

Planung der Errichtung einer Bioabfallvergärungsanlage

Erläuterungen zur Vorplanung

Vorabinformation zur Vorstellungsveranstaltung am 19.05.2022

Auftraggeber: Landkreis Gießen
Riversplatz 1-9
35394 Gießen
Fon +49 641 93 90 0



Erstellt durch: pbo Ingenieurgesellschaft mbH
Alfonsstraße 44
52070 Aachen
Fon +49 241 978 89 0



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.2	Standort	2
1.3	Planungsgrundlagen	3
2	Rahmenbedingungen	4
2.1	Rechtlicher Rahmen	4
2.2	Konzept der Vorplanung	5
2.3	Folgenutzung von Gebäuden	6
2.4	Flächeninanspruchnahme	7
2.5	Bioabfallmengen und -qualitäten	8
3	Anlagen- und Verfahrenstechnik	11
3.1	Annahmehbereich	11
3.2	Bunkerbereiche	14
3.2.1	Vorlagebunker Variante 1 (Batch-Fermentation)	14
3.2.2	Vorlagebunker Variante 2 (Pfropfenstromfermentation)	17
3.3	Voraufbereitung	18
3.4	Vergärung	21
3.4.1	Variante 1 (Batch-Fermentation)	22
3.4.2	Variante 2 (Pfropfenstromfermentation)	25
3.5	Mischsystem	28
3.6	Tunnelkompostierung	29
3.6.1	Auslegung Rottetunnelkompostierung	30
3.6.2	Belüftung	35
3.6.3	Bewässerung	36
3.7	Feinaufbereitung	37
3.7.1	Auswahl Klassiertechnik	39
3.7.2	Auswahl Sortiertechnik	40
3.8	Abluftbehandlungskonzept	42

3.8.1	Abluftvolumenstrom	42
3.8.2	Saurer Wäscher	43
3.8.3	Biofilter	44
3.9	Lagerflächen	47
3.10	Biogasverwertung	48
3.10.1	Biogasspeicher	49
3.10.2	Biogasreinigung	50
3.10.3	Biogasverstromung	50
3.10.4	Biomethanaufbereitung	52
3.11	Havarie-Konzept	58
3.12	Elektrotechnische Ausrüstung	60
3.12.1	Anschluss an die elektrische Energieversorgung	60
3.12.2	Übergabestation	63
3.12.3	Mittelspannungsanlage	63
3.12.4	Transformator	63
3.12.5	Niederspannungs-Schaltanlagen der Verfahrens- und Gebäudetechnik	64
3.12.6	Anpassung der Elektrotechnik der vorhandenen Verfahrenstechnik	65
3.12.7	Blindstrom-Kompensationsanlage	65
3.12.8	Motorabgänge und Antriebe	65
3.12.9	Frequenzumrichter	65
3.12.10	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	66
3.12.11	Ersatz der vorhandenen SPS (Siemens S5)	66
3.12.12	Visualisierungssystem	67
3.12.13	Not-Halt- / Not-Aus-System	67
3.12.14	Beleuchtung	68
3.12.15	Steckdosen-Kombinationen	68
3.12.16	Potentialausgleich und Blitzschutz	68
3.12.17	Überspannungsschutz	69
3.12.18	Brandmeldeanlage	69
3.13	Standortlayout	69
4	Bautechnik	71
4.1	Statik	71
4.2	Hochbau	71

4.2.1	Betriebsgebäude	71
4.2.2	Anlieferung- und Voraufbereitungshalle	72
4.2.3	Vergärungsstufe	74
4.2.4	Kompostierungsanlage	76
4.2.5	Ammoniumsulfatbehälter	77
4.2.6	Schwefelsäurebehälter	78
4.2.7	Tank-, Wasch- und Abfüllplatz	78
4.2.8	Perkolatspeicher	79
4.2.9	Biogasspeicher	79
4.2.10	Biogasaufbereitung	81
4.2.11	Blockheizkraftwerke	81
4.2.12	Schalträume	82
4.2.13	Warte	82
4.2.14	Übergabestation	83
4.3	Infrastruktur, Tiefbau	84
4.3.1	Strom, Wasser, Telekommunikation, Datenaustausch	84
4.3.2	Infrastruktur	86
4.3.3	Standortentwässerung	86
4.3.4	AwSV	90
5	Kostenschätzung	91
5.1	Investitionskostenschätzung	91
5.2	Statische Betriebskostenschätzung	92
5.3	Sensitivitäten	94
6	Empfehlung pbo	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild Standort Rabenau	2
Abbildung 2: Betrachtete Verfahrensvariante der Vorplanung – Batch-Fermentation	6
Abbildung 3: Betrachtete Verfahrensvariante der Vorplanung – Pfropfenstrom-Fermentation	6
Abbildung 4: Ausschnitt Lageplan Bestand und Rückbau	7
Abbildung 5: Menge biogener Abfälle aus Biotonne, Grünschnittsammlung und Selbstanlieferung (LKGI, Landkreis Gießen, Fachdienst Abfallwirtschaft, 2018)	8
Abbildung 6: Spezifisches Bioabfallaufkommen (LKGI, Landkreis Gießen, Fachdienst Abfallwirtschaft, 2018)	9
Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung des Landkreis Gießen 2011 bis 2021 (Hessisches Statistisches Landesamt, 2021)	9
Abbildung 8: Hochskalierter Jahresgang Bioabfall 2020	10
Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung als Summenkurve der Tagesanlieferungsmengen	12
Abbildung 10: Ausschnitt Halle Anlieferung und Aufbereitung V1	14
Abbildung 11: Planausschnitt Halle Anlieferung und Aufbereitung V1	15
Abbildung 12: Planausschnitt Halle Anlieferung und Aufbereitung V2	17
Abbildung 13: Fließbilder Voraufbereitung	19
Abbildung 14: Schnitt V1-V1 – Voraufbereitung V1	21
Abbildung 15: Prinzip der Boxen-Fermentation (BEKON GmbH, 2022)	23
Abbildung 16: Fermentertunnel Belegungsplan	24
Abbildung 17: Planausschnitt Lageplan Standortlayout V1	25
Abbildung 18: Jahresgang Füllstand Fermenter; Verweilzeit 21 Tage	26
Abbildung 19: Jahresverlauf Faulraumbelastung Fermenter 20.500 t/a	27
Abbildung 20: Planausschnitt Lageplan Standortlayout V2	28
Abbildung 21: Mischaggregat Eggersmann	29
Abbildung 22: Schema Tunnelkompostierung	30

Abbildung 23: Tunnelbelegungsplan Bioabfallkompostierung V1	33
Abbildung 24: Tunnelbelegungsplan Bioabfallkompostierung V2	34
Abbildung 25: Links: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V1; rechts: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V2	34
Abbildung 26: Beispielhafter Aufbau der Tunnelbelüftung	35
Abbildung 27: Fließbild der Kompost-Feinaufbereitung	38
Abbildung 28: Planausschnitt Feinaufbereitung V1/V2	39
Abbildung 29: Emissionsbereiche und Luftwechselzahl (Variante 1)	42
Abbildung 30: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V2; Aufstellung Ammoniumsulfat- und Schwefelsäurespeicher	44
Abbildung 31: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V2; Aufstellung Biofilter	46
Abbildung 32: Lagerflächen für Kompost und Grüngut	48
Abbildung 33: links: Zeppelingasspeicher, rechts: Freistehender Gasspeicher (3/4-Kugel)	50
Abbildung 34: Luftbild (Google Maps); Entfernung zum neuen Gewerbegebiet	52
Abbildung 35: Prozessablauf der Druckwechseladsorption (PSA)	53
Abbildung 36: Prinzipschaltbild einer PSA	54
Abbildung 37: Verfahrensschema Amin-Wäsche (BCM-Verfahren) der Fa. MT-BioMethan GmbH	56
Abbildung 38: Funktionsprinzip des Membranverfahrens (qualitativ)	57
Abbildung 39: Havarieraum Pfropfenstromfermenter (Variante 2)	60
Abbildung 40: Lageplan MS-Anschluss Planauskunft Stadtwerke Gießen vom 12.07.2021	61
Abbildung 41: Standortlayout Variante 1	70
Abbildung 42: Standortlayout Variante 2	70
Abbildung 43: Gesamtließbild	90
Abbildung 44: Zusammenfassung der statischen Betriebskostenbausteine (Variante 1)	93
Abbildung 45: Zusammenfassung der statischen Betriebskostenbausteine (Variante 2)	94

Abbildung 46: Sensitivität Gasbildungspotential Variante 1 (Batch-Fermentation)	95
Abbildung 47: Sensitivität Gasbildungspotential Variante 2 (Pfropfenstrom-Fermentation)	95
Abbildung 48: Sensitivität Invest	96
Abbildung 49: Sensitivität Personal	96
Abbildung 50: Sensitivität Strompreis	97
Abbildung 51: Sensitivität Zinssatz Variante 1	97
Abbildung 52: Sensitivität Zinssatz Variante 2	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auslegungsgröße	9
Tabelle 2:	Eigenschaften von Zerkleinerungsaggregaten	20
Tabelle 3:	Maße Fermentertunnel	24
Tabelle 4:	Kenngößen der Fermentertypen	27
Tabelle 5:	Parameter Tunnelkompostierung	31
Tabelle 6:	Maße Kompostierungstunnel	32
Tabelle 7:	Qualitätsanforderungen Fertigkompost	37
Tabelle 8:	Gegenüberstellung Siebtechnik	40
Tabelle 9:	Technische Varianten der Störstoffabscheidung	41
Tabelle 10:	Auslegung des Biofilters	46
Tabelle 11:	Auslegung BHKW-Module	51
Tabelle 12:	Übersicht über die Investitionskosten	92
Tabelle 13:	Variantenvergleich	98

Literaturverzeichnis

BEKON GmbH. 2022. <https://www.bekon.eu/technologie/>. [Online] 02. März 2022.
<https://www.bekon.eu/technologie/>.

2019. *Demografieatlas für den Landkreis Gießen.* s.l. : Der Kreisausschuss Landkreis Gießen , 2019.

