität und der Störstoffe des Faulschlammes nicht trivial. Vor diesem Hintergrund wurde von der Ausführung des Aufschlussreaktors als Rührkesselreaktor im Einvernehmen von Auftraggeber, Planer und Anlagenbauer nachvollziehbar abgesehen und auch auf den Einbau eines Venturiwäschers am Anfang des Rohrschlaufenreaktors zunächst verzichtet.

Abbildung 22 zeigt das Verfahrensschema der Baugruppe BG 02 – Extraktionsbereich der Entwurfsplanung mit:

- der Pumpe P2.01, die den im TR-Gehalt eingestellten Faulschlamm aus dem Vorlagebehälter T1.01 in den Rohrschlaufenreaktor fördert,
- dem Rohrschlaufenreaktor als zentralem Element der Baugruppe mit der CO₂ Dosierung am Anfang des Rohrschlaufenreaktors und der Rezirkulationspumpe P2.02 sowie den Entspannungsventilen (V2.25 und V2.28) am Ende des Rohrschlaufenreaktors
- dem Entspannungsbehälter T3.01, in den der mit CO₂ unter Druck versetzte Faulschlamm entspannt wird und der schon zur folgenden Baugruppe BG 03 – Expansionsbehälter gehört

In der schematischen Darstellung sind schon die wesentlichen Komponenten symbolhaft dargestellt und die Ausrüstung mit Messstellen angedacht. Der Bereich des Rohrschlaufenreaktors ist grau unterlegt. In dem Schema nicht dargestellt sind die beiden redundant vorgesehenen Entspannungsventile, die zunächst als zwei parallel angeordnete identische Schrägsitzventile ausgeführt wurden, die manuell auf einen Überstromdruck im Bereich von 8 bis 15 bar eingestellt werden können.

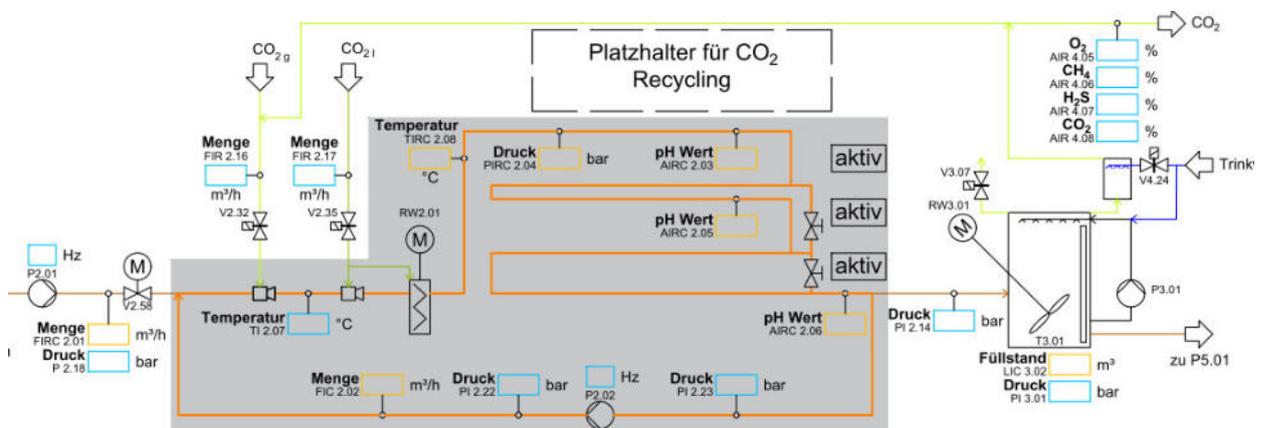


Abbildung 22: Vereinfachtes Verfahrensschema des Rohrschlaufenreaktor mit Expansion und Gasrückführung

Für die Kohlenstoffdioxid dosierung ist sowohl eine Dosierung von CO₂ als Gas als auch eine Dosierung von CO₂ in flüssiger Form vorgesehen. Das CO₂ wird aus einem im

Schema nicht dargestellten Miettank der Anlage in gasförmiger oder flüssiger Form zugeführt. Die CO₂-Miet tanks wurden in der unmittelbaren Umgebung der Anlage aufgestellt. Das Kohlenstoffdioxid wird in diesen Tanks bei einem Druck von ca. 16 bar flüssig gelagert. Um diesen Druck einzuhalten, ist der Tank gut gegen Wärmeeintrag aus der Umgebung isoliert und das CO₂ im Tank wird ständig mit einem Kälteaggregat auf eine Temperatur von - 26,6 °C gekühlt. Der Dampfdruck von flüssigem CO₂ entspricht bei - 26,6 °C 16 bar. Das Sicherheitsventil des CO₂-Lagertanks ist auf 23 bar eingestellt und würde CO₂ bei einem durch Erwärmung bedingten Druckanstieg abblasen.

Die Tanks sind auch mit einem elektrisch beheizten Verdampfer ausgerüstet. Für eine Dosierung von gasförmigem CO₂ wird das CO₂ aus dem Tank in dem Verdampfer vollständig verdampft und auf nahe Umgebungstemperatur erwärmt. Für die Dosierung von flüssigem CO₂ wird flüssiges CO₂ durch eine möglichst kurze und möglichst gut wärmeisolierte Leitung zum Container geführt. In der Leitung ist noch am CO₂-Lagertank ein Sicherheitsventil eingebaut, das bei 30 bar anspricht.

Als spätere Erweiterung der Anlage ist eine Rückführung bzw. ein Recycling von im Entspannungsbehälter ausgasendem CO₂ angedacht. Für diese angedachte Baugruppe wurden nur die erforderlichen Anschlüsse im Rahmen dieser Ausführungsplanung berücksichtigt. Die Entfeuchtung, Verdichtung und Kühlung der CO₂ reichen Abluft aus dem Entspannungsbehälter wurde planerisch nicht vertieft.

In Abbildung 23 ist das ausführungsfähige Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema (R&I) der Baugruppe BG 02 dargestellt einschließlich der Anlieferung von gekühltem CO₂, der Speicherung von gekühltem CO₂ in einem Miet tank mit elektrisch beheiztem Verdampfer für die Dosierung von gasförmigem CO₂ und isolierten Leitungen zur Dosierung von flüssigem CO₂. In das Schema sind auch die Liefergrenze und die Außenwand des Containers dargestellt.

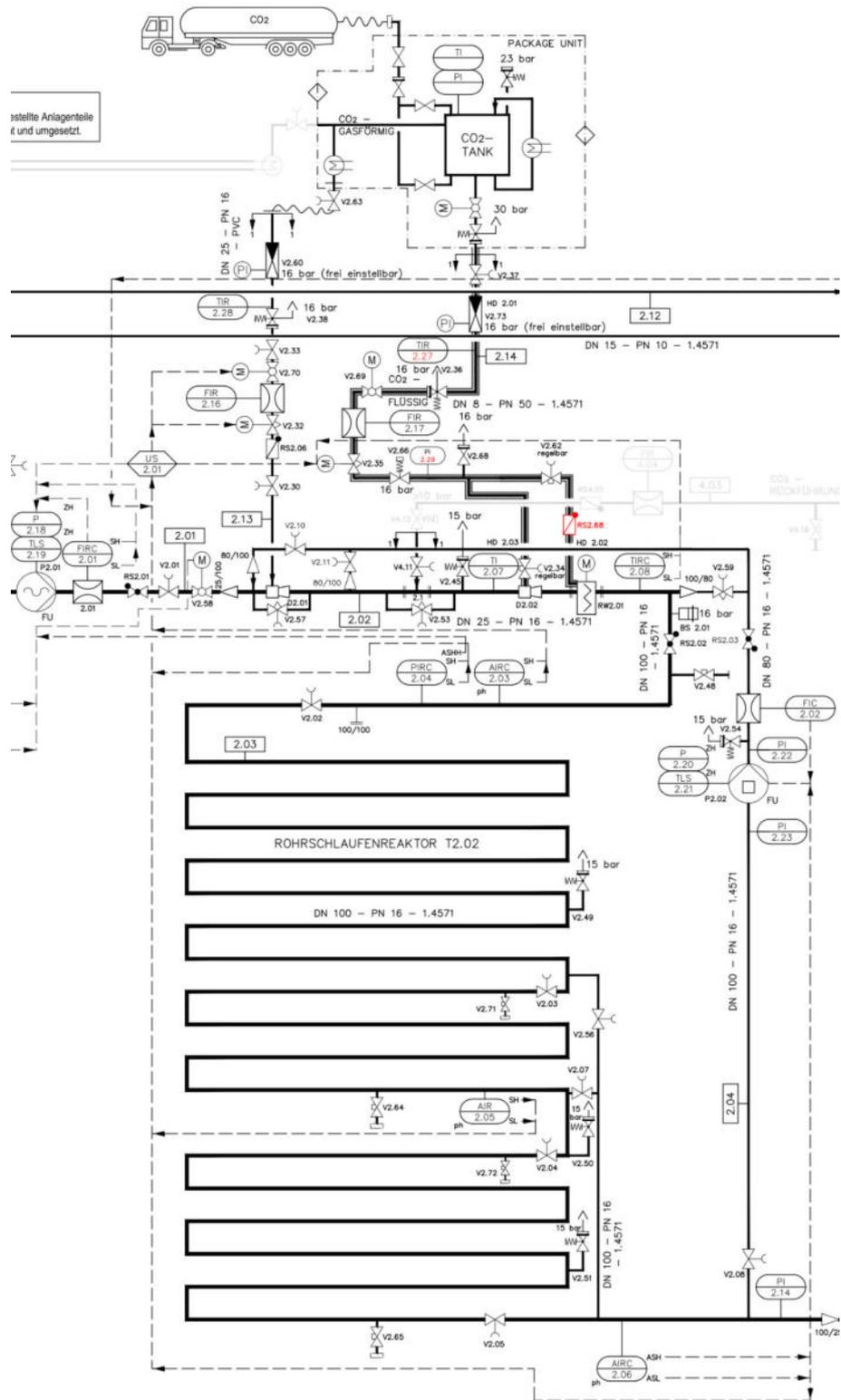


Abbildung 23: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 02

4.3.3.1 Rohrschlaufenreaktor

Die Pumpe P2.01 pumpt den Faulschlamm aus der Vorlage T1.01 in den Rohrschlaufenreaktor. Die Exzentrerschnecken-Pumpe P2.01 ist als Fabrikat Seepex Typ BN2.24 mit Trockenlaufschutz und Drucküberwachung ausgeführt. Bei einem Druck von bis zu 16 bar fördert die Pumpe bis zu 2 m³/h. Der in den Rohrschlaufenreaktor geförderte Faulschlamm wird mit dem IDM FIC 2.01 Fabrikat E+H, Typ Promag 50W25 erfasst. Das druckseitige Rückschlagventil hinter der Pumpe P2.01 verhindert ein Zurückströmen des Faulschlammes, sollte der motorisch gesteuerte Kugelhahn V2.58 Fabrikat Endarmaturen Typ Kugelhahn NE nicht schließen. Nach dem motorisch gesteuerten Kugelhahn V2.58 ist in Fließrichtung eine Aufweitung von DN 25 auf die Nennweite des Rohrschlaufenreaktors von DN 100 vorgesehen. Die Nennweite von DN 25 wurde in der induktiven Durchflussmessung (IDM) aufgrund der erforderlichen Fließgeschwindigkeit für eine zuverlässige Durchflussmessung gewählt. Der Nenndurchmesser des Rohrschleifenreaktors von DN 100 ist erforderlich, um eine ausreichende Reaktionszeit für die Rücklösung mit einer angesichts der begrenzten Platzverhältnisse vertretbaren Länge des Rohrschlaufenreaktors zu realisieren und um in dem Rohrschlaufenreaktor eine angemessene Strömungsgeschwindigkeit zu realisieren. Die angemessene Strömungsgeschwindigkeit ist für eine ausreichend gute Durchmischung erforderlich, wobei allerdings der Druckverlust auf ein vernünftiges Maß zu begrenzen ist. Der Druck von 16 bar wird durch die Pumpe P2.01 aufgebracht und durch die Druckhalteventile V2.28 bzw. V2.25 auf dem eingestellten bzw. angewählten Wert gehalten. Für die Rückführung ist ein Volumenstrom von bis zu 50 m³/h vorgesehen, so dass das Rückführverhältnis bei bis zu 1:25 liegt. Bei einer Rückführung von 50 m³/h ergibt sich eine Fließgeschwindigkeit von ca. 1,8 m/s im Rohrschlaufenreaktor. Dies wird bei Berücksichtigung der zahlreichen Bögen als ausreichend turbulent für ein Einmischen des Kohlenstoffdioxids bzw. das Mischen des Faulschlammes angesehen. Direkt nach der Zuführung von Faulschlamm in den Kreislaufstrom erfolgt die Dosierung des Kohlenstoffdioxids.

Der Rohrschlaufenreaktor ist als stetig steigende mäandrierende DN 100, PN16 1.4571 (V4A) Rohrleitung mit 18 Stück 180° Bögen mit einer Gesamtlänge von ca. 56 m ausgeführt und hat ein Reaktionsvolumen von ca. $V_N = 450$ l, so dass sich bei einem Durchsatz von 2 m³/h Faulschlamm eine mittlere rechnerische Verweildauer von knapp 15 min im Rohrschlaufenreaktor ergibt. Durch entsprechende Schieber können mit einer Bypassleitung 2/3 oder auch nur 1/3 des Reaktionsvolumens umfahren werden. Die Reduzierung des Reaktorvolumens ermöglicht eine Optimierung des Energiebedarfs für die Kohlenstoffdioxideinmischung. Diese Optimierung ist aber nur im Rahmen der Versuche möglich. In jedem Drittel des Reaktionsvolumens ist eine Überdruckentlastung Fabrikat End Armaturen Typ Sicherheitsventil SV 3200 (V2.49; V2.50; V2.51) vorgesehen. Der Rohrschlaufenreaktor wurde im Hinblick auf den Festigkeitsnachweis als Druckleitung eingeordnet. Abbildung 24 zeigt eine 3 D-Konstruktion des Rohrschlaufenreaktors.

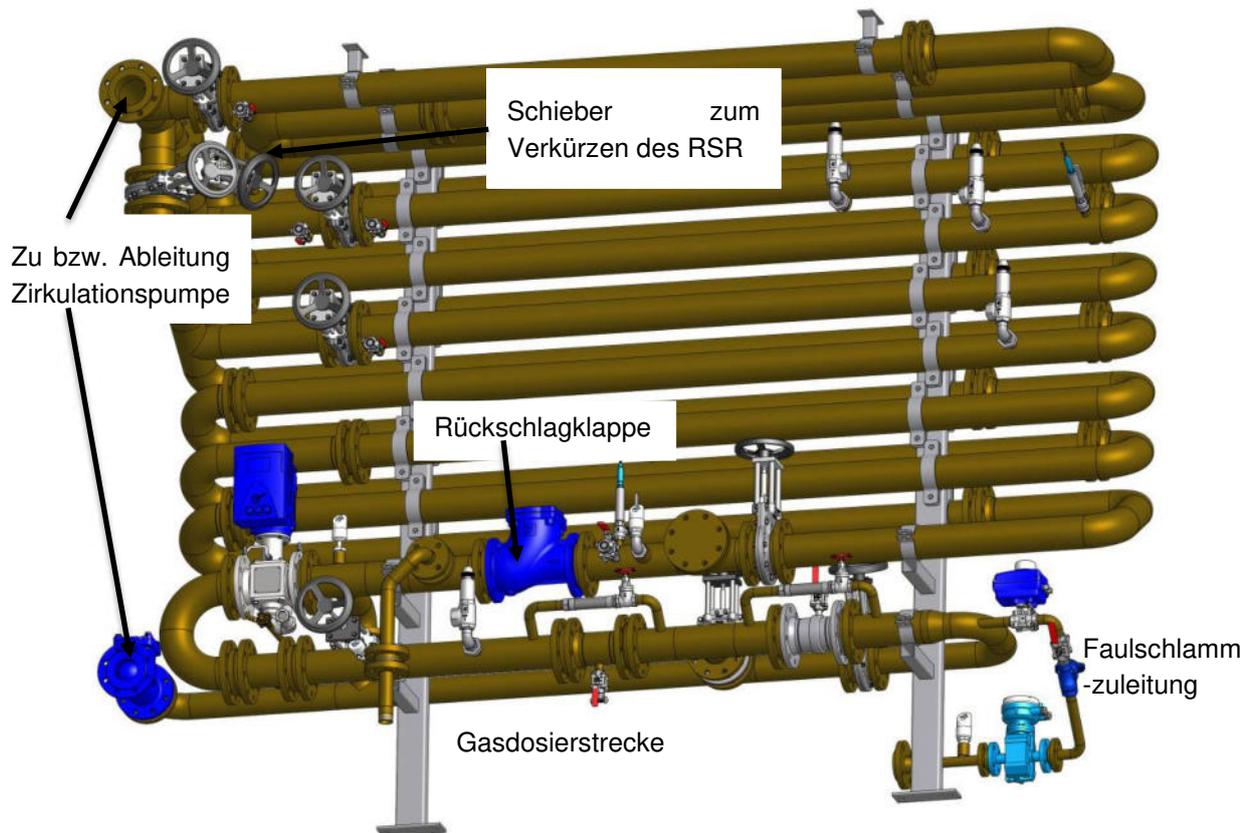


Abbildung 24: Konstruktionszeichnung des Rohrschlaufenreaktors

Die Rohrschlaufen werden mittels Schellen an dem im Container installierten Rahmen befestigt. In Abbildung 25 ist das Befestigungssystem dargestellt. Der Rohrschlaufenreaktor wurde vor dem Einbau in den Container vollständig montiert und an dem Befestigungssystem angebracht. Das komplette System wurde dann in den Container eingebaut. In Abbildung 26 sieht man den fertigmontierten Rohrschlaufenreaktor.

In Fließrichtung hinter der Kohlenstoffdioxid-dosierstrecke, auf deren Funktion und Aufbau später detailliert eingegangen wird, wurde eine Berstscheibe als Überdrucksicherung installiert. Das Rückschlageventil RS2.02 Fabrikat Watergates Typ BCE verhindert ein Zurückströmen von Faulschlamm in die Dosierstrecke. Durch die Absperrschieber V2.03/2.05 V2.04/2.07 kann das Volumen des Reaktors um jeweils etwa 1/3 reduziert werden.

In der Pilotanlage sind mehrere pH-Messungen AIRC 2.03 AIR 2.05/2.06 installiert. An diese werden besondere Ansprüche gestellt. Die Sonden müssen Druckstabil bis 16 bar sein, einen langen Schaft besitzen, um mittig in der Rohrströmung zu messen, und den rauen Bedingungen im Rohrschlaufenreaktor gewachsen sein. Aus diesem Grunde wurde sich für die Orbisint CPS11 der Firma E+H entschieden. Weitere Vorteile dieser Memosens-pH-Sonden sind die kontaktlosen korrosionsfreie Anschlüsse, außerdem können Daten zum Sensorzustand, wie Ansprechzeiten, Steilheit, Nullpunkt und

Verschleiß abgerufen werden und so optimale sichere pH-Wert Messergebnisse erzielt werden. Zu beachten ist bei diesen Sensoren eine Einbaulage von mindestens 15° gegenüber der horizontalen einzuhalten sind, da der Elektrolyt im Elektrodenkopf verbleiben muss. Dies war insbesondere bei den engen Platzverhältnissen in dem Container eine Herausforderung.

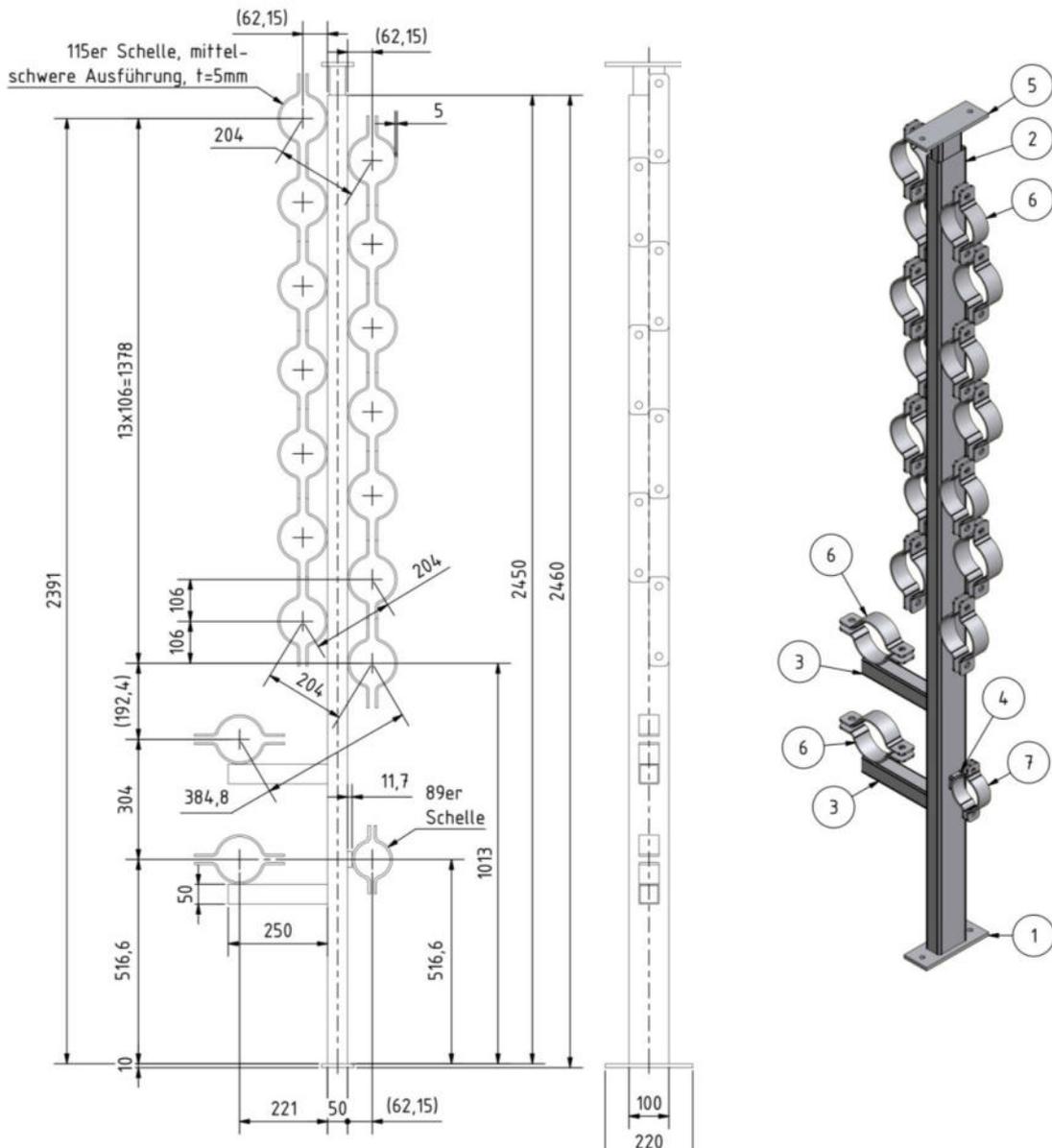


Abbildung 25: Befestigungssystem des Rohrschlaufenreaktors



Abbildung 26: fertigmontierter Rohrschlaufenreaktor vor dem Container

Durch den Betrieb der Rezirkulationspumpe P2.02 wird der Rohrschlaufenreaktor quasi zu einem gerührten Reaktor. Es ist ein Umwälzvolumenstrom vom bis zu 25-fachen des Zulaufvolumenstroms vorgesehen. Der Druck im Rohrschlaufenreaktor wird nach der Rückschlagklappe sowie vor und nach der Umwälzpumpe überwacht und die Pumpe P2.02 wird beim Überschreiten von 14 bar abgeschaltet. Die Rezirkulationspumpe P2.02 Fabrikat Vogelsang Typ VX136Q ist als Drehkolbenpumpe ausgeführt und kann bei einer Leistung von 9,2 kW einen Volumenstrom von bis 50 m³/h fördern. Die Leistung der Rezirkulationspumpe wird durch die Drehzahl der Pumpe eingestellt und kann abhängig vom pH-Wert variiert werden.

Der behandelte Faulschlamm wird über das Druckhalteventil Fabrikat End Automation Typ Überstromventil UV der nächsten Prozessstufe der Expansion zugeführt. Bei diesen Ventilen handelt es sich um Federkraft geregelte Schrägsitzventile. Die Druckhaltventile V2.25 bzw. V2.26 sind redundant ausgeführt und parallel zueinander eingebaut, sodass zur Einstellungsänderung oder zum Austausch eines der Ventile keine Unterbrechung des Anlagenbetriebes erforderlich ist. Durch Drehen an der Einstellschraube ist ein Erhöhen und ein Erniedrigen des Abblasdrucks möglich. Die Druckhalteventile haben sich im Versuchsbetrieb allerdings nicht bewährt, da es aufgrund von Störstoffen ständig zu zumindest partiellen Verstopfungen kam und so weder ein akzeptables Regelverhalten im Hinblick auf einen konstanten Druck im Rohrschlaufenreaktor erreicht werden konnte noch eine akzeptable Standzeit zwischen erforderlichen Reinigungen. Die Entspannungsventile wurden durch ein pneumatisch angesteuertes Schlauchquetschventil Fabrikat WP ARO Typ PVE25A SBRT bzw. durch ein Membran-Überstromventil Sera 621.10-DN25-PN10 ersetzt. Mit den Schlauchquetschventilen sowie dem Membranüberströmventil und einem der Pilotanlage vorgeschalteten Zerkleinerer bzw. Homogenisator in der Form eines

Mazerators konnte ein zufriedenstellendes Betriebsverhalten im Hinblick auf einen weitgehend konstanten Druck im Rohrschlaufenreaktor erreicht werden.

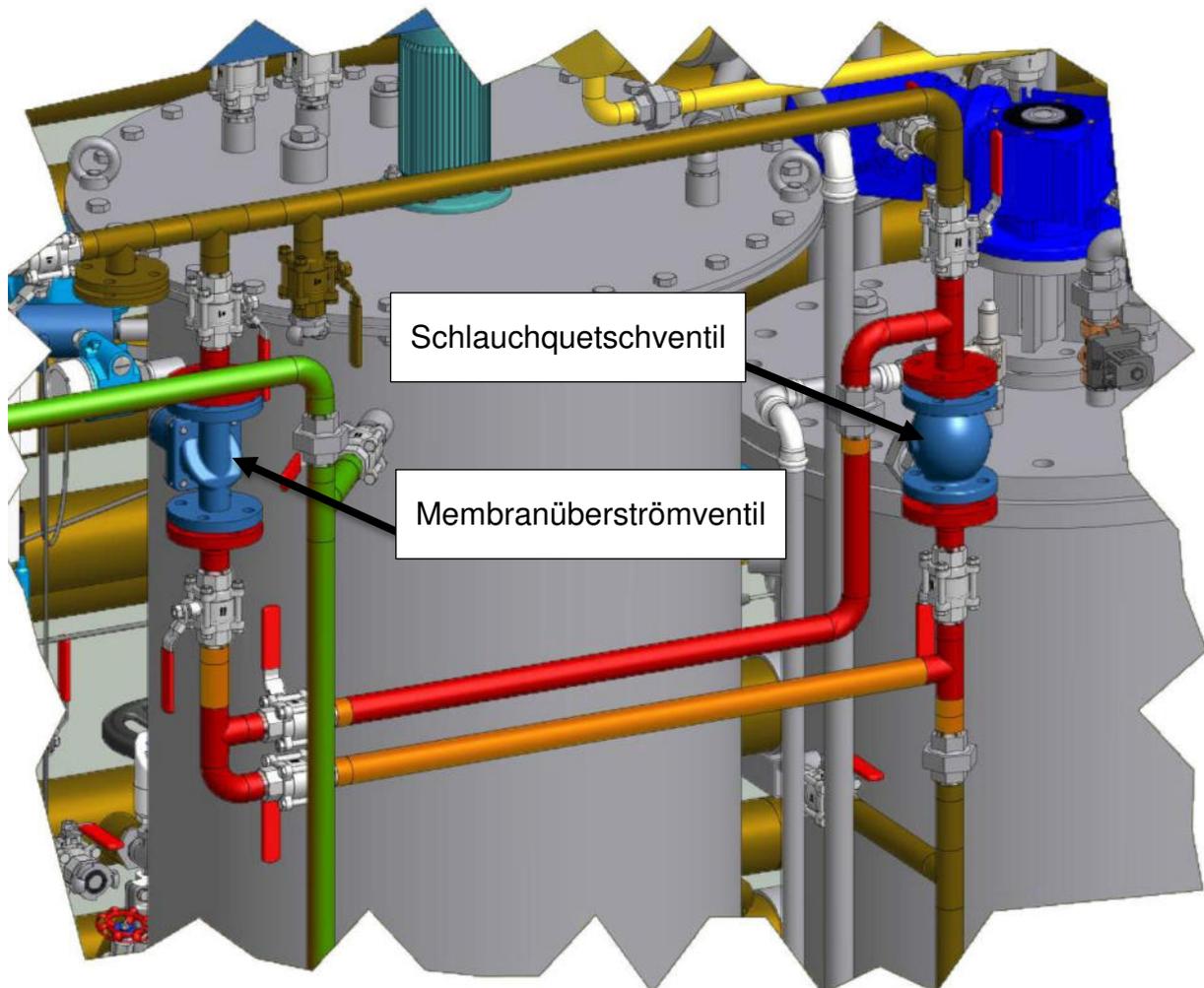


Abbildung 27: Umbau der Überströmventile

4.3.3.2 Kohlenstoffdioxidlagerung und -dosierung

In Abbildung 28 ist der Ausschnitt der CO₂ Lagerung und Dosierung des R&I-Schemas (Rohrleitungs- und Instrumentierungsschemas) des Extraktionsbereichs – Baugruppe BG 02 dargestellt.

Der Kohlenstoffdioxid-speicher ist als Miet-tank angedacht und wird außerhalb des Reaktors aufgestellt und von einer Fachfirma einschließlich der Peripherie, wie z.B. Verdampfer beigestellt. Das Volumen des Kohlenstoffdioxid-speichers wird auf den Bedarf der geplanten Versuche unter Berücksichtigung der Kosten abgestimmt. Die Kohlenstoffdioxid-dosierung ist sowohl in gasförmiger Form sowie in flüssiger Form möglich. In dem Tank liegt Kohlenstoffdioxid bei 16 bar und – 25,6 °C flüssig und gasförmig im Gleichgewicht vor, d.h., das Kohlenstoffdioxid im Tank liegt als siedende Flüssigkeit bzw. kondensierender Dampf vor. Das Kohlenstoffdioxid im Tank wird mit

einem Kälteaggregat ständig auf $-25,6^{\circ}\text{C}$ gekühlt und liegt dann bei 16 bar siedend flüssig vor.

Die CO_2 -Dosierung in den Faulschlamm ist als Gas und in flüssiger Form vorgesehen.

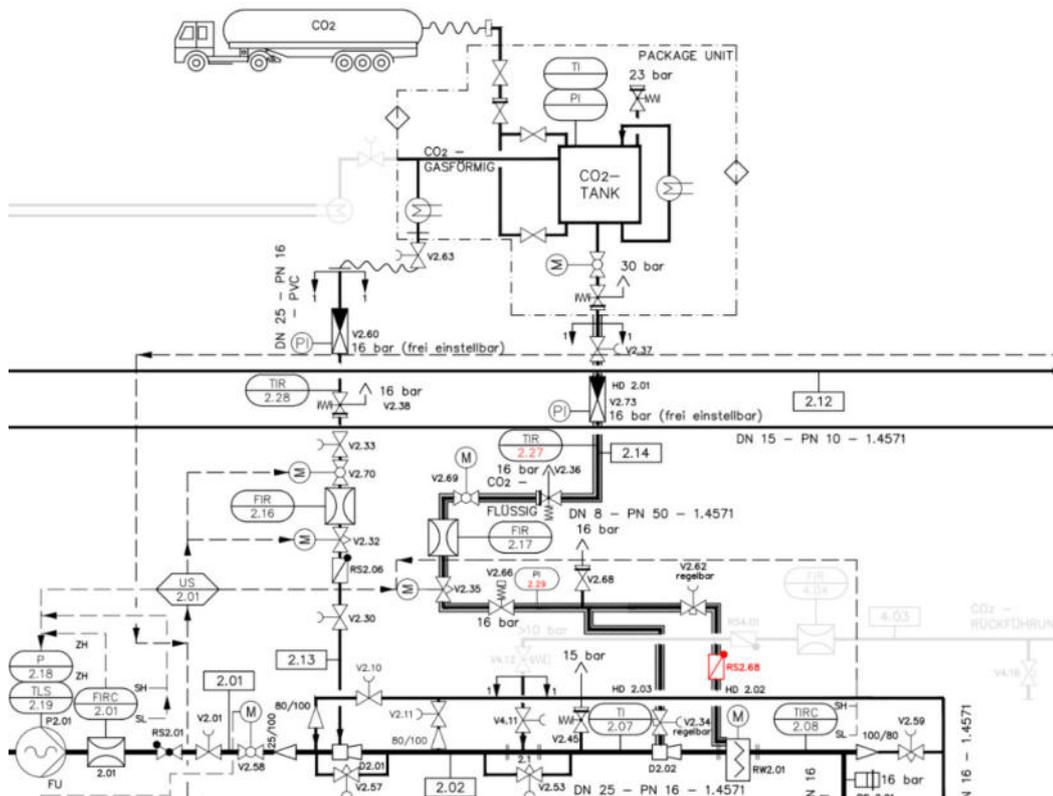


Abbildung 28: Dosierung von flüssigem und gasförmigem Kohlenstoffdioxid

Für die Dosierung gasförmigen CO_2 in den Faulschlamm ist ein zum Kohlenstoffdioxidspeicher gehörender elektrisch beheizter Verdampfer vorgesehen, in dem das im oberen Bereich des Mietttanks entnommene CO_2 , sofern erforderlich, verdampft und auf nahezu Umgebungstemperatur erwärmt wird. Im Container wird der Druck mit einem Druckminderer Fabrikat Goetze Armaturen Typ 484 auf einen frei einstellbaren Druck unterhalb von 16 bar gedrosselt. Eine ideale Drosselung wäre isotherm. Eine reale Drosselung ist mit einer gewissen Abkühlung des gasförmigen CO_2 verbunden, die aber kaum von Einfluss auf den Prozess sein dürfte. Der aktuelle Druck ist am zum Druckminderer gehörenden Manometer abzulesen. Hinter dem Manometer befinden sich eine Rückschlagsicherung und eine Überdrucksicherung V2.38 Fabrikat End Armaturen Typ SV320014. Die Abblasleitung des Überdruckventils wird durch den Fußboden nach außen abgeleitet. Anschließend folgt der motorisch angesteuerte Kugelhahn V2.32, der die Kohlenstoffdioxidzufuhr sicher schließt. Die Dosierung des gasförmigen Kohlenstoffdioxids wird mit einem Ventil der Firma Bronkhorst, das mit einem Durchflussmesser kombiniert ist, entsprechend einer Sollwertvorgabe geregelt.

Die Dosierstelle wurden als einfache dünne Rohrleitung ausgeführt, die am Ende zu einer Düse D2.01 gequetscht wurde und etwas in die Strömung hineinragt. An der Dosierstelle wurde die Rohrleitung verjüngt, um die Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen und so die Einmischung des Kohlenstoffdioxids in den Faulschlamm zu

optimieren. Um gegebenenfalls auftretende Druckstöße im Bereich dieser und auch der anderen CO₂-Dosierstellen abzumindern, wurden um die Dosierstellen Bypass-Leitungen installiert. Ein Bypass aus Rohren war nicht möglich, da es zu Spannungen zwischen den parallel verlaufenden Rohrleitungen bei Temperaturschwankungen kommen könnte. Aus diesem Grund wurden in den Bypass-Leitungen Metallgewebe verbaut, die diese Dehnungseffekte ausgleichen können. Das Metallgewebe muss den hohen Drucken von 16 bar und standhalten. Die Umsetzung dieser Bypass-Leitungen ist in Abbildung 29 beispielhaft dargestellt.