Hessisches Statistisches Landesamt. 2021. Bevölkerung in Hessen am 30. Juni nach Verwaltungsbezirken und Gemeinden seit 2011. Wiesbaden : s.n., 2021.

LKGI, Landkreis Gießen, Fachdienst Abfallwirtschaft. 2018. Abfallwirtschaftskonzept 2018 - 2024. April 2018.

1 Einleitung

1.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Landkreis Gießen (im Folgenden kurz LKGI) werden die in der Stadt Gießen und den übrigen Kreisgemeinden gesammelten Bioabfälle seit Beginn des Jahres 1996 im Kompostwerk Rabenau auf dem Standort Zum Noll 50, 35466 Rabenau, angeliefert und dort zu Kompost verarbeitet. Das Kompostwerk wird im Auftrag des LKGI von einem privaten Dritten betrieben.

Der LKGI beabsichtigt, auf diesem Standort angrenzend zum bestehenden Kompostwerk eine der Kompostierung vorgeschaltete Bioabfallvergärungsanlage zu errichten, um die Bioabfälle auch energetisch zu nutzen. Diese Maßnahme umfasst auch die Bewertung des Kompostwerks im Hinblick auf Sanierungsbedarf und Umbaumaßnahmen zur Integration des Kompostwerks in ein Gesamtkonzept der Vergärung der Bioabfälle und der nachfolgenden Kompostierung der Gärreste.

Arbeitsauftrag gemäß der Anfrage:

Der Landkreis Gießen beabsichtigt, auf diesem Standort angrenzend zum bestehenden Kompostwerk eine der Kompostierung vorgeschaltete Bioabfallvergärungsanlage zu errichten, um die Bioabfälle auch energetisch zu nutzen. Diese Maßnahme umfasst auch die Bewertung des Kompostwerks im Hinblick auf Sanierungsbedarf und Umbaumaßnahmen zur Integration des Kompostwerks in ein Gesamtkonzept der Vergärung der Bioabfälle und der nachfolgenden Kompostierung der Gärreste.

Am Kompostwerk Rabenau fallen derzeit ca. 40.000 t Bio- und Grünabfall an. Die Erfassung erfolgt flächendeckend über ein Sammelsystem für Bio- und Grünabfall, ergänzt um die Grünabfallannahme von Kleinanlieferern. Die bestehende Anlage befindet sich damit am Kapazitäts- sowie Genehmigungsmaximum, sodass der Umbau mit einer Kapazitätserhöhung einhergeht, um auch zukünftig bei höheren Bevölkerungszahlen und gesteigerter Erfassungsquote die Entsorgungssicherheit gewährleisten zu können.

Im Rahmen der Vorplanung wurden durch die Ingenieurgesellschaft pbo ökonomisch und ökologisch sinnvolle Standortkonzepte entwickelt, die eine Integration der bestehenden Kompostierung und zeitgleich das Etablieren einer Vergärungsstufe ermöglichen unter der Prämisse, den Anfall flüssiger Gärreste zu vermeiden. Während der Vorplanung wurde untersucht, wie zwei unterschiedliche Trockenvergärungskonzepte, die Batchfermentation in Vergärungstunneln und die kontinuierliche Pfropfenstromfermentation, am Standort umgesetzt werden können. Die untersuchten Anlagenkonstellationen wurden einer wirtschaftlichen Betrachtung mit Angabe der Investitions- und Betriebskosten unterzogen.

1.2 Standort

Auf dem Betriebsgelände Zum Noll 50, 35466 Rabenau befindet sich eine Kompostierungsanlage, die sich im Besitz des LKGI befindet und von privaten Dritten betrieben wird.



Abbildung 1: Luftbild Standort Rabenau

Das Grundstück, Flur 6, Nr. 1/2 steht für die Bioabfallbehandlung mit Vergärungsstufe zur Verfügung. Zurzeit befindet sich auf dem Gelände das Kompostwerk, das – soweit möglich und wirtschaftlich sinnvoll – erhalten und ertüchtigt wird, sodass es in das neue Standortkonzept integriert werden kann. Damit einher geht die weitere Nutzung bestehender Infrastruktureinrichtungen, wie z. B. die Waage und die Zufahrtsstraße. Die verkehrstechnische Anbindung ist konzeptionell und bautechnisch vorhanden.

Für die Neugestaltung des Standortes müssen Teile des bestehenden Kompostwerks zurückgebaut werden. Der Rückbau umfasst die Bestandstankstelle, kleine Hallen, Garagen und die bestehende Übergabestation. Aus Alters-, Kapazitäts- und rechtlichen Gründen wird das Betriebsgebäude zurückgebaut und durch ein neues, dem Standard, dem zukünftigen Personalbedarf und rechtlichen Anforderungen genügendes Betriebsgebäude ersetzt.

Standortbedingte Randbedingungen erschweren die weitere Erschließung des bestehenden Standortes und müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Dazu gehören eine stark ausgeprägte Hanglage mit steilabfallenden Böschungen, insbesondere an den Außen Grenzen des Standortes. Zudem besteht der Untergrund zu weiten Teilen aus Basalt. Umliegend um das Gelände befinden sich Windenergieanlagen, sodass sich insbesondere

aus den „Sicherheitstechnischen Anforderungen an Biogasanlagen“ (TRAS 120) besondere Auflagen an einzuhaltende Sicherheitsabstände ergeben.

1.3 Planungsgrundlagen

Unter Planungsgrundlagen sind sowohl alle Informationen zu verstehen, die der Bauherr dem Planer zur Verfügung gestellt hat, als auch solche Auskünfte, die von pbo eingeholt wurden oder noch eingeholt werden.

Vom Auftraggeber hat pbo u. a. Bestandspläne (soweit diese vorliegen) und alte Genehmigungen sowie Gutachten des Standorts erhalten, aber auch Auslegungsparameter für die Bioabfallvergärungsanlage, wie z. B. tagesscharfe Anlieferungsmengen des Bioabfalls sowie die für die Anlagenauslegung erforderlichen Betriebskostenparameter bestätigt bekommen. pbo hat u. a. die aktuellen planungsrechtlichen Grundlagen erfragt.

2 Rahmenbedingungen

2.1 Rechtlicher Rahmen

Bei der Planung wurde der zum Zeitpunkt der Planung geltende rechtliche Rahmen berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass in den letzten Jahren rechtliche Neuerungen in Kraft getreten sind, welche die Planungsbasis für Bio- und Grünabfallbehandlungsanlagen in einzelnen Punkten nennenswert geändert haben. Eine beispielhafte Auswahl der wichtigsten Gesetze ist nachfolgend genannt:

Bioabfallverordnung (BioAbfV)

Die BioAbfV gibt als Ziel für die Verwertung von Bio- und Grünabfällen die Erzeugung eines Düngemittels (Kompost) vor. Für den Betrieb solcher Anlagen werden u. a. Anforderungen an die Hygienisierung formuliert. Weiterhin werden Grenzwerte für Schad- und Fremdstoffe in den Düngemitteln definiert. In der aktuell als Entwurf vorliegenden Novelle werden zusätzliche Anforderungen u. a. an Fremdstoffgehalte des Inputs der biologischen Stufe formuliert.

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Das BImSchG dient dem Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen. Hier werden u. a. die Anforderungen an die Genehmigung einer Kompostierungsanlage geregelt. Aus den dazugehörigen Verordnungen (z. B. 4. BImSchV) ergibt sich, dass die geplante Anlage eine Anlage nach Industrieemissionsrichtlinie (IED) ist. Damit sind die BVT-Merkblätter zu beachten sowie ein Ausgangszustandsbericht (AZB) zu erstellen.

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)

Diese Verwaltungsvorschrift zum BImSchG regelt die Luftreinhaltung. Es werden u. a. Anforderungen an Abluftgrenzwerte, Emissionsmessungen sowie an die bauliche und betriebliche Gestaltung der Anlagen formuliert. In der derzeit als Entwurf vorliegenden Novelle der TA-Luft sind verschärfte Anforderungen an die Abluftbehandlung gestellt.

Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)

Die Verordnung zum WHG stellt Anforderungen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Hierzu zählen seit der Neufassung von 2017 auch alle Abfälle. Es werden u. a. Anforderungen für die bauliche Gestaltung von Flächen, Behältern und Rohrleitungen sowie zu deren Prüfung und Überwachung gestellt.

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das Gesetz dient dem Ausbau erneuerbarer Energien und regelt die Förderung für die Einspeisung elektrischer Energie. Für Biogasanlagen mit einer BHKW-Verstromung sind daher Anforderungen u. a. an die Auslegung der Verbrennungsmotoren und der Gasspeicher zu beachten. Hierzu ist 2021 eine novellierte Fassung in Kraft getreten.

Sonstige Anforderungen

Bei den bautechnischen Anlagen ergeben sich Anforderungen u. a. aus der Hessischen Bauordnung und der Industriebau-Richtlinie. Die bautechnischen und maschinentechnischen Anlagen sind weiterhin in zahlreichen Normen nach z. B. DIN, VdS, VDE und DGUV geregelt. Es werden arbeitsschutzrechtliche Belange u. a. nach den Arbeitsschutzrichtlinien (ASR) und der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) beachtet.

2.2 Konzept der Vorplanung

Bei der Entwicklung des Gesamtstandortkonzeptes wurden zwei Varianten (Abbildung 1) zur Erweiterung des Kompostwerks um eine Vergärungsstufe untersucht. Bei beiden Varianten handelt es sich um Teilstrom-Vergärungen mit nachgeschalteter Kompostierung zur Verarbeitung des anfallenden Gärrests. In Variante 1 wird die Vergärung im Batch-Perkolationsverfahren in Vergärungstunneln vorgenommen. In Variante 2 wird eine kontinuierliche Vergärung im Pfropfenstromverfahren vorgesehen. Innerhalb der einzelnen Varianten wurden unterschiedliche Konzepte der einzelnen Behandlungsschritte erarbeitet und auf das jeweilige Verfahren angepasst. Die beiden Verfahrensvarianten sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der Fermentationsverfahren unterscheiden sich zwischen den Varianten die Konzepte der Voraufbereitung und der Materialvorbereitung vor dem Einbringen in den Fermenter. Es wurden außerdem vier Konzepte der Feinaufbereitung erarbeitet. Das Feinaufbereitungskonzept ist von der gewählten Variante unabhängig. Gewählt wurde ein Konzept (Konzept A2), dass eine Aufbereitung der Grobfraction und mit einer Sekundäraufgabe die Aufbereitung der Mittelfraction ermöglicht. Es ist sowohl möglich das Konzept um Aufbereitungskomponenten zu reduzieren als auch um weitere Komponenten zu erweitern. Im Zuge der Vorplanung wurden für beide Varianten Standortkonzepte erarbeitet, die speziell an die Anforderungen des jeweiligen Vergärungsverfahrens angepasst sind. Ziel ist das Etablieren der Vergärungsstufe mit möglichst großer Verarbeitungskapazität bei gleichzeitiger Vermeidung der Absteuerung flüssiger Gärprodukte.

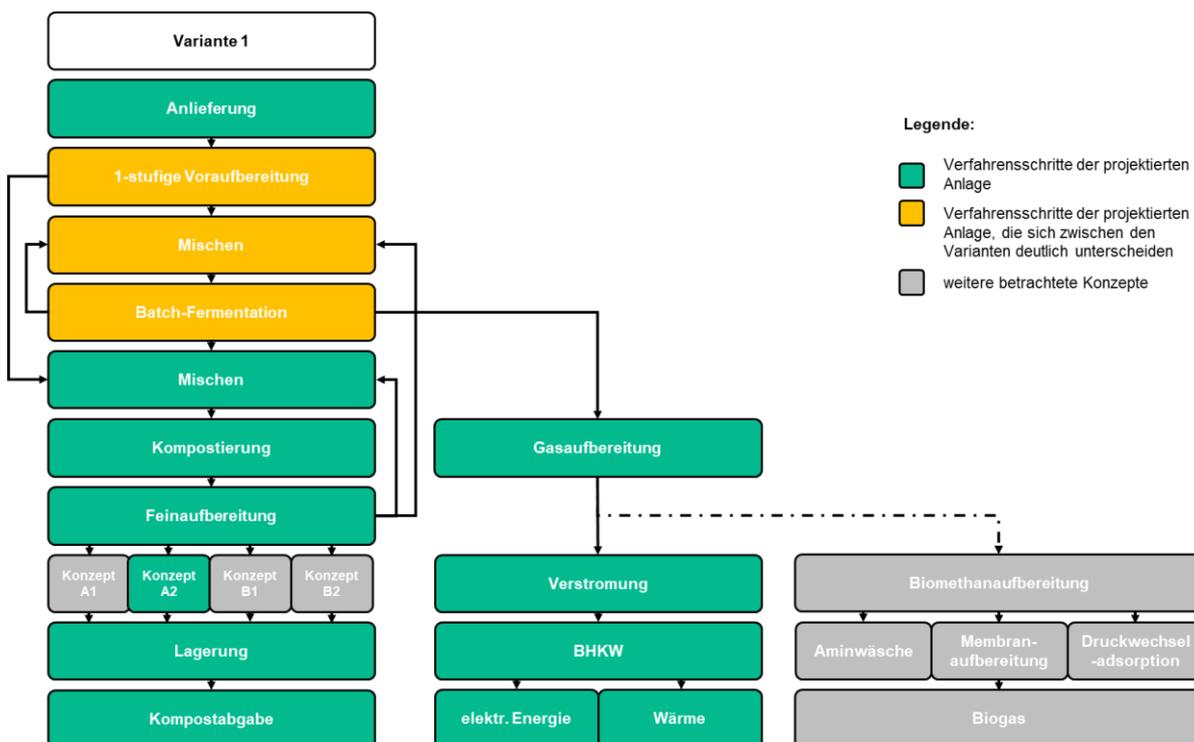


Abbildung 2: Betrachtete Verfahrensvariante der Vorplanung – Batch-Fermentation

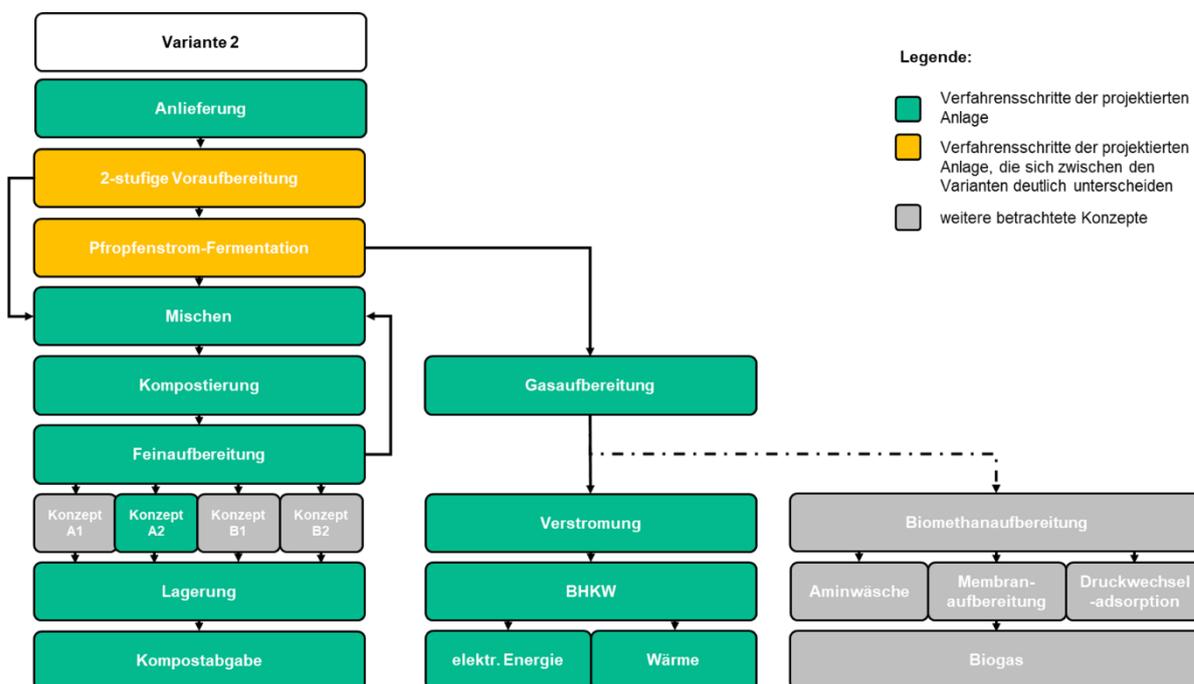


Abbildung 3: Betrachtete Verfahrensvariante der Vorplanung – Pfropfenstrom-Fermentation

2.3 Folgenutzung von Gebäuden

Das Grundstück der derzeit in Betrieb befindlichen Kompostierungsanlage, Flur 6, Nr.1/2, wird baulich umgestaltet, aber gänzlich einer Folgenutzung zugeführt. Sämtliche erhaltenswerten Strukturen der bestehenden Kompostierungsanlage werden ertüchtigt und

einer Folgenutzung zugeführt. Das betrifft die bestehende Kompostierungshalle inkl. den Intensivrottetunneln sowie die Voraufbereitungs- und Lagerhalle. Andere Komponenten werden aufgrund maroder baulicher Struktur, nicht mehr ausreichender Dimensionierung, mangelnder Konformität mit aktuellen rechtlichen beziehungsweise technischen Anforderungen (z. B. Technische Regel für Arbeitsstätten) sowie Behinderung der Erweiterung der Anlage zurückgebaut. Dies betrifft folgende Anlagenkomponenten:

- Trafostation
- Betriebsgebäude
- Tankstelle
- Als Zwischenlager und/oder Werkstatt genutzter Verschlag
- Kompostabholbereich (privat)
- Pflanzenkläranlage

In der nachfolgenden Abbildung sind die Bereiche, die eine Umnutzung beziehungsweise Erweiterung erfahren oder rückgebaut werden, gekennzeichnet.

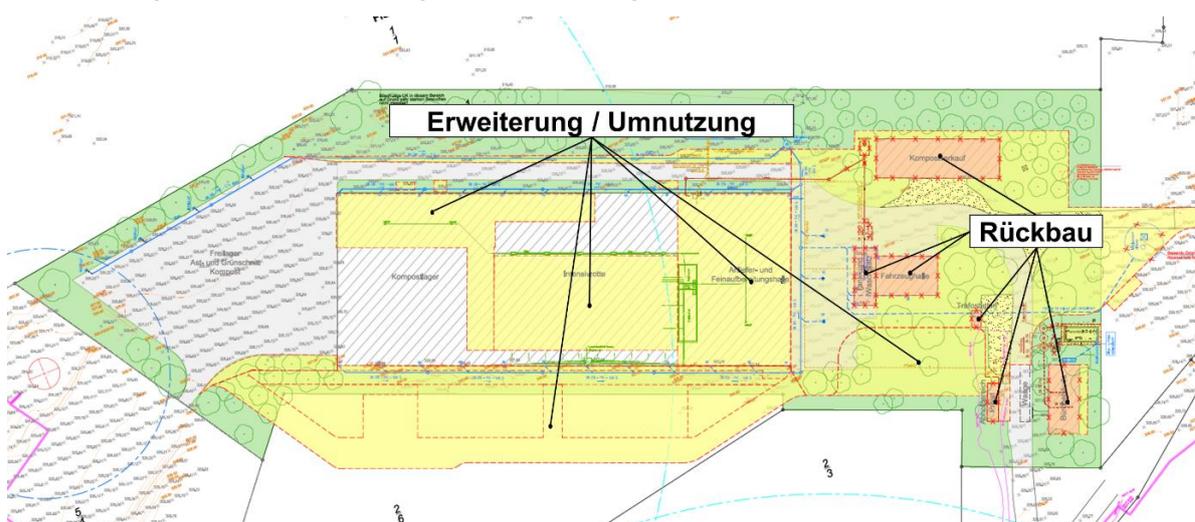


Abbildung 4: Ausschnitt Lageplan Bestand und Rückbau

2.4 Flächeninanspruchnahme

Das Kompostwerk Rabenau liegt auf dem Flurstück 1/2 der Flur 6. Für den Bau des Kompostwerks im Jahr 1996 wurden Ausgleichsflächen außerhalb des Betriebsgeländes geschaffen, um den vorgenommenen Eingriff zu kompensieren. Um den Eingriff aus artenschutz- und pflanzenschutzrechtlicher Perspektive möglichst verträglich zu gestalten, wurden einzelne Bereiche des Geländes unverändert belassen. Durch die geplante Erweiterung des Kompostwerks werden diese Flächen in Teilen überbaut. Der Eingriff ist aufgrund mangelndem Flächenangebot auf dem Standort nicht vermeidbar und wird durch eine gutachterliche Betrachtung im Rahmen der Genehmigungsplanung bewertet werden müssen. Die Instandsetzung des Kompostwerks und die Erweiterung um eine

Vegärungsstufe gehen mit einer unvermeidbaren, größeren Flächeninanspruchnahme einher. Neben dem Flurstück 1/2 müssen Teilflächen der Flurstücke 2/3 und 2/7 der Flur 6 in Anspruch genommen werden.