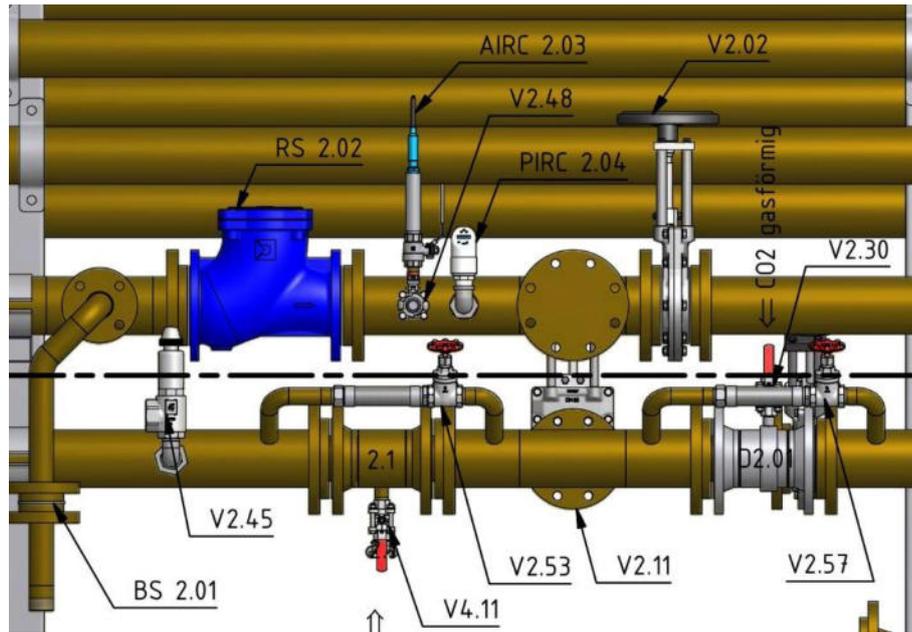


Abbildung 29: Detailansicht Rohrschlaufenreaktor Kohlenstoffdioxid dosierung mit Bypass sowie dazugehörige Messeinrichtungen

Tabelle 3: Auszug aus der Legende Rohrschlaufenreaktor, Kohlenstoffdioxid dosierung mit Bypass sowie dazugehörige Messeinrichtungen

Bezeichnung	Bauteil
BS2.01	Berstscheibe
RS2.02	Rückschlagklappe
V2.45	Überdruckventil
V2.53	Absperrhahn
V4.11	Kugelhahn Recyclinggasdosierung
D2.01	Gasdüse
V2.30	Kugelhahn Kohlenstoffdioxid gasförmig
2.1	Platzhalter Düse
AIRC2.03	pH-Messsonde Orbisint CPS11 E+H
PIRC2.04	Druckmessung Ceraphant /E+H
V2.02	Absperrschieber Rohrschlaufenreaktor

Bei der Dosierung von gasförmigem CO₂ befindet sich zwischen dem Durchflussmesser bzw. der Durchflussregelung und der Düse ein Rückschlagventil, welches ein Zurückströmen von Faulschlamm in die Gasstrecke verhindern soll. Beim Probebetrieb mit Wasser kam es zu Problemen bei der gasförmigen Kohlenstoffdioxid dosierung, aufgrund von kleinen Mengen Wasser, die in die Gasleitung drückten und Kondensat, welches durch die Temperaturschwankungen entstand. Aus diesem Grund wurde ein Umbau vorgenommen. Dieser ist in Abbildung 31 dargestellt. Der Düseneingang wurde von unten nach oben gedreht eingebaut und die Kohlendioxid-Leitung wurde ein Stück nach oben geführt und anschließend nach unten geführt. Durch diesen Hochpunkt wurde erreicht, dass der in geringen Mengen zurückströmende Faulschlamm und in geringen Mengen anfallendes Kondensat sich in der nun zunächst steigenden Leitung sammeln und bei erneuter Beaufschlagung mit CO₂ wieder in den Faulschlamm zurückgedrückt werden. Die steigende Leitung fungiert somit als Sperrstrecke, in der sich ein Gaspolster aufbaut. Am Hochpunkt wurde das Rückschlagventil in horizontaler Lage eingebaut, dass nunmehr vor Verschmutzung durch Faulschlamm oder Kondensat geschützt ist. Zur Sicherheit wurde zwischen der Mess- und Regelstelle von Bronkhorst und dem Rückschlagventil auch noch ein Tiefpunkt mit Entwässerungshahn eingebaut. Durch diese Konstruktion können Kondensat oder kleinere Mengen zurückgedrücktes Wasser bzw. Faulschlamm aus der Dosierstrecke entfernt werden, ohne dass die Durchflussmessung oder das Regelventil für das Kohlenstoffdioxid beschädigt werden.

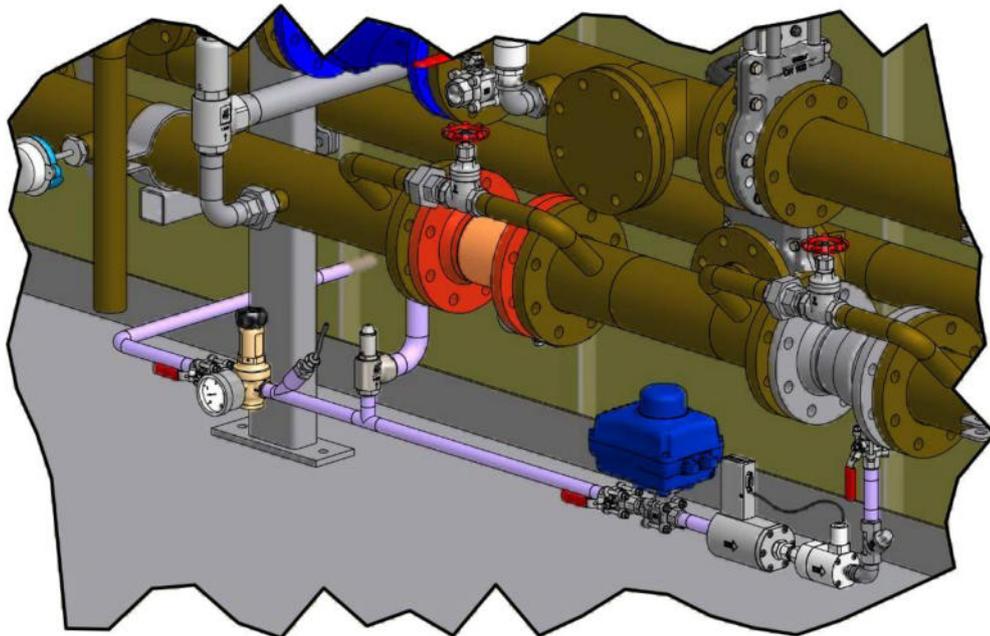


Abbildung 30: Ursprüngliche Konstruktion der Kohlenstoffdioxid dosierung

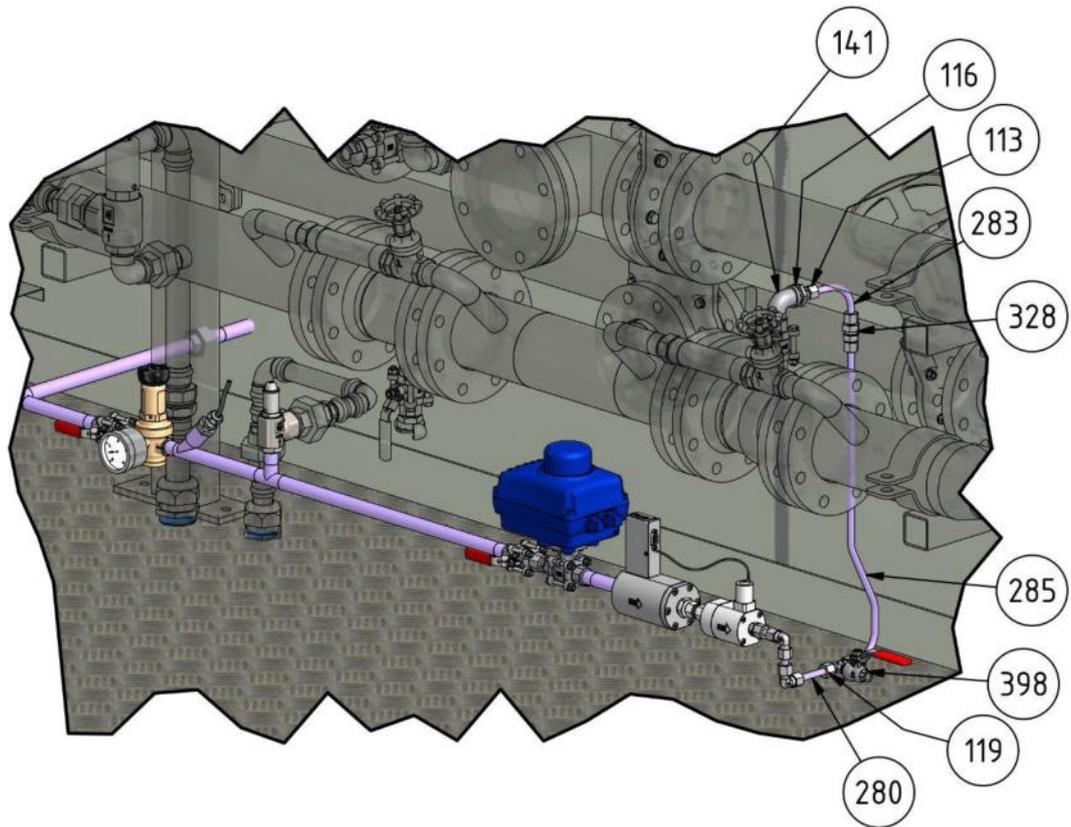


Abbildung 31: überarbeitete Kohlenstoffdioxiddosierung

Eine weitere Dosierstelle für zurückgeführtes und verdichtetes, gasförmiges Kohlenstoffdioxid ist zwischen den Dosierstellen für gasförmiges und „flüssiges“ Kohlenstoffdioxid vorgesehen, aber nicht angeschlossen.

Als Erweiterung der bisherigen Pilotanlage soll in der Pilotanlage auch eine Dosierung von flüssigem Kohlenstoffdioxid vorgesehen werden. Der Auftraggeber verspricht sich von einer Dosierung von flüssigem Kohlenstoffdioxid unter anderem eine bessere Einmischung des Kohlenstoffdioxids in den Faulschlamm, eine Kühlung des Faulschlammes, was eine bessere Kohlenstoffdioxidlöslichkeit zur Folge hat, und einen durch die spontane Verdampfung intensiveren Stoffübergang des Kohlenstoffdioxids in den Faulschlamm. Zudem kann dann auf den Verdampfer für das flüssige Kohlenstoffdioxid am Kohlenstoffdioxid-Lagertank verzichtet werden.

Die Herausforderung der Dosierung von flüssigem Kohlenstoffdioxid liegt vor allem darin, dass das flüssige Kohlenstoffdioxid bei der partiellen Entspannung auf einen etwas über dem im Rohrschlaufenreaktor herrschenden Druck teilweise verdampft und sich dabei auf eine weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegende Temperatur abkühlt. Für den Bereich der Entspannungsarmaturen und der anschließenden Rohrleitungen wurde eine ausreichende Wärmeisolierung vorgesehen, um einem äußerlichen Vereisen sowie einer weiteren Verdampfung des noch flüssigen Kohlenstoffdioxids entgegen zu wirken.

Für die Dosierung von flüssigem CO₂ wurde eine gut wärmeisolierte Leitung für das flüssige CO₂ vom unteren Bereich des Mietttanks zum Container vorgesehen, so dass nur von einem geringen Wärmeeintrag auszugehen ist. Im Container ist dann zunächst ein weiteres Überdruckventil verbaut worden. Anschließend erfolgt eine Massenstrommessung in einem Coriolis-Massenstrom-Messgerät bevor das überwiegend flüssige CO₂ auf den Betriebsdruck des Rohrschlaufenreaktors gedrosselt wird (V2.73 Fabrikat Goetze Armaturen Typ 484). Bei der Drosselung des flüssigen CO₂ erfolgt eine partielle Verdampfung und gleichzeitig eine Abkühlung auf die dem Druck entsprechende Siedetemperatur des flüssigen CO₂, das nunmehr flüssig siedend und teilweise gasförmig vorliegt. Bei einem Druck von 16 bar liegt die Siede-/Tautemperatur von CO₂ bei – 26,5 °C, bei 10 bar bei - 40 °C und bei 5,5 bar bei – 55 °C. Bei Drücken $p < 5,5$ bar bildet sich Trockeneisschnee, der zu Verstopfungen der Dosierleitungen führt, so dass eine Drosselung auf Drücke unter 5,5 bar zu vermeiden ist. Einer Vereisung der Drosselarmatur und der Rohrleitungen bei Temperaturen von – 26,5 °C oder niedrigeren Temperaturen wird durch eine entsprechende Wärmeisolierung zu vermieden.

Durch die weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegenden Temperatur und dem Wärmebedarf für die Verdampfung des noch flüssig vorliegenden Kohlenstoffdioxids kann es an der Dosierstelle zu einem Gefrieren des Faulschlamm kommen. Die angesichts des Mischungsverhältnisses ausreichende im Faulschlamm vorliegende Wärmekapazität führt, wie bereits oben berechnet, im Mittel zwar nur zu einer geringen Abkühlung des Faulschlamm und ein Einfrieren des Kohlenstoffdioxids in der Dosierleitung ist auch nicht zu befürchten, aber bei einem Eindringen von Faulschlamm oder Kondensat in die Düsen kann es aber aufgrund eines Gefrierens des Faulschlamm oder des Kondensats in den Düsen zu Verstopfungen kommen. Um dieser nicht auszuschließenden Problematik entgegen zu wirken, wurde neben der Einmischung mit einer Düse(D2.02) auch eine Dosierung in den dynamischen Mischer RW2.01 vorgesehen, bei der eine schnelle und intensive Vermischung des kalten, teilweise noch flüssigen Kohlenstoffdioxids mit dem warmen Faulschlamm erfolgt.

Der aktuelle Druck in der Dosierleitung ist am zum Druckminderer gehörenden Manometer abzulesen. Hinter dem Manometer befindet sich wie bei der Dosierstrecke für die gasförmige Kohlenstoffdioxid dosierung eine Überdrucksicherung (V2.36 Fabrikat End Armaturen Typ SV320014), deren Ablass, wie auch bei allen anderen Überdrucksicherungen, durch den Fußboden nach außen abgeleitet wird. Auf das Überdruckventil folgt ein motorisch angesteuerter Kugelhahn Fabrikat End Armaturen Typ ZA-NE, der die Dosierstrecke schließt und öffnet.

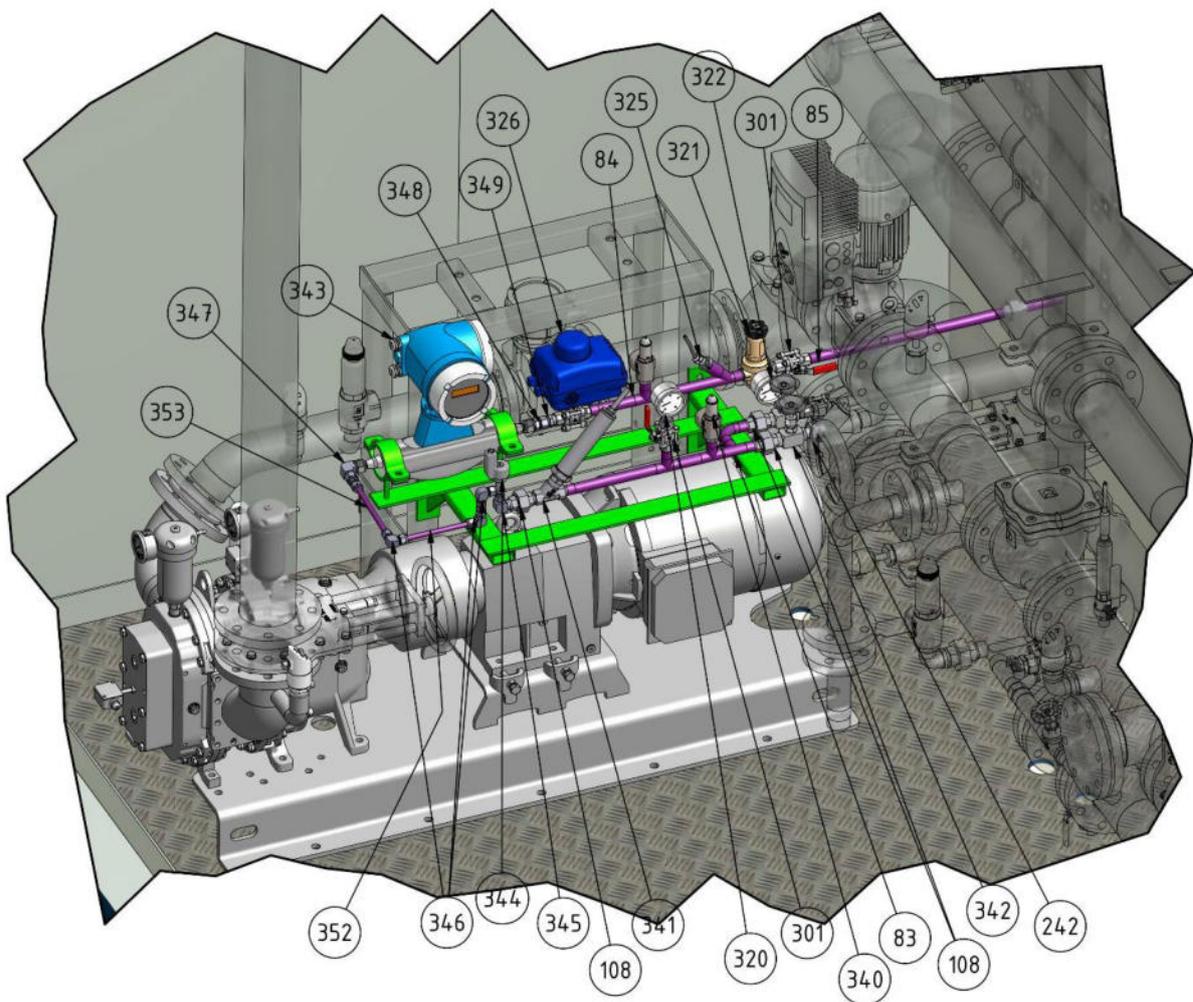


Abbildung 32: Dosierungseinrichtung für flüssiges Kohlenstoffdioxid mit dynamischem Mischer

Der Durchfluss ist bei flüssigen Gasen, die keine Leitfähigkeit aufweisen, nur schwer zu erfassen. Der Durchfluss an flüssigem Kohlenstoffdioxid wird über das Coriolis-Massendurchfluss-Messsystem FIR2.17 Fabrikat Endres und Hauser Typ Proline Promass 80 erfasst. Das Messprinzip des Proline Promass 80 basiert auf der Corioliskraft. Die Corioliskraft ist eine Trägheitskraft, die auf Körper in einem rotierenden Bezugssystem wirkt. Diese Körper bewegen sich relativ zum rotierenden Bezugssystem und werden quer zu ihrer Bewegungsrichtung ablenkt. Hierbei wird der Körper in Rotationsrichtung durch die Corioliskraft beschleunigt und abgelenkt.

Der auf die Durchflussmessung folgende motorisch angesteuerte Kugelhahn V2.35 ist analog zu V2.69 ausgeführt. Der Kugelhahn wird zum einen über die Steuerung der Kohlenstoffdioxidzufuhr geöffnet und geschlossen. Als Relikt der ursprünglichen Vorplanung wurde auch noch eine Verriegelung der CO₂ Dosierungen durch die Temperaturmessstelle TIRC2.08 vorgesehen, die hinter dem dynamischen Mischer angeordnet ist und durch die ein Einfrieren des Schlamms verhindert werden sollte.

Zur Optimierung der Einmischung des Kohlenstoffdioxids ist anschließend ein dynamischer Mischer Fabrikat MPT Typ Dynamischer Inline Mischer DIM 100 vorgesehen, der einem schnell-laufenden Minirührwerk entspricht und in den, flüssiges Kohlenstoffdioxid direkt eingeleitet werden kann.

Die Dosierung des Kohlenstoffdioxids wird nach dem pH-Wert im Rohrschleifenreaktor geregelt. Es wird ein Vorgabewert für den pH-Wert im Rohrschleifenreaktor vorgegeben. Als Regelgröße gilt hier der jeweils höchste gemessene pH-Wert der Messungen AIRC2.03 und AIRC2.06. Die pH-Wert-Messung AIR2.05 dient nur der Überwachung und besitzt keine Steuer- oder Regelaufgaben.

Wenn der pH-Wert im Reaktor vom Sollwert abweicht, wird je nach Größe der Abweichung die Dosierung des Kohlenstoffdioxids gesteigert oder reduziert. Die Öffnung der Regelventile erfolgt abhängig von der Regelcharakteristik in acht Schritten. Die Schritte sind im Prozessleitsystem frei wählbar und können beispielsweise zu 0%, 2%, 5%, 8%, 10%, 15%, 25%, 50%, 100% Öffnung definiert werden. Nach einer Erhöhung bzw. einer Reduzierung der Ventilöffnung wird eine Wartezeit aktiviert, in der die Ventilöffnung ihren momentanen Zustand beibehält. Die Wartezeit ist frei wählbar und kann zum Beispiel eine Minute betragen. Durch die Wartezeit wird eine Flatterschaltung der Dosierventile verhindert.

In Fließrichtung am Ende des Rohrschlaufenreaktors sind der Abzweig zur Rezirkulation und die einstellbaren Druckhalteventile installiert, die schon obenstehend im Detail beschrieben wurden. Der von der durchflussgeregelter Pumpe P2.01 Faulschlammvolumenstrom wird durch die Druckhalteventile gedrosselt und in den Entspannungsbehälter der Baugruppe Entspannungsbereich BG03/BG04 eingeleitet.

4.3.4 Expansionsbereich – BG 03 und BG 04

Der im Rohrschlaufenreaktor der Baugruppe BG 02 unter erhöhtem Druck mit Kohlenstoffdioxid versetzte Faulschlamm wird in den Druckhalteventilen am Ende des Rohrschlaufenreaktors im Druck gedrosselt und in einen Expansionsbehälter eingeleitet. Der Druck nach den Druckhalteventilen wird dem Faulschlamm durch den Druck im Entspannungsbehälter aufgeprägt. Durch die Reduzierung des Drucks im Faulschlamm in den Druckhalteventilen ist von einem Ausgasen von CO_2 ausgehen. Das ausgasende CO_2 wird mit dem Faulschlamm in den Entspannungsbehälter eingeleitet, wird vom Faulschlamm abgetrennt und wird durch ein Druckhalteventil in einer Leitung durch den Fußboden des Containers nach außen abgeleitet. Es ist angedacht, zu einem späteren Zeitpunkt das abgeleitete CO_2 zu verdichten und erneut im Rohrschlaufenreaktor in den Faulschlamm einzumischen. Abbildung 33 zeigt den schematischen Aufbau des Entspannungsbereichs bestehend aus den Baugruppen BG 03 und BG 04.

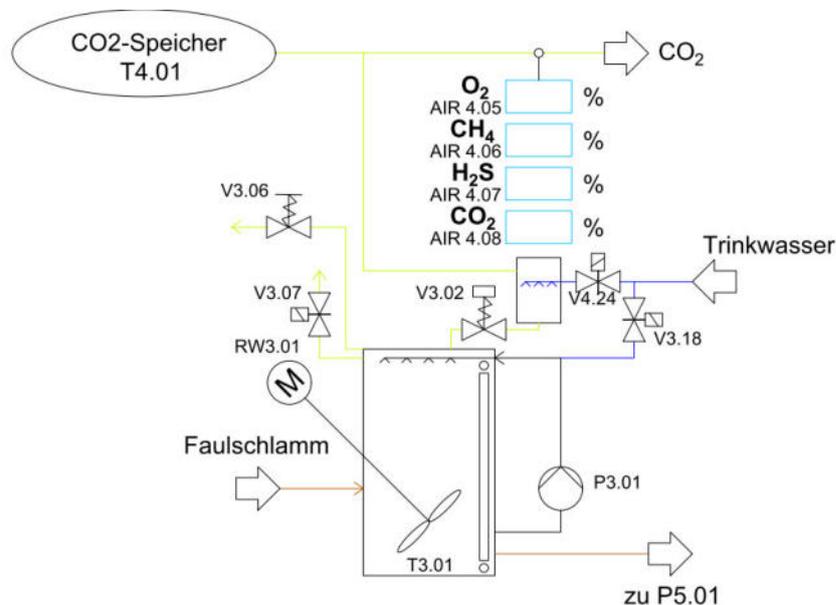


Abbildung 33: Vereinfachtes Verfahrensschema BG 03 und BG 04

Ähnlich wie beim Öffnen einer Sprudelflasche wurde mit einem spontanen Ausgasen von Kohlenstoffdioxid und einer Schaumbildung gerechnet. In dem Expansionsbehälter sollte das Ausgasen von Kohlenstoffdioxid auf das unvermeidbare Ausmaß begrenzt und sich bildender Schaum weitestgehend zerstört werden. In dem Expansionsgefäß ist allerdings das Ausgasen von Kohlenstoffdioxid soweit zuzulassen, dass sichergestellt wird, dass die Prozesse in den nachfolgenden Verfahrensstufen nicht durch ein Ausgasen von Kohlenstoffdioxid beeinträchtigt werden. Insbesondere ist sicherzustellen, dass die Fest-Flüssigtrennung in der dem Expansionsgefäß direkt nachgeschalteten Zentrifuge nicht durch ein Ausgasen von Kohlenstoffdioxid behindert wird.

Das Verhalten von unter erhöhtem Druck mit Kohlenstoffdioxid versetztem Faulschlamm bei der Entspannung wurde deshalb in Versuchen im Hinblick auf die

Änderung des pH-Werts und die Schaumbildung untersucht. Zu Vergleichszwecken wurde das entsprechende Verhalten auch für destilliertes Wasser und Trinkwasser untersucht. In einem Druckreaktor wurde Faulschlamm, destilliertes Wasser und Trinkwasser bei einem Druck 3,5 und 5 bar mit Kohlenstoffdioxid ca. 60 min durchströmt, so dass von einem weitgehend erreichten Gleichgewichtszustand ausgegangen werden konnte. In dem Reaktor wurde der pH-Wert gemessen. Der Reaktor ist in Abbildung 34 schematisch und photographisch dargestellt.

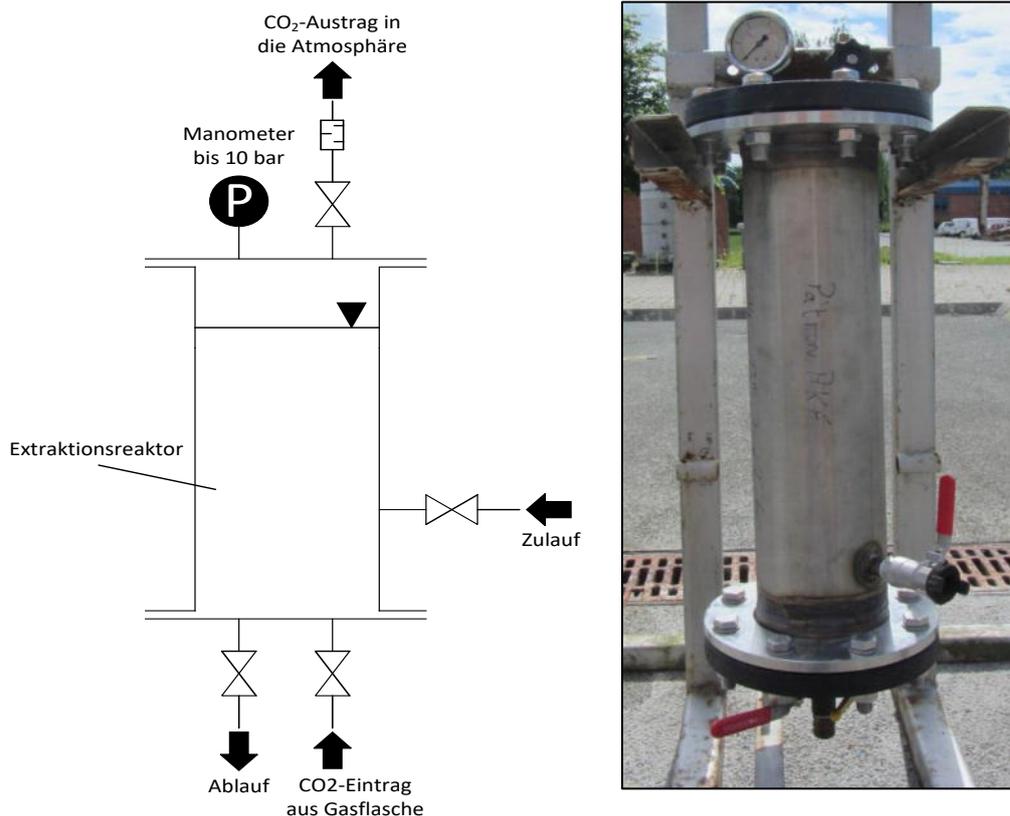


Abbildung 34: schematischer Aufbau des Versuchsstands LV 02 (links) und Foto des Extraktionsreaktors (rechts) (Genthe, 2016)

Anschließend wurde die mit Kohlenstoffdioxid gesättigte Lösung durch vorsichtiges Öffnen eines Ablaufventils auf Umgebungsdruck entspannt und in einem Gefäß aufgefangen. Die entspannten Proben wurden gerührt und es wurde der pH-Wert gemessen. Beim Faulschlamm wurde durch die Einmischung von Kohlenstoffdioxid unter Druck nur eine geringe Abnahme des pH-Werts erreicht und bei der Entspannung waren nur eine kaum messbare Erhöhung des pH-Werts, nur eine geringe Ausgasung von Kohlenstoffdioxid und nur eine geringere Schaumbildung zu beobachten. Beim Trinkwasser und erst recht beim destillierten Wasser war bei der Einmischung von Kohlenstoffdioxid unter Druck eine deutliche Abnahme des pH-Werts festzustellen und bei der Entspannung waren eine deutliche Erhöhung des pH-Werts und eine im Vergleich zum Faulschlamm deutlich stärkere Ausgasung von Kohlenstoffdioxid zu

beobachten aber aufgrund der Bildung grober Blasen auch nur eine geringe Schaumbildung (Cohrt, 2017). Beim Faulschlamm war die Ausgasung mit Mineralwasser sanft oder classic aus dem Kühlschrank zu vergleichen, wohingegen beim Trinkwasser und erst recht beim destillierten Wasser die Ausgasung mit Mineralwasser spritzig bei Raumtemperatur zu vergleichen ist – hier sprudelt es also ordentlich. Vor dem Hintergrund, dass gerade im Hinblick auf die Schaumbildung Schlämme sehr unterschiedlich reagieren und es im Hinblick auf eine hohe Ausbeute bei der Phosphorrückgewinnung erforderlich sein könnte, gegebenenfalls durch Verdünnen des Faulschlammes niedrigere pH-Werte zu erreichen, und dann mit einem stärkeren Ausgasen und einer stärkeren Schaumbildung zu rechnen sein könnte, wurde empfohlen alle mit vertretbarem Aufwand zu realisierende Maßnahmen zur Schaumvermeidung und Schaumbekämpfung auch zu realisieren.

In Abbildung 35 ist die Ausführungsrohrleitungs- und Instrumentierungsschema dargestellt. Die Hauptkomponenten des Expansionsgefäßes, die Schaumfalle sowie die Gasmessstrecke werden nachfolgend erläutert.

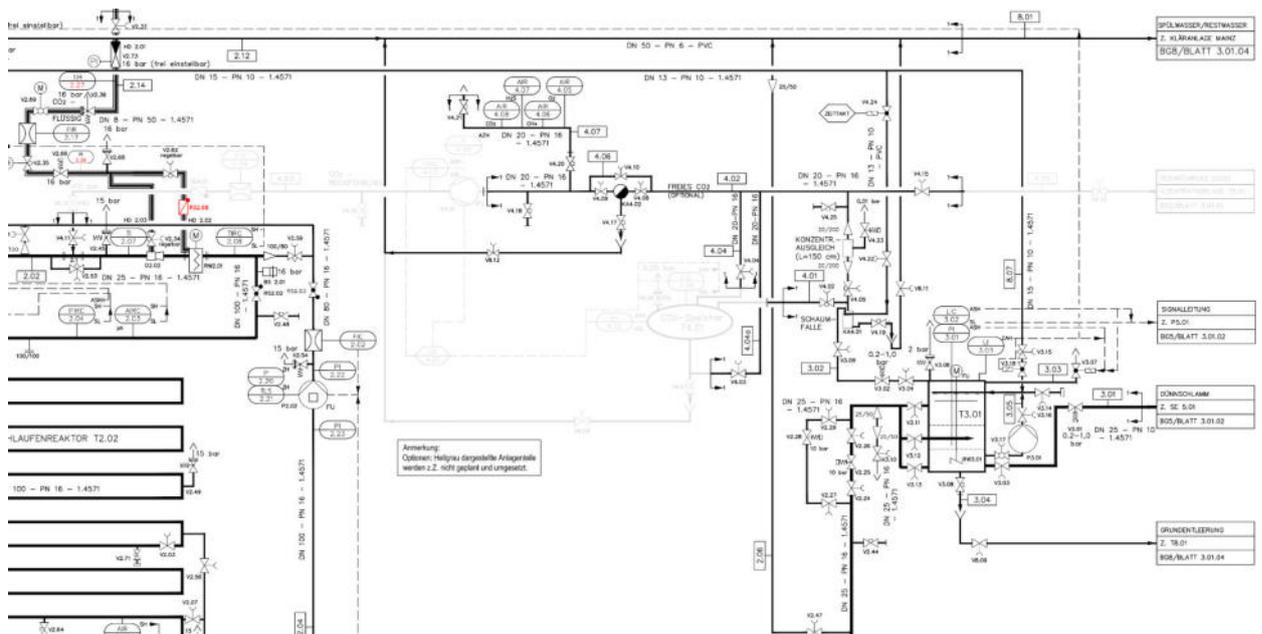


Abbildung 35: Ausführungsrohrleitungs- und Instrumentierungsschema – BG03 und BG 04

4.3.4.1 Expansionsgefäß – BG 03

Der Behälter T3.01 wurde als Druckbehälter der Kategorie III nach der EU-Richtlinie 2014/68/EU bzw. AD 2000 durch die Firma KKS Apparate Bau gefertigt. Die technische Dokumentation sowie die Konformitätsbescheinigung sind im Anhang enthalten. Der Behälter hat ein Volumen von 560 l und ist für einen Betriebsdruck von 2 bar ausgelegt. Um günstige Bedingungen für eine Ausgasung des Kohlenstoffdioxids zu schaffen, die einerseits so weitgehend ist, dass es in den folgenden Verfahrensstufen nicht zu einer Beeinträchtigung durch eine weitere Ausgasung von Kohlenstoffdioxid kommt, und die andererseits nur so weitgehend ist, dass es nicht zu einer unnötigen Erhöhung des pH-

Werts kommt, die zu einer unnötigen Bildung von schwerlöslichen Phosphaten führt, die erst im Schlaufenreaktor aufgelöst wurden, sollte der Expansionsbehälter T3.01 nur mit ca. 50 l Schlamm gefüllt werden. Dieses Nutzvolumen im Expansionsbehälter T3.01 entspricht bei einer Durchsatzleistung von 2 m³/h einer mittleren rechnerischen hydraulischen Verweildauer von $t_R = 1,5$ min. Der schlanke und hohe Expansionsbehälter T3.01 weist deshalb nur ein geringes Flüssigkeitsvolumen und ein großes Gasraumvolumen (450 l) auf, um stabile Betriebsverhältnisse zu erreichen. Das geringe Flüssigkeitsvolumen und die damit verbundene mittlere rechnerische hydraulische Verweildauer von $t_R = 1,5$ min sollte den Beobachtungen in den Versuchen zu Abtrennung des ausgasenden CO₂ aus dem Faulschlamm entsprechend ausreichen. Das große Gasvolumen sollte ausreichend sein, um gegebenenfalls auftretenden Schaum zu zerstören.

Der mit Kohlenstoffdioxid versetzte und entspannte Faulschlamm kann dem Behälter T3.01 in drei unterschiedlichen Höhen zugeführt werden. Zum einen weit oberhalb des Flüssigkeitsspiegels, dies kann den Vorteil haben, dass eventueller Schaum durch den zugeführten Faulschlamm zerschlagen wird. Die zweite Variante ist das Einleiten oberhalb des Flüssigkeitsspiegels mit geringer Fallhöhe. Die letzte Variante ist das Zuführen des Faulschlammes am Behälterboden. Bei dieser Variante steigt ausgasendes Kohlenstoffdioxid in der Form von Blasen durch den Faulschlamm auf. Bei kleinen Blasen kann dies zu einer Schaumbildung führen, bei großen Blasen kann dies die Schaumbildung begrenzen. Die jeweils optimale Einleitvariante ist in den Versuchen mit der Pilotanlage zu ermitteln.