2.5 Bioabfallmengen und -qualitäten

Das Mengenpotenzial des LKGI wurde auf Basis der Erfassungsmengen, der Bevölkerungsentwicklung und den Anlieferungsdaten der Jahre 2019 und 2020 ausgewertet. Aus dem Abfallwirtschaftskonzept des LKGI geht hervor, dass die erfassten Anliefermengen nur in geringem Maß schwanken und konstant in der Nähe der genehmigten Kapazität von 40.000 t/a der Kompostierungsanlage Rabenau liegen.

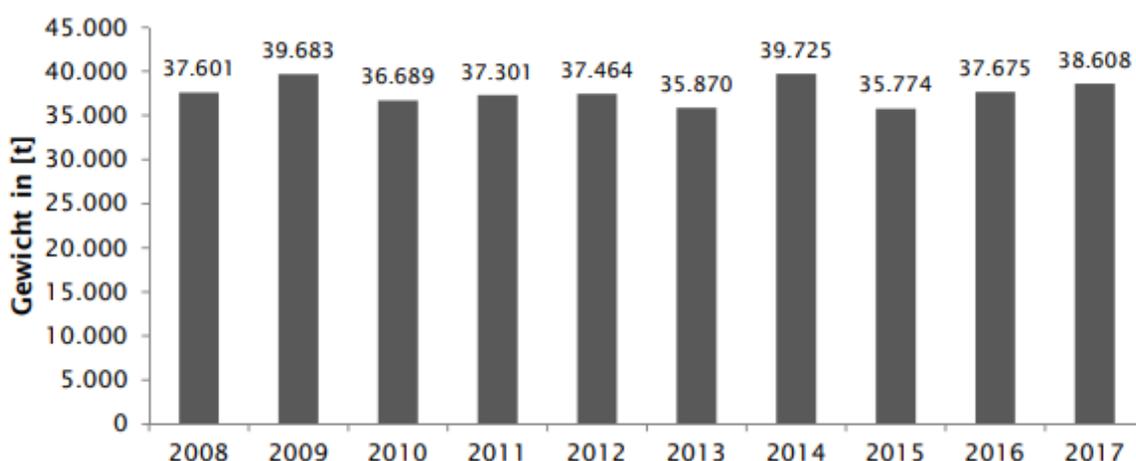


Abbildung 5: Menge biogener Abfälle aus Biotonne, Grünschnittsammlung und Selbstanlieferung (LKGI, Landkreis Gießen, Fachdienst Abfallwirtschaft, 2018)

Im Zeitraum von 1999 bis 2017 schwankt das Bioabfallaufkommen pro Kopf zwischen 137 kg/E*a und 158 kg/E*a (vergl. Abbildung 6).

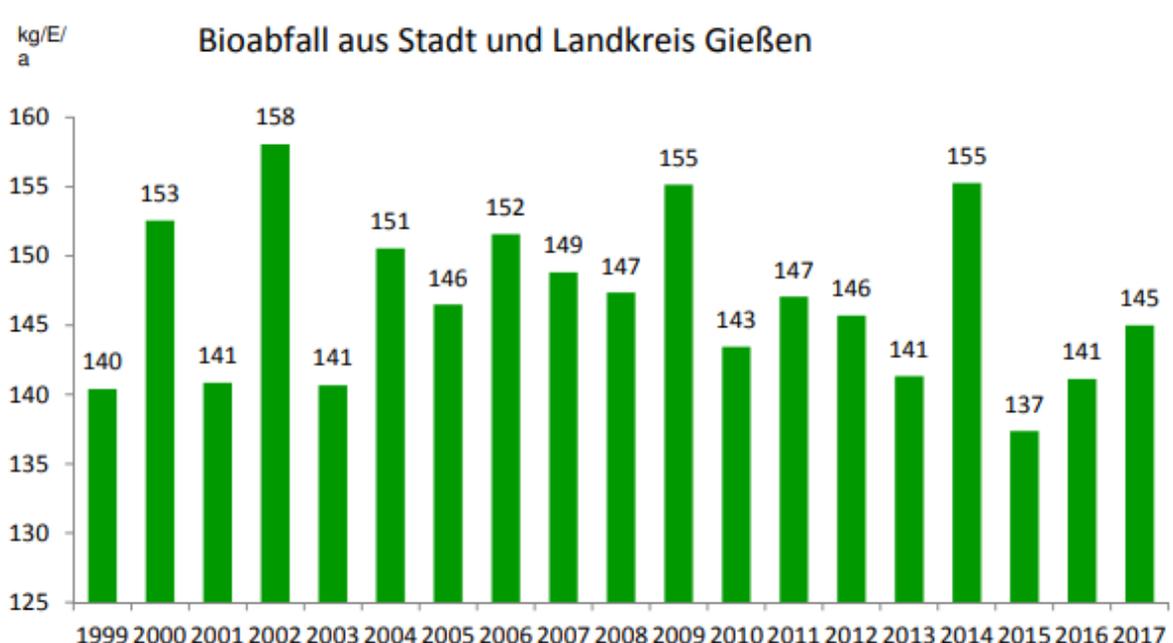


Abbildung 6: Spezifisches Bioabfallaufkommen (LKGI, Landkreis Gießen, Fachdienst Abfallwirtschaft, 2018)

Von 2011 bis 2021 stieg die Einwohnerzahl im LKGI von 251.000 um ca. 7 % auf 269.167 Personen an.

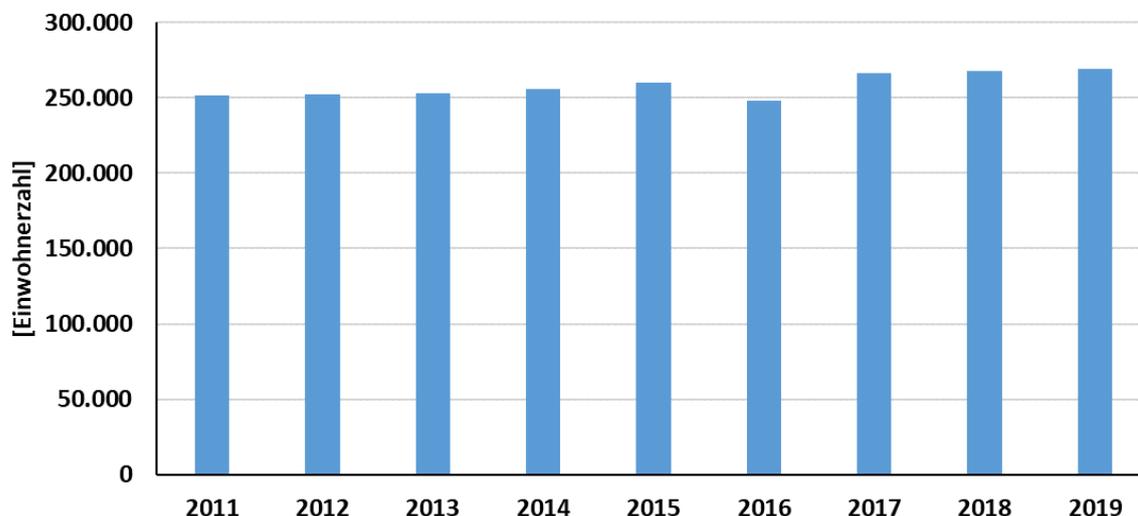


Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung des Landkreis Gießen 2011 bis 2021 (Hessisches Statistisches Landesamt, 2021)

Gemäß Demografieatlas LK Gießen wird die Bevölkerung in Bezug auf das Jahr 2016 bis in das Jahr 2030 um ca. 5 %, auf ca. 280.000 Einwohner steigen (2019).

In Vereinbarung mit dem LKGI wurde die prognostizierte Bevölkerungszahl des Jahres 2030 zugrunde gelegt und mit der einwohnerspezifischen Tonnage von 0,150 t/E*a multipliziert. Das ermittelte Bioabfallaufkommen beträgt somit 42.000 t/a. Der LKGI hat festgelegt, dass die erweiterte Anlage auf 42.000 t/a ausgelegt werden soll.

Tabelle 1: Auslegungsgröße

Bevölkerung (2030)	spez. Abfallaufkommen	Auslegungsgröße
280.000 E	150 kg/E*a	42.000 t/a

Da die Gesteherung von Bio- und Grünabfall vegetationsabhängig ist, muss eine Auslegung zwingend den Jahrgang berücksichtigen. Hierzu wurden die Anlieferungsdaten des Kompostwerks Rabenau der Jahre 2019 und 2020 durch pbo ausgewertet und auf die Auslegungsgröße von 42.000 t/a hochskaliert, um eine belastbare Aussage über die jahreszeitlichen Schwankungen treffen zu können. Für die Auslegung wurde die Bio- und Grünabfallanlieferung wochenscharf betrachtet.

Masse Bioabfall pro Woche 2020 skaliert

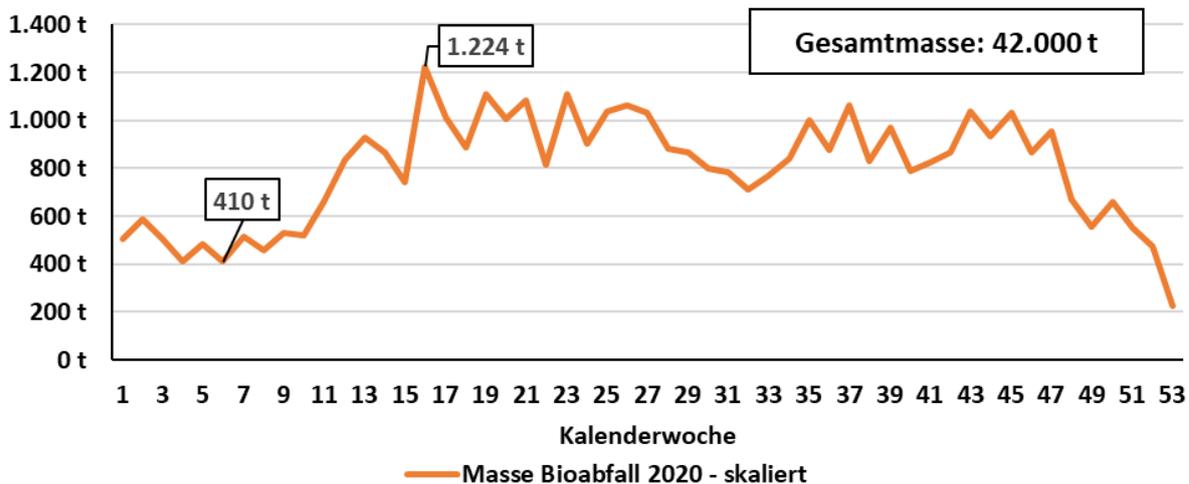


Abbildung 8: Hochskalierter Jahresgang Bioabfall 2020

Zusätzlich zum Bioabfall sollen in der Anlage 6.000 t/a Grünabfall verarbeitet werden. Die Festlegung der Grünabfallmenge erfolgte durch den LKGI. Wie bisher wird der Grünabfall in den Intensivrottetunneln kompostiert. An der gelebten Praxis wurden keine planerischen Änderungen vorgenommen.

3 Anlagen- und Verfahrenstechnik

Das Gesamtstandortkonzept wurde an die Erfordernisse des jeweilig betrachteten Vergärungsverfahrens angepasst, sodass die Rottestufe an die unterschiedliche Quantität und Qualität der Gärprodukte angepasst ist. Die Ergebnisse des Planungsprozesses und die Auslegung der Anlagen- und Verfahrenstechnik wird im Folgenden eräutert. Das Gesamtstandortkonzept folgt einem modularen Aufbau, sodass einige Anlagenkomponenten variantenunabhängig ausgelegt wurden. In den Fällen, in denen sich die Varianten unterscheiden, erfolgt eine detaillierte Beschreibung beider Varianten.

3.1 Annahmereich

Die Auslegung des Annahmereichs für Bioabfall in der Anlieferungshalle erfolgt auf Basis der Anlagenkapazität der Vergärungs- und Kompostierungsanlage mit 42.000 t/a Bioabfall unter Berücksichtigung von maximalen Tagesanlieferungen, die auf der Basis von Anlieferdaten des LKGI ermittelt wurden. Die Auslegung des Annahmereichs unterscheidet sich zwischen Variante 1 und Variante 2 nicht.

Auslegungsgröße für Entladestellen und Größe des Anlieferbunkers:

Der Anlieferbunker und die Anzahl der Entladestellen wird auf die maximale Anliefermenge ausgelegt. Hierzu wurden die auf 42.000 t/a normierten Tagesanlieferungen für das Referenzjahr 2020 zusammengefasst und in eine Häufigkeitsverteilung als Summenkurve sortiert, um so die charakteristische Tagesanlieferung zu bestimmen, vergleiche Abbildung 9. Als Auslegungsgröße für die Anzahl der Anlieferungstore und der Größe des Anlieferbunkers wurde auf diese Weise die maßgebende Tagesanlieferung von 225 t/d bestimmt. Diese Größenordnung deckt ca. 94 % aller Anlieferungstage bzw. wird diese Anliefermenge nur an 16 d/a überschritten.

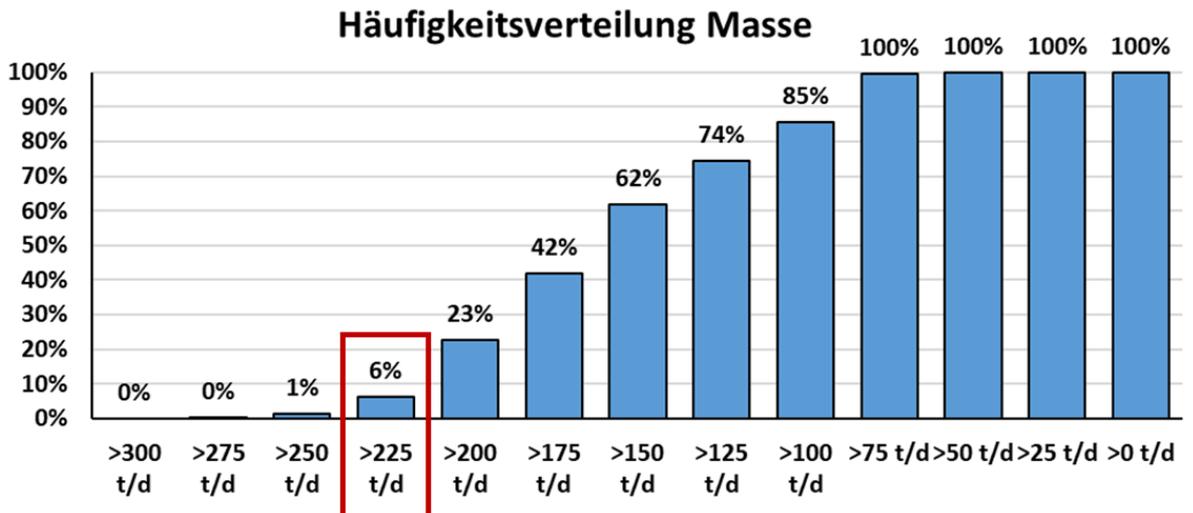


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung als Summenkurve der Tagesanlieferungsmengen

Bemessung der erforderlichen Entladestellen:

Die Bioabfallanlieferungen erfolgen aktuell zum Großteil durch 4-Achs-Sammelfahrzeuge. Die Berechnung der Anlieferungsstellen, die für eine Abwicklung der Tagesanlieferungen benötigt werden, erfolgt auf der Grundlage von Wiegedaten der Einzelanlieferungen für das Jahr 2020.

Daraus haben sich folgende Größen ergeben:

- Auslegungsanlieferungsmenge von 225 t/d
- Fahrzeugmenge von 20 Fahrzeugen/d
- Spitzenstundenansatz von 18 % der täglichen Fahrzeuge
- durchschnittliche Fahrzeugbeladung von ca. 11,3 t/Fahrzeug

Dadurch ergibt sich durch die folgende Formel eine Fahrzeuganzahl pro Spitzenstunde und Spitzentag von 3,6 Fahrzeugen pro Stunde.

$$N_{\text{Fahrzeuge}} = \frac{225 \text{ t/d} * 18 \% \text{d/h}}{11,3 \text{ t/Fhz.}} = 3,6 \text{ Fhz./h}$$

Über einen Ansatz von ca. 10 Minuten pro Entladevorgang zuzüglich ca. 10 Minuten Rangiertätigkeiten des Radladers kann gemäß folgender Formel die erforderliche Stellplatzanzahl ermittelt werden.

$$N_{\text{Stellplätze}} = \frac{3,6 \text{ Fhz./h} * 20 \text{ min/Fhz.}}{60 \text{ min/h} * \text{Stellplatz}} = 1,2 \text{ Stellplätze}$$

Gewählt wird ein Anlieferungsbereich mit zwei Anlieferoren. Die Anlieferung kann somit auch zu Spitzenanlieferungszeiten abgedeckt werden. Des Weiteren sollten mindestens zwei Tore

vorgesehen werden, sodass im Falle eines Tordefekts die Bioabfälle weiterhin angeliefert werden können.

Bemessung Anlieferungsbunker:

Der Anlieferbunker und die Anzahl der Entladestellen werden so ausgelegt, dass die maximal angelieferte Tagescharge an Bioabfall bei einem Stillstand der Anlage vollständig eingelagert werden kann. Für den Anlieferungsbunker ergibt sich, unter Berücksichtigung einer mittleren Einbauhöhe von 3 m und einer Schüttdichte von 0,5 t/m³ für unaufbereiteten Bioabfall, eine minimal erforderliche Bunkerfläche von ca. 150 m².

$$V_{\text{Bunker,erf.}} = \frac{m_{d,max,gewählt}}{\rho_{\text{Bioabfall}}} = \frac{225 \text{ Mg/d}}{0,5 \text{ Mg/m}^3} = 450 \text{ m}^3$$

$$\text{Einbauhöhe mittel: } h = 3 \text{ m}$$

$$A_{\text{Bunker,erf.}} = \frac{450 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = \text{ca. } 150 \text{ m}^2$$

In Abbildung 10 ist der Bunkerereich der Anlieferungshalle dargestellt. Die ständige Bunkerfläche weist in Summe ca. 225 m² auf. Insgesamt ist es so möglich, auch unter der Berücksichtigung von Schüttkegeln, eine volle Tagesmenge in dem Bunkerbereich zwischenzuspeichern.

Sofern es im Falle längerer Anlagenstillstände erforderlich ist, die Bunkerfläche zu erweitern, kann ein Teil der Logistikfläche als weitere Lagerfläche genutzt werden.