Leicht oberhalb des zweiten Einlaufs befindet sich ein Lochblech und darunter ein sich mit dem Rührwerk RW3.01 drehendes Wagenrad, bei dem die 6 Speichen als vertikale Bleche ausgeführt sind. Beides soll der Zerstörung von Schaumblasen dienen und ist im Hinblick auf den Aufwand überschaubar. Das Rührwerk RW3.01 ist ein Langsamläufer Fabrikat Turborührwerke Typ SS-2-0,37 mit einer Soll Drehzahl von 91 U/min. Neben dem Wagenrad mit Speichen ist am Ende der Welle noch Rührorgan installiert.

Abbildung 36 zeigt eine Konstruktionszeichnung des Expansionsgefäßes.

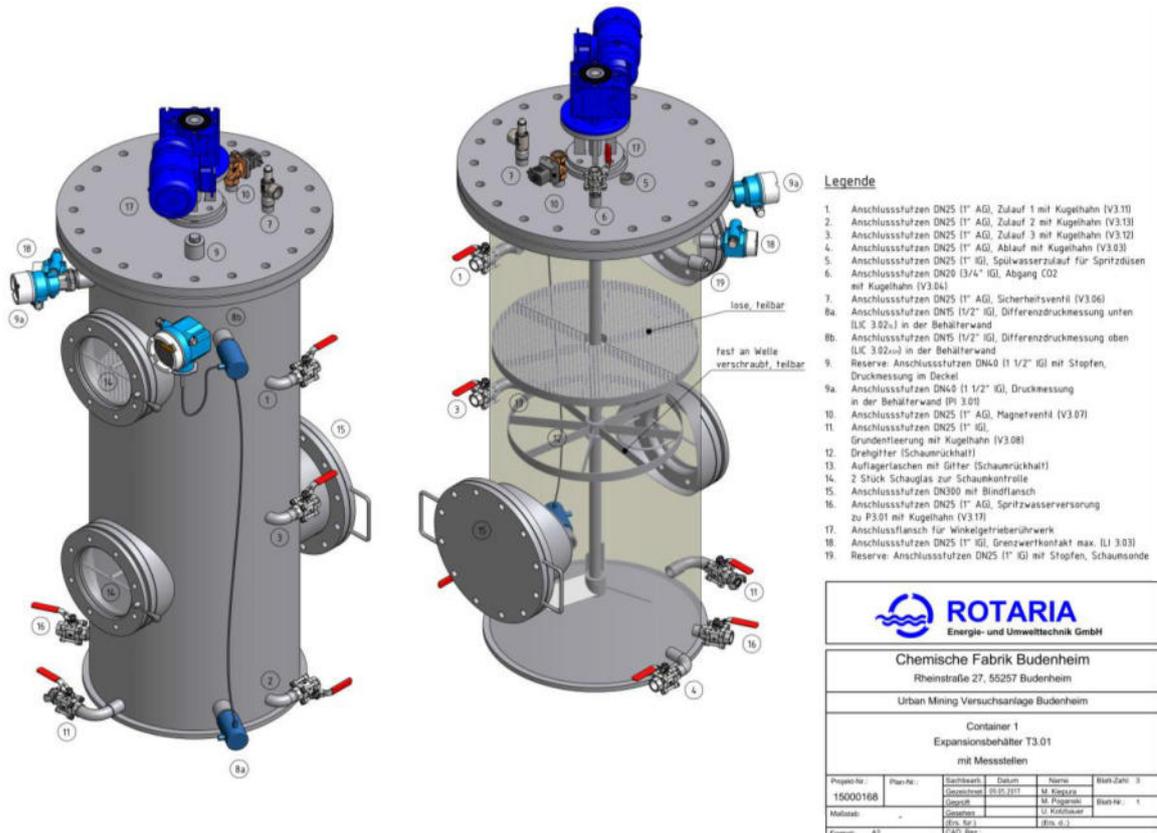


Abbildung 36: Konstruktionszeichnung des Expansionsgefäßes T3.01

Zur Schaumbekämpfung ist noch eine Beregnung der Oberfläche vorgesehen, die mit Faulschlamm, Betriebs- oder Trinkwasser erfolgen kann. Der Vorteil der Verwendung von Faulschlamm liegt darin, dass eine Verdünnung des Schlammes vermieden wird. Es können jedoch Probleme im Hinblick auf eine Verstopfung der Verregnungsdüsen mit den im Faulschlamm enthaltenen Störstoffen auftreten. Die Verwendung von Trinkwasser sollte vermieden werden, da die Zugabe von Wasser die Phosphatkonzentration in der Flüssigphase des Faulschlammes durch Verdünnung reduziert und so den Wirkungsgrad der Fällung beeinträchtigen kann.

Die Pumpe für die Verregnung von Faulschlamm auf die Oberfläche des Entspannungsbehälters Fabrikat KSB Typ Etaprime B hat eine maximale Förderleistung von 7 m³/h und eine maximale Förderhöhe von 6 m. Die Zufuhr von Trinkwasser zur Verregnung im Entspannungsbehälter erfolgt durch Öffnen des Magnetventils V3.14 Fabrikat Landefeld Typ SLP 10 24. Das Magnetventil V3.14 ist stromlos schließend, damit bei einem Stromausfall die Wasserzufuhr in das Expansionsgefäß unterbrochen wird. Die Trinkwasserzufuhr kann auch zum Reinigen des Expansionsgefäßes genutzt werden. Das Magnetventil V3.14 wird dann manuell geöffnet. Für die Untersuchung der Eignung anderer Spülflüssigkeiten, wie z.B. von Filtraten, zur Schaumbekämpfung ist eine Geka-Kupplung vorgesehen, durch die diese Flüssigkeiten durch die Düsen auf die Oberfläche in dem Entspannungsbehälter verregnet werden können.

Zur Absicherung des Betriebsdrucks ist das Sicherheitsventil V3.06 Fabrikat End Armaturen Typ SV3200 mit einem Maximaldruck von 2 bar installiert.

Am Behälter sind zwei Schaugläser vorgesehen, um eine eventuell auftretende Schaumbildung und die Schaumzerstörung beobachten zu können. Die Schaugläser sind mit Reinigungsdüsen und Scheibenwischern ausgestattet, um eine freie Sicht in den Behälter zu ermöglichen. Abbildung 37 zeigt ein Foto eines Schauglases zur Beobachtung einer eventuellen Schaumbildung und -zerstörung.



Abbildung 37: Schauglas mit Spülwasseranschluss und Wischer

Der Füllstand in dem Expansionsbehälter wird mit der Differenzdruckmessung Fabrikat E+H Typ Deltabar FMD71 überwacht. Die Vorteile der Differenzdruckmessung sind die Unabhängigkeit vom Absolutdruck im Behälter sowie die geringe Störanfälligkeit im Hinblick auf Schaum und die Stoffeigenschaften. Die kontinuierliche Füllstandmessung wird durch eine digitale Übervoll-Messung ausgeführt als Vibrationsmessung Fabrikat E+H Typ Liquiphant M FTL50 überwacht. Auf eine Überwachung eines minimalen Füllstands wurde angesichts des als Statortemperaturüberwachung ausgeführten Trockenlaufschutzes der Pumpe P2.01 verzichtet.

Der Druck im Expansionsgefäß kann zwischen 1,2 und 2,0 bar beliebig über das Prozessleitsystem gewählt werden. Der optimale Betriebsdruck einen möglichst niedrigen pH-Wert bei der folgenden Fest-Flüssig-Trennung bei Vermeidung einer Störung der Fest-Flüssig-Trennung durch eine weitere Ausgasung von CO₂ in der Zentrifuge ist in den Versuchen zu ermitteln. Das Überströmventil V3.02 Fabrikat End Automation Typ UV kann manuell auf einen beliebigen Druck zwischen 0,2 und 1 bar eingestellt werden. Durch das Überströmventil V3.02 wird das Gas der Schaumfalle (4) und der Gasmessstrecke mit Gasspeicher (52) zugeführt. Zurzeit wird das abgeleitete CO₂ durch den Containerboden nach außen abgeleitet. Perspektivisch ist eine Kompression und erneute Einmischung des Kohlenstoffdioxids in den Faulschlamm im Rohrschlaufenreaktor angedacht. Der Druck im Entspannungsbehälter wird mit der Druckmessung Fabrikat E+H Cerabar M überwacht und bei Überschreiten des ausgewählten Drucks wird das Ventil V3.07 des Entspannungsbehälters geöffnet und über dieses das Kohlenstoffdioxid über den Containerboden nach außen abgeführt. Zusätzlich ist noch das Überdruckventil V3.06 vorgesehen, um ein Auftreten eines zu hohen Drucks im Entspannungsbehälter sicher ausschließen zu können. Durch das

Überdruckventil austretendes CO₂ wird durch den Containerboden nach außen abgeführt.

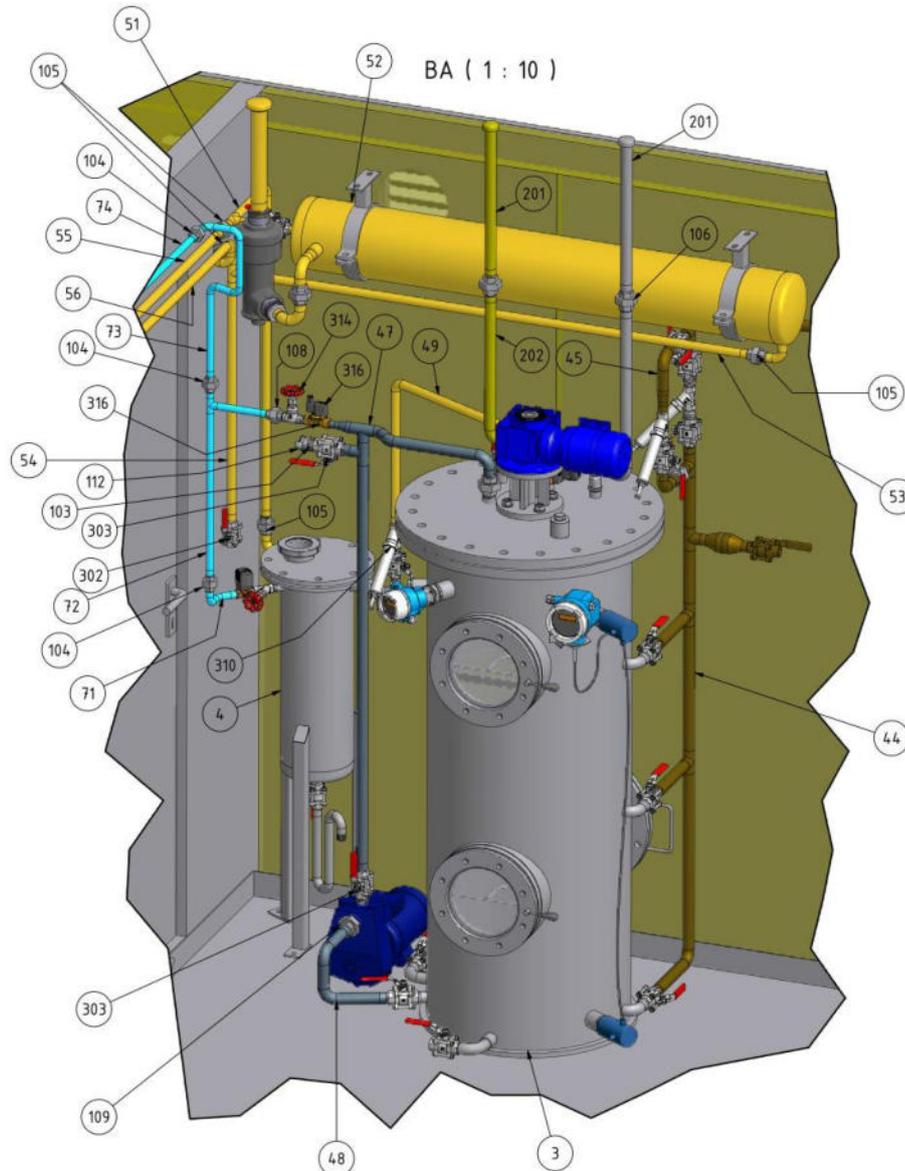


Abbildung 38: T3.01 mit Anbauteilen sowie Schaumfalle T3.02 und Konzentrationsausgleichbehälter

Der pH-Wert wird durch eine pH-Wert-Messung in der Ablaufleitung des Entspannungsgefäßes zur Pumpe zur Feststoffabtrennung gemessen. Einem zu starken Absinken des pH-Werts im Expansionsgefäß kann durch die manuelle Einstellung der Rührerdrehzahl und des Betriebsdrucks im Expansionsgefäß T3.01 entgegengewirkt werden.

4.3.4.2 Schaumfalle und Gasmessstrecke – BG 04

Das ausgasende Kohlenstoffdioxid kann über drei Wege aus dem Expansionsgefäß T3.01 abgeleitet werden:

- Ableitung des CO₂'s über das Druckhalteventil V3.02 und die Schaumfalle zur Gasmessung und / oder zum geplanten CO₂-Speicher, aus dem perspektivisch

eine Rückgewinnung durch Verdichtung und Rückführung in den Rohrschlaufenreaktor angedacht ist.

- Ableitung des CO₂'s über das Magnetventil V3.07 in die Atmosphäre (Auslass über den Boden) als Notbetrieb für den Fall von Wartungen oder Störungen im Bereich des geplanten Speichers mit anschließender Verdichtung und Rückführung.
- Ableitung des CO₂'s über das Überdruckventil V3.06 in die Atmosphäre (Auslass über den Boden) als Überdruckentlastung für den Fall eines Versagens der Vorrichtungen für die geregelte Ableitung des CO₂'s.

In den beiden letzten Fällen erfolgt ein einfaches Ableiten durch den Containerboden. Im ersten Fall wird das Gas über die Schaumfalle der Gasmesstrecke und der perspektivischen Rückgewinnung des Kohlenstoffdioxids zugeführt.

Die Schaumfalle ist in Abbildung 39 und Abbildung 40 dargestellt. Das Gas strömt durch die Öffnung 7 ein, unterströmt eine in den Behälter bis etwa zum untern Drittel eingelassene Trennwand und strömt auf der anderen Seite der Trennwand wieder upwards. Durch diese Strömungsführung mit einer 180 ° Umlenkung werden die Schaumblasen durch Platzen zerstört. Sollte dies nicht reichen, ist zusätzlich eine Beregnung des Schaums mit Trinkwasser vorgesehen. Der niedergeschlagene Schaum wird zusammen mit dem zugeführten Wasser durch einen am Behälterboden installierten Siphon abgeleitet. Der Abzug kann manuell in einen Eimer erfolgen oder mit einer GK-Kupplung durch einen Schlauch der Kläranlage zugeführt werden.

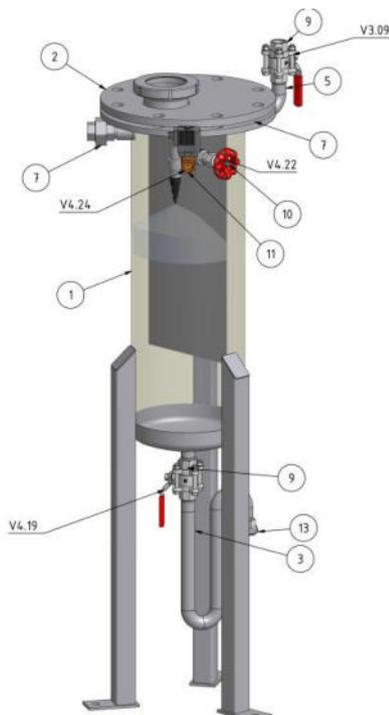


Abbildung 39: Konstruktion der Schaumfalle

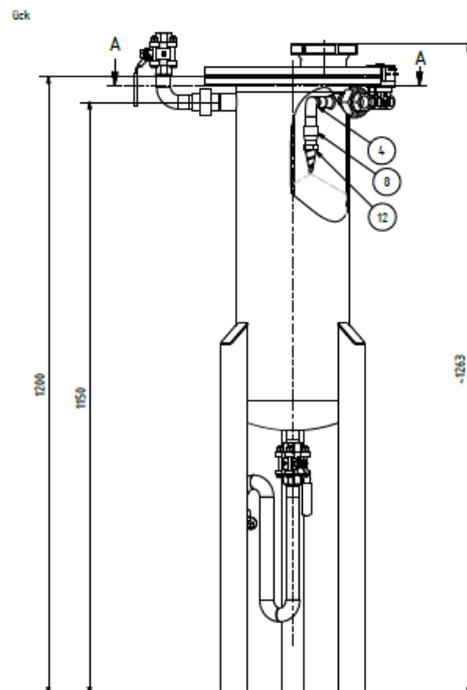


Abbildung 40: Konstruktionszeichnung der Schaumfalle

Die Schaumfalle ist mit dem Überdruckventil V4.23 auf einen maximalen Druck von 0,01 bar bzw. 10 cm Wassersäule abgesichert. Der Siphon besitzt eine überstaute Wasserhöhe von 15 cm, so dass ausgeschlossen werden kann, dass Kohlenstoffdioxid unkontrolliert durch den Siphon entweicht.

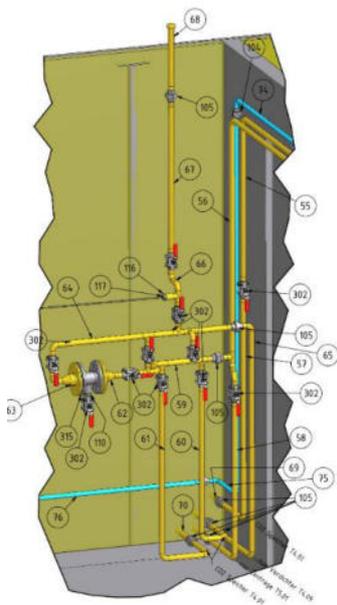


Abbildung 41: Gasstrecke mit Tropfenabscheider

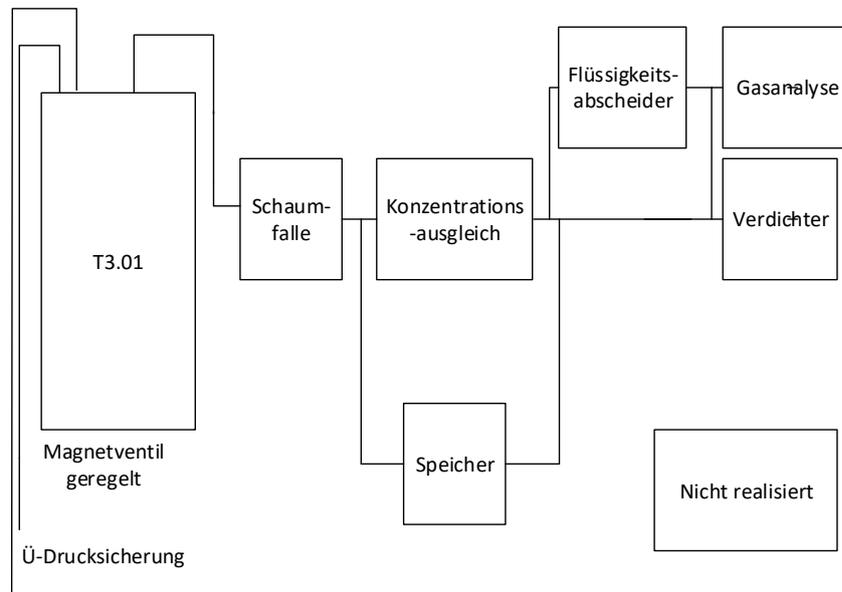


Abbildung 42: Schematischer Aufbau der Gasstrecke

Das im Wesentlichen aus CO_2 bestehende aus der Schaumfalle austretende feuchte Gas wird vor dem Gasanalysator in ein 150 cm langes DN200-Rohr zum Konzentrationsausgleich und anschließend durch einen Flüssigkeitsabscheider geleitet. Perspektivisch ist ein zusätzlicher Gasspeicher im Nebenschluss und ein Kompressor zur Verdichtung und für eine erneute Einmischung des Gases in den Faulschlamm im Rohrschlaufenreaktor vorgesehen. Das Volumen der Rohrleitung für den Konzentrationsausgleich entspricht 50 l und somit bei einer angenommenen Kohlenstoffdioxidausgasung von ca. 50 % des bei 15 bar physikalisch im Rohrschlaufenreaktor gelösten CO_2 von 15 kg/h einem Volumenstrom von knapp 8,2 m³/h bei einem Druck von 1,013 bar und einer Temperatur von 20 °C. Bei diesem Volumenstrom ergibt sich in der Rohrleitung für den Konzentrationsausgleich im Abgas eine mittlere rechnerische Verweildauer von ca. 22 s.

Das Gas wird von dem Konzentrationsausgleich durch einen Tropfenabscheider geleitet. Dieser kann auch umfahren werden. In den Versuchen soll sich zeigen, ob ein Tropfenabscheider in einer Großanlage erforderlich ist. Das im Tropfenabscheider abgeschiedene Wasser ist durch einen Ablasshahn am unteren Ende des Tropfenabscheiders abzulassen. Ein geringer Volumenstrom des Abgases wird der Messstrecke zugeführt und anschließend in die Umgebung abgeleitet. Die Messung Fabrikat ExTox Typ IMC-4DA-Biogas erfasst die Konzentrationen von

Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Methan und Sauerstoff. Das Gas wird nach der Analyse in den Messzellen durch den Behälterboden nach außen abgeführt.

Perspektivisch ist nach der Schaumfalle ein Abzweig zu einem Kohlenstoffdioxidspeicher vorgesehen. Dieser Kohlenstoffdioxidspeicher soll mit einer Druckmessung und einer Füllstandmessung sowie einer Überdrucksicherung und einem Kondensatablass ausgestattet sein. Aus dem Speicher wird das Kohlenstoffdioxid in einem Kompressor verdichtet und anschließend wieder im Rohrschlaufenreaktor in den Faulschlamm eingemischt. Die Anschlüsse und Containerdurchgänge für diese perspektivische Erweiterung wurden vorgesehen.

4.3.5 Fest-Flüssig-Trennung – BG 05

In der Baugruppe BG05 findet die Fest-Flüssig-Trennung des unter erhöhtem Druck mit Kohlensäure versetzten und anschließend entspannten Faulschlammes statt. Die Baugruppe besteht aus:

- einer Flockungshilfsmitteldosierstation, in der bereits fertige gereifte Flockungshilfsmittelstammllösung mit ca. 1 % WS (WS – Wirksubstanz) inline mit Trink- oder Betriebswasser auf die gewünschte Konzentration der Flockungshilfsmittel-Gebrauchslösung (i.d.R. 0,1 % WS) verdünnt wird,
- einer Dekanter-Zentrifuge zur Abtrennung und Konzentrierung der geflockten Feststoffe des Faulschlammes
- den Pumpstationen für die Abförderung von einerseits der im entwässerten Faulschlamm konzentrierten Feststoffe und andererseits des weitgehend von Feststoffen befreiten, phosphathaltigen Zentrifugats bzw. Zentrats.

Der entwässerte Faulschlamm wird entweder zur fachgerechten Entsorgung in entsprechende Zwischenlagerbehälter abgepumpt oder er wird in den Vorlagespeicher T1.01 zur erneuten Behandlung zurückgeführt. Das Zentrat wird in eine Vorlage gefahren und dann weiter zur Phosphatfällung und Abtrennung in Baugruppe 6 und 7 überführt. In Abbildung 43 ist das vereinfachte Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema dargestellt.

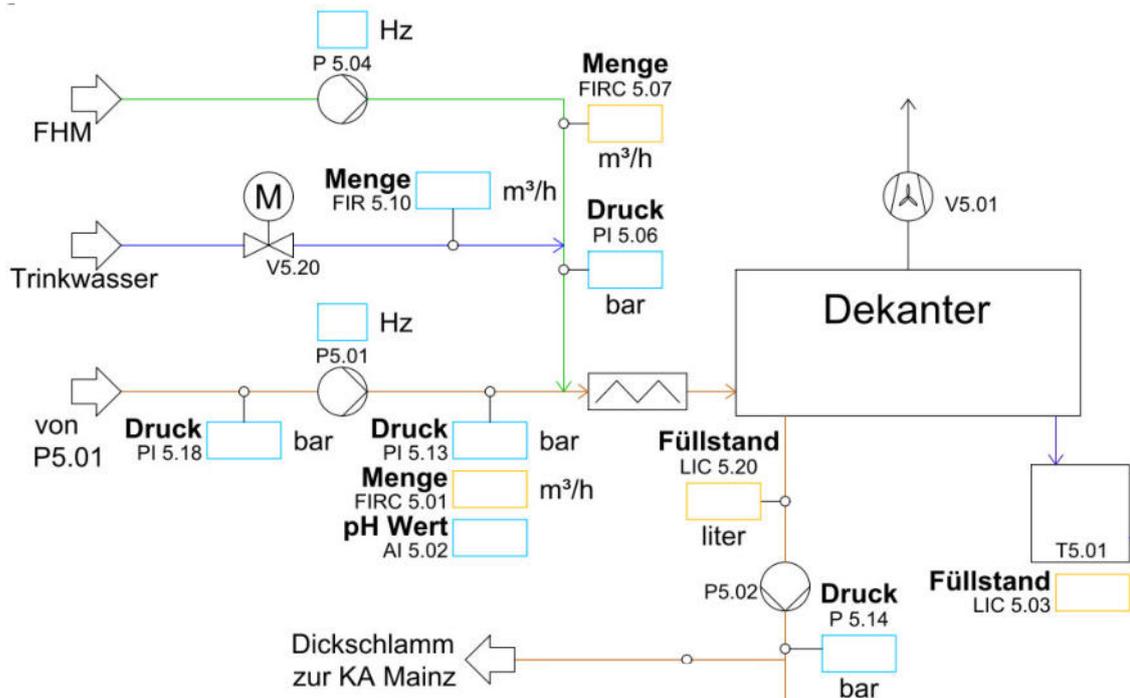


Abbildung 43: Vereinfachtes Verfahrensschema der Baugruppe BG 05

Nach der Entspannung des Faulschlammes werden die Feststoffe abgetrennt. Die Phosphate sollen hierbei möglichst vollständig im Zentrat gelöst bleiben. Bei der Feststoffabtrennung kann es durch Turbulenzen zu einer Ausgasung des restlichen gelösten Kohlenstoffdioxids kommen. Dabei besteht die Gefahr, dass der pH-Wert weiter ansteigt und gelöste Phosphate gefällt werden. Diese würden sich dann an den Schlammflocken adsorbieren oder durch das Flockungshilfsmittel gebunden werden, was eine Abtrennung der Phosphate zur Folge hätte. Die Phosphate würden dann zusammen mit dem Schlamm entsorgt werden und würden verloren gehen. Um das zu verhindern, muss die Aufenthaltszeit des Schlammes in der Feststoffabtrennung so gering wie möglich gehalten werden. Sollte während des Betriebs der Pilotanlage der pH-Wert zu stark ansteigen, muss auf eine Feststoffabtrennung unter Druck beispielsweise mit einer Kammerfilterpresse umgestiegen werden. Eine Feststoffabtrennung unter Druck in einer Kammerfilterpresse hat jedoch den Nachteil, dass sie nicht kontinuierlich betrieben werden kann. Vor diesem Hintergrund wurden die Kammerfilterpressen in den letzten Jahren von den Zentrifugen in Kläranlagen zur Klärschlammmentwässerung verdrängt. Da die Anlage hauptsächlich mit auf Kläranlagen vorhandenen bzw. bekannten Komponenten betrieben werden soll, ist hier eine Zentrifuge zur Entwässerung ausgewählt worden.

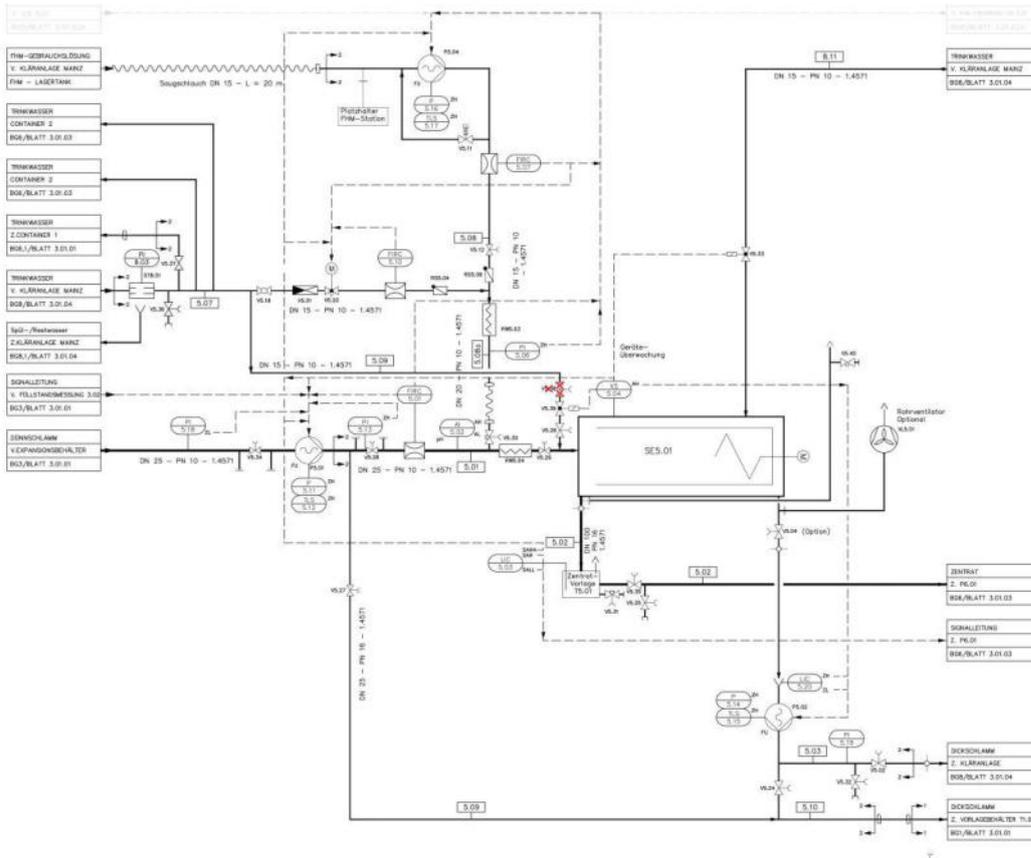


Abbildung 44: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema BG 05

Der entspannte Faulschlamm aus dem Behälter T3.01 wird von der Excenterschneckenpumpe P5.01 angesaugt. Diese ist analog zu den Pumpen P1.01, P6.01, P7.01, P7.02 als Fabrikat Seepex Typ BN 2-6L ausgeführt und mit einer Statortemperaturüberwachung TSA5.12 als Trockenlaufschutz und einer Überdrucksicherung PSA5.11 ausgestattet. Zusätzlich sind zwei Druckmessungen des Fabrikats E+H Typ Ceraphant T Typ PTC31 PI5.18 vor und PI5.13 nach der Pumpe P5.01 installiert. Wenn der Druck an der Messtelle PI5.18 zu gering wird oder der Druck an der Messtelle PI5.13 zu hoch, wird die Pumpe P5.01 abgeschaltet.

Mit der Durchflussmessung FIRC 5.01, die als Fabrikat E+H Typ Promag 50 W ausgeführt ist, wird der Durchfluss zur Zentrifuge überwacht. Das induktive Durchflussmessgerät Promag 50 W hat sich zur Messung von Schlammvolumenströmen bewährt. Die Pumpe P5.01 wird durch die Füllstandmessung LIC3.02 im Expansionsgefäß T3.01 geregelt. Zum Schutz vor einer Überfüllung des Dekanters wird allerdings im Prozessleitsystem eine maximal zulässige Fördermenge für die Pumpe P5.01 definiert, die nicht überschritten wird. In dem Fall einer Überschreitung des maximalen Füllstands im Entspannungsbehälter T3.01 bei maximaler Leistung der Pumpe P5.01 wird die Leistung der Pumpe P2.01 vermindert.

Vor der Flockungshilfsmittelzugabe wird der pH-Wert mit dem Sensor Fabrikat E+H Typ Orbisint CPS11 überwacht. Die pH-Wert Messung AI5.02 überwacht den sich nach der

Entspannung einstellenden pH-Wert vor der Fest/Flüssig-Trennung. Im Prozessleitsystem werden ein minimaler und ein maximaler Grenzwert für den pH-Wert definiert. Die pH-Wert-Messung AI5.02 dient nur der Überwachung und besitzt keine Steuer- oder Regelungsaufgaben. Beim Erreichen der Grenzwerte wird ein Alarm abgesetzt. Die Überwachung des pH-Werts wird vor dem Hintergrund der begrenzten pH-Wert-Stabilität von Flockungshilfsmitteln und des Einflusses des pH-Werts auf die Effektivität der Flockung vorgenommen.

Unmittelbar vor dem Dekanter und dem statischen Mischer RW5.04 wird Flockungshilfsmittel (FHM) in den Faulschlamm dosiert. Aus der Schlammmenge hinter der Pumpe P5.01 (FIRC5.01) und dem TS-Gehalt im Vorlagetank T1.01 (AIR1.01) wird die TS-Fracht des Schlammes berechnet. Mit der TS-Fracht und den eingegebenen Werten für das Flockungshilfsmittel wird der Sollwert für die Mengenregelung der FHM-Gebrauchslösung ermittelt.

Das Flockungshilfsmittel wird aus einer Ansetzstation oder von der Kläranlage als gereifte Stammlösung (ca. 1 %-m FHM Wirksubstanz) bezogen und inline mit Trinkwasser auf den gewünschten Gehalt an Wirksubstanz in der Gebrauchslösung verdünnt. Die Förderung der Flockungshilfsmittel-Stammlösung erfolgt mit der Kolbenmembranpumpe P5.04 Seepex Typ BN 05-12. Die Dosierstrecke verfügt über ein Überströmventil zur Entlastung eines Überdrucks in der Dosierleitung, sofern eine Verstopfung auftritt oder irrtümlich eine Hand-Absperrarmatur in der Dosierleitung nicht geöffnet ist. Nach der Volumenstrommessung der zugeführten Flockungshilfsmittel-Stammlösung erfolgt eine inline Verdünnung mit Trinkwasser. Die Wasserzugabe erfolgt über den motorischen Kugelhahn V5.20 Fabrikat End Armaturen Typ EBA. Sowohl die Trinkwasserleitung als auch die Flockungshilfsmittelleitung sind durch die Rückschlagventile RS5.09 bzw. TS5.04 gegen das Eindringen von FHM bzw. Wasser gesichert. Das Mischungsverhältnis wird über die Durchflussmessgeräten FIRC5.07 bzw. 5.13 Fabrikat E+H Typ Proline Promag 53 erfasst und gesteuert. Das Trinkwasser und die Flockungshilfsmittel-Stammlösung werden im statischen Mischer RW5.03 vermischt und anschließend in den Faulschlamm dosiert. Ein intensives Einmischen der Flockungshilfsmittel-Gebrauchslösung in den Faulschlamm erfolgt direkt hinter der Dosierung in dem statischen Mischer RW5.04. Der geflockte Faulschlamm wird in die Trommel der Zentrifuge eingeleitet.

Die Zentrifuge wurde als Dekanter mit horizontal angeordneter Trommel Fabrikat Gea Typ UCD 205-00-32 mit einem maximalen Durchsatz von 3 m³/h ausgeführt. Am Dekanter sind die Teichtiefe, die Drehzahl und die Differenzdrehzahl zu optimieren.

Sollte es zu einer kurzzeitigen Unterbrechung der Schlammzufuhr zum Dekanter kommen, kann der Dekanter bis zu 20 Minuten in Betrieb bleiben. Nach 20 Minuten wird der Dekanter gespült und heruntergefahren, um eine Überhitzung zu vermeiden. Bei einer Anforderung an den stillstehenden Dekanter wird dieser mit Trinkwasser aus der Spülwasserleitung angefahren und meldet eine Bereitschaftsmeldung, sobald die geforderte Drehzahl erreicht ist. Die Fest-Flüssig-Trennung kann dann erfolgen.