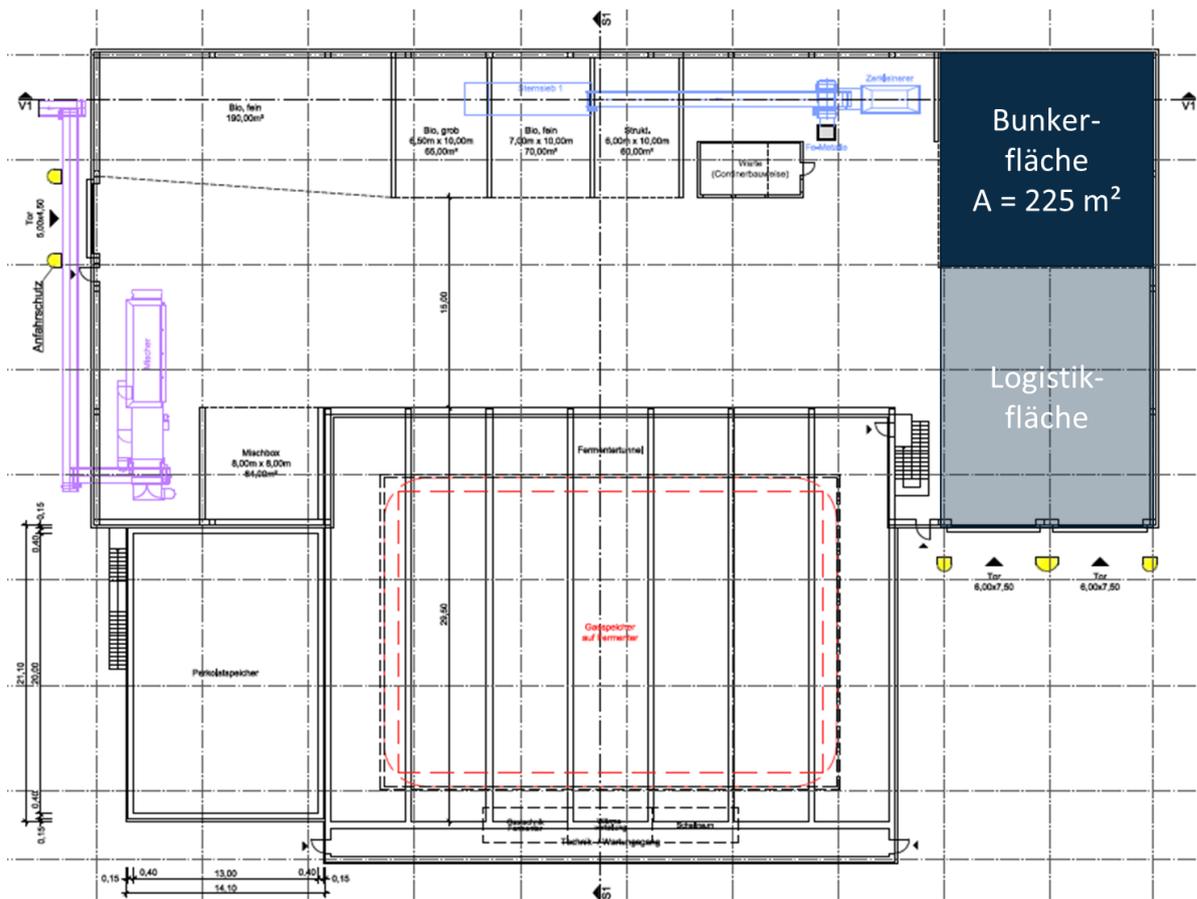


Abbildung 10: Ausschnitt Halle Anlieferung und Aufbereitung V1

3.2 Bunkerbereiche

Die Vorlagebunker ermöglichen die Vorhaltung aller Materialien, die für den Fermentations- und den Rotteprozess erforderlich sind. Sie werden so dimensioniert, dass der entsprechende Prozess möglichst effizient und störungsfrei ablaufen kann. Insgesamt sind, neben dem Anlieferungsbunker, Bunker für den aufbereiteten Bioabfall für Rotte und Fermentation, Strukturmaterialien oder Siebüberlauf und zur Vorkonditionierung von Inputmaterialien vorgesehen. Die Auslegung der einzelnen Bereiche erfolgt variantenspezifisch und ist im Folgenden dargestellt.

3.2.1 Vorlagebunker Variante 1 (Batch-Fermentation)

In Abbildung 11 ist die Aufteilung der Bunkerbereiche in der Annahme- und Aufbereitungshalle dargestellt. Die Auslegung der einzelnen Bunkerbereiche wird im Folgenden erläutert.

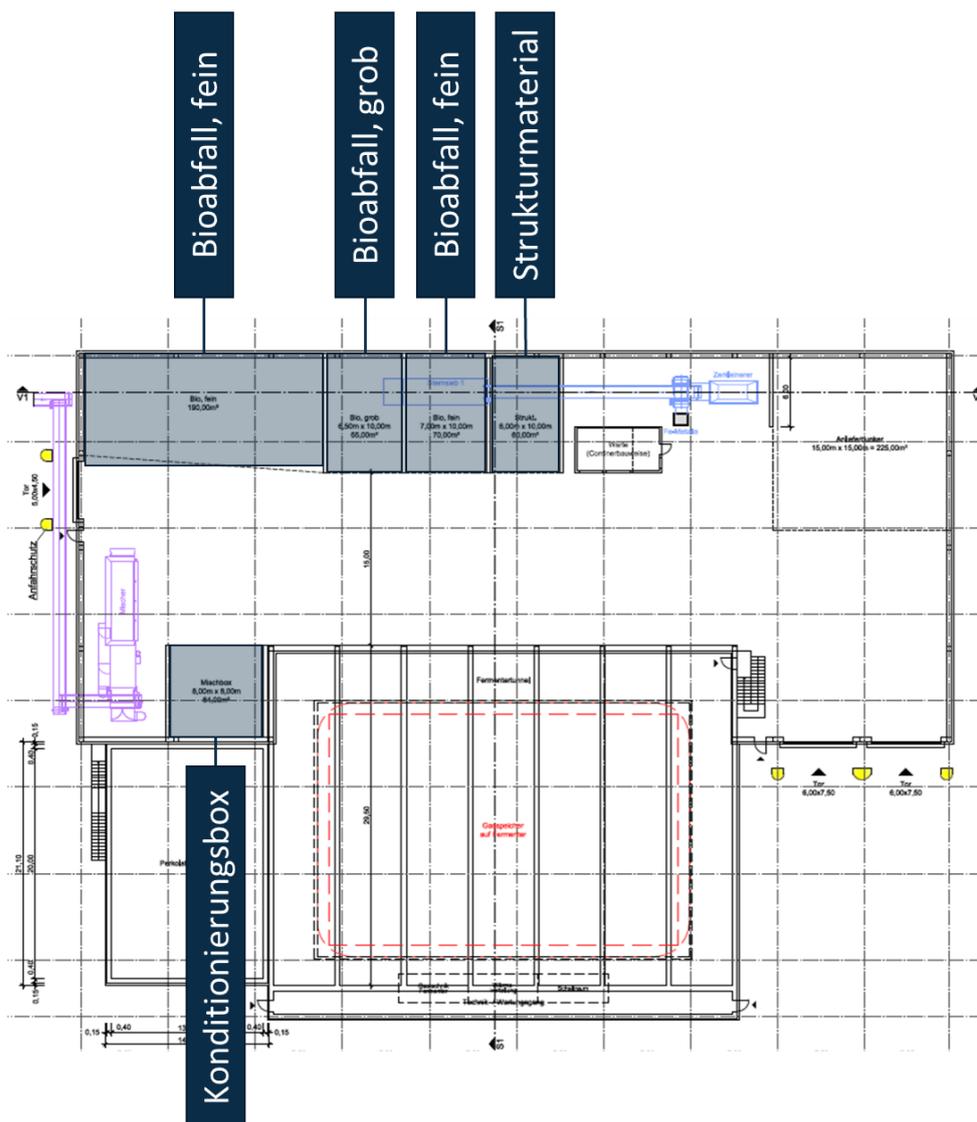


Abbildung 11: Planausschnitt Halle Anlieferung und Aufbereitung V1

Auslegung Vorlagebunker für aufbereiteten Bioabfall für Fermentation und Rotte

Der Vorlagebunker für aufbereiteten Bioabfall muss ausreichend Material für die Beschickung des Rotte- und des Vergärungsprozesses bereithalten. Der Materialbedarf ergibt sich anhand des erforderlichen Bioabfallvolumens zur Beschickung eines Fermentertunnels und eines Kompostierungstunnels.

Materialbedarf Bioabfall Vergärung:	350 m ³
Materialbedarf Bioabfall Kompostierung:	220 m ³
Erforderliches Bunkervolumen:	570 m ³
durchschnittliche Einbauhöhe Bunker:	3 m
erforderliche Bunkerfläche:	$\frac{570 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 190 \text{ m}^2$

Bunkebreite:	21 m
Bunkertiefe:	$\frac{190 \text{ m}^2}{21 \text{ m}} = 9 \text{ m}$
gewählt:	9 m

Auslegung Vorlagebunker Strukturmaterial:

Der Vorlagebunker Strukturmaterial muss ausreichend Material fassen, um die erforderliche Beimengung strukturgebender Materialien in die Rotte und Fermentation zu ermöglichen. Der Materialbedarf ergibt sich anhand des erforderlichen Bioabfallvolumens zur Beschickung eines Fermentertunnels und eines Kompostierungstunnels.

Materialbedarf Struktur Vergärung:	30 m ³
Materialbedarf Struktur Kompostierung:	145 m ³
Erforderliches Bunkervolumen:	175 m ³
durchschnittliche Einbauhöhe Bunker:	3,5 m
erforderliche Bunkerfläche:	$\frac{175 \text{ m}^3}{3,5 \text{ m}} = 50 \text{ m}^2$
Bunkebreite:	6 m
Bunkertiefe:	$\frac{50 \text{ m}^2}{6 \text{ m}} = 8 \text{ m}$
gewählt:	10 m

Auslegung Konditionierungsbox:

Außer den Zwischenlagerbereichen ist zudem eine Konditionierungsbox vorgesehen, in der eine Vormischung des Materials zur Beschickung der Batchfermentation durchgeführt werden kann. Die Box dient nicht der Lagerung, sondern ausschließlich der Mischung von Struktur-, Impfmateriale und Bioabfall.

Bunkebreite:	8 m
Bunkelänge:	8 m
Bunkefläche:	8 m * 8 m = 64 m²

Zusätzlich zu den beschriebenen Bunkerbereichen befinden sich unterhalb der Maschinenteknik weitere Bunkertaschen, die auf die jeweilige Sieblänge ausgelegt sind. Grundsätzlich sind die Bunkertaschen vorgesehen, sodass die Produkte von den Sieben direkt in die darunterliegenden Bunker fallen können. Die Bunker dienen somit als zusätzliche Lagerpuffer.

3.2.2 Vorlagebunker Variante 2 (Pfropfenstromfermentation)

In Abbildung 12 ist die Aufteilung der Bunkerbereiche in der Annahme- und Aufbereitungshalle dargestellt. Die Aufteilung der einzelnen Bereiche wird im Folgenden erläutert.

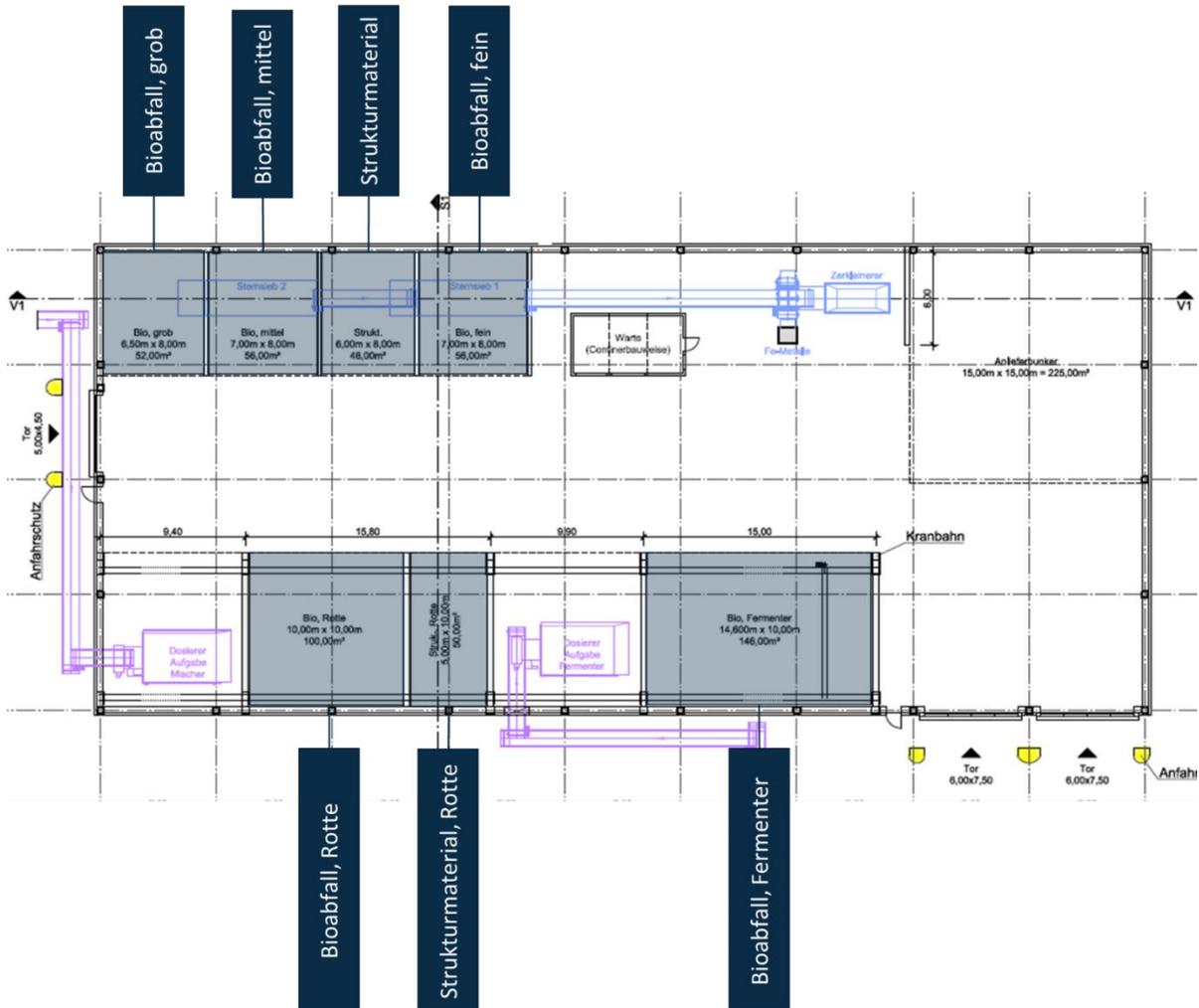


Abbildung 12: Planausschnitt Halle Anlieferung und Aufbereitung V2

Auslegung Vorlagebunker für aufbereiteten Bioabfall für Fermentation

Der Vorlagebunker des Fermenters wird auf die maximale Wochenmenge Bioabfall ausgelegt, die in den Fermenter eigebracht wird. Er soll insgesamt 4 Tage den aufbereiteten Bioabfall aufnehmen und somit ein Wochenende plus zwei weitere Tage Material zur Beschickung des Fermenters vorhalten können.

maximale Wochenmenge (Fermenter):

$$m_{max. wo} = 420 \frac{t}{Wo}$$

vierfache maximale Tagesmenge:

$$m_{max. 4d} = \frac{420 \frac{t}{Wo}}{7} * 4 = 240 t$$

Schüttdichte:

$$0,6 \frac{t}{m^3}$$

erforderliches Volumen:

$$\frac{240 t}{0,6 \frac{t}{m^3}} = 400 m^3$$

durchschnittliche Einbauhöhe Bunker:	3 m
erforderliche Bunkerfläche:	$\frac{400 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \approx 133 \text{ m}^2$
Bunkebreite:	15 m
Bunkerlänge:	$\frac{133 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 9 \text{ m}$
gewählt:	10 m

Auslegung Vorlagebunker für aufbereiteten Bioabfall für Rotte:

Der Vorlagebunker zur Beschickung der Rotte wird so ausgelegt, dass die benötigte Bioabfall- und Strukturmaterialmenge einer vollständigen Tunnelfüllung vorgehalten werden kann. Der Bunkerbereich wird in einen Bereich für aufbereiteten Bioabfall und einen Bereich für Strukturmaterial aufgeteilt. Die Beschaffenheit des anfallenden Bioabfalls schwankt im Laufe des Jahres, sodass die erforderliche Zugabe und somit Zwischenlagerung von Strukturmaterial stark variiert. Daher bleibt die Aufteilung der Bereiche variabel. Die maximale Bioabfall- und Strukturmaterialmenge wird im Sommer benötigt und beläuft sich in Summe auf ca. 320 m³.

Materialbedarf Rottetunnel:	$V_{max} = 320 \text{ m}^3 / \text{Tunnel}$
durchschnittliche Einbauhöhe Bunker:	3 m
erforderliche Bunkerfläche:	$\frac{320 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \approx 110 \text{ m}^2$
Bunkebreite:	15 m
Bunkertiefe:	$\frac{110 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 7,33 \text{ m}$
gewählt:	10 m

Es stehen somit ca. 150 m² Bunkerfläche zur Vorlagerung von Strukturmaterial und Bioabfall zur Verfügung. Zusätzlich zu den beschriebenen Bunkerbereichen befinden sich unterhalb der Maschinenteknik weitere Bunkertaschen, die auf die jeweilige Sieblänge ausgelegt sind. Grundsätzlich sind die Bunkertaschen vorgesehen, sodass die Produkte von den Sieben direkt in die darunterliegenden Bunker fallen können. Die Bunker dienen somit als zusätzliche Lagerpuffer.

3.3 Voraufbereitung

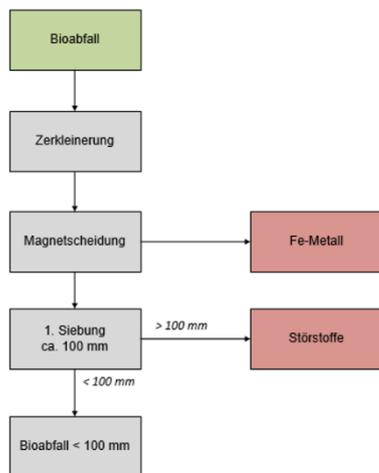
Vor der biologischen Behandlung des Bioabfalls ist eine Voraufbereitung des biogenen Materials erforderlich, um dieses für den nachfolgenden Prozess zu konditionieren.

Die Aufbereitung umfasst im Wesentlichen die Einstellung der benötigten Korngrößen sowie die Abtrennung von Stör- bzw. Fremdstoffen. Die Voraufbereitung besteht aus den Prozessschritten Zerkleinerung, Magnetscheidung und Klassierung, mit denen folgende Ziele verfolgt werden:

- Zerkleinerung:
 - Aufschluss von Gebinden, möglichst keine Zerkleinerung
 - Zerkleinerung und Aufschluss grober, holziger Partikel
 - Aktivierung der Biologie durch Oberflächenvergrößerung
- Magnetscheidung:
 - Entfernung von ferromagnetischen Störstoffen
- Klassierung:
 - Abreicherung von Stör- und Fremdstoffen
 - Konditionierung für die Vergärungsstufe
 - Erzeugung einer energiereichen und einer strukturreichen Fraktion

Der Umfang der erforderlichen Voraufbereitung bemisst sich anhand der nachgeschalteten Prozesse. Die nachfolgenden Fließbilder (Abbildung 13) zeigen die Verschaltung der Aufbereitungsstufen und die entstehenden Stoffströme.

Variante 1 (Batch-Fermentation)



Variante 2 (Pfropfenstromfermentation)

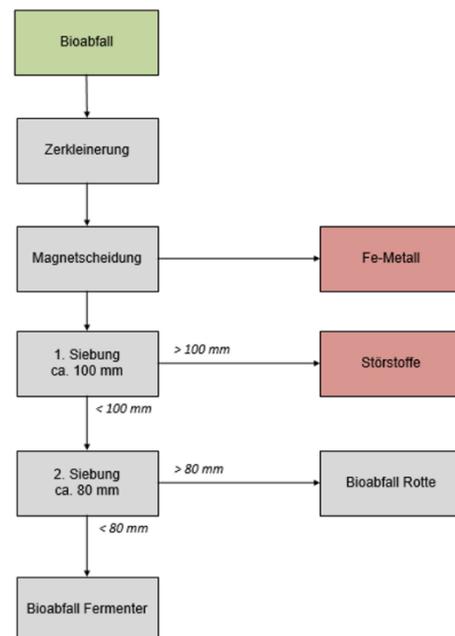


Abbildung 13: Fließbilder Voraufbereitung

Die Voraufbereitungslinien unterscheiden sich einzig durch einen zusätzlichen Siebschnitt bei ca. 80 mm in Variante 2. Der zweite Siebschnitt ermöglicht die Verwertung des Bioabfalls seiner Qualität entsprechend, die energiereiche Feinfraktion wird bevorzugt in die Fermentation geführt und die strukturreiche, energieärmere in die Rotte.