Das bei den Spül- und Anfahrvorgängen entstehende Spülwasser kann mittels Handarmaturen verworfen werden. Das Spülwasser wird durch das Magnetventil V5.33 Fabrikat Landefeld Typ SLP 14 24V durch die Faulschlammleitung in die Zentrifuge eingeleitet. Zum Anfahren und bei Spülvorgängen der Zentrifuge wird dieses geöffnet und nach abgeschlossener Spülung des Dekaners wird das Ventil wieder geschlossen.

Im Gasraum über der Zentrifuge ist eine Luftabsaugung vorgesehen. Diese ist erforderlich, um das bei den turbulenten Bedingungen in der Zentrifuge austretende Kohlenstoffdioxid aus dem Innenraum des Containers abzuführen.

Bei Störungen des Dekaners kann der behandelte Faulschlamm über eine Umgehungsleitung in die Druckleitung der Dickschlammpumpe P5.02 abgeleitet werden. Der Schlamm wird dann je nach Stellung der Handventile V5.02 und V5.24 zur Kläranlage oder zum Vorlagebehälter abgeleitet. Zur Ableitung des Faulschlammes müssen die Handventile V5.27 und V5.28 entsprechend gestellt werden.

Der geflockte Schlamm wird im Dekanter abgetrennt und gelangt in den Auffangtrichter für den Schlamm. Vom Füllstand geregelt wird der Schlamm durch die Pumpe P5.02 aus dem Trichter zur Kläranlage oder zum Vorlagetank T1.01 gefördert. Der Füllstand wird über den Ultraschallsensor Fabrikat E+H Typ FDU 90 überwacht. Die Exenterschneckenpumpe P5.02 ist als Fabrikat E+H Typ BTE 5-12 mit Trockenlaufschutz und Drucküberwachung ausgeführt. Die Fördermenge der Dickschlammpumpe wird durch den Füllstand im Schlammtrichter des Dekaners geregelt. Der Sollwert für die Füllstandmessung LI5.20-C wird im Prozessleitsystem eingegeben.

Das Zentrat läuft im Freigefälle in die drucklose Zentratvorlage T5.01. Die Zentratvorlage T5.01 ist mit einer hydrostatischen Füllstandmessung Fabrikat E+H Typ Ceraphant T PTC31 ausgerüstet. Das Zentrat wird in die Pumpe P6.01 in die Baugruppe BG 6 abgeleitet.

4.3.6 Fällung und Abtrennung des Di-Calcium-Phosphats – BG 06 und BG 07

4.3.6.1 Zielsetzung und Grundlagen des Ausfällens und der Abtrennung von Di-Calcium-Phosphat

In dem von den Feststoffen befreiten Zentrat sind nach der Rücklösung von Phosphaten aus dem Faulschlamm durch die pH-Wert-Absenkung durch die Einmischung von Kohlensäure bei erhöhtem Druck im Rohrschlaufenreaktor erhöhte Konzentrationen an gelöstem Phosphat zu erwarten. Dies gelöstes Phosphat soll durch Fällung, Flockung und Phasentrennung als Di-Calcium-Phosphat aus dem Zentrat entfernt werden und anschließend in einer Sackfiltration entwässert werden.

Dazu wird verdünnte Kalkmilch aus stabilisierter Kalkmilch durch Verdünnung mit Trinkwasser angesetzt. Die Kalkmilch wird unter hohem Energieeintrag unmittelbar vor

einem dynamischen Mischer in die Zentratleitung dosiert. Die basische Kalkmilch bewirkt eine Anhebung des pH-Werts im Zentrat. Die starke Verdünnung der Kalkmilch und die intensive Einmischung sind notwendig, um das gewünschte Produkt Calcium-Hydrogen-Phosphat (auch DCP) herzustellen. Die Bildung von Di-Calcium-Phosphat und die Vermeidung der Bildung anderer Calcium-Phosphate (hauptsächlich Tri-Calcium-Phosphat (TCP)) wird angestrebt, da Di-Calcium-Phosphat eine höchste Pflanzenverfügbarkeit der Calcium-Phosphat-Verbindungen aufweist. Außerdem kann das DCP direkt und ohne eine weitere Aufbereitung in der Düngemittelindustrie als Rohstoff verwendet werden. In Abbildung 45 sind die Löslichkeitsisothermen verschiedener Calcium-Phosphate dargestellt. Um eine Fällung von gelöstem Phosphat als DCP zu erreichen, darf der pH-Wert während der Fällung nicht über 5,5 bis 6 ansteigen. Unterhalb dieses pH-Wertes liegt die Löslichkeitsisotherme des DCP's unterhalb der Löslichkeitsisothermen des TCP's. Die Löslichkeit des DCP's ist somit geringer und es bildet sich bis zu diesem pH-Wert vornehmlich DCP.

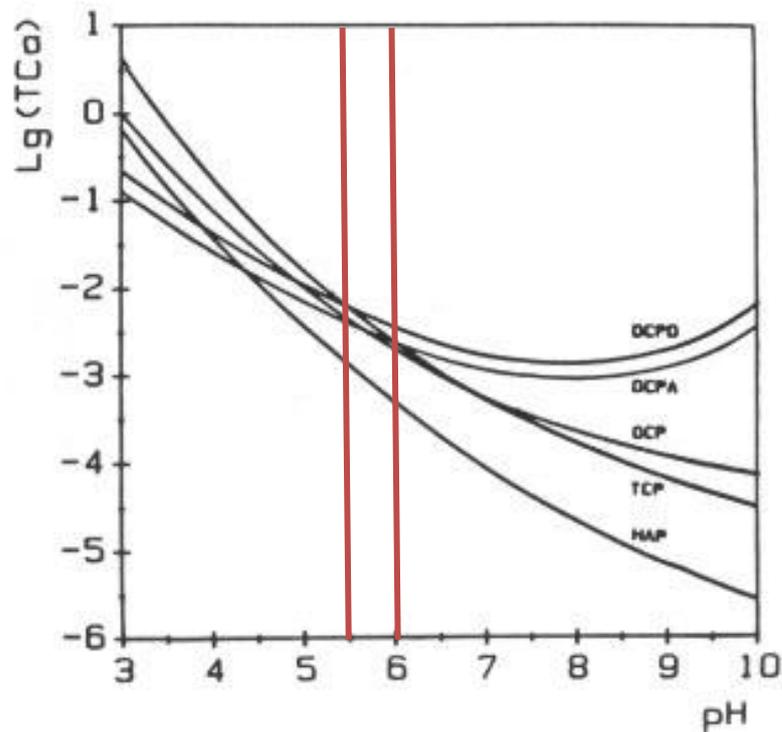


Abbildung 45: Logarithmische Darstellung der Löslichkeitsisothermen einiger Calciumphosphate

Bei der Dosierung von zu stark konzentrierter Kalkmilch kann es lokal an der Dosierstelle zu hohen pH-Werten von 8 bis 9 kommen. Es bildet sich dann vornehmlich Tri-Calcium-Phosphat, welches sich nach einer Durchmischung und bei dem angestrebten pH-Wert von $pH = 6$ nur schwer zurücklöst. Einmal entstandenes TCP kann nur mit niedrigeren pH-Werten wieder zurückgelöst werden. Kalkmilch ist eine Suspension aus Wasser, gelöstem Calciumhydroxid und ungelöstem Calciumhydroxid. Das gelöste Calciumhydroxid bestimmt den pH-Wert.

Die Sättigungskonzentration von gelöstem Calciumhydroxid ist temperaturabhängig und liegt bei 15°C bei ca. 1,7 g Ca(OH)₂/l. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Löslichkeit von Calciumhydroxid in Wasser moderat ab. In gesättigter Calciumhydroxid-Lösung liegt ein pH-Wert im Bereich pH = 11 bis Erfahrungsgemäß ist dies nur durch eine intensive Einmischung einer stark verdünnten Kalkmilch zu erreichen. Durch eine starke Verdünnung der Kalkmilch werden auch lokal erhöhte pH-Werte vermieden.

Durch die starken Scherkräfte bei der Einmischung der verdünnten Kalkmilch wird die Bildung vieler kleiner DCP-Kristalle begünstigt, wohingegen eine geringe Übersättigung ein Kristallwachstum fördert. Beim pH-Wert wird allerdings trotz einer hohen Verdünnung der Kalkmilch schnell eine im Hinblick auf eine Kristallisation hohe Übersättigung erreicht. Vor diesem Hintergrund ist mit der Bildung eines feinkristallinen DCP-Niederschlags zu rechnen, dessen Abtrennung von der flüssigen Phase aufgrund der durch die geringen Partikeldurchmesser bedingten geringen Partikelschwarmsinkgeschwindigkeiten sich als durchaus problematisch darstellen könnte. Eine Rückführung eines Teils des gefällten Phosphats vor die Dosierstelle der Kalkmilch könnte zu einem besseren Kristallwachstum führen. Die bereits entstandenen Kristalle an DCP wirken als Kristallisationskeime, auf denen neu ausfallendes DCP aufwachsen kann.

Eine Korngrößenanalyse des DCP's aus der Versuchsanlage der Fa. Budenheim ergab die in Abbildung 46 dargestellte Verteilung. Es ist zu erkennen, dass 75 % der Partikel größer als 3 µm sind. Feststoffhaltige Flüssigkeiten mit Partikelgrößen zwischen 5 und 100 µm werden als feine Suspensionen bezeichnet. Unterhalb eines Partikeldurchmessers von 5 µm gelten sie als Dispersionen, in denen der Einfluss der Brown'schen Molekularbewegung größer ist als der der Schwerkraft.

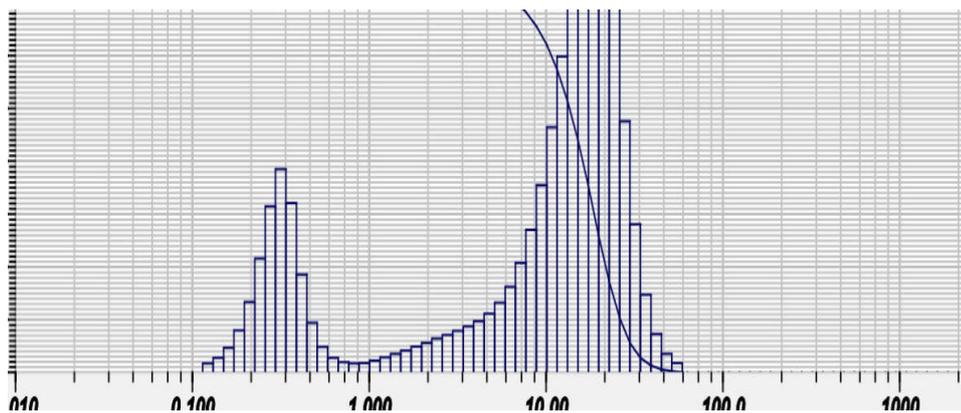


Abbildung 46: Korngrößenanalyse von geflocktem DCP der Versuchsanlage Budenheim

Für die Sedimentation im Schwerkraftfeld lässt sich die Sinkgeschwindigkeit eines kugelförmigen Partikels aus der Kräftebilanz der angreifenden Kräfte berechnen.

$$F_G = F_A + F_W \quad (3)$$

$$m \cdot g = V_P \cdot \rho_f \cdot g + c_W \cdot A \cdot \rho_f \cdot \frac{v_P^2}{2} \quad (4)$$

Nach Einsetzen der geometrischen Formeln für das Volumen und die Projektionsfläche einer Kugel ergibt sich Gleichung (5) zur allgemeinen Berechnung der Sinkgeschwindigkeit.

$$v_P = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot d_P \cdot g}{\rho_f \cdot c_W}} \quad (5)$$

Für Reynoldszahlen $Re < 0,5$ gelten die Bedingungen des „Stokes-Bereiches“. Im Stokes-Bereich werden die Partikel schleichend, laminar umströmt und es gelten folgende Bedingungen:

$$\begin{aligned} Re &< 0,5 \\ c_W &= 24/Re \end{aligned}$$

Für den Stokes-Bereich ergibt sich Gleichung (6) zur Berechnung der Sinkgeschwindigkeit:

$$v_P = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot d_P^2 \cdot g}{18 \cdot \eta_f} \quad (6)$$

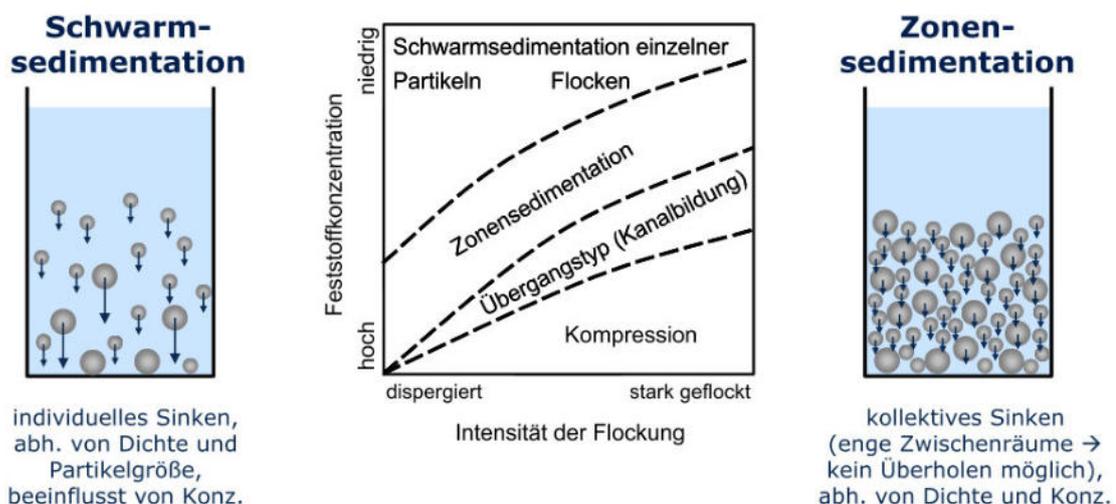
Für DCP-Partikel, welche nach der Fällung als Di-Hydrat vorliegen, ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten Sinkgeschwindigkeiten.

Tabelle 4: Sinkgeschwindigkeiten von DCP-Kristallen mit Partikeldurchmessern von 3 und 10 μm

Partikeldurchmesser	d_P	3 μm	10 μm
dynamische Viskosität	η_f	$1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$	
kinematische Viskosität	ν_f	$1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	
Dichte Fluid	ρ_f	$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
Dichte DCP (Di-Hydrat)	ρ_s	$2320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
Archimedes-Zahl	Ar	$3,50 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-2}$
Reynolds-Zahl	Re	$1,94 \cdot 10^{-5}$	$7,19 \cdot 10^{-4}$
Sinkgeschwindigkeit	v_P	$0,00647 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$0,07194 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$
		0,023 m/h	0,26 m/s

Die Sinkgeschwindigkeiten der Partikel sind im Hinblick auf für eine Abscheidung im Schwerkraftfeld als vergleichsweise gering einzuschätzen. Bei einer Stunde Aufenthalt im Absetzbehälter würde ein Partikel mit 10 μm Durchmesser unter idealen

Bedingungen knapp 26 cm sedimentieren. Bei einer Abscheidung im Zentrifugalfeld, beispielsweise in einem Hydrozyklon oder einer Zentrifuge, erhöht sich die Beschleunigung des Partikels und somit auch die Sinkgeschwindigkeit, was zu einer besseren Phasentrennung führt. Für die Pilotanlage wird ein Absetzbehälter mit einem Nutzvolumen von 2 m³ geplant. Die Feststoffpartikel haben dann eine Aufenthaltszeit von 1 – 2 Stunden. Um die Sedimentation der Partikel zu unterstützen, sind die Zulaufrohre der Suspension höhenverstellbar ausgeführt. Die Zulaufrohre können dann je nach Sedimentationseigenschaften des DCP's verstellt werden. Werden die Zulaufrohre in den Bereich der Phasentrennung mit höherer Feststoffkonzentration abgesenkt, ist mit einer Zonensedimentation zu rechnen, wodurch die Partikel durch gegenseitige Wechselwirkung besser sedimentieren. Bei der theoretischen Betrachtung der Zonensedimentation werden nicht Partikel beim Sinken beobachtet, sondern es wird durch die hohe Feststoffkonzentration eine Partikelschicht betrachtet, welche von unten von dem aufwärts strömenden Klarwasser durchströmt wird. Bei einer Zonensedimentation gibt es keine relativen Geschwindigkeiten zwischen den Partikeln unterschiedlicher Größe, da die Partikel als Kollektiv absinken (vgl. Abbildung 47).



- Schema nach Fitch und Schubert

Abbildung 47: Schema der Zonensedimentation (Tomas, 2015)

Die Berechnung der Geschwindigkeit erfolgt in diesem Fall auf der Grundlage eines geeigneten Durchströmungsmodells. In den meisten Modellen wird eine Partikelschicht mit einer konstanten Porengröße bzw. Porosität ε angenommen. Das aufwärts strömende Wasser strömt in sich bildenden Kapillaren durch die Partikelschicht. Eine weitere Verbesserung der Absetzeigenschaften kann durch die vorgesehene Flockung mit nativen Flockungshilfsmittel erfolgen. (Beyer, 2017)

Um Erkenntnisse über die Funktion von nativen Flockungshilfsmittel sowie über das Absetz- und Eindickverhalten des Di-Calcium-Phosphats zu erlangen, wurden

Versuche mit Di-Calcium-Phosphat unternommen, das als Nahrungsergänzungsmittel für Pferde verwendet wird. Die Hochschule Wismar führte Versuche zur Flockung von Di-Calcium-Phosphat mit Stärke basierten Flockungshilfsmitteln bei pH-Werten im sauren pH-Wert-Bereich durch, führte Versuche im Hinblick auf eine experimentelle Verifizierung der vorangegangenen Berechnungen zur Sedimentation von Di-Calcium-Phosphat im Schwerkraftfeld und zur Abscheidung in Hydrozyklonen durch. Bei einem Hydrozyklon wird eine Suspension durch die Strömungsumlenkung in einen Flüssigkeitsstrom mit Partikeln mit einem überwiegend über dem Trennkorndurchmesser liegenden Durchmesser (Grobgut) und einen Flüssigkeitsstrom mit Partikeln mit einem überwiegend unter dem Trennkorndurchmesser liegenden Durchmesser (Feingut) aufgetrennt. Das Korn mit dem Partikeldurchmesser, das sich zu 50 % im Grobgut und zu 50 % im Feingut findet, wird als Trennkorn bezeichnet bzw. als Korn mit dem Trennkorndurchmesser. Hydrozyklone eignen sich aufgrund der hohen Zentrifugalkräfte gut zum Abscheiden kleiner Partikel und finden daher in der Kaolinabtrennung (Partikelgröße ca. $2\ \mu\text{m}$) Verwendung. Die Di-Calcium-Phosphat-Partikel liegen zu einem nicht unerheblichen Anteil in einer ähnlichen Größenordnung wie die Kaolin-Partikel.



Abbildung 48: Hydrozyklon



Abbildung 49: Überlauf- und Unterlauf des Hydrozyklons

Für die Versuche wurde Di-Calcium-Phosphat, das als Nahrungsergänzungsmittel für Pferde verwendet wird, mit Wasser vermengt. Die Versuche fanden mit

unterschiedlichen Konzentrationen und unterschiedlichen Hydrozyklonen statt. Es zeigte sich übereinstimmend, dass eine gute Abscheidung des Di-Calcium-Phosphats mit Hydrozyklonen erreicht werden kann. Die Abtrennung des Di-Calcium-Phosphats ist in Abbildung 49 anhand der stärkeren Trübung und der am Glasboden abgesetzten Feststoffpartikel erkennbar. Es ist auch erkennbar, dass die Abscheidung der feindispersen Di-Calcium-Phosphat-Partikel nicht unbedingt trivial ist.

Aufgrund dieser Versuchsergebnisse wurden in der Pilotanlage in der Baugruppe BG 07 Anschlüsse für Hydrozyklone vorgesehen, um diese Abscheidung des DCP auch mit unterschiedlichen Hydrozyklonen testen zu können. Seitens des Bauherrn wurde allerdings die Sedimentation bevorzugt und gefordert.

4.3.6.2 Phosphatabtrennung und -entwässerung – BG 06 und BG 07

In Abbildung 50 ist der Aufbau der Baugruppen BG 06 und BG 07 schematisch dargestellt.

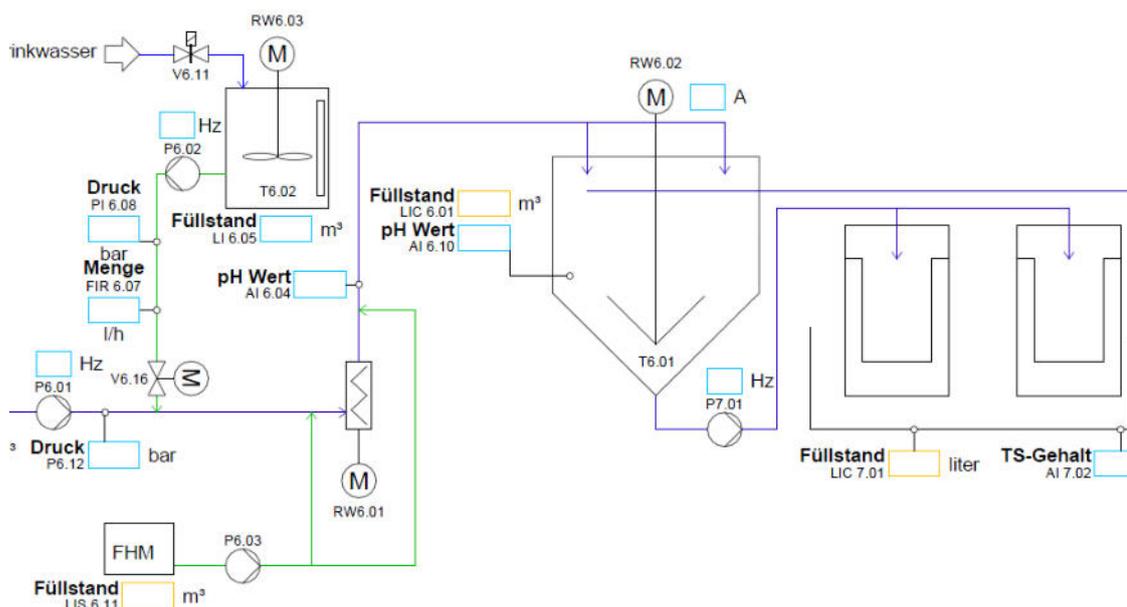


Abbildung 50: vereinfachtes Verfahrensschema der Baugruppen BG 06 und BG 07

Das Zentrat der Zentrifuge wird der Pumpe P6.01 in den Absetzbehälter T6.01 gefördert. Das Zentrifugat wird in der Rohrleitung zum Absetzbehälter mit Kalkmilch, welche pH-Wert geregelt zudosiert wird, und mit nativem Flockungshilfsmittel versetzt. Eine gute Einmischung wird der Kalkmilch und / oder des nativen Flockungshilfsmittels wird mit einem dynamischen Mischer RW6.01 erreicht. Durch die Kalkmilchzugabe steigen der pH-Wert und die Calciumkonzentration an und Di-Calcium-Phosphat fällt aus. Das ausgefallene Di-Calcium-Phosphat wird in dem Absetzbehälter, der mit einem Krählwerk zur Unterstützung der Eindickung des Di-Calcium-Phosphat-Schlammes ausgerüstet ist, abgesetzt und durch die Pumpe P7.01 als eingedickter Schlamm abgezogen. Der Di-Calcium-Phosphat-Schlamm wird in Filtersäcken entwässert. Die Säcke werden regelmäßig manuell getauscht. Der Überstand aus dem Absetzbehälter

T6.01 und das Filtrat aus den Sackfiltern T7.01 werden entweder der Kläranlage zugeführt oder als Verdünnungsmedium in die Vorlage T1.01 gefördert.

In Abbildung 51 ist das Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 06 und BG 07 dargestellt. In Anbetracht der schlechten Lesbarkeit des Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema sind die nachstehend erläuterten Bereich im Text nochmals getrennt herausgezogen in guter Lesbarkeit dargestellt. Das gesamte Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema ist zudem als Plan im Anhang in gut lesbarer Qualität enthalten.

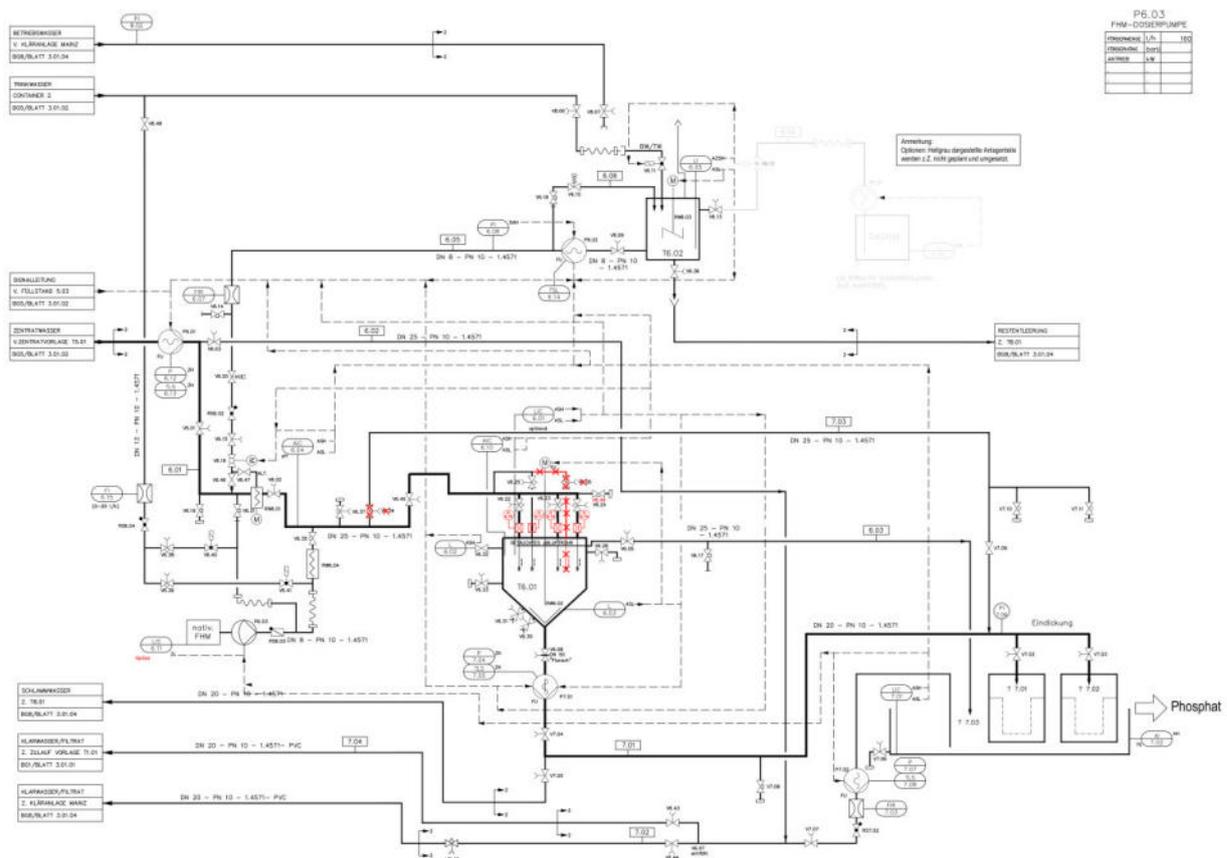


Abbildung 51: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Baugruppe BG 06 und BG 07

Das Zentrat wird aus der Vorlage T5.01 mit der Exenterschneckenpumpe P6.01 Füllstand gesteuert abgepumpt. Die Pumpe ist als Fabrikat Seepex Typ BN2-6L mit Überdruckabschaltung und Trockenlaufschutz durch Statortemperaturüberwachung ausgeführt. Die Pumpe P6.01 fördert das Zentrat in den Sedimentationsbehälter T6.01. In die Leitung zum Sedimentationsbehälter werden pH-Wert geregelt verdünnte Kalkmilch und natives Flockungshilfsmittel dosiert. Die verdünnte Kalkmilch wird vor dem dynamischen Mischer dosiert. Das native Flockungshilfsmittel kann vor oder hinter dem dynamischen Mischer dosiert werden. Generell ist zwar eine intensive Einmischung von Flockungshilfsmitteln günstig für die Effektivität. Bei nativen Flockungshilfsmitteln ist aber noch wenig über die mechanische Stabilität bekannt. Das abzusehende Ausbringungsverbot von biologischschwerabbaubaren Verbindungen

enthaltenen synthetischen Flockungshilfsmitteln dürfte spätestens mittelfristig die Verwendung nativer, Stärke basierter Flockungshilfsmittel für landwirtschaftlich genutzte Stoffe erzwingen.

In der Dosierleitung der Kalkmilch befindet sich die automatische Absperrarmatur V6.16. Das Öffnen und Schließen der Armatur Fabrikat Endarmaturen Typ ZA-NE erfolgt 10 Sekunden vor bzw. nach dem Ansteuern der Dosierpumpe P6.02.

In Abbildung 52 ist die Ansetzstation der verdünnten Kalkmilch mit der optionalen Erweiterung um eine Kalkmilchvorlage mit Dosierpumpe dargestellt.

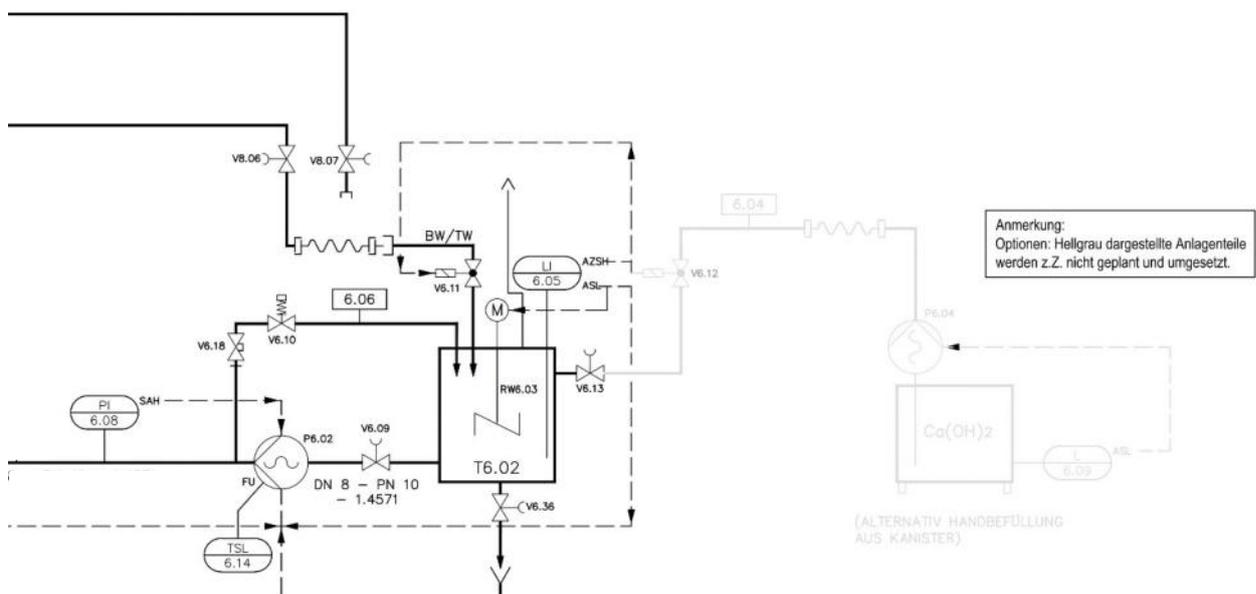


Abbildung 52: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Kalkmilchansetzstation BG 06

Die Kalkmilch wird in dem Behälter T6.02 angesetzt. Dieser Behälter kann mit Trink- oder Betriebswasser über das Magnetventil V6.11 Fabrikat Landefeld Typ SLP beschickt werden. Um eine Homogenisierung der Kalkmilch sicherzustellen wird der Behälter mit dem Rührwerk RW6.03 durchmischt. Das Rührwerk ist ein Schnellläufer mit einer Drehzahl von 1.450 1/min und einer Leistung von 0,25 kW Fabrikat Turbo Rührwerke Typ OF-24. Es ist eine Restentleerung mit Bodenablauf vorgesehen. Der Behälter T6.02 ist mit einer Ultraschallfüllstandsmessung LI6.05 Fabrikat E+H Typ Prosonic S ausgerüstet. Es sind ein Anschluss für eine automatische Kalkmilchverdünnung aus einem Zwischen-Speicher vorgesehen. Dieser aber aus Platzgründen nicht umgesetzt. Am unteren Ende des Behälters wird die Kalkmilch durch die Pumpe P6.02 abgezogen und am oberen Ende ist die Rückführung überschüssiger Kalkmilch vorgesehen.

Danach erfolgt die Zugabe des Betriebs- oder Trinkwassers nach einer Füllstand-Eingabe im Prozessleitsystem automatisch (LI6.05–SHH). Nach der manuellen Zugabe der Kalkmilch wird im Prozessleitsystem die Verdünnung gestartet. Das Magnetventil V6.11 in der Wasserleitung wird geöffnet und die Kalkmilch wird verdünnt. Beim

Erreichen des Grenzwertes des Füllstandes wird das Ventil geschlossen und die Verdünnung ist abgeschlossen. Für gute Suspensionsbedingungen sorgt ein schnell laufendes Rührwerk RW6.03 in T6.02. Das Rührwerk wird durch die Füllstandmessung LI6.05 verriegelt.

Die Einstellung der vorgewählten Dosiermenge aus T6.02 Richtung Fällungsreaktor T6.01 erfolgt frequenzgeregelt mittels Excenterschneckenpumpe P6.02 und pH-Wert-Messung nach der Dosierung. Für die Regelung der Kalkmilchdosierung kann die pH-Wert Messung direkt hinter der Dosierstelle (AI6.04–C) oder die pH-Wert-Messung im Absetzreaktor (AI6.10–C) ausgewählt werden.



Abbildung 53: Kalkmilchansetzstation BG 06

Die Kalkmilch wird über die Exenterschneckenpumpe P6.02 Fabrikat E+H Typ MD 012-12 mit einer Förderleitung von 10 l/h (17 Hz) bis 50 l/h (83 Hz). Die Pumpe P6.02 ist über einen Frequenzumrichter im Durchfluss variabel und wird über den pH-Wert AIC6.04 nach der Kalkmilchdosierung geregelt. Über das Druckhalteventil Fabrikat Endarmaturen Typ UV PN40 wird überschüssige Kalkmilch zurück in den Behälter T6.02 gefördert. Über eine Magnetisch-Induktive Durchflussmessung Fabrikat Typ Proline Promag 53 wird die hinzugegebene Menge Kalkmilch erfasst.

Per Handarmaturen kann zwischen der Dosierung der Kalkmilch in die Rohrleitung oder in einen in die Rohrleitung verbauten dynamischen Mischer umgeschaltet werden. Der dynamische Mischer RW6.01 ist als Fabrikat MPT Typ DIM 50 mit variabler Drehzahl ausgeführt.

Die Dosierstrecke für verdünnte Kalkmilch und natives Flockungshilfsmittel ist in Abbildung 54 dargestellt.

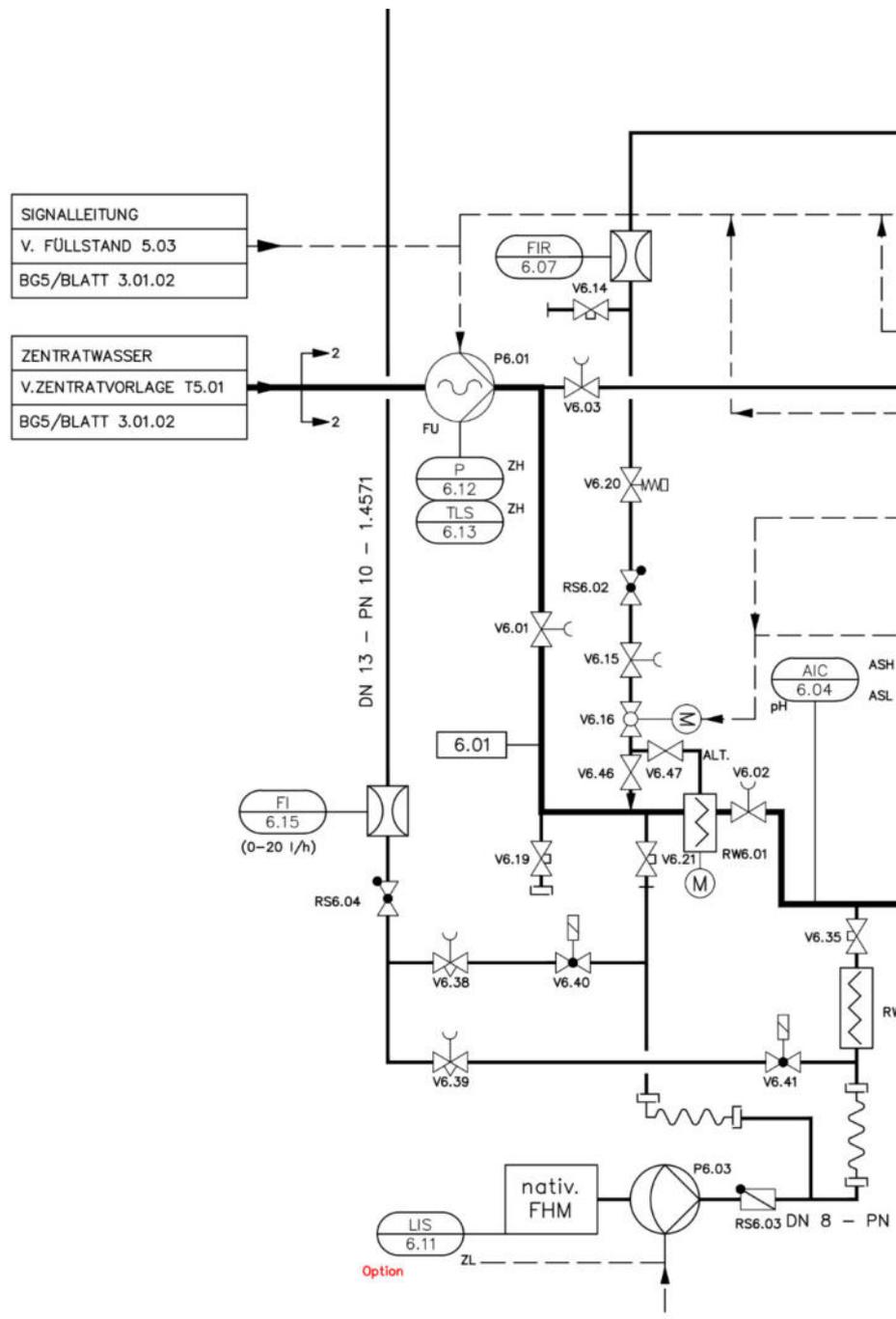


Abbildung 54: Dosierstrecke verdünnte Kalkmilch und natives Flockungshilfsmittel BG 06

Die Dosierung des nativen Flockungshilfsmittels erfolgt entweder vor dem dynamischen oder nach dem Mischer RW6.01. Im Falle der Dosierung vor dem Mischer findet eine Zufuhr des Trinkwassers in die Leitung statt. Im Fall der Flockungshilfsmittelzugabe nach dem dynamischen Mischer RW6.01 wird in dem statischen Mischer RW6.04 eine ausreichende Vermengung von Flockungshilfsmittel und Wasser erreicht. Die Zugabe an Wasser wird in beiden Fällen über ein Magnetventil gesteuert. Die Flockungshilfsmittelpumpe P6.03 ist als Magnetdosierpumpe/Membrandosierpumpe Fabrikat Prominent Typ gamma/x ausgeführt und saugt das FHM aus der

Flockungshilfsmittelvorlage mit minimaler Füllstandüberwachung an. Das Rückschlagventil RS6.03 Fabrikat End Armaturen Typ VB PN40 verhindert ein zurückdrücken des Zentrats in die FHM-Vorlage. Zur Entkopplung des Systems von Schwingung wurde die FHM-Pumpe mit Schläuchen an das System angeschlossen.

Es wird natives Flockungshilfsmittel verwendet. Das native Flockungshilfsmittel basiert auf Stärke und kann ohne Bedenken in der Düngemittelindustrie verwendet werden oder auf Ackerflächen ausgebracht werden.

Nach der Dosierung der Kalkmilch und des Flockungshilfsmittels ist ein umfahren des Fällungsreaktors in die Zentratvorlage T7.01 möglich.

In Abbildung 55 ist das Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema des Fällungsreaktors im Detail dargestellt. Die Konstruktive Umsetzung ist in Abbildung 56 dargestellt.

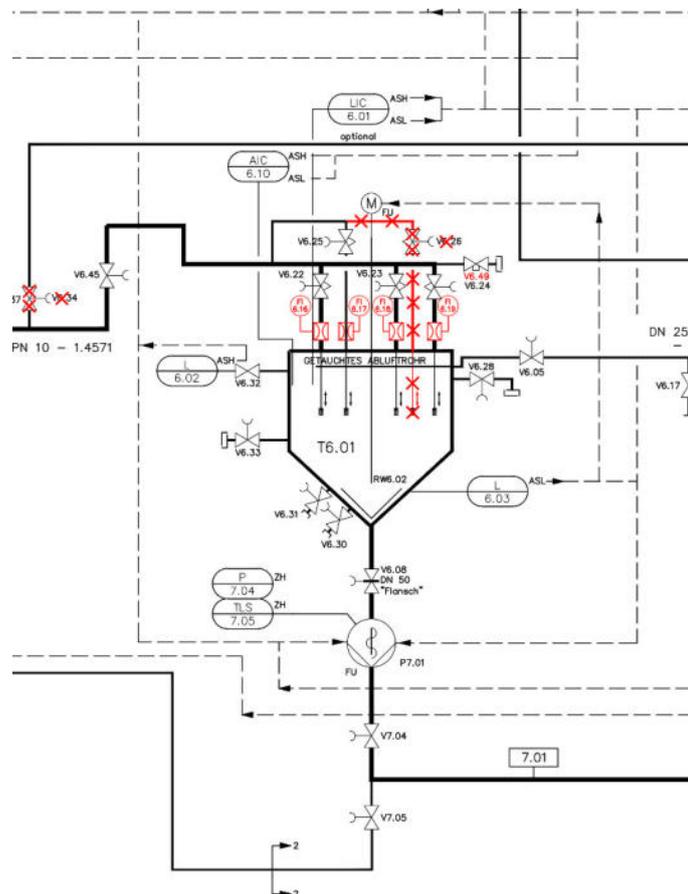
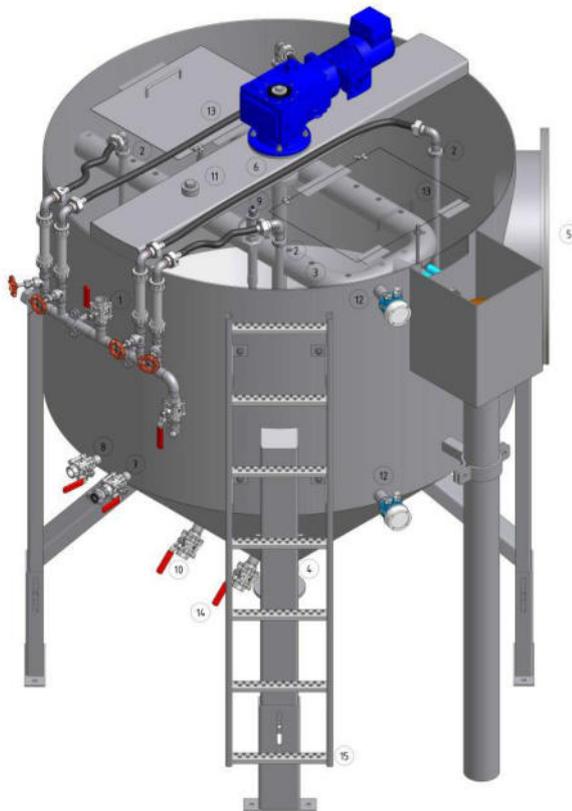


Abbildung 55: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema der Fällungsreaktors und der Peripherie BG 06

Die Zugabe in den Fällungsreaktor erfolgt über Zuleitungen die jeweils über eine Durchflussmesser Fabrikat Stübbe Typ DFM 165-350. Diese sind dazu da den optimalen Durchfluss zu gewährleisten und in allen Einlauf orten gleiche Strömungsbedingungen sicherzustellen. Die Einläufe können einzeln abgesperrt werden. Die Zuläufe sind getaucht mit variabler Höhe ausgeführt.

Der Absetzbehälter ist mit folgenden Messstellen ausgerüstet:

- Kontinuierliche Füllstandmessung LIC6.01 Fabrikat E+H Typ Prosonic S
- Maximaler Füllstandalarm – Übervollalarm L6.02 Fabrikat E+H Typ Liquiphant M FTL50
- Minimaler Füllstandalarm – Trockenlaufschutz L6.03 Fabrikat E+H Typ Liquiphant M FTL50
- pH-Wert-Messung AIC6.10 Fabrikat E+H Typ Liquiline CM 442



Legende

1. Anschlussfutzen DN25 (1" AG) zum Zulaufverteiler in VA DN 15 auf Behälterdeckel mit 4 Stück Drosselverteiler
2. 4 Stück höhenverstellbare Zulaufe DN15 (1/2") in 4 Anschlussfutzen DN25 spritzwasserdicht mit Endgewichte, einschließlich Prallblech
3. Gefauchtes, gelochtes Ablaufrohr DN80 mit Flansch
4. Anschlussfutzen DN50 (Flansch) passend für Montage P1.01
5. Mannloch DN600
6. Rührwerkflansch, Rührwerkzeug unter Zulaufschläuche
7. Anschlussfutzen DN25 (1"AG) für z.B. Probenahme (V6.28)
8. Anschlussfutzen DN25 (1"AG) für z.B. Probenahme (V6.33)
9. Anschluss für pH-Messsonde (AIC 6.10)
10. Anschlussfutzen DN25 (1"AG) für Probenahme & Spülstützen (V6.30)
11. 1 Stück Reserveanschlussfutzen DN40 (1 1/2") für kont. Füllstandmessung (LIC 6.01)
12. 2 Stück Anschlussfutzen DN25 (1"AG) für Grenzstandssonden (L 6.02/ L 6.03)
13. 2 Stück Montageöffnungen 500x400
14. 1 Stück Reserveanschlussfutzen DN25 (1"AG) für Grenzstandssonden (L 6.03)
15. Leiter



Chemische Fabrik Budenheim

Rheinstraße 27, 55257 Budenheim

Urban Mining Versuchsanlage Budenheim

Container 2
Fällungsreaktor T6.01
mit Messstellen

Projekt-Nr.	Plan-Nr.	Zeichnung	Datum	Name	Blatt-Zahl
15000168		Gesprohrt	23.11.2017	M. Kiepus	24
		Gesprohrt		M. Projanek	1
		Gesprohrt		U. Kötterauer	
		Rev. 011		Rev. 011	
		CAD: Bw			

Abbildung 56: Konstruktion des Fällungsreaktors T6.01



Abbildung 57: Überstandabzug T6.01

Das Rührwerk RW6.02 ist als Langsamläufer ausgeführt.

Der Absetzbehälter ist mit einer kegelförmigen Absetzzone (45 Grad) im Abzugsbereich ausgerüstet. Zur Unterstützung der Fest-/Flüssigtrennung kann die Vertikalbewegung der Feststoffe und der Flüssigkeit durch ein langsam laufendes Krählerwerk in Zeit-/Pausenbetrieb unterstützt werden. Um unnötige Turbulenzen zu vermeiden, kann eine Drehzahl des Krählerwerkes im Prozessleitsystem definiert werden. Die Zuläufe des Reaktors werden mit Prallblechen und höhenveränderbaren Zulaufrohren ausgestattet. Die Zulaufrohre sind höhenverstellbar, um die optimalen Einlaufbedingungen zu ermitteln.

Der Ablauf erfolgt über ein getauchtes Ablaufrohr in die Auffangwanne T7.03 der Sackentwässerung. Aus der Auffangwanne wird der Überstand zusammen mit dem Filtrat der Sackentwässerung zur Kläranlage gepumpt.

Das gefällte Di-Calcium-Phosphat wird von der Excenterschneckenpumpe P7.01 der weiteren Entwässerung zugeführt. Die Pumpe P7.01 ist als Exenterschenkenpumpe Fabrikat Seepex Typ BN2-6L mit Trockenlauf und Überdruckschutz ausgeführt. Die DCP-Pumpe kann durch einen Puls-/Pausenbetrieb betrieben werden oder über einen Füllstandsollwert im Absetzbehälter geregelt werden. Im Rahmen der Planung wurden die Möglichkeit einer Wägung des Schlammrührers mit Wägezellen und die Messung des Füllstandes mittels einer Ultraschallmessung diskutiert. Vorerst wird eine händische Einstellung des Puls/Pausenbetriebs gewählt die im späteren Verlauf der Versuche automatisiert werden kann. Die Puls- und Pausenzeiten sind im Prozessleitsystem frei wählbar.

4.3.6.3 Di-Calcium-Phosphatentwässerung – BG 07

In Abbildung 58 ist der Fällungsreaktor und die Di-Calcium-Phosphatentwässerung dargestellt.

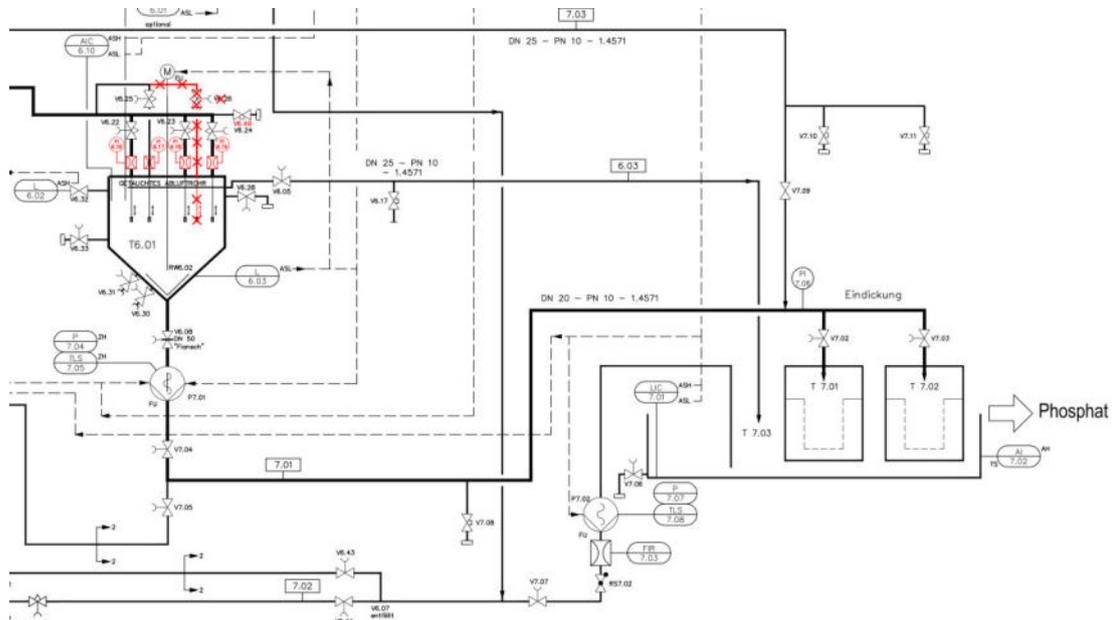


Abbildung 58: Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema Baugruppe BG 07

Das Di-Calcium-Phosphat wird durch die Pumpe P7.01 aus dem Fällungsreaktor abgezogen und dem Filtersäcken zugeführt. Die Pumpe P7.01 ist als Fabrikat Seepex Typ BN 2-6L ausgeführt und mit einem Trockenlauf- und Überdrucksicherung ausgestattet. Neben dem Zulauf aus dem Fällungsreaktor ist auch ein Zuführen de Zentrifugats nach der Di-Calcium-Phosphatfällung möglich. In diesem Fall können an den Hähnen V7.10 und V7.11 Hydrozyklone eingebaut werden und so kann die Phosphatabtrennung mit Hydrozyklonen untersucht werden. Die Entwässerung erfolgt durch eine Sackfiltration mit zwei Filtersäcken. Die Filtersäcke sind an Ringhaltern eingespannt und hängen in Mülltonnen. Die Mülltonnen T7.01 bzw. T7.02 sind unten mit einem Ablauf versehen, sodass das Filtrat ablaufen kann. Um ein durchgehenden Betrieb sicherzustellen, ist die Sackentwässerung zweistraßig ausgeführt. Wenn ein Filtersack ausgetauscht wird, kann der darüberliegende Hahn verschlossen werden.



Abbildung 59: Sackfilter in Ringhalter und Tonne



Abbildung 60: Tonne mit Ringhalter und Ablauf durch den Boden

Der Auffangbehälter T7.03 ist mit Gitter abgedeckt. Auf diesem Gitter stehen die in denen die Filtersäcke hängen.

Die Auffangwanne T7.03 ist nachfolgend in den Abbildung 61 und Abbildung 62 dargestellt. Die Auffangwanne ist mit einer TS-Messung (AI7.02) Fabrikat E+H Typ Liquline CM 442 und einer Füllstandmessung (LIC7.01) Fabrikat E+H Typ Ceraphant T PTC 31 ausgerüstet. Bei einer Überschreitung des TS-Grenzwertes wird ein Alarm abgesetzt. Der Inhalt der Auffangwanne kann wahlweise der Kläranlage oder dem Vorlagebehälter T1.01 zugeführt werden. Bei der Filtratpumpe handelt es sich um eine Excenterschneckenpumpe Fabrikat Seepex Typ BN 2-6L. Die Filtratpumpe wird durch die Füllstandmessung in der Auffangwanne geregelt (LI7.01-C). Der Abgepumpte Volumenstrom wird über den IDM Fabrikat E+H Typ Proline Promag 50 W erfasst.

Außerdem ist eine Grundentleerung über einen Kugelhahn vorgesehen.

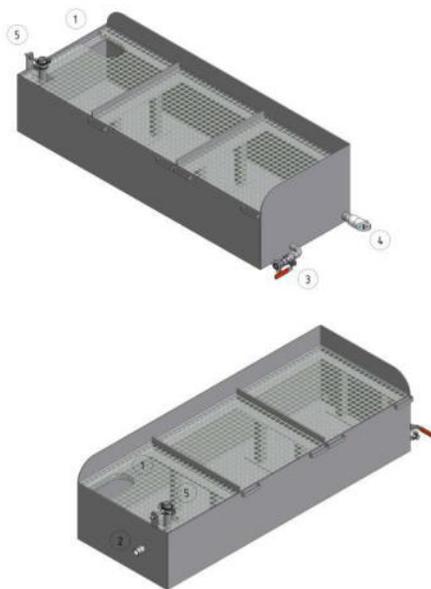


Abbildung 61: Zentratauffangwanne T7.03

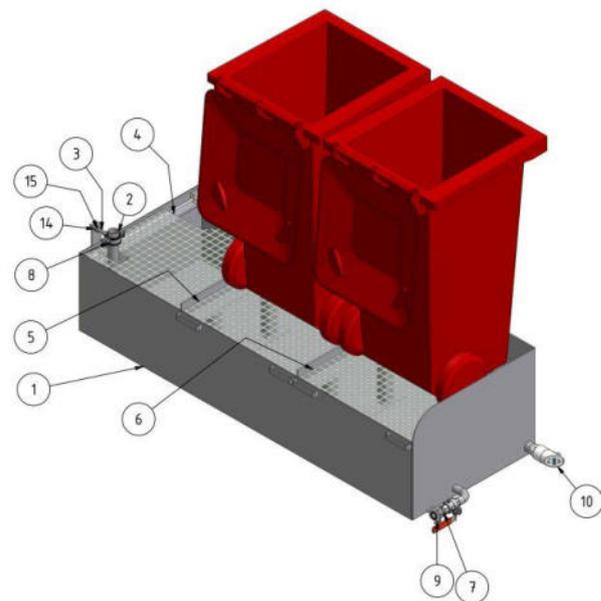


Abbildung 62: Zentratauffangwanne T7.03 mit T7.01 und T7.02

4.4 Aufbau und Funktion der Pilotanlage

Am Beginn des Forschungsvorhabens stand die interessante und vielversprechende schutzrechtlich geschützte Idee der Fa. Chemische Fabrik Budenheim KG, Phosphate mit Kohlensäure aus Faulschlamm in Lösung zu bringen, durch Fest-Flüssig-Trennung in einem Zentrat vom Faulschlamm abzutrennen und durch eine Fällung, Flockung und Filtration als Di-Calcium-Phosphat in ein handelsfähiges Düngemittel zu überführen. Die Rückgewinnung von Phosphaten aus Klärschlämmen wird in der im Herbst 2017 verabschiedeten Novelle der Klärschlammverordnung ab 2029 bzw. 2031 für Kläranlagen mit einer Anschlussgröße von über 100.000 EW bzw. über 50.000 EW gefordert.

In orientierenden Versuchen im Labormaßstab wurden einzelne Stufen des patentrechtlich geschützten Prozesses zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm von der Fa. Chemische Fabrik Budenheim KG in Zusammenarbeit mit Instituten der Fraunhofer Gesellschaft untersucht. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser diskontinuierlichen Laborversuche wurde ein erstes Konzept für eine Pilotanlage entwickelt. Im Zuge der konzeptionellen Überlegungen wurde auch ein erster grober Entwurf für einen Lageplan der Anlagenkomponenten in zwei See-Containern aufgestellt, der in Abbildung 63 dargestellt ist.

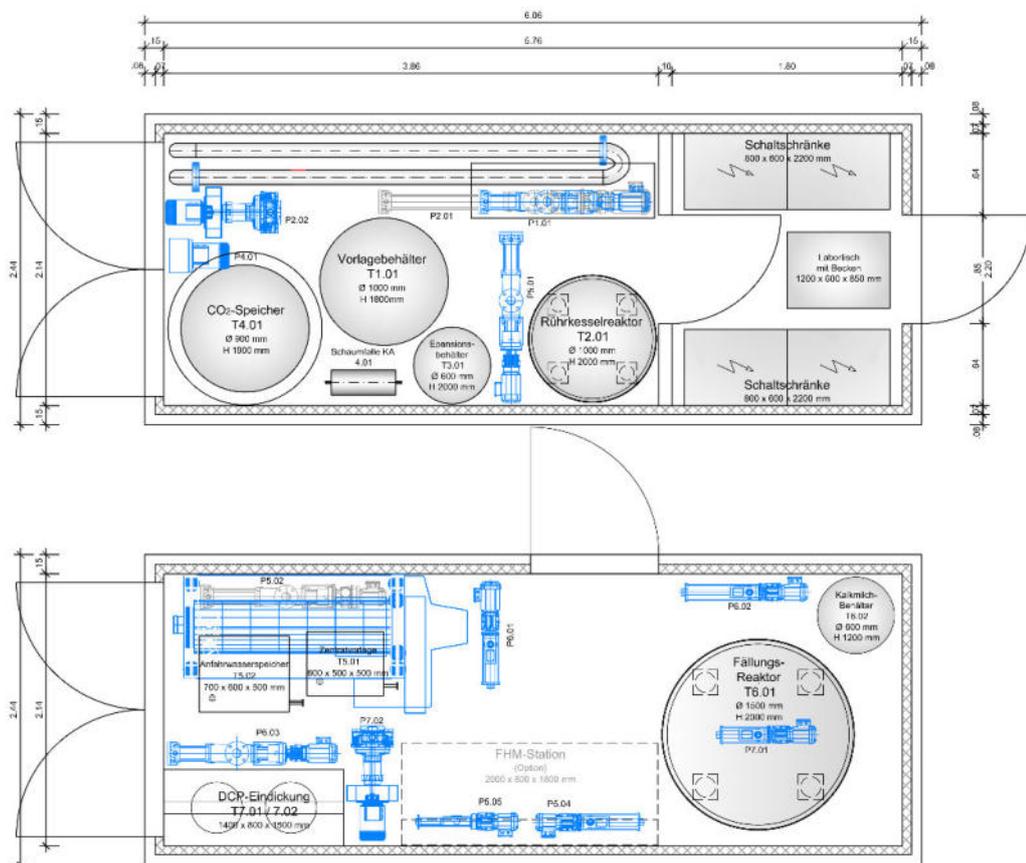


Abbildung 63: Vorentwurf der Anlage

Das Konzept für eine transportable pilotmaßstäbliche Pilotanlage mit einem Durchsatz von ca. 2 m³/h Faulschlamm wurde in einer Vorprüfung für grundsätzlich umsetzbar und realistisch im Hinblick auf die abgeschätzten Herstellungskosten für Material und Montage eingeschätzt. Nach intensiven Gesprächen wurde aber ein noch erheblicher Bedarf an Detailengineering und Detailkonstruktion offensichtlich einschließlich eines Bedarfs an Ermittlung verschiedener Bemessungsgrößen durch weitere spezielle Versuche. Detailengineering und Konstruktion dieser innovativen Pilotanlage wurden so Gegenstand des Forschungsantrags Aktenzeichen 33559/01, dessen Schlussbericht Inhalt dieser Ausführungen ist.

Nachdem zunächst das Verfahrenskonzept in Kapitel 4.1 vorgestellt wurde, wobei insbesondere auf die Aufgabenstellung in den einzelnen Verfahrensstufen abgestellt wurde, wurden die sich daraus ergebenden sicherheitstechnischen Anforderungen in den verschiedenen Verfahrensstufen der Anlage in Kapitel 4.2 herausgearbeitet, bevor das verfahrenstechnische Detailengineering und die konstruktive Gestaltung der einzelnen Verfahrensstufen in Kapitel 4.3 in Angriff genommen wurden. Bei dem verfahrenstechnischen Detailengineering und der konstruktiven Gestaltung wurde stetig den Rahmenbedingungen Rechnung getragen, so dass ein Einbau in zwei See-Container, wie gefordert, realisiert wurde.

Im Ergebnis des Forschungsvorhabens wurde aus einem ersten Konzept zur Umsetzung eines interessanten und vielversprechenden verfahrenstechnischen Ansatzes zur Rückgewinnung von Phosphaten aus Faulschlamm auf der Basis einer Rücklösung von Phosphaten im Faulschlamm mit Kohlenstoffdioxid eine funktionsfähige, technische Anlage entwickelt, die alle sicherheitstechnische Anforderungen erfüllt und in zwei See-Containern untergebracht wurde, so dass dies Verfahrenskonzept mit dieser Anlage in verschiedenen Kläranlagen untersucht, demonstriert und optimiert werden kann.

Im Zuge der Entwicklung dieser technischen Anlage unter Berücksichtigung der Möglichkeiten eines scale-ups waren verschiedene verfahrenstechnische und anlagenbautechnische Fragestellungen zu lösen. Die Lösungen der Fragestellungen sind im Kapitel 4.3 für die einzelnen Verfahrensstufen im Detail dargestellt. Abschließend sei jetzt aber noch die in der Konzeption zwar soweit wie möglich erhaltene, im Detail aber umfangreich bearbeitete Anlagenstruktur aufgezeigt. Abbildung 64 und Abbildung 65 zeigen den Grundriss der in zwei Containern eingebauten Pilotanlage, wie sie gebaut und mit geringen Anpassungen auch betrieben wird.

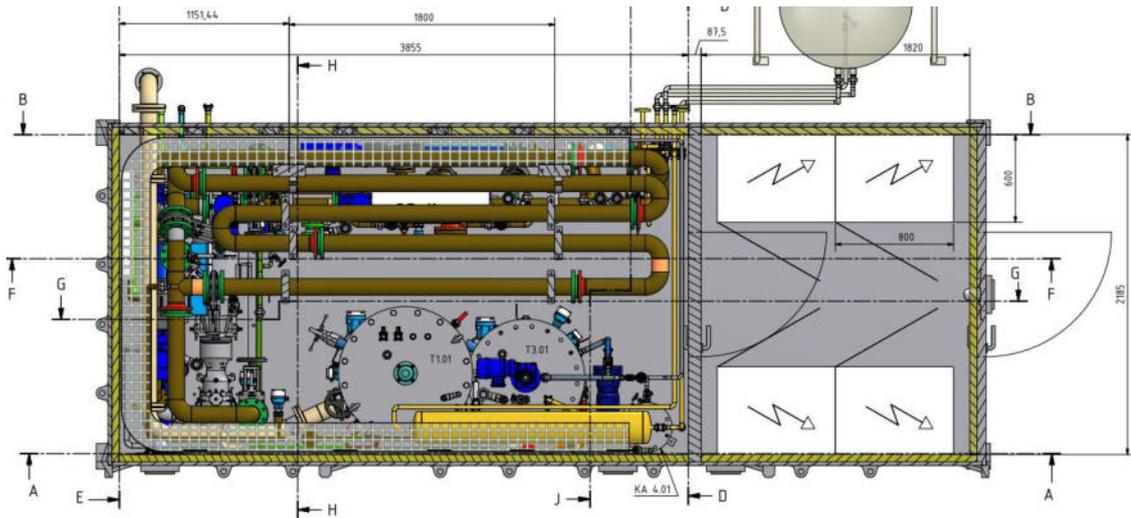


Abbildung 64: Konstruktionszeichnung Container 1

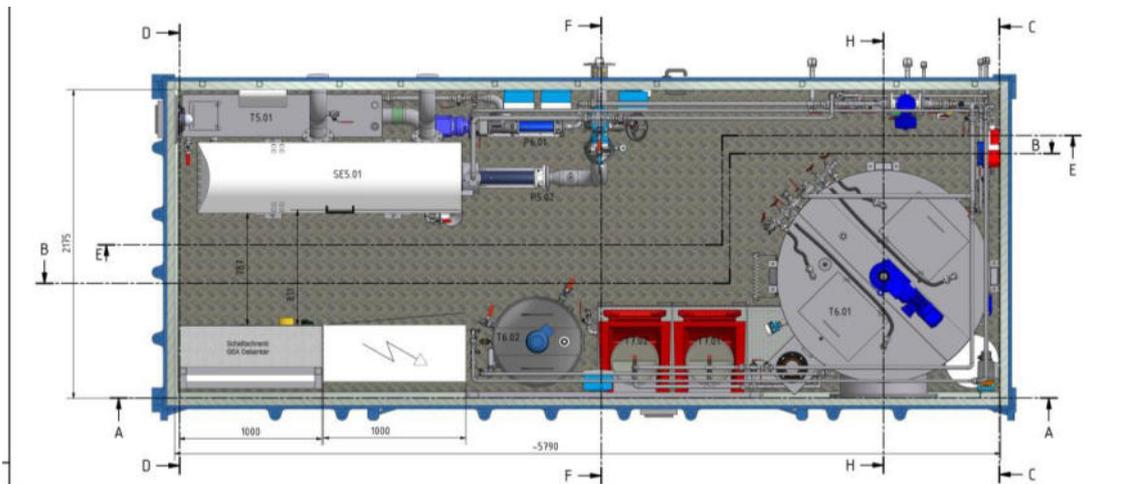


Abbildung 65: Konstruktionszeichnung Container 2

Es ist gut erkennbar, dass trotz der Aufstellung des CO₂-Speichers außerhalb der Container, des Verzichts auf einen zum Rohrschlaufenreaktor alternativen Rührkesselreaktor im Extraktionsbereich und den Verzicht auf eine Flockungshilfsmittelansetzstation sowie einer Ausführung der See-Fracht-Container in einer Open-Door-Variante die Platzverhältnisse sich kaum entspannt haben. Dies ist auf den in der ersten Konzeption allfällig unterschätzten Platzbedarf für die periphere aber unverzichtbare technische Ausrüstung zurückzuführen. Dies ist insbesondere immer ein Problem bei Anlagen mit einer innovativen Verfahrenstechnik, bei denen bei der Umsetzung von der konzeptionellen Idee in die konstruktive Ausführung nicht auf umfangreiche Erfahrungen aus mehreren bereits realisierten Anwendungen zurückgegriffen werden kann. Bei der Ausführungsplanung und konstruktiven Gestaltung innovativer Anlagen muss man sich umsichtig Schritt für Schritt vortasten, was einen ganz gravierenden Unterschied im Vergleich zur Ausführungsplanung und konstruktiven Gestaltung von Anlagen darstellt, bei denen auf einen umfangreichen Erfahrungsschatz aus vergleichbaren realisierten Anlagen zurückgegriffen werden kann.

In diesem besonderen Fall stellten die beengten Platzverhältnisse unter Berücksichtigung einer möglichst guten Zugänglichkeit aller Komponenten nicht nur für Wartung und Instandhaltung, sondern auch für mögliche noch nicht klar erkennbare Modifikationen erhöhte Anforderungen an Umsicht und vorausschauendes Denken bei der Ausführungsplanung und konstruktiven Gestaltung. Unverzichtbar für die Durchführung und Auswertung der angestrebten Versuche zur Optimierung des Verfahrens ist die umfangreiche EMSR-Technik (Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik), die deutlich mehr Platz beansprucht als ursprünglich angedacht. Insbesondere im 2. Container war der Bedarf an Schaltanlagen in der Ursprungskonzeption unterschätzt worden. Im 1. Container sind insbesondere die mess- und sicherheitstechnischen Komponenten sowie die Aggregate und die zahlreichen Armaturen im Hinblick auf ihren Platzbedarf in der Ursprungskonzeption unterschätzt worden.

Die in der Abbildung 66, Abbildung 67 und Abbildung 68, dargestellten Ansichten zeigen die verdichtete Bauweise im 1. Container.

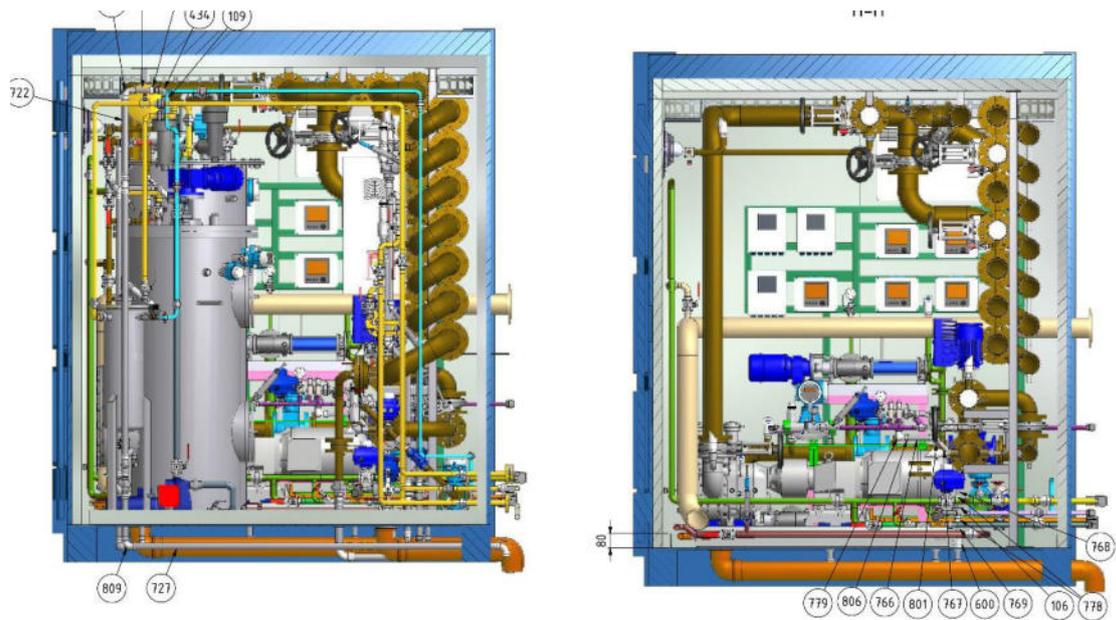


Abbildung 66: Ansicht Innenseite von Tür C1 bzw. Höhe T1.01 ausgesehen

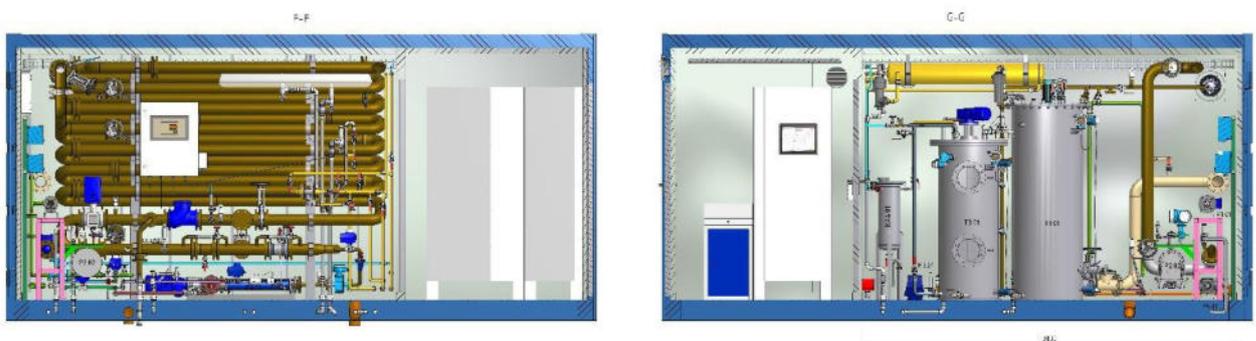


Abbildung 67: Ansicht von innen nach außen Blickend beide Längsseine Schnitt durch Containermitte längs

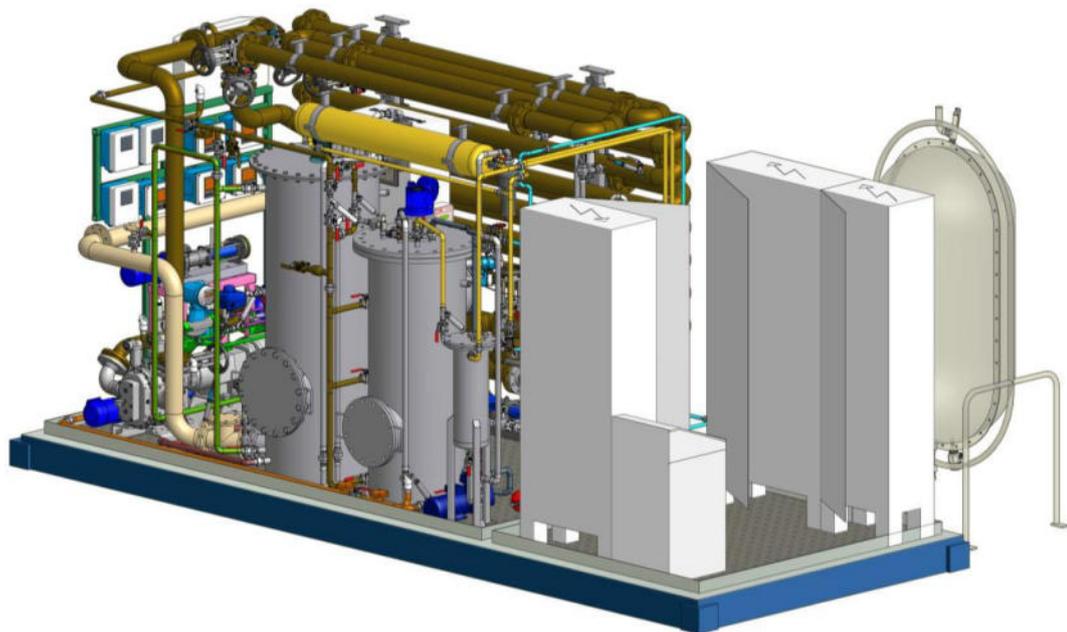


Abbildung 68: 3D Ansicht Container 1

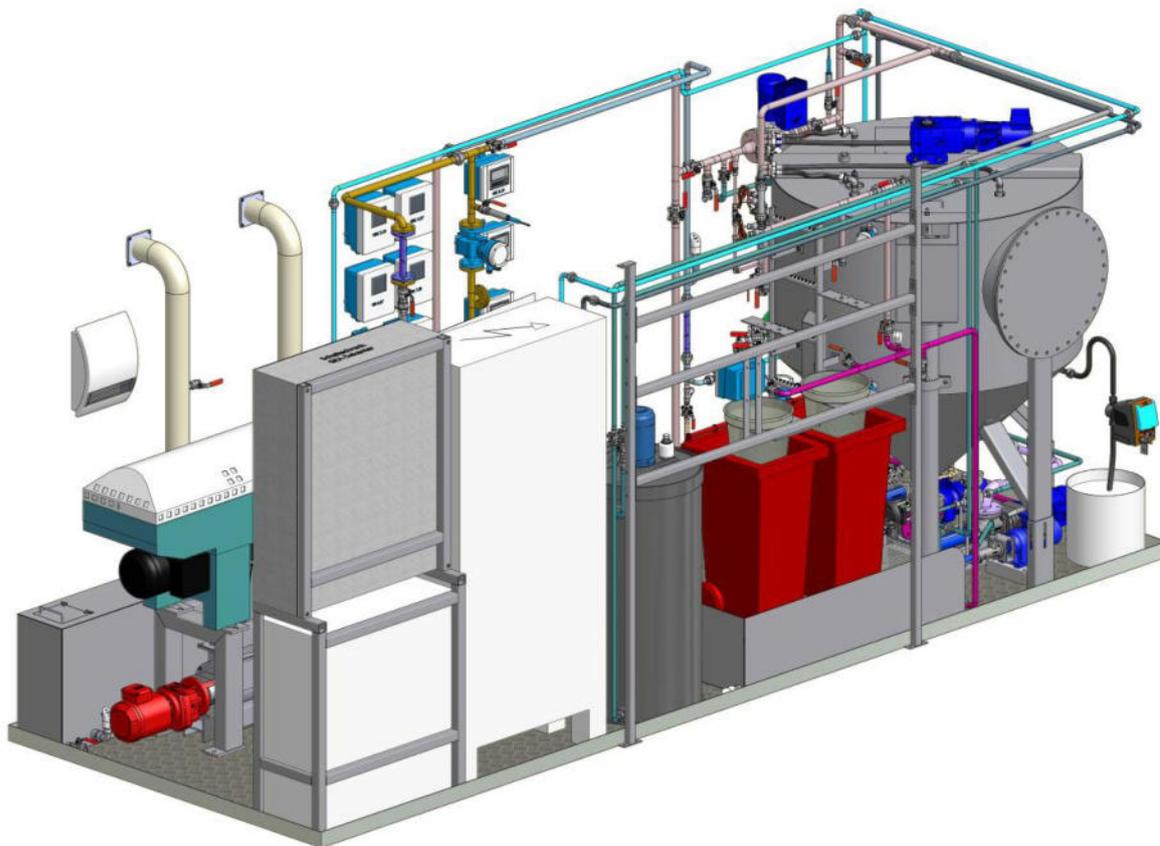


Abbildung 69: 3D Ansicht Container 2

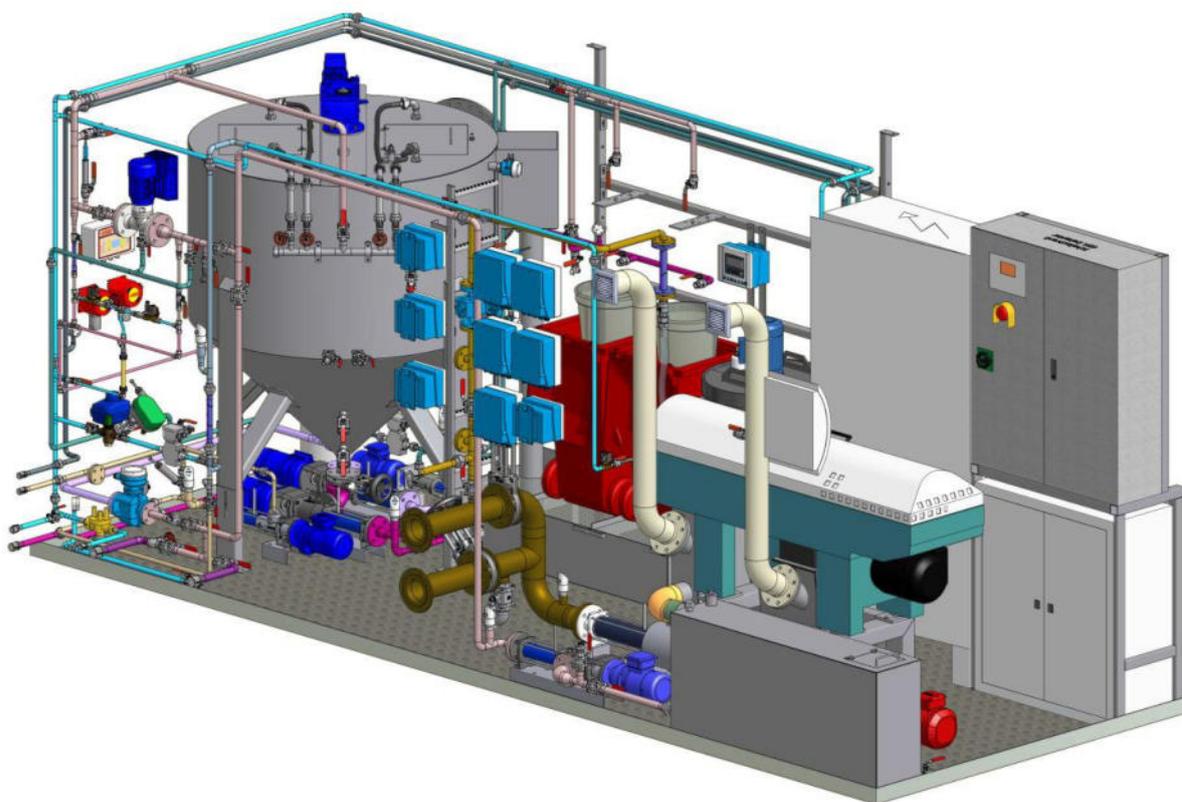


Abbildung 70: 3D Ansicht Container 2

5 Öffentlichkeitsarbeit

Die Pilotanlage wurde nach Fertigstellung auf dem Gelände der Fa. Rotaria in Anwesenheit des Ministers für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern Herrn Dr. Backhaus der Öffentlichkeit vorgestellt.

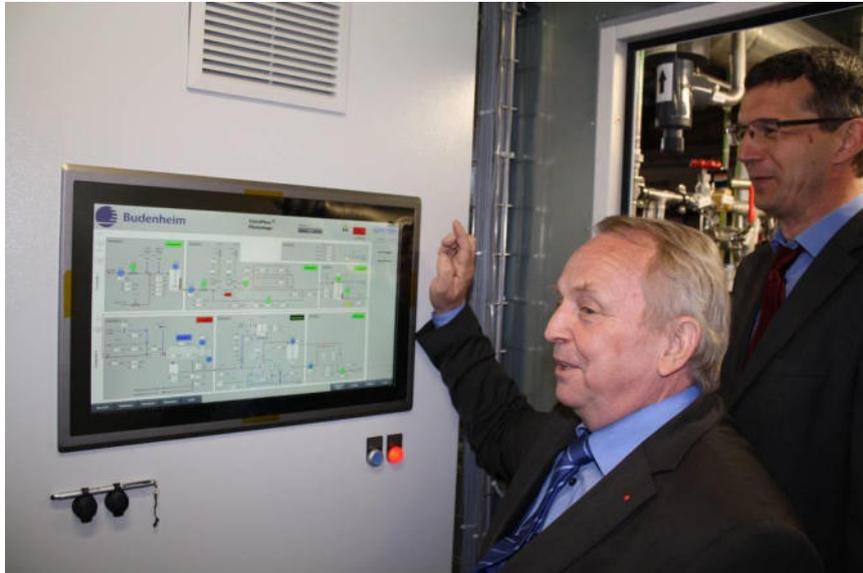


Abbildung 71: Vorstellung der Pilotanlage in Rerik mit Herrn Dr. Backhaus und dem Inhaber der Fa. Rotaria Energie- und Umwelttechnik Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Kotzbauer

Vor der Inbetriebnahme auf dem Betriebsgelände des Klärwerks Mainz Mombach wurde die Pilotanlage durch die Umweltministerin des Landes Rheinland-Pfalz Frau Ulrike Höfken und den Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Herrn Dr. Heinrich Bottermann eingeweiht.

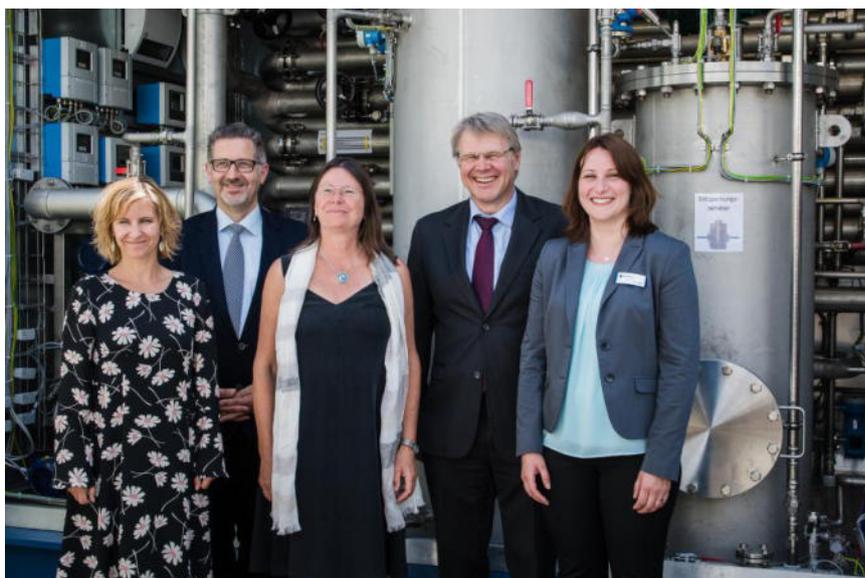


Abbildung 72: Einweihung der Pilotanlage auf der Kläranlage Mainz von links: Umweltdezernentin Katrin Eder, Abteilungsleiter beim Wirtschaftsbetrieb Mainz-Mombach Herbert Hochgürtel, Umweltministerin Ulrike Höfken, Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Dr. Heinrich Bottermann, Projektleiterin Eva Opitz



Abbildung 73: Umweltministerin Frau Höfken und DBU-Generalsekretär Herr Dr. Bottermann starten die Pilotanlage

In Zusammenarbeit mit der Hochschule Wismar – University of applied Sciences Technology, Business and Design – wurden im Rahmen des Forschungsprojekts mehrere Bachelor- und Masterarbeiten sowie wissenschaftliche Projektarbeiten durchgeführt, die sich zum Teil direkt mit begleitenden Untersuchungen zur Unterstützung der Projektierung der Anlage befasst haben und zum Teil mit ergänzenden Untersuchungen zu den verfahrenstechnischen Grundlagen der Rücklösung von Phosphaten in Klärschlamm bei saurer Laugung. Die Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen wurden am 19.10.2017 auf einer Veranstaltung des VDI in Rothenburg a.d. Fulda (Text + Power-Point-Präsentation), einer Sitzung des VKU Landesgruppe Nord am 02.11.2018 in Truppenkamp (Power-Point-Präsentation) und auf einer Tagung der Deutsche Phosphor Plattform – DPP – am 26.09.2019 in Frankfurt am Main (Power-Point-Präsentation) der Fachöffentlichkeit präsentiert.

Neue Erkenntnisse aus der Ausführungsplanung und Konstruktion im Rahmen des Forschungsvorhabens sowie aus dem Betrieb der Pilotanlage wurden gemeinsam mit der Fa. Chemische Fabrik Budenheim als Patentschrift DE 10 2017 123 807 A1 veröffentlicht und schutzrechtlich verwertet.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens war die patentrechtlich geschützte Idee der Fa. Chemische Fabrik Budenheim aus Faulschlamm Phosphat zurückzugewinnen, indem schwerlösliches Phosphat im Faulschlamm durch die Wirkung von Kohlensäure in Lösung überführt wird, anschließend das gelöste Phosphat in einer Fest-Flüssig-Trennung von den Feststoffen des Faulschlamm abgetrennt wird und das Phosphat aus dem Filtrat als Di-Calcium-Phosphat gefällt, abgetrennt und entwässert wird.

Eine Rückgewinnung von Phosphat aus Klärschlamm wird in der Novelle der Klärschlammverordnung vom Okt. 2017 für Kläranlagen mit einer Kapazität von > 100.000 EW ab 2029 und für Kläranlagen mit einer Kapazität von > 50.000 EW ab 2031 gesetzlich gefordert. Bereits 2023 ist von den Kläranlagenbetreibern ein Konzept vorzulegen, in dem sie darlegen, wie sie gedenken, diese Anforderungen zu erfüllen.

Durch eine Einmischung von Kohlenstoffdioxid unter hohem Druck sollte eine ausreichende Konzentration an Kohlensäure im Faulschlamm für die Lösung der schwerlöslichen Phosphate erreicht werden. Anschließend sollte der Faulschlamm entspannt werden und dabei ausgasendes Kohlenstoffdioxid perspektivisch wieder verdichtet und in den Faulschlamm eingemischt werden. Für die Fest-Flüssig-Trennung sollten vorzugsweise eine Flockung mit einem nativen Flockungshilfsmittel und eine Dekanterzentrifuge zum Einsatz kommen. Die Fällung des Phosphats als Di-Calcium-Phosphat sollte in einem pH-Wert-Bereich von $5,5 < \text{pH} < 6,0$ mit hoher Mischenergie erfolgen, um eine Bildung von schlechter bio-verfügbarem Tri-Calcium-Phosphat zu vermeiden. Das Di-Calcium-Phosphat sollte anschließend in einer Sackfiltration entwässert werden.

Die Rücklösung von Phosphaten in Faulschlamm bei einer Einmischung von Kohlenstoffdioxid unter hohen Drücken von bis zu 10 bar war in diskontinuierlichen Versuchen im Labormaßstab von der Fa. Chemische Fabrik Budenheim KG in Zusammenarbeit mit Instituten der Fraunhofer Gesellschaft untersucht worden. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Versuche wurde ein erstes Konzept für eine Versuchsanlage im Pilotmaßstab für einen kontinuierlichen Betrieb unter praxisnahen Bedingungen erstellt. Mit der Pilotanlage sollte das Verfahren in verschiedenen Kläranlagen untersucht, demonstriert und optimiert werden.

Die Umsetzung dieses ersten Konzepts in eine funktionierende und den Sicherheitsanforderungen entsprechende technische Anlage erforderte ein umfangreiches Detailengineering und umfangreiche Konstruktionsarbeiten, bei denen aufgrund des innovativen Charakters der Anlage der Einsatz von Standardlösungen immer zu hinterfragen war, sofern überhaupt in Frage kommende Standardlösungen identifiziert werden konnten. Es war zudem absehbar, dass zur Beantwortung zahlreicher im Zuge der Bearbeitung aufkommenden Fragen die Durchführung von weiteren Versuchen erforderlich sein dürfte. Vor diesem Hintergrund wurde das Forschungsvorhaben beantragt, dessen Gegenstand dieser Abschlussbericht ist.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Aufgabenstellungen der einzelnen Verfahrensstufen präzisiert, in dem die Quantifizierung der Anforderungen vervollständigt und die Nahtstellen der Verfahrensstufen konkretisiert wurden. Dieser Arbeitsschritt ist im Kapitel 4.1 beschrieben. Anschließend wurden die sicherheitstechnischen und arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen und erforderlichen Maßnahmen der einzelnen Verfahrensstufen erarbeitet. Darüber wird in Kapitel 4.2 berichtet. Die Ausführungsplanung und konstruktive Bearbeitung der einzelnen Verfahrensstufen werden im Kapitel 4.3 dieses Berichts vorgestellt.

Im Ergebnis der Bearbeitung wurde eine Pilotanlage geplant, konstruiert und gebaut, die den Vorstellungen und Anforderungen der Fa. Chemische Fabrik Budenheim entspricht und die sich mit geringen Modifikationen auch im Praxisbetrieb bereits an zwei Standorten bewährt hat. Zum einen mussten die Schrägsitz-Druckhalteventile des Rohrschlaufenreaktors durch Schlauchquetschventile ausgetauscht werden und zum anderen erforderten Fremdstoffe im Faulschlamm wie z.B. Fasern und Haare die Vorschaltung eines Feststoff- und Faserzerkleinerers in der Form eines Mazerators Rota Cut der Fa. Vogelsang. Mit diesen Modifikationen war ein kontinuierlicher Betrieb der Anlage unter praxisnahen Verhältnissen möglich.

Die Erkenntnisse aus der Planungs- und Konstruktionsarbeit sowie aus den Versuchen mit der Pilotanlage wurden von der Fa. Chemische Fabrik Budenheim und der Fa. Rotaria Energie- und Umwelttechnik gemeinsam als Patentschrift EP WO 2019/072814 A1 veröffentlicht und schutzrechtlich verwertet.

Die Pilotanlage wurde nach Fertigstellung auf dem Gelände der Fa. Rotaria in Anwesenheit des Ministers für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern Herrn Dr. Backhaus der Öffentlichkeit vorgestellt und auf dem Betriebsgelände des Klärwerks Mainz Mombach durch die Umweltministerin des Landes Rheinland-Pfalz Frau Ulrike Höfken und den Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Herrn Dr. Heinrich Bottermann eingeweiht.

7 Literaturverzeichnis

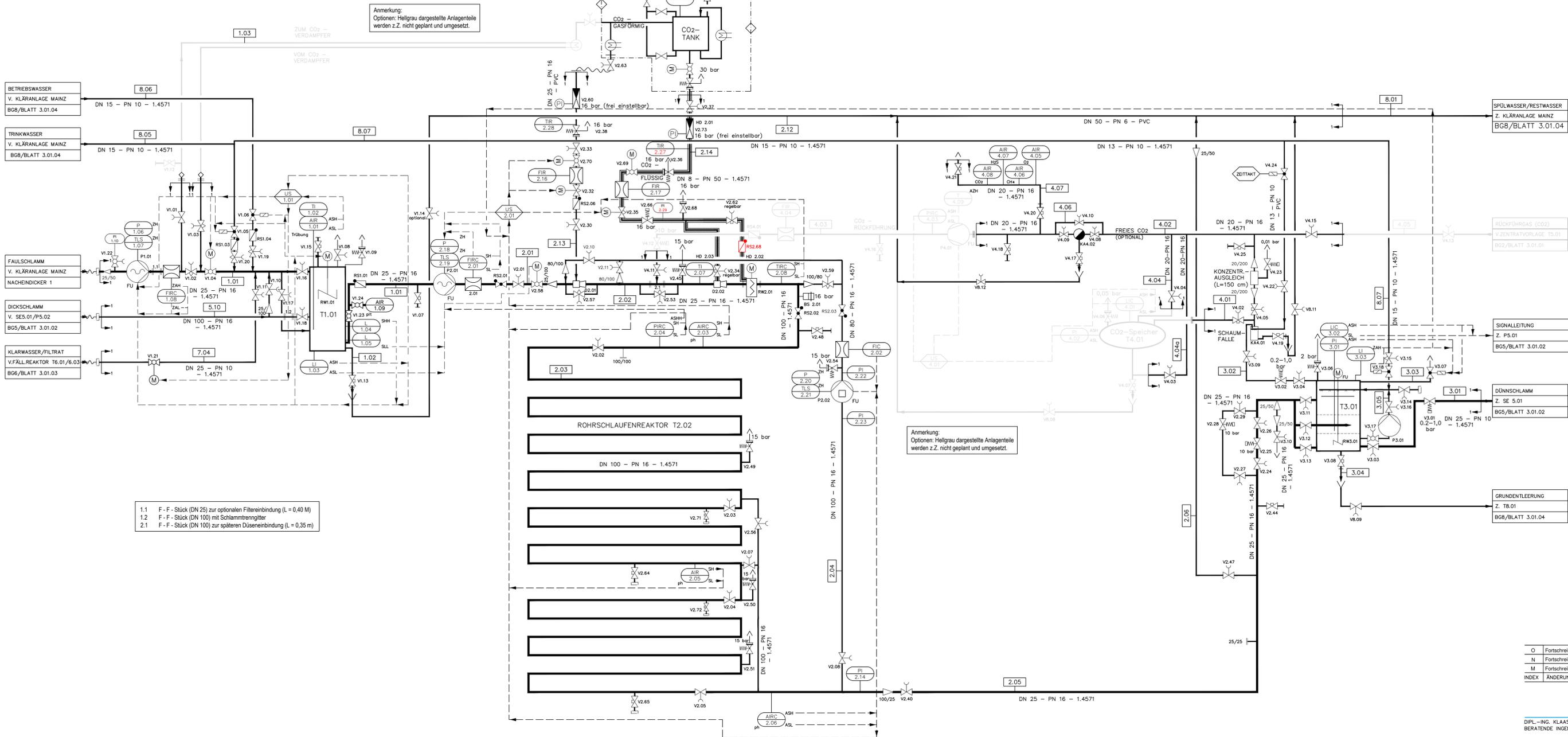
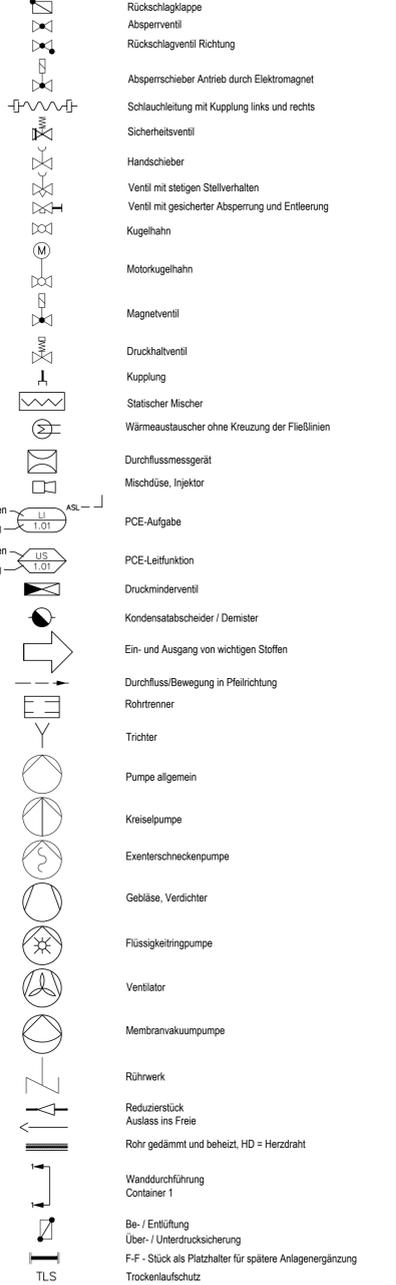
- Beyer, E. (2017). *Begleitung der Ausführungsplanung und Erstellung des Pflichtenheftes für eine Versuchsanlage zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm mit dem "Budenheim-Verfahren"*. Wismar.
- Cohrt, N. (2017). *Berechnungen und orientierende Versuche zum Vorkommen von Phosphorverbindungen im Klär- und Faulschlamm als Grundlage zur Einschätzung von Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm*. Wismar.
- Genthe, S. (2016). *Begleitung der Umbaumaßnahmen an der thermischen Klärschlamm-Desintergrationsanlage in der Kläranlage Grevesmühlen und Durchführung begleitender Versuche*. Wismar.
- Tomas, J. (2015). *Grundlagen und Prozesse der Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie*. Magdeburg.

8 Anhang

Anhang I: R und I-Schema BG – 01- BG – 04

T1.01 VORLAGEBEHÄLTER		P1.01 FAULSCHLAMMPUMPE		N.N. CO2 - TANK		T2.01 EXTRAKTIONSBEHÄLTER		T3.01 EXPANSIONSBEHÄLTER		T2.02 ROHRSCHLAUFENREAKTOR		P2.01 DÜNNSCHLAMMPUMPE		P2.02 REZIRKULATIONS-PUMPE		RW2.02 RÜHRWERK IN T2.02		RW3.01 RÜHRWERK IN T3.01		P4.01 GASVERDICHTER		T4.01 GASWISCHENSPEICHER		RW2.01	
VOLUMEN	m³	FÖRDERMENGE	m³/h	VOLUMEN	m³	VOLUMEN	m³	VOLUMEN	m³	VOLUMEN	m³	FÖRDERMENGE	m³/h	FÖRDERMENGE	m³/h	DURCHMESSER	mm	DURCHMESSER	mm	FÖRDERMENGE	m³/h	VOLUMEN	m³	DURCHMESSER	mm
Pzul	barü	FÖRDERHÖHE	barü	Pzul	barü	T	°C	Pzul	barü	Pzul	barü	FÖRDERHÖHE	barü	FÖRDERHÖHE	barü	DREHZAHL	1/Min	DREHZAHL	1/Min	FÖRDERHÖHE	barü	Pzul	barü	DREHZAHL	1/Min
		ANTRIEB	kW									ANTRIEB	kW	ANTRIEB	kW	ANTRIEB	kW	ANTRIEB	kW					ANTRIEB	kW
		SAUGHÖHE	m			GEWICHT,LEER	KG																		
						GEWICHT,VOLL	KG																		
						DOSENBLEITUNG	m³/h																		

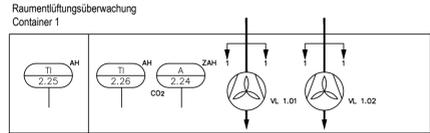
Legende



- 1.1 F-F - Stück (DN 25) zur optionalen Filtereinbindung (L = 0,40 M)
- 1.2 F-F - Stück (DN 100) mit Schlammregulator
- 2.1 F-F - Stück (DN 100) zur späteren Düsenbindung (L = 0,35 m)

Medien- / Stromliste

Strom-Nr.	2.01	2.05	3.01	5.02	5.03	6.03	7.01	8.04	2.13	6.05	5.08
Medienbezeichnung	Zulauf Dünnschlamm	Ablauf Extraktionsbehälter	Zulauf Schlamm-entwässerung	Zentratablauf Schlamm-entwässerung	Ablauf Dickschlamm	Prozesswasser Fällungsreaktor (FR)	Phosphat-schlamm (DCP)	Rest-wasser	Kohlensäure CO2	Kalkmilch CA(OH)2 10-40%	Flockungs-hilfs-mittel
Volumenstrom	1-2	1-2	1-2,5	1-2,5	0,08	1-2	0,1-0	2,0	5-20	0,00017	0,002-0,6
Betriebsdruck	10	10	0	0	0	0	0	0,5	15-20	0	0
Dichte	1000	1000	1000	1000	-	1000	-	-	1,98	1,1-1,8	0
Temperatur	20-35	20-35	15-35	15-25	15-25	15-25	-	-	-25/25	20	-
pH-Wert	6,5-7,5	5-7	5-7	5-7	7	7-8	-	-	-	10-12	-
PO4-P	70-200	200	200	200	-	-	-	-	0	0	0
TS-Gehalt	0,5-3,5	0,5-3,5	0,5-3,5	0,0-0,1	22	-	-	-	0	0,1-10	0
Trockenrückstand	kg/kg								0	0	0



Die Bauformen der Armaturen sind den Armaturenlisten zu entnehmen

O	Fortschreibung	14.03.2017	BSchleef
N	Fortschreibung	22.02.2017	BSchleef
M	Fortschreibung	05.12.2016	BSchleef
INDEX	ÄNDERUNG	DATUM	NAME

INGENIEUR-GESELLSCHAFT
STEINBURG

DIPL.-ING. KLAAS HAYENGA-HOYER DIPL.-ING. JENS-REINER WITTKUGEL MBH
BERATUNGS-INGENIEURE

BROCKREIHE 20 25569 BAHRENFLETH TEL. 0 48 24 / 38 98-0 FAX. 38 98-38



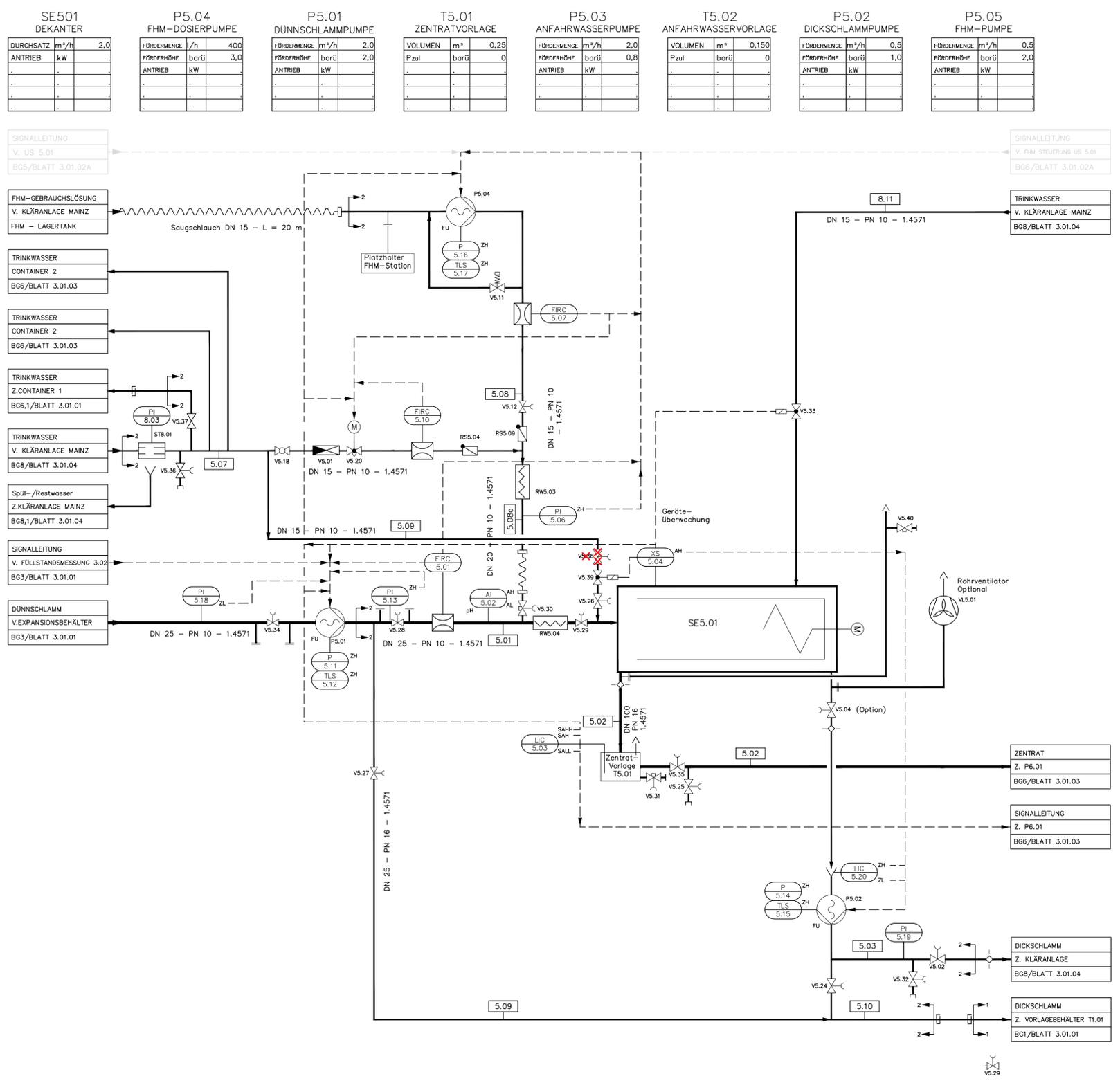
Urban Mining Versuchsanlage	BEARBEITUNGSSTATUS: Ausführung
R & I - Fließbild Durchlaufanlage	BEARBEITUNG: Müßig
Baugruppen (BG) 1 - 4	GEZEICHNET: 14.10.2015 DATUM: PROJEKT-NR.: 23-14 ZEICHN.-NR.: 3.01.01
	O.M.
	ACAD Blatt 1 von 5

FÜR DIESE TECHNISCHE UNTERLAGE BEHALTEN WIR UNS ALLE RECHTE VOR. ODER UNSERE VORHERIGE ZUSTIMMUNG DARF BEI KEINER VERNUEFTLICH NOCH DRETTEN ZUGÄNGLICH GEMACHT WERDEN, UND SIE DARF DURCH DEN EMPFÄNGER ODER DURCH DRITTE NICHT IN ANDERER WEISE MISSBRÄUCHLICH VERWENDET WERDEN.
N:\ACAD\Projekte_2014\2314_Budenheim\KGB_Zeichnungen\3_Ausführung\2314_301_BG1-BGB.dwg

Anhang II: R und I-Schema BG – 05

Legende

- Rückschlagklappe
- Absperrventil
- Rückschlagventil Richtung
- Absperrschieber Antrieb durch Elektromagnet
- Schlauchleitung mit Kupplung links und rechts
- Sicherheitsventil
- Handschieber
- Ventil mit stetigen Stellverhalten
- Ventil mit gesicherter Absperrung und Entleerung
- Kugelhahn
- Motorkugelhahn
- Magnetventil
- Druckhaltventil
- Kupplung
- Statischer Mischer
- Wärmeaustauscher ohne Kreuzung der Fließlinien
- Durchflussmessgerät
- Mischdüse, Injektor
- Kennbuchstaben Kennzeichnung LI 1.01
- Kennbuchstaben Kennzeichnung US 1.01
- Druckminderventil
- Kondensatscheider / Demister
- Ein- und Ausgang von wichtigen Stoffen
- Durchfluss/Bewegung in Pfeilrichtung
- Rohrtrenner
- Trichter
- Pumpe allgemein
- Kreiselpumpe
- Exenterschnepumpenpumpe
- Gebläse, Verdichter
- Flüssigkeitringpumpe
- Ventilator
- Membranvakuumpumpe
- Rührwerk
- Reduzierstück Auslass ins Freie
- Rohr gedämmt und beheizt, HD = Herzdraht
- Wanddurchführung Container 1
- Be- / Entlüftung Über- / Unterdrucksicherung
- F-F - Stück als Platzhalter für spätere Anlagenergänzung
- Trockenlaufschutz



SIGNALLEITUNG

V. US 5.01
BG5/BLATT 3.01.02A

V. FWM STEUERUNG US 5.01
BG6/BLATT 3.01.02A

V. KLÄRANLAGE MAINZ
BG6/BLATT 3.01.03

Z. CONTAINER 2
BG6/BLATT 3.01.03

Z. CONTAINER 1
BG6,1/BLATT 3.01.01

V. KLÄRANLAGE MAINZ
BG8/BLATT 3.01.04

Spül-/Restwasser
Z. KLÄRANLAGE MAINZ
BG8,1/BLATT 3.01.04

V. FÜLLSTANDMESSUNG 3.02
BG3/BLATT 3.01.01

V. EXPANSIONSBEHÄLTER
BG3/BLATT 3.01.01

TRINKWASSER

V. KLÄRANLAGE MAINZ
BG8/BLATT 3.01.04

ZENTRAT

Z. P6.01
BG6/BLATT 3.01.03

DICKSCHLAMM

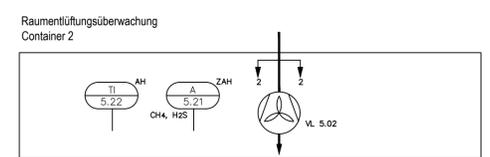
Z. KLÄRANLAGE
BG8/BLATT 3.01.04

DICKSCHLAMM

Z. VORLAGEBEHÄLTER T1.01
BG1/BLATT 3.01.01

Medien- / Stromliste

Strom-Nr.	Einheit	2.01	2.05	3.01	5.02	5.03	6.03	7.01	8.04	2.13	6.05	5.08
Medien												
Medienbezeichnung		Zulauf Dünnschlamm	Ablauf Extraktionsbehälter	Zulauf Schlamm-entwässerung	Zentratablauf Schlamm-entwässerung	Ablauf Dick-schlamm	Prozesswasser Fällungs-reaktor (FR)	Phosphat-schlamm (DCP)	Rest-wasser	Kohlensäure CO2	Kalkmilch Ca(OH)2 10-40%	Flockungs-mittel
Volumenstrom	m³/h	1-2	1-2	1-2,5	1-2,5	0,08	1-2	0-1,0	2,0	5-20	0,00017	0,002-0,6
Betriebsdruck	barü	10	10	0	0	0	0	0	0,5	15-20	0	0
Dichte	kg/m³	1000	1000	1000	1000	-	1000	-	-	1,98	1,1-1,8	-
Temperatur	°C	20-35	20-35	15-35	15-25	15-25	15-25	15-25	-	-25/25	20	-
pH-Wert	-	6,5-7,5	5-7	5-7	5-7	7	7-8	-	-	-	10-12	-
PO4-P	mg/l	70-200	200	200	200	-	-	-	-	-	-	-
TS-Gehalt	%	0,5-3,5	0,5-3,5	0,5-3,5	0,0-0,1	22	-	-	-	-	0,1-10	-
Trockenrückstand	kg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Die Bauformen der Armaturen sind den Armaturenlisten zu entnehmen

L	Fortschreibung	14.03.2017	BSchleef
K	Fortschreibung	22.02.2017	BSchleef
J	Fortschreibung	05.12.2016	BSchleef
INDEX	ÄNDERUNG	DATUM	NAME

INGENIEUR-GESELLSCHAFT STEINBURG

DIPL.-ING. KLAAS HAYENGA-HOYER DIPL.-ING. JENS-REINER WITTKUGEL MBH BERATENDE INGENIEURE



BROKREIHE 20 25569 BAHRENFLETH TEL. 0 48 24 / 38 98-0 FAX. 38 98-38



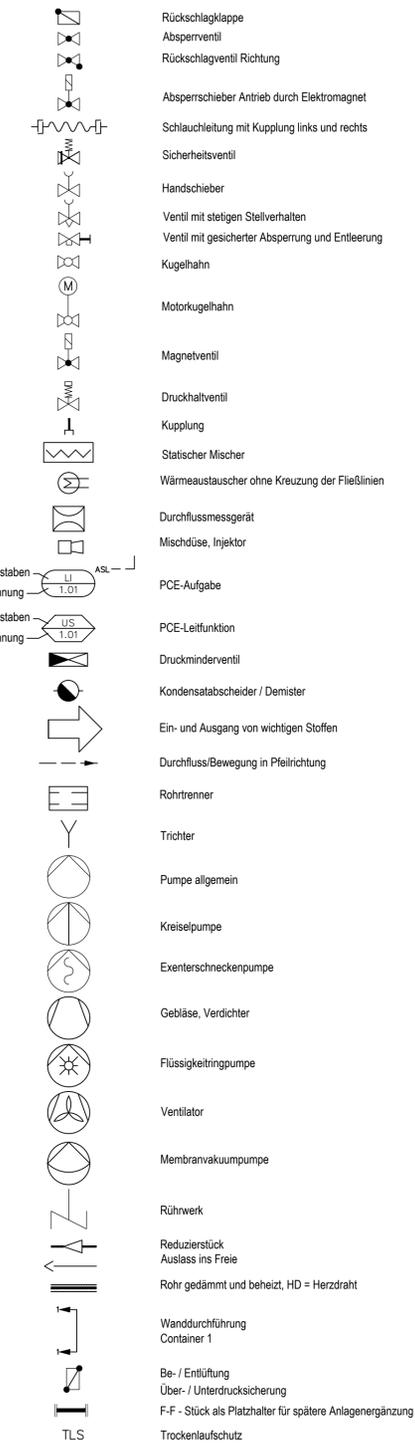
Urban Mining Versuchsanlage	BEARBEITUNGSSTATUS: Ausführung
	BEARBEITUNG: Müßig
R & I - Fließbild Durchlaufanlage	GEZEICHNET: BSchleef
	DATUM: 14.10.2015
Baugruppe (BG) 5	PROJEKT-NR.: 23-14
	ZEICHN.-NR.: 3.01.02
O.M.	
ACAD Blatt 2 von 5	

FÜR DIESE TECHNISCHE UNTERLAGE BEHALTEN WIR UNS ALLE RECHTE VOR. OHNE UNSERE VORHERIGE ZUSTIMMUNG DARF SIE WEDER VERVIELFÄLTIGT NOCH DRITTEN ZUGÄNGLICH GEMACHT WERDEN, UND SIE DARF DURCH DEN EMPFÄNGER ODER DURCH DRITTE NICHT IN ANDERER WEISE MISSBRÄUCLICH VERWENDET WERDEN. N:\ACAD\Projekte_2014\2314_Budenheim\KG_V_Zeichnungen\3_Ausführung\2314_301_BG1-BG8.dwg

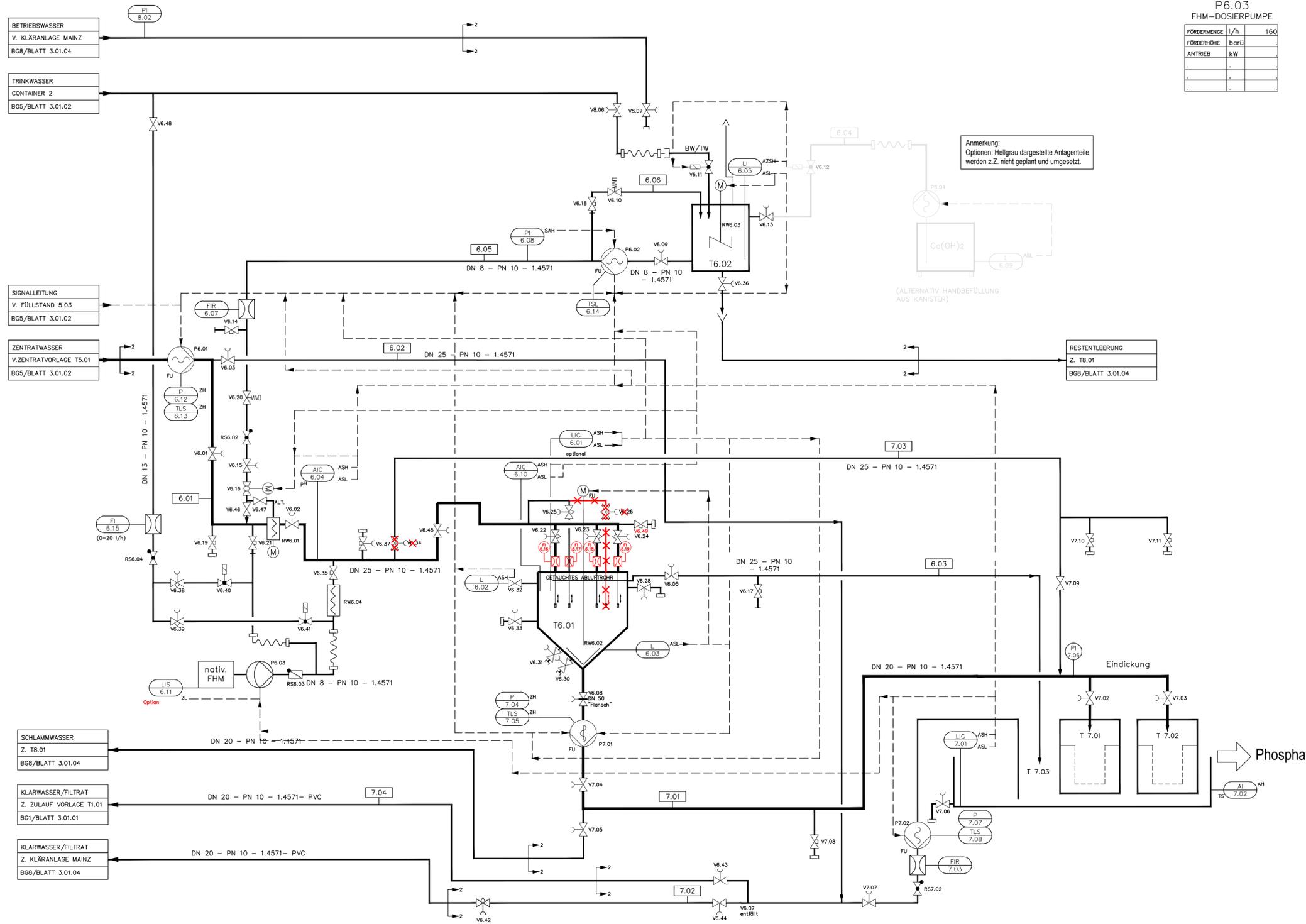
N:\ACAD\Projekte_2014\2314_Budenheim\KG_V_Zeichnungen\3_Ausführung\2314_301_BG1-BG8.dwg 15.03.2017 12:11:18

Anhang III: R und I-Schema BG – 06 und BG – 07

Legende



T6.02 KALKMILCHVORLAGE			T6.01 FÄLLUNGSREAKTOR			P6.01 ZENTRATPUMPE			P6.02 KALKHYDRATPUMPE			RW6.03 KALKMILCH-RÜHRWERK			RW6.01 INLINE-RÜHRWERK			RW6.02 FÄLLSCHLAMM-RÜHRWERK			P7.01 PHOSPHATPUMPE			P6.03 ÜBERSTANDSWASSERPUMPE			P7.02 FILTRATPUMPE			T7.01/T7.02 SACKFILTEREINDICKUNG		
VOLUMEN	m³	0,25	VOLUMEN	m³	1,75	FÖRDERMENGE	m³/h	1-2	FÖRDERMENGE	l/h	50,0	DURCHMESSER	mm	200	DURCHMESSER	mm	20	DURCHMESSER	mm	500	FÖRDERMENGE	l/h	1000	FÖRDERMENGE	m³/h	2000	FÖRDERMENGE	l/h	1000	VOLUMEN	l	50
LÖSUNG	%	0,1	Pzul	barü	0	FÖRDERHÖHE	barü	2,0	FÖRDERHÖHE	barü	3,0	DREHZAHL	1/Min	0-500	DREHZAHL	1/Min	0-1000	DREHZAHL	1/Min	0-200	FÖRDERHÖHE	barü	0,5	FÖRDERHÖHE	barü	0,5	FÖRDERHÖHE	barü	0,5			
						ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW		ANTRIEB	kW				



Anmerkung:
Optionen: Hellgrau dargestellte Anlagenteile werden z.Z. nicht geplant und umgesetzt.

(ALTERNATIV HANDBEFÜLLUNG AUS KANISTER)

Medien- / Stromliste

Strom-Nr.	Einheit	2.01	2.05	3.01	5.02	5.03	6.03	7.01	8.04	2.13	6.05	5.08
Medien												
Medienbezeichnung		Zulauf Dünn-schlamm	Ablauf Extraktions-behälter	Zulauf Schlamm-entwässerung	Zentratablauf Schlamm-entwässerung	Ablauf Dick-schlamm	Prozesswasser Fällungs-reaktor (FR)	Phosphat-schlamm (DCP)	Rest-wasser	Kohlensäure CO2	Kalkmilch Ca(OH)2 10-40%	Flockungs-hilfs-mittel
Volumenstrom	m³/h	1-2	1-2	1-2,5	1-2,5	0,08	1-2	0-1,0	2,0	5-20	0,00017	0,002-0,6
Betriebsdruck	barü	10	10	0	0	0	0	0	0,5	15-20	0	0
Dichte	kg/m³	1000	1000				1000			1,98	1,1-1,8	
Temperatur	°C	20-35	20-35	15-35	15-25	15-25	15-25			-25/25	20	
pH-Wert		6,5-7,5	5-7	5-7	5-7	7	7-8			10-12		
PO4-P	mg/l	70-200	200	200	200					0	0,1-10	
TS-Gehalt	%	0,5-3,5	0,5-3,5	0,5-3,5	0,0-0,1	22				0		
Trockenrückstand	kg/kg									0		

Die Bauformen der Armaturen sind den Armaturenlisten zu entnehmen

K	Fortschreibung	14.03.2017	BSchleef
J	Fortschreibung	22.02.2017	BSchleef
I	Fortschreibung	05.12.2016	BSchleef
INDEX	ÄNDERUNG	DATUM	NAME

INGENIEUR-GESELLSCHAFT STEINBURG

DIPL.-ING. KLAAS HAYENGA-HOYER DIPL.-ING. JENS-REINER WITTKUGEL MBH BERATENDE INGENIEURE

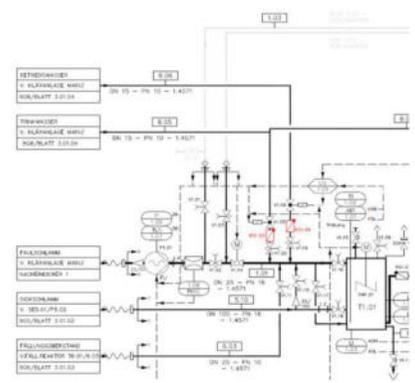
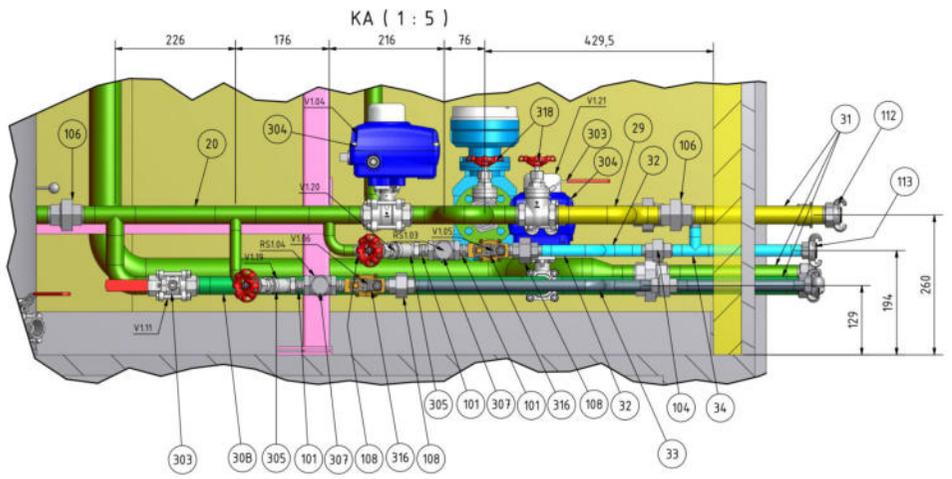
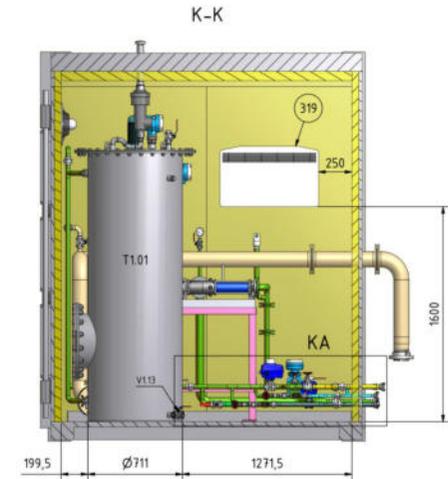
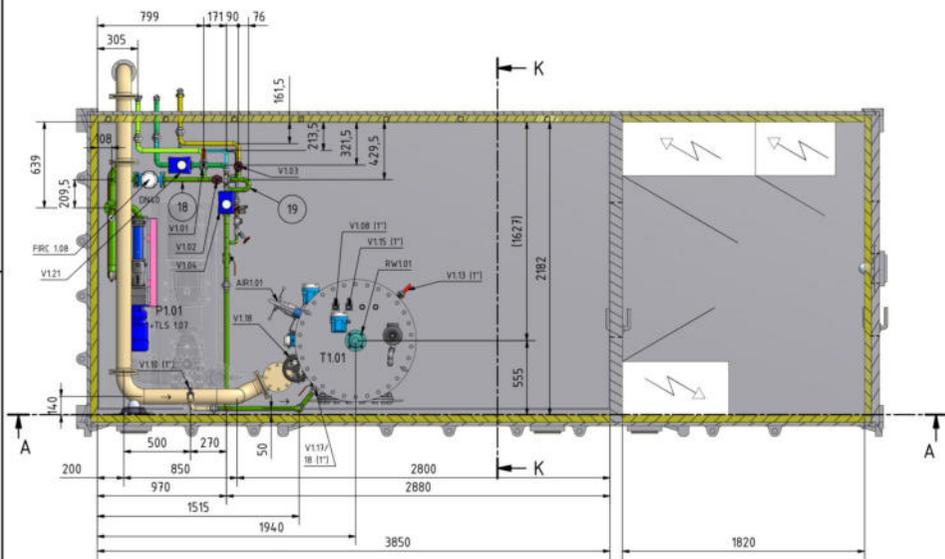
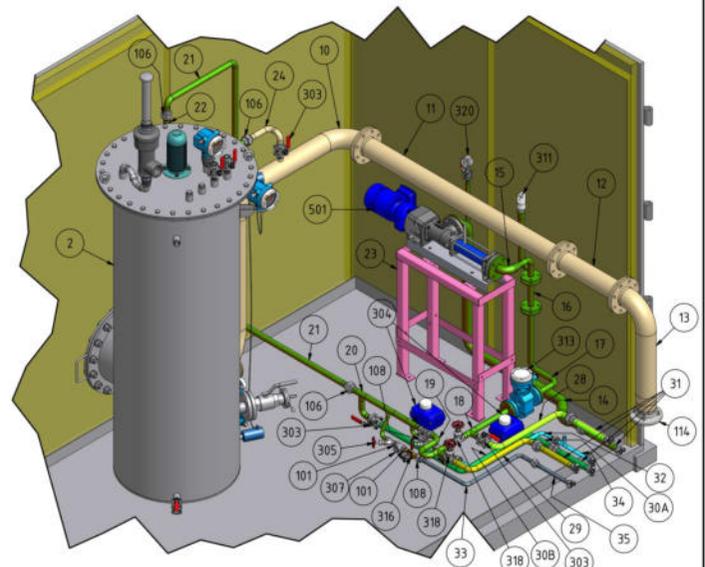
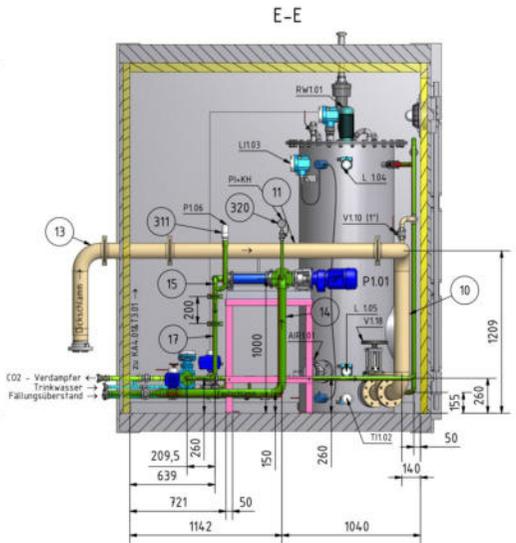
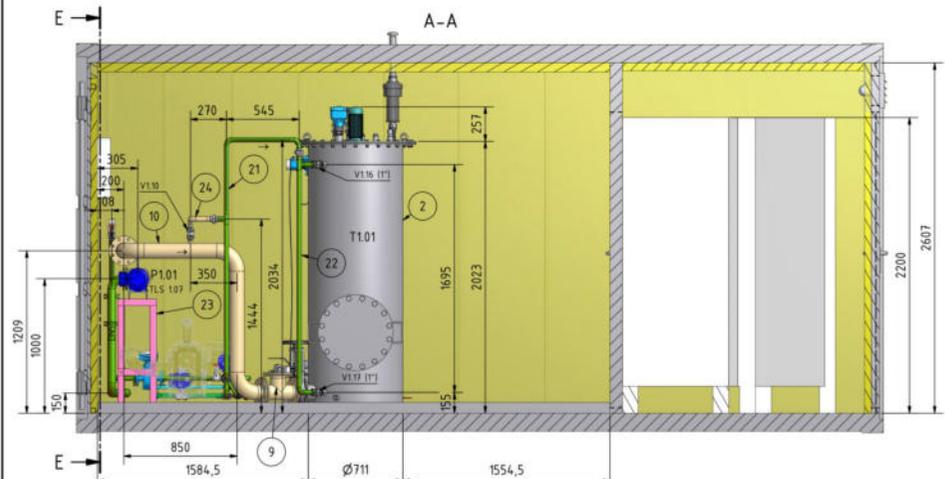
BROKREIHE 20 25569 BAHRENFLETH TEL. 0 48 24 / 38 98-0 FAX. 38 98-38



Urban Mining Versuchsanlage	BEARBEITUNGSSTATUS: Ausführung
	BEARBEITUNG: Müßig
R & I - Fließbild Durchlaufanlage	GEZEICHNET: BSchleef DATUM: 14.10.2015
	PROJEKT-NR.: 23-14 ZEICHN.-NR.: 3.01.03
Baugruppen (BG) 6 - 7	O.M.
	ACAD Blatt 4 von 5

FÜR DIESE TECHNISCHE UNTERLAGE BEHALTEN WIR UNS ALLE RECHTE VOR. OHNE UNSERE VORHERIGE ZUSTIMMUNG DARF SIE WEDER VERVIELFÄLTIGT NOCH DRITTEN ZUGÄNGLICH GEMACHT WERDEN, UND SIE DARF DURCH DEN EMPFÄNGER ODER DURCH DRITTE NICHT IN ANDERER WEISE MISSBRÄUMLICH VERWENDET WERDEN. N:\ACAD\Projekte_2014\2314_Budenheim\KG_V_Zeichnungen\3_Ausführung\2314_301_BG6.dwg

Anhang IV: technische Zeichnungen T1.01



Pos.-Nr.	Anz.	Benennung	Bemerkung
2	1	Vorlagebehälter	T1.01
9	1	FF-Stück 12	1.4571
10	1	Rohrleitung 4	1.4571
11	1	Rohrleitung 5	1.4571
12	1	Rohrleitung 6	1.4571
13	1	Rohrleitung 7	1.4571
14	1	Rohrleitung 8	1.4571
15	1	Rohrleitung 9	1.4571
16	1	FF-Stück 11	1.4571
17	1	Rohrleitung 10	1.4571
18	1	Rohrleitung 11	1.4571
19	1	Rohrleitung 12	1.4571
20	1	Rohrleitung 13	1.4571
21	1	Rohrleitung 14	1.4571
22	1	Rohrleitung 15	1.4571
23	1	Pumpengestell (BN2-6L/ 1.01)	1.4301
24	1	Rohrleitung 16	1.4571
28	1	Rohrleitung 20	1.4571
29	1	Rohrleitung 21	1.4571
30A	1	Rohrleitung 22 A	1.4571
30B	1	Rohrleitung 22 B	1.4571
31	5	Rohrleitung 23	1.4571
32	1	Rohrleitung 24	1.4571
33	1	Rohrleitung 25	1.4571
34	1	Rohrleitung 26	1.4571
35	1	Rohrleitung 27	1.4571
101	5	Doppelnippel 1/2 Zoll	
104	3	I-I-Verschraubung 1/2	
106	14	I-I Verschraubung 1"	
108	3	I-A Verschraubung 1/2"	
112	6	GEKA-Kupplung 1"	
113	2	GEKA-Kupplung 1-2"	Bevo
114	1	Storz-Kupplung mit IG 4"	
303	13	Kugelhahn 1"	End/ ZE311025
304	2	Elektrokugelhahn DN 25	End/ ZA310025-NE05x100
305	2	Schrägsitzventil 1/2"	End/ AD311023
307	2	Rückschlagklappe 3/4"	End/ AR300023
311	7	Absolut- & Relativdruck	E&H/ Ceraphant T-PTP35
313	1	Promag 50W25-LFGA1AC1ABAA	E&H (FIRC 1.08; 2.01)
316	3	2/2-Wege Magnetventil 1/2"	Landefeld/ SLP 12 24V
318	2	Muffenabsperrschieber 1"	Landefeld/ MUAS 10 ES
319	1	Konvektor CNS 200 SE	Stiebel Eltron/ 229746
320	1	Druckanzeige 1/2"	Wesemeyer
501	1	Blockpumpe (P1.01)	Seepex/ BN 2-6L

ROTARIA
Energie- und Umwelttechnik GmbH

Chemische Fabrik Budenheim
Rheinstraße 27, 55257 Budenheim
Urban Mining Versuchsanlage Budenheim

Container 1
Abschnitt 1
Detail P1.01 zu T1.01 (10.10.2016)

Prozess	Rev.	Gezeichnet	Geprüft	Bereit	Freigegeben
15000168	01				
Skala	1:20				
Blatt	1				

Die Anzahl der Positionen beziehen sich auf den kompletten Container 1 (außer die Baugruppen RSR, Vorlagebehälter & Expansionsbehälter)

Anhang V: Konformitätsbescheinigung T3.01

ZERTIFIKAT

Konformitätsbescheinigung

Konformität auf der Grundlage einer Einzelprüfung
nach Richtlinie 2014/68/EU

Zertifikat-Nr.: 07/202/1002/Z/0785/16/D/0071

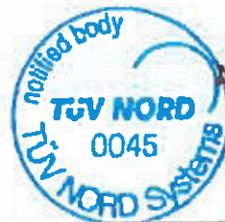
Name und Anschrift des Herstellers: KKS Apparatebau GmbH
Obhäuser Weg 19
D-06268 Querfurt

Hiermit wird bescheinigt, dass die Ergebnisse der an dem unten genannten Druckgerät
vorgenommenen Prüfungen die Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU erfüllen. Das
Druckgerät ist mit dem abgebildeten Zeichen gekennzeichnet:

CE 0045

Geprüft nach Richtlinie 2014/68/EU: Modul G, AD-2000
Prüfbericht-Nr.: 1002 P 0785/16/D/0071
Beschreibung des Druckgerätes: Rührbehälter T3.01
Herstell-Nr.: 0787
Kategorie: III
Fertigungsstätte: KKS Apparatebau GmbH
Obhäuser Weg 19
D-06268 Querfurt

Halle (Saale), 07.11.2016



Notifizierte Stelle (0045)
für Druckgeräte

Dipl.-Ing. Kühne

TUV NORD Systems GmbH & Co. KG,
Große Bahnstraße 31, D-22525 Hamburg

Anlage

Region: Saalfelder Straße 33
06116 Halle

Tel: +49-(0) 345 5686 700
Fax: +49-(0) 345 5686 725
e-mail: RegionHalle@tuv-nord.de

Mitglied der



CONFÉDÉRATION EUROPÉENNE D'ORGANISMES DE CONTRÔLE

Anhang VI: Messstellenliste

Versuchsanlage, Fa. Budenheim

Messtechnik

Baugruppen 1-4

Messstellen

Füllstand, Durchfluss, Druck, Temperatur, pH-Wert, Trübung, Trockenlaufschutz

Kurzname TAG-Nr.	Kurzzeichen Alarm, Schaltung	Anlagenteil	Medium	Messparameter	Messwertaufnehmer	Einbaulage		Einbauort	Container 1/2	Grenzwert messung	kontinuierlich Messung	Messeinheit m, m³/h, mWS, mg/l	Signal Kontakt/ 4 ...20 mA	Stellgerät	Anzeige v.Ort / PLS	Bereich/ Grenzwert ca. - Werte	zusätzlich Schaltu d. Stellgerätes	Fabrikat	Typ	Ex-Schutz ja/nein	Spannung 230 / 24	Not	Schaltung	Ausführung/ Anzahl	Anmerk. s.u.
						Rohrleitung/Behälter	Seitenwand, unten																		
1.06	P	ZH	Pumpe P 1.01	Faulschlamm	Ü-Druck	Drucksensor	Pumpe	---	C1	X	---	bar	Kontakt	P 1.01	PLS	0,05		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein	12-30				
1.07	TLS	ZH	Pumpe P 1.01	Faulschlamm	Trockenlauf	Trockenlaufschutz	Pumpe	---	C1	X	---	---	Kontakt	P 1.01	PLS	---		Seepex	TSE	nein	14-32				
1.08	FIRC	---	Ltg. 1.01	Faulschlamm	Durchfluss	MID	Rohrleitung	Inline	C1	---	X	m³/h	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-3		E+H	50W25-LFGA1AC1ABAA	nein	24				
1.02	TI	---	T 1.01	Faulschlamm	Temperatur	Temperatursonde	Behälter	Seitenwand, unten	C1	---	X	°C	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-40		E+H	Thermophant TTR31-A1C111AE1BAA + Kabel 4x0,34, Dose M12 (52010285)	nein					
1.01	AIR	SH, SL	T 1.01	Faulschlamm	Trübung/TS	Optische Sonde	Behälter	Seitenwand, unten	C1	X	X	NTU, %	4 ...20 mA	P 1.01, V 1.04, V1.05, V1.06	vor Ort/PLS	0-5%		E+H	Turbimax CUS51D-AAD1A3 + Liquiline CM442-AAM1A1F060A+AB + CUA451-A1A	nein					
1.03	LI	ASH, ASL	T 1.01	Faulschlamm	kont. Füllstand	Differenzdruckmessung	Behälter	Wand oben + unten	C1	X	X	bar	4 ...20 mA	P 2.01, P 1.01	vor Ort/PLS	0-0,2		E+H	FMD71-AA24AAA1F1FGDCCCCCNJCJNF	nein					
1.04	L	SHH	T 1.01	Faulschlamm	Grenzstand, oben	Grenzwertkontakt	Behälter	Seitenwand, oben	C1	X	---	---	Kontakt	P 1.01, V 1.04	PLS	---		E+H	Liquiphant M FTL50-AGR2AA2G4A	nein					
1.05	L	SLL	T 1.01	Faulschlamm	Grenzstand, unten	Grenzwertkontakt	Behälter	Seitenwand, unten	C1	X	---	---	Kontakt	P 2.01	PLS	---		E+H	Liquiphant M FTL50-AGR2AA2G4A	nein					
1.09	AIR			Faulschlamm/CO2	pH	pH-Sonde	Rohrleitung		C1		x							E+H	Orbisint CPS11D-7BA4C Memosens + CYK10-A031 + Liquiline CM442-AAM1A1F060A+AB	nein					
1.10	PI		Ltg. 1.01	Faulschlamm	Druck manuell	Manometer	Rohrleitung	Inline	C1	---	---	bar	---	---	vor Ort	---		Landefeld	MS-13100 GLY ES	nein					
2.01	FIRC	SH, SL	Ltg. 2.01	Faulschlamm	Durchfluss	MID	Rohrleitung	Inline	C1	X	X	m³/h	4 ...20 mA	P 2.01	vor Ort/PLS	0-3		E+H	50W25-LFGA1AC1ABAA	nein	24				
2.18	P	ZH	Pumpe P 2.01	Faulschlamm	Ü-Druck	Drucksensor	Pumpe	---	C1	X	X	bar	Kontakt	P 2.01	PLS	15		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein	12-30				
2.19	TLS	ZH	Pumpe P 2.01	Faulschlamm	Tockenlauf	Trockenlaufschutz	Pumpe	---	C1	X	---	---	Kontakt	P 2.01	PLS	---		Seepex	TSE	nein	14-32				
2.08	TIRC	SH, SL	Ltg. 2.02	Faulschlamm/CO2	Temperatur	Temperatursonde	Rohrleitung	seitlich	C1	X	X	°C	4 ...20 mA	V 2.35	vor Ort/PLS	0-40		E+H	Thermophant TTR31-A1C111AE1BAA + Kabel 4x0,34, Dose M12 (52010285)	ja					
2.07	TI	---	Ltg. 2.02	Faulschlamm	Temperatur	Temperatursonde	Rohrleitung	seitlich	C1	---	X	°C	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-40		E+H	Thermophant TTR31-A1C111AE1BAA + Kabel 4x0,34, Dose M12 (52010285)	ja					
2.03	AIRC	SH, SL	Ltg. 2.03	Faulschlamm/CO2	pH	pH-Sonde	Rohrleitung	seitlich	C1	X	X	---	4 ...20 mA	V 2.32, V 2.35, P 2.01	vor Ort/PLS	0-12		E+H	Orbisint CPS11D-7BA4C Memosens + CYK10-A031 + Liquiline CM442-AAM1A1F060A+AB	nein					
2.04	PIRC	SH, SHH, SL	Ltg. 2.03	Faulschlamm/CO2	Druck	Hydrostatischer Sensor	Rohrleitung	oben	C1	X	X	bar	4 ...20 mA	V 2.32, V 2.35, P 2.01	vor Ort/PLS	0-20		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein	12-30				
2.05	AIR	SH, SL	Ltg. 2.03	Faulschlamm/CO2	pH	pH-Sonde	Rohrleitung	seitlich	C1	X	X	---	4 ...20 mA	L=2: V 2.32, V 2.35, P 2.01	vor Ort/PLS	0-12		E+H	Orbisint CPS11D-7BA4C Memosens + CYK10-A031 + Liquiline CM442-AAM1A1F060A+AB	nein					
2.06	AIRC	ASH, ASL	Ltg. 2.03	Faulschlamm/CO2	pH	pH-Sonde	Rohrleitung	seitlich	C1	X	X	---	4 ...20 mA	V 2.32, V 2.35, P 2.01	vor Ort/PLS	0-12		E+H	Orbisint CPS11D-7BA4C Memosens + CYK10-A031 + Liquiline CM442-AAM1A1F060A+AB	nein					
2.14	PI	---	Ltg. 2.03	Faulschlamm/CO2	Druck	Drucksensor	Rohrleitung	oben	C1	---	X	bar	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-20		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein	12-30				
2.02	FIC	---	Ltg. 2.04	Faulschlamm/CO2	Durchfluss	MID	Rohrleitung	inline	C1	X	X	m³/h	4 ...20 mA	P 2.02	vor Ort/PLS	0-60		E+H	50W80-LCGA1AC1ABAA	nein	24				
2.20	P	ZH	Pumpe P 2.02	Faulschlamm/CO2	Ü-Druck	Drucksensor	Pumpe	---		X	---	bar	Kontakt	P 2.02	PLS	0-20		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein					
2.21	TLS	ZH	Pumpe P 2.02	Faulschlamm/CO2	Trockenlauf	Trockenlaufschutz	Pumpe	---	C1	X	---	---	Kontakt	P 2.02	PLS	---		Vogelsang	ESG 0029	nein	12-24				
2.22	PI	---	Ltg. 2.04	Faulschlamm/CO2	Druck	Drucksensor	Rohrleitung	oben	C1	---	X	bar	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-20		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein	12-30				
2.23	PI	---	Ltg. 2.04	Faulschlamm/CO2	Druck	Drucksensor	Rohrleitung	oben	C1	---	X	bar	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-20		E+H	Ceraphant T PTP35 A1C13S1BB8A	nein	12-30				
2.28	TIC		Ltg. 2.13	CO2, gasförmig	Temperatur	Temperaturfühler	Rohrleitung		C1									Regeltechnik S+S	HTF 50 PT100 Silikon 3m + KV-16-MS + THE-VA-50 mm	nein					
2.27	TIC		Ltg. 2.14	CO2, flüssig	Temperatur	Temperaturfühler	Rohrleitung		C1									Regeltechnik S+S	HTF 50 PT100 Silikon 3m + KV-16-MS + THE-VA-50 mm	nein					
2.16	FIR	---	Ltg. 2.13	CO2, gasförmig	Durchfluss	Durchflussmesser/-regler	Rohrleitung	inline	C1	---	X	m³/h	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-20		Bronkhorst	Messung F-1 ISAC-M50-VGD-04-E + Regelventil F-002AV-LFU-40-E		24				
2.17	FIR	---	Ltg. 2.14	CO2, flüssig	Durchfluss	Massedurchflussmesser	Rohrleitung	inline	C1	---	X	kg/h	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-10		E+H	Promass 80F08-ACVSAABAA	nein	24				
2.24	A	ZAH		CO2, gasförmig	Konzentration	Gassonde	Containierwand	unten	C1	X	X	%	4 ...20 mA		PLS			ExTox S+S	ET-1D						
2.25	TI	AH		Raumluft	Temperatur	Temperatursonde	Containierwand	oben	C1	---	X	°C	4 ...20 mA		PLS	0-100		Regeltechnik S+S	Thermasgard ATM2-I						
2.26	TI	AH		Raumluft	Temperatur	Temperatursonde	Containierwand	oben	C1	---	X	°C	4 ...20 mA		PLS	0-100		Regeltechnik S+S	Thermasgard ATM2-I						
2.29	PI		Ltg. 2.14	CO2, flüssig	Druck manuell	Manometer	Rohrleitung	Inline	C1	---	---	bar	---	---	vor Ort	---		Landefeld	MS 1663 GLY ES	nein					
3.01	PI	ASH, SL	T 3.01	FS, Schaum, Gas	Druck	Drucksensor	Behälter	Deckel, oben	C1	X	X	bar	4 ...20 mA	V 3.07, P 5.01	vor Ort/PLS	0-3		E+H	Cerabar M PMC51-AA21JA1MGBGVJA+KE	nein					
3.02	UC	ASH, SL	T 3.01	FS, Schaum, Gas	kont. Füllstand	Differenzdruckmessung	Behälter	Deckel, oben	C1	X	X	cm	4 ...20 mA	P 5.01, V 3.07	vor Ort/PLS	0-180		E+H	FMD71-AA24AAA1K1KGDCCCGVJGVJF+KE	nein					
3.03	LI	ZAH	T 3.01	FS, Schaum, Gas	Grenzstand, oben	Grenwertkontakt	Behälter	Seitenwand, oben	C1	X	---	---	Kontakt	V 3.07	PLS	---		E+H	Liquiphant M FTL50-AGR2AA2G4A+KE	nein					
4.01	LIC	ASH, ASL	T 4.01, vorerst nicht	CO2-Recyclegas	kont. Füllstand	nach Anforderung Gasballon	Gasballon	nach Anforderung Gasballon		X	X									optional in Steuerung vorgesehen					
4.02	PI	ASH, ASL	T 4.01, vorerst nicht	CO2-Recyclegas	Druck	nach Anforderung Gasballon	Gasballon	nach Anforderung Gasballon		X	X									optional in Steuerung vorgesehen					
4.03	PIRC	ASH, ASL	Ltg. 4.03, vorerst nicht	CO2-Recyclegas	Druck	Drucksonde	Rohrleitung	oben		X	X	bar	4 ...20 mA	P 4.01	vor Ort/PLS	0-20				optional in Steuerung vorgesehen					
4.04	FIR	---	Ltg. 4.03, vorerst nicht	CO2-Recyclegas	Durchfluss	Massedurchfluss, Heizdrahtan.	Rohrleitung	inline		---	X	m³/h	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-20				optional in Steuerung vorgesehen					
4.05	AIR	---	Gasmessstrecke 4.07	CO2-Recyclegas	Sauerstoff	Gassonde	Rohrleitung	oben	C1	---	X	%	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-100		ExTox	IMC-4DA-Biogas2(g)						
4.06	AIR	---	Gasmessstrecke 4.07	CO2-Recyclegas	Methan	Gassonde	Rohrleitung	oben	C1	---	X	%	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-100		ExTox	IMC-4DA-Biogas2(g)						
4.07	AIR	---	Gasmessstrecke 4.07	CO2-Recyclegas	Schwefelwasserstoff	Gassonde	Rohrleitung	oben	C1	---	X	%	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-100		ExTox	IMC-4DA-Biogas2(g)						
4.08	AIR	---	Gasmessstrecke 4.07	CO2-Recyclegas	Kohlendioxid	Gassonde	Rohrleitung	oben	C1	---	X	%	4 ...20 mA	---	vor Ort/PLS	0-100		ExTox	IMC-4DA-Biogas2(g)						
4.09	T	AZH	Verdichter P 4.01, vorerst	CO2-Recyclegas	Temperatur	Temperatursonde	Verdichter	---		X	X	°C	4 ...20 mA	P 4.01	PLS	?				optional in Steuerung vorgesehen					

Anmerkung:
1

d = direkt;
Y▲ = Stern/Dreieck;
FU = Frequenzumrichter
ZS = Zeitschalteneinrichtung
R = Regelung m. Parameter

Anhang VII: Antriebsliste

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik: Baugruppen 1-7 Antriebsliste

DEKANTER RÜHRWERKE

Kurzname TAG-Nr.	Anlagenteil	Maschine	Aufstellung trocken / nass	Rohrleitungen			Förderleistung m³/h	Förderleistung l/s	Förderhöhe hman m	Betrieb kont./diskont. wechselweise	Giz.-Fakt.	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Schaltung	Ex-Schutz ja/nein	Strom A	gewählt (Wellenleistung am Motor) elektr. Leistung ca. kW	Spannung V	Not - kW	Not kW (Giz.-Fakt.)	Leistung kW (Giz.-Fakt.)	tats. gleichz. in Betrieb (max.Dauer)	Anzahl	Anmerk. s.u.
				Saugseite DN	Druckseite DN	Förderleistung																			
P 1.01	Faulschlammpumpe	Exz.-Schn.- Pumpe	trocken	DN 50 PN 16	DN 40 PN 16	2	0,6	2	kont./ diskont.		neu	Seepex	BN 2-6L	FU	nein	3,1	0,75	400							
V 1.04	RL 1.01	Elektrokugelhahn		DN 25	DN 25							End	ZA310025 + NE052100	bleibt stehen	nein	1,8	0,015	24							
V 1.05	RL 8.05	Magnetventil		DN 15	DN 15							Landefeld	SLP 12 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
V 1.06	RL 8.06	Magnetventil		DN 15	DN 15							Landefeld	SLP 12 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
V 1.21	RL 6.03	Elektrokugelhahn		DN 25	DN 25							End	ZA310025 + NE052100	bleibt stehen	nein	1,8	0,015	24							
P 2.01	Faulschlammpumpe	Exz.-Schn.-Pumpe	trocken	DN65 PN16	DN50 PN40	2	0,6	160	kont.		neu	Seepex	BN 2-24	FU	nein	8,3	2,2	400							
P 2.02	Rezirkulationspumpe	Verdrängerpumpe	trocken	DN100	DN100	41 bei 64 Hz			kont./ diskont.		neu	Vogelsang	VX136-105QD	FU	nein	17,8	9,2	400							
V 2.58	RL 2.01	Elektrokugelhahn		DN 25	DN 25							End	ZA310025 + NE052100	bleibt stehen	nein	1,8	0,015	24							
V 2.35	RL 2.14	Elektrokugelhahn		10 mm	10 mm							Carel	E2V03CS100	stromlos geschlossen	nein	1,8	0,015	24							
V 2.32	RL 2.13	Elektrokugelhahn		DN 15	DN 15							Bronkhorst	F002AV-LFU-40-E	stromlos geschlossen	nein			24							
V 2.69	RL 2.14	Elektrokugelhahn		DN 15	DN 15							End	ZA310023 + NE052100		nein	1,8	0,015	24							
V 2.70	RL 2.13	Elektrokugelhahn		DN 25	DN 25							End	ZA310023 + NE052100			1,8	0,015	24							
P 3.01	Sprühwasserpumpe	Spiralgehäusepumpe	trocken	Rp 1	Rp 1	7			kont./ diskont.		neu	KSB	Etaprime ETPB025-025-100	direkt	nein	2,3	1,1	400							
V 3.07	RL 3.03	Magnetventil		DN 25	DN 25							Landefeld	MO210 24 V	stromlos offen	nein		0,013	24							
V 3.18	RL 8.07	Magnetventil		DN 15	DN 15							Landefeld	SLP 12 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
V 4.24	RL 8.07	Magnetventil		DN 15	DN 15							Landefeld	SLP 12 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
P 5.01	Beschickungspumpe	Exz.-Schn.-Pumpe	trocken	DN50 PN16	DN40 PN16	2	0,6	2			neu	Seepex	BN 2-6L	FU	nein	2,7	0,75	400							
P 5.02	Dickschlammpumpe	Exz.-Schn.-Pumpe	trocken	Trichter 1000x220 mm	DN65 PN16	0,5	0,1	100			neu	Seepex	BTE 5-12	FU	nein	8,2	2,2	400							
P 5.04	FHM-Dosierpumpe	Exz.-Schn.-Pumpe/ KMP	trocken	1 1/2"	1 1/4"	0,6	0,2	30			neu	Seepex	BN 1-6L	FU / Hub / Drehzahl	nein	1,3	0,37	400							
V 5.20	RL 5.07	Elektrokugelhahn		DN 15	DN 15							End	EBKG2D311221015/04		nein		0,015	24							
V 5.33	RL 8.11	Magnetventil		DN 15	DN 15							Landefeld	SLP 12 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
P 6.01	Zentratpumpe	Exz.-Schn.-Pumpe	trocken	DN50 PN16	DN40 PN16	2	0,6	0,5			neu	Seepex	BN 2-6L	FU	nein	2,7	0,75	400							
P 6.02	Kalkmilchdosierpumpe	Exz.-Schn.-Pumpe	trocken	1"	1/2"	0,05	0,0	30			neu	Seepex	MD 012-12	FU	nein		0,37	400							
P6.03	natives FHM-Pumpe	Membrandosierpumpe		6x4 mm							neu	Prominent	GMXa 1602		nein		0,03	230							
V 6.16	RL 6.05	Elektrokugelhahn		DN 15	DN 15							End	ZA311023 + NE052100	bleibt stehen	nein	0,6...1,8	0,015	24							
V 6.11	T 6.02	Magnetventil		DN 15	DN 15							Landefeld	SLP 12 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
V 6.40		Magnetventil										Landefeld	SLP38 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
V 6.41		Magnetventil										Landefeld	SLP38 24 V	stromlos geschlossen	nein		0,013	24							
P 7.01	DCP-Pumpe	Exz.-Schn.-Pumpe	trocken	DN50 PN16	DN40 PN16	1	0,3	20			neu	Seepex	BN 2-6L	FU	nein	2,7	0,75	400							
P7.02	Klarwasser-/ Filtratpumpe	Exz.-Schn.- Pumpe	trocken	DN 50 PN 16	DN 40 PN 16	2	0,6	2	kont./ diskont.		neu	Seepex	BN 2-6L	FU	nein	2,7	0,75	400							
SE 5.01	Dekanter	Schlammwässerung	trocken						kont.		neu	GEA		FU	nein	17	9,2	400							
SE 5.02	Dekanter	Schlammwässerung	trocken									GEA			nein	3	0,75	400							
RW 1.01	Vorlagebehälter T1.01	Rührwerk	trocken						kont./ diskont.		neu	Turbo	OFV 16	direkt		1	0,18	400							
RW 2.01	Dosierstrecke Ltq. 2.02	Mischer	inline	DN 100 PN 16	DN 100 PN 16				kont./ diskont.		neu	MPT	DIM 100_01_00	FU (am Gerät)	nein	2,2	0,75	400							
RW 3.01	Expansionsbehälter T 3.01	Rührwerk	trocken						kont./ diskont.		neu	Turbo	SS-2-0,37	FU		2	0,37	400							
RW 6.02	Fällungsreaktor T 6.01	Krählwerk	trocken						kont./ diskont.		neu	Getr. Nord	SK9017.1AF VL2-63S/4 TW F	FU		1	0,12	400							
RW 6.03	Kalkbehälter T 6.02	Rührwerk	trocken						kont./ diskont.		neu	Turbo	OF-24	direkt		2,1	0,37	400							
RW 6.01	Ltq. 6.01	Mischer	inline	DN 50 PN 16	DN 50 PN 16				kont./ diskont.		neu	MPT	DIM 50_01_00	FU (am Gerät)	nein	1,7	0,55	400							
Peripherie																10	5	400							
VL 1.01	Raumventilator Container 1	Wandventilator		DN 200		475			diskont.		neu	Maico	EZQ 20/4 E + MK20 elektr. VK	Drehzahlsteller ST1	nein	0,25	0,035	230							
VL 1.02	Raumventilator E-Raum C1	Wandventilator		DN 200		475			diskont.		neu	Maico	EZQ 20/4 E + MK20 elektr. VK	Drehzahlsteller ST1	nein	0,25	0,035	230							
VL 5.02	Raumventilator Container 2	Wandventilator		DN 200		475			diskont.		neu	Maico	EZQ 20/4 E + MK20 elektr. VK	Drehzahlsteller ST1	nein	0,25	0,035	230							
	Rohrbegleitheizung CO2-Flüssigdosierung																								
	Frostschutzheizung										neu	Stiebel Eltron	CK 20 S		nein	5	2	230							
	Frostschutzheizung										neu	Stiebel Eltron	CK 20 S		nein	5	2	230							
	Steckdosenkombination															32	16	400							

Gesamtanschlussleistung:
Mittlere Betriebsleistung
tats. max. gleichzeitig in Betrieb
Strom

Anmerkungen

d = direkt;
YA = Stern/Dreieck;
FU = Frequenzumrichter
ZS = Zeitschalteneinrichtung
R = Regelung m. Parameter

Stand: 1

21.07.2016

Anhang VIII: Armaturenliste

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik:

Baugruppe 1

Armaturen

Kurzname TAG-Nr.	Behälter / Rohrleitung Nr.	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe DN	Druckstufe PN	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall Spannung	Ex-Schutz	elektr. Leistung ca. kW
V 1.01	1.03	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	---
V 1.02	1.01	Faulschlamm	Absperrschieber	konst. Regelverhalten	1.4408	25	16	Gewinde	Rad	---	neu	Landefeld	MUAS 10 ES		nein	---
V 1.03	1.03	Faulschlamm	Absperrschieber	konst. Regelverhalten	1.4408	25	16	Gewinde	Rad	---	neu	Landefeld	MUAS 10 ES		nein	---
V 1.04	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Motor	neu	End	ZA310025 + NE052100	bleibt stehen	nein	
V 1.05	8.05	Trinkwasser	Magnetventil	Schließer	Messing	15	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 12 24 V	schließt	nein	
V 1.06	8.06	Betriebswasser	Magnetventil	Schließer	Messing	15	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 12 24 V	schließt	nein	
V 1.19	8.06	Betriebswasser	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	16	Gewinde	Rad	---	neu	End	AD311023		nein	---
V 1.20	8.05	Trinkwasser	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	16	Gewinde	Rad	---	neu	End	AD311023		nein	---
V 1.10	5.10	Dickschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	---
V 1.11	7.04	Klarwasser v. T 6.01	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.16	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.17	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.18	5.10	Dickschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad/	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein	
V 1.15	T 1.01	Faulschlamm, Gas, Säure	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.13	T 1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.08	T 1.01	Gas, Luft, Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.09	T 1.01	Gas, Luft, Faulschlamm	Sicherheitsventil	pü = 0,05 bar	PVC	50	10	Gewinde	---	---	neu	Schwabe Kunststofftechnik	geschlossene Bauweise		nein	
V 1.07	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.21	7.04	Klarwasser v. T 6.01	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	Motor	neu	End	ZA310025 + NE052100		nein	
V 1.22	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein	
V 1.23	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein	
V 1.24	1.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein	
RS 1.01	1.01	Faulschlamm	Rückschlagklappe	---	1.4571	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	AR300025		nein	
RS 1.03	8.05	Trinkwasser	Rückschlagventil	---	1.4571	15	16	Gewinde	---	---	neu	Landefeld	RUCK 12 ES 4A E		nein	
RS 1.04	8.06	Betriebswasser	Rückschlagventil	---	1.4571	15	16	Gewinde	---	---	neu	Landefeld	RUCK 12 ES 4A E		nein	

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik: Baugruppe 2 Blatt 1 Armaturen

Kurzname TAG-Nr.	Rohrleitung Nr.	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe DN	Druckstufe PN	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall		elektr. Leistung ca. kW	Anmerk.
														Spannung	Ex-Schutz ja/nein		
V 2.01	2.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.58	2.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Rad/Hebel	Motor	neu	End	ZA310025 + NE052100	bleibt stehen	nein		
V 2.57	2.02	Faulschlamm	Absperrschieber	konst. Regelverhalten	1.4408	25	16	Gewinde	Rad	Hand	neu	Landefeld	MUAS 10 ES		nein		
V 2.53	2.02	Faulschlamm	Absperrschieber	konst. Regelverhalten	1.4408	25	16	Gewinde	Rad	Hand	neu	Landefeld	MUAS 10 ES		nein		
V 2.02	2.03	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
RS 2.01	2.01	Faulschlamm	Kugel RS-Ventil	---	Guss	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	BCTF-GGG-EPDM-25		nein		
D 2.01	2.02	Faulschlamm, CO2-Gas	2 Phasen-Düse	Druckdifferenzerzeugung	1.4571	100/25	16	Flansch	---	---	neu				nein		
D 2.02	2.02	Faulschlamm, CO2-flüssig	CO2-Flüssigdüse	in Fließrichtung offen	1.4571	100/8	50/25	Flansch	---	---	neu				nein		
RS 2.02	2.02	Faulschlamm	Kugel RS-Ventil	---	Guss	100	16	Flansch	---	---	neu	End	BCE-GGG-EPDM-100		nein		
V 2.48	2.02	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.49	2.03	Faulschlamm	Sicherheitsventil	pÜ = 15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	SV320025		nein		
V 2.64	2.03	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	15	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311023		nein		
V 2.04	2.03	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
V 2.50	2.03	Faulschlamm	Sicherheitsventil	pÜ = 15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	SV320025		nein		
V 2.51	2.03	Faulschlamm	Sicherheitsventil	pÜ = 15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	SV320025		nein		
V 2.65	2.03	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	15	16	Gewinde	Hebel	Hand		End	ZE311023		nein		
V 2.05	2.03	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
V 2.40	2.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.47	2.06	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.44	2.05	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.24	2.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.27	2.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.25	2.05	Faulschlamm	Druckhalteventil	pÜ = 8-15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	UV330224/AF		nein		
V 2.26	2.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.28	2.05	Faulschlamm	Druckhalteventil	pÜ = 8-15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	UV330224/AF		nein		
V 2.29	2.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311025		nein		
V 2.03	2.03	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
V 2.56	2.03	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
V 2.07	2.03	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
V 2.08	2.04	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 100		nein		
V 2.54	2.04	Faulschlamm	Sicherheitsventil	pÜ = 15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	SV320025		nein		
RS 2.03	2.04	Faulschlamm	Kugel-RS-Ventil	---	Guss	80	16	Flansch	---	---	neu	End	BCE-GGG-EPDM-80		nein		
V 2.59	2.04	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	80	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 80		nein		
V 2.10	2.04	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	80	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 80		nein		
V 2.11	2.04	Faulschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	80	16	Flansch	Handrad	Hand	neu	Wey	MFA DN 80		nein		
V 2.45	2.02	Faulschlamm	Sicherheitsventil	pÜ = 15 bar	1.4571	25	16	Gewinde	---	---	neu	End	SV 320025		nein		
V 2.71	2.03	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	15	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311023		nein		
V 2.72	2.03	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	15	16	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311023		nein		
RS 2.68	2.14	CO2-flüssig	Rückschlagventil	---	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	MPT			nein		

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik: Baugruppe 2 Blatt 2 Armaturen

Kurzname TAG-Nr.	Rohrleitung Nr.	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe DN	Druckstufe PN	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall	Ex-Schutz	elektr. Leistung	Ausführung/	Anmerk.
														Spannung	ja/nein	ca. kW		
V 2.37	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Kugelhahn	---	1.4571	15	40	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311023	-	nein			
V 2.36	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Sicherheitsventil	pü = 16 bar	1.4571	15	25	Gewinde	---	---	neu	End	SV320023	-	nein			
V2.69	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Kugelhahn	---	1.4571	15	25/50	Gewinde	Hebel	Motor	neu	End	ZA310023+NE052100	-	nein			
V 2.35	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	10 mm		Gewinde	Hebel	Motor	neu	Carel	E2V03CS100	-	nein			
V 2.66	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Überströmventil	pü = 15-16 bar	1.4571	15	40	Gewinde	---	---	neu	End	UV340223/AF	-	nein			
V2.68	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Sicherheitsventil	pü= 16 bar	1.4571	15	25	Gewinde	---	---	neu	End	SV320023	-	nein			
V 2.34	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	120	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	AC301023	-	nein			
V 2.62	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	120	Gewinde	Rad	Hand	neu	End	AC301023	-	nein			
V 2.63	2.13	CO ₂ , gasförmig	Kugelhahn	---	1.4571	15	40	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311023	-	nein			
V 2.60	2.13	CO ₂ , gasförmig	Druckminderventil	pmax = 16 bar	1.4571	15		Gewinde	---	---	neu	Goetze KG Armaturen	484KGFO-SK-15-ff-15/15 FKM	-	nein			
V 2.38	2.13	CO ₂ , gasförmig	Sicherheitsventil	pü = 16 bar	1.4571	15	20	Gewinde	---	---	neu	End	SV310023	-	nein			
V 2.33	2.13	CO ₂ , gasförmig	Kugelhahn	---	1.4571	15	40	Gewinde	Hebel	Hand	neu	End	ZE311023	-	nein			
V2.70	2.13	CO ₂ , gasförmig	Kugelhahn	---	1.4571	15	16	Gewinde	Hebel	Motor	neu	End	ZA310023+NE052100	-	nein			
V 2.32	2.13	CO ₂ , gasförmig	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	16	Gewinde	Hebel	Motor	neu	Bronkhorst	F002AV-LFU-40-E	-	nein			
RS 2.06	2.13	CO ₂ , gasförmig	Rückschlagventil	---	1.4571	15	16	Gewinde	---	---	neu	End	EB310023	-	nein			
V 2.30	2.13	CO ₂ , gasförmig	Kugelhahn	---	1.4571	15	40	Gewinde	Rad	Hand	neu	End	ZE311023	-	nein			
V 2.73	2.14	CO ₂ , flüssig, -20°C	Druckminderventil	pmax= xx bar	1.4571	15		Gewinde	---	---	neu	Goetze KG Armaturen	484KGFO-SK-15-ff-15/15 FKM	-	nein			

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik: Baugruppe 3

Armaturen

Kurzname	Rohrleitung	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe	Druckstufe	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall Spannung	Ex-Schutz	elektr. Leistung	Ausführung/	Anmerk.
TAG-Nr.	Nr.	-				DN	PN					-		-	ja/nein	ca. kW		S.u.
V 3.01	3.01	Faulschlamm	Druckhalteventil	pü = 0,2-1,0 bar	1.4571	25	10	Gewinde	---	---	neu	End	UV330125/AF		nein			
V 3.02	3.02	CO2-Recyclegas	Druckhalteventil	pü = 0,2-1,0 bar	1.4571	20	10	Gewinde	---	---	neu	End	UV330124/AF		nein			
V 3.03	3.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.04	3.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 3.06	T 3.01	CO2-Gas	Sicherheitsventil	pü = 2,0 bar	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	SV310023		nein			
V 3.07	3.03	CO2-Gas	Magnetventil	Öffner	1.4571	25	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	MO210 24 V	öffnet	nein			
V 3.08	3.04	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.09	3.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 3.10	2.05	Faulschlamm, CO2-Gas	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Rad	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.11	2.05	Faulschlamm, CO2-Gas	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.12	2.05	Faulschlamm, CO2-Gas	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.13	2.05	Faulschlamm, CO2-Gas	Kugelhahn	---	1.4571	25	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.14	3.05	Entschäumer, Wasser	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.15	8.07	Trinkwasser	Geradsitzventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AB301023		nein			
V 3.16	3.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 3.17	3.05	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V3.18	8.07	Trinkwasser	Magnetventil		1.4571	15	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 12 24 V		nein			

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik:

Baugruppe 4

Armaturen

Kurzname TAG-Nr.	Rohrleitung Nr.	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe DN	Druckstufe PN	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall	Ex-Schutz	elektr. Leistung	Ausführung/	Anmerk.
														Spannung	ja/nein	ca. kW		
V 4.02	4.01	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.05	4.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.19	KA 4.01	Kondenswasser	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.03	4.04a	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.23	4.02	CO2-Recyclegas	Sicherheitsventil	pü = 0,01 bar	PVC	50	10	Gewinde	---	---	neu	Schwabe Kunststofftechnik	geschlossene Bauweise		nein			
V 4.08	4.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.09	4.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.10	4.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.17	KA 4.02	Kondenswasser	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.18	4.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.20	4.07	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.21	4.07	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.22	8.07	Trinkwasser	Ventil	---	1.4408	15	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AD311023		nein			
V 4.24	8.07	Trinkwasser	Magnetventil	Schließer	1.4571	15	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 12 24 V	schließt	nein			
V 4.15	4.02	CO2-Recyclegas	Ventil	---	1.4408	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AD311024		nein			
V 4.04	4.04	CO2-Recyclegas	Ventil	---	1.4408	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AD311024		nein			
V 4.11	4.03	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	--	1.4571	20	16	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 4.25	4.02	CO2-Recyclegas	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik:

Baugruppe 5

Armaturen

Kurzname TAG-Nr.	Rohrleitung Nr.	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe		Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall	Ex-Schutz	elektr. Leistung	Ausführung/	Anmerk.
						Spannung	ja/nein							ca. KW				
						DN	PN							-				s.u.
V 5.01	5.07	Betriebswasser	Druckminderer	Hinterdruck 2 bar	Guss, 1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	Honeywell	D06F		nein			
V 5.18	5.07	Betriebswasser	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
V 5.20	5.07	Betriebswasser	Motor-Dosierventil	konst. Regelverhalten	1.4571	15	10	Gewinde		Motor	neu	End	EBKG2D311221015/04		nein			
RS 5.04	5.07	Trinkwasser	RS-Ventil	---	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	VB310023		nein			
V 5.11	5.08	FHM-Gebrauchslösung	Druckhalteventil	pü = 0,5 bar	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	UV330123/AF		nein			
V 5.12	5.08	FHM-Gebrauchslösung	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	ZE311023		nein			
RS 5.09	5.08	FHM-Gebrauchslösung	RS-Ventil	---	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	VB310023		nein			
V 5.28	5.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.29	5.01	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.26	5.01	Faulschlamm	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.25	5.02	Zentrat	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.24	5.10	Dickschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Hebel	---	neu	Wey	MFA DN100		nein			
V 5.02	5.03	Dickschlamm	Plattenschieber	---	1.4404	100	16	Flansch	Hebel	---	neu	Wey	MFA DN100		nein			
V 5.27	5.09	Faulschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.30	5.08a	FHM-Gebrauchslösung	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 5.31	T 5.01	Zentrat	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.32	5.03	Dickschlamm	Kugelhahn	--	1.4571	50	10	Gewinde	Hebel		neu	End	ZE311028		nein			
V 5.34	3.01	Dünnschlamm	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.33	8.11	Trinkwasser	Magnetventil	Schließer	1.4571	15	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP12 24 V	schließt	nein			
V 5.35	5.02	Zentrat	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 5.36	8.07	TW	Kugelhahn	---	1.4571	15		Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311023		nein			
V 5.37	8.05	TW	Kugelhahn	---	1.4571	15		Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
V 5.40	5.02	Abluft	Kugelhahn	---	1.4571	20		Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			
RW 5.03	5.08	FHM, BW	statischer Mischer	-	1.4571	20	10	Gewinde	-	-	neu	ROTARIA		nein				
RW 5.04	5.01	Faulschlamm, FHM	statischer Mischer	-	1.4571	25	10	Gewinde	-	-	neu	ROTARIA		nein				

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik:

Baugruppe 6

Armaturen

Kurzname	Rohrleitung	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe	Druckstufe	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall Spannung	Ex-Schutz ja/nein	elektr. Leistung ca. kW	Ausführung/	Anmerk.
TAG-Nr.	Nr.	-	-	-	-	DN	PN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	s.u.
V 6.01	6.01	Zentrat	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.02	6.01	Zentrat + CA(OH)2 + DCP	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.03	6.02	Zentrat	Ventil / Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.19	6.01	Zentrat	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.21	6.01	Zentrat, FHM	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	10	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311022		nein			
V 6.35	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	10	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311022		nein			
V 6.37	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.34	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.45	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.22	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Geradsitzventil	konst. Regelverhalten	1.4571	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AB301024		nein			
V 6.23	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Geradsitzventil	konst. Regelverhalten	1.4571	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AB301024		nein			
V 6.24	6.01	Zentrat, CA(OH)2, FHM	Geradsitzventil	konst. Regelverhalten	1.4571	20	10	Gewinde	Rad	---	neu	End	AB301024		nein			
V 6.17	6.03	Klarwasser	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.08	T 6.01	DCP	Plattenschieber	---	1.4571	50	10	Flansch	Handrad	---	neu	Wey	MFA DN 50		nein			
V 6.28	T 6.01	DCP, FHM, TW	Kugelhahn	Probenahme, Spülwasser	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.49	T 6.01	DCP, FHM, TW	Kugelhahn	Probenahme, Grenzstandsm.	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.30	T 6.01	DCP, Spülwasser	Kugelhahn	Probenahme, Spülwasser	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.31	T 6.01	DCP, Zentrat	Kugelhahn	Probenahme, kont. Füllstandsm.	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.32	T 6.01	DCP, Zentrat	Kugelhahn	Überfüllsonde	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.33	T 6.01	DCP, Zentrat	Kugelhahn	Probenahme	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.16	6.05	Ca(OH)2	Kugelhahn	mit Pumpenbetrieb P 6.02	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	Motor	neu	End	ZA311023 + NE052100	schließt	nein			
V 6.15	6.05	Ca(OH)2	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
RS 6.02	6.05	Ca(OH)2	Kugel-RS-Ventil	---	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	AR300023		nein			
V 6.20	6.05	Ca(OH)2	Druckhalteventil	pü = 0,5 bar	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	UV330123/AF		nein			
V 6.14	6.05	Ca(OH)2, Spülwasser	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311023		nein			
V 6.10	6.06	Ca(OH)2	Druckhalteventil	pü = 4-8 bar	1.4571	15	10	Gewinde	---	---	neu	End	UV330123/AF		nein			
V 6.18	6.06	Ca(OH)2	Kugelhahn	offen abschließbar	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
V 6.09	6.05	Ca(OH)2	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
V 6.11	T 6.02	BW / TW	Magnetventil	Schließer	1.4571	15	10	Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 12 24 V	schließt	nein			
V 6.13	6.04	Ca(OH)2	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.36	T 6.02	Ca(OH)2	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
RS 6.03		nativ. FHM	Rückschlag-Ventil	---	1.4571	10		Gewinde	---	---	neu	End	VB310022		nein			
RS 6.04		Trinkwasser	Rückschlag-Ventil	---	1.4571	10		Gewinde	---	---	neu	End	VB310022		nein			
V 6.38		Trinkwasser	Ventil	konst. Regelverhalten	1.4571	10		Gewinde	Rad		neu	End	AB301022		nein			
V 6.39		Trinkwasser		konst. Regelverhalten	1.4571	10		Gewinde	Rad		neu	End	AB301022		nein			
V 6.40		Trinkwasser	Magnetventil	Öffner/ Schließer	1.4571	10		Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 38 24V		nein			
V 6.41		Trinkwasser	Magnetventil	Öffner/Schließer	1.4571	10		Gewinde	---	Magnetspule	neu	Landefeld	SLP 38 24V		nein			
V 6.42	7.02	Filtrat	Ventil / Kugelhahn	konst. Regelverhalten	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	Landefeld	MUAS 10 ES		nein			
V 6.43	7.04	Filtrat	Kugelhahn	---	1.4571	25		Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.44	7.02	Filtrat	Kugelhahn	---	1.4571	25		Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 6.48		Trinkwasser	Kugelhahn	---	1.4571	10		Gewinde	Hebel		ganz neu	End	ZL311022		nein			
V 6.46	6.05	Ca(OH)2	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
V 6.47	6.05	Ca(OH)2	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311023		nein			
RW 6.04		nativ. FHM	statischer Mischer	-	Guss, 1.4571, PVC	10	10	Gewinde	-	-	neu	ROTARIA			nein			

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Maschinentechnik:

Baugruppe 7

Armaturen

Kurzname	Rohrleitung	Medium	Armatur	Besonderheiten	Gehäusematerial	Größe	Druckstufe	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ausfall Spannung	Ex-Schutz	elektr. Leistung	Ausführung/	Anmerk.
TAG-Nr.	Nr.	-				DN	PN					-		-	ja/nein	ca. kW		s.u.
V 7.04	7.01	DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 7.05	7.01	DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 7.02	7.01	DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			
V 7.03	7.01	DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			
V 7.06	T 7.01/ T7./02	Filtrat, Klarwasser, DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			
RS 7.02	7.02	Filtrat, Klarwasser, DCP	Rückschlagklappe	---	1.4571	25	10	Gewinde	---	---	neu	End	AR300025		nein			
V 7.08	7.01	DCP, Spülwasser	Kugelhahn	abschließbar	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			
V 7.07	7.02	Filtrat, Klarwasser, DCP	Kugelhahn	---	1.4571	25	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311025		nein			
V 7.09		Zentrat + CA(OH)2 + DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZE311024		nein			
V 7.10		Zentrat + CA(OH)2 + DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			
V 7.11		Zentrat + CA(OH)2 + DCP	Kugelhahn	---	1.4571	20	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311024		nein			

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen

Versuchsanlage Fa. Budenheim

Baugruppe 8

Maschinentechnik:

Armaturen

Kurzname	Rohrleitung	Medium	Armatur	Bsonderheiten	Gehäusematerial	Größe	Druckstufe	Anschlüsse	Handrad/ -hebel	Antrieb	vorh./neu	Fabrikat	Typ	Ex-Schutz	elektr. Leistung	Ausführung/	Anmerk.
TAG-Nr.	Nr.	-				DN	PN					-	-	ja/nein	ca. kW		s.u.
ST 8.01	8.07	TW	Systemtrenner	---	entzinkungsfreies Messing	15	10	Gewinde	---	---	neu	Grünbeck	GENO-DK 2	nein			
V 8.06	8.10	TW	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Hebel	---	neu	End	ZL311023	nein			
V 8.07	8.06	BW	Kugelhahn	---	1.4571	15	10	Gewinde	Heble	---	neu	End	ZL311023	nein			

Auslösedruck
abschließbar
konstantes Regelverhalten

Anmerkungen