Als erstes Aggregat in der Prozesskette übernimmt der Zerkleinerer neben seiner eigentlichen Funktion der Zerkleinerung bzw. der Gebindeöffnung auch die

Materialdosierung für die nachgeschaltete Maschinenteknik. Zerkleinerer lassen sich nach der Umdrehungsgeschwindigkeit der Zerkleinerungswerkzeuge in schnell- und langsamlaufende Aggregate unterscheiden. Die wichtigsten Eigenschaften dieser zwei Typen sind in der nachstehenden Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Eigenschaften von Zerkleinerungsaggregaten

	schnelllaufend	langsamlaufend
Umdrehungen pro Minute	ca. 1.000 U/min	ca. 30 U/min
Zerkleinerungsprinzip	Prall, Schlag, schneidend, reißend intensiv	schneidend, reißend schonend
Umgang mit Gebinden	Gebinde (z. B. Plastiktüten) werden zu „Schnipseln“ zerkleinert	Gebinde werden geöffnet, jedoch nicht zerkleinert
Output-Material	hoher Zerkleinerungsgrad	niedriger Zerkleinerungsgrad
Vorteile	hohe Durchsatzleistung, Erzeugung von definierten Körnungsbereichen	schonende Zerkleinerung, Aufschluss von Gebinden, Strukturmaterial verbleibend

Ziel der Zerkleinerung ist es, die im Bioabfall enthaltenen Gebinde schonend zu öffnen, sodass die Gebindeverpackungen als Störstoffe über die nachgeschaltete Klassierung im Grobgut abgetrennt werden können, sowie die biogenen Bestandteile nur soweit zu zerkleinern, dass diese für die nachgeschaltete Vergärungsstufe verträglich sind und die Oberflächenvergrößerung den biologischen Prozess begünstigt.

Aufgrund der Anforderung der schonenden Zerkleinerung wird ein langsamlaufender Zerkleinerer empfohlen.

Nach der Zerkleinerungsstufe werden mithilfe eines Überbandmagnetscheiders eisenhaltige Bestandteile aus dem Materialstrom entfernt. Dieser ist, wie in Abbildung 14 dargestellt, über der Materialübergabe quer zur Förderrichtung positioniert. Diese Anordnung ermöglicht eine möglichst optimale Abtrennung der Fe-Bestandteile aus der Flugbahn des Materialstroms. Die abgetrennten Fe-Metalle fallen über eine Schurre in einen bereitstehenden Container.

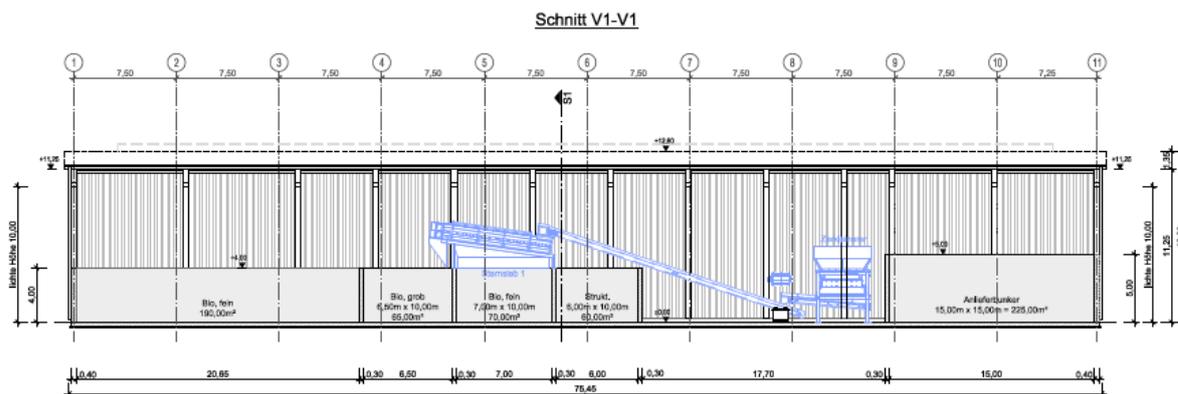


Abbildung 14: Schnitt V1-V1 – Voraufbereitung V1

Im Anschluss erfolgt die Klassierung des Materialstroms, die hinsichtlich der Siebschnitte abhängig von den Anforderungen des Fermentationssystems zu wählen ist. Für Variante 1 (Batch-Fermentation) ist ein Siebschnitt (ca. 100 mm) für die Ausschleusung von Störstoffen ausreichend. Das verbleibende Material > ca. 100 mm wird sowohl als Inputmaterial für die Beschickung der Fermentertunnel als auch der Rottetunnel verwendet.

Die Variante 2 (Pfropfenstromfermentation) bedarf zweier Siebschnitte. Das Feinkorn des zweiten Siebschnitts wird in den Pfropfenstromfermenter gefahren. Der Vorteil einer zweistufigen Klassierung und einer differenzierten Feinkornseparation für die Fermentation liegt in einem höherem spezifischen Gasertrag der Fraktion < ca. 80 mm im Vergleich zur Fraktion > ca. 80 mm. Insgesamt wird der Bioabfallstrom in eine Grob-, Mittel- und Feinfraktion getrennt. In der Grobfraktion (> ca. 100 mm) werden Störstoffe angereichert. Dieses Material wird vor der weiteren biologischen Behandlung ausgeschleust. Das energiereiche Feinkorn bildet den Hauptteil des Inputmaterials in den Pfropfenstromfermenter. Die störstoffangereicherte Mittelfraktion wird direkt der Rotte zugeführt.

Die endgültigen Siebschnitte werden durch die Anforderungen des Fermentationsprozesses und in Abhängigkeit des Störstoffgehalts des Bioabfalls definiert. Sie sind somit verfahrens- und standortabhängig und werden erst in Abstimmung mit dem Fermentationslieferanten final fixiert.

3.4 Vergärung

Bei der Vergärung wird Biomasse mithilfe von Mikroorganismen unter anaeroben Bedingungen (Sauerstoffausschluss) in Biogas und einen Gärrest umgewandelt. Dabei durchläuft das Material verschiedene Stufen der Vergärung: Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanogenese. Für diesen Prozessablauf eignet sich am besten flüssiges oder strukturarmes Material, wie z. B. Küchenabfälle, da es am leichtesten von den Mikroorganismen abgebaut werden kann.

Verfahrenstechnisch wird bei der Vergärung zwischen Trocken- und Nassfermentation unterschieden. Der Unterschied zwischen beiden Verfahren liegt allerdings lediglich in der Pumpfähigkeit, denn obwohl der Begriff „Trockenfermentation“ auf einen wasserlosen Betrieb hinweist, läuft die Vergärung auch bei dieser Art der Behandlung nicht unter Ausschluss von Feuchtigkeit ab. Der TS-Gehalt (Trockensubstanzgehalt) des Fermenterinhalt beträgt lediglich ca. 35 %.

Die Vergärung von Bio- und Grünabfällen kann sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich durchgeführt werden. Beim kontinuierlichen Betrieb wird dem Fermenter in kurzen Zeitintervallen Substrat zugeführt und es werden gleichzeitig Gärreststoffe entnommen. Bei einer diskontinuierlichen Verfahrensführung wird ein Fermenter vollständig gefüllt und nach einer bestimmten Zeit komplett entleert. Bei dieser Betriebsart werden in der Regel mehrere Fermenter parallelgeschaltet, um einen quasi-kontinuierlichen Betrieb zu erhalten. Für die Bioabfallbehandlungsanlage am Standort Rabenau wurden für beide Verfahren Konzepte erarbeitet und gegenübergestellt.

Auch bezüglich des Temperaturniveaus, auf dem die Fermentation stattfindet, gibt es im Wesentlichen zwei Varianten, die mesophile oder thermophile Vergärung. Das Temperaturoptimum für mesophile Methanbakterien liegt bei ca. 35°C und für thermophile Methanbakterien bei ca. 55°C. In der Regel ist die Biogasproduktion bei thermophilen Verfahren, bezogen auf die angestrebte Verweilzeit im Fermenter, höher als bei mesophiler Betriebsweise, allerdings sind auch die Investitionskosten für thermophile Anlagen höher. Darüber hinaus haben thermophile Vergärungsanlagen den Vorteil, dass die Flüssigphase keiner weiteren Hygienisierungsstufe zugeführt werden muss.

Beide ausgearbeiteten Konzepte (kontinuierlich und diskontinuierlich) werden als thermophile Vergärung geplant.

3.4.1 Variante 1 (Batch-Fermentation)

Die diskontinuierliche Tunnelfermentation ist ein Perkolationsverfahren, bei dem alle Phasen der anaeroben Verstoffwechslung in einer Behandlungsstufe stattfinden. Als Fermenter dienen gasdicht abgeschlossene Fermentertunnel, die sich einen gemeinsamen Perkolatspeicher teilen. Die dreiseitig geschlossenen Tunnelbauwerke können mit Radladern befahren werden. Die Zufahrt lässt sich durch Tore luftdicht verschließen. Die Biogasproduktion erfolgt in erster Linie im Fermentertunnel und zu einem kleinen Teil im Perkolatspeicher. Durch die zeitlich versetzte Verschaltung der einzelnen Fermentertunnel wird auch bei der diskontinuierlichen Verfahrensführung kontinuierlich Biogas erzeugt. Der Ein- und Austrag der Biomasse in die Fermentertunnel erfolgt durch Radlader. Als Inputmaterial dient eine Mischung aus Bioabfall, Strukturmaterial und Gärrest, die in die Fermentertunnel eingetragen wird. Der Gärrest, der mit frischem Material eingetragen wird,

dient als Inokulum und beschleunigt das Einsetzen der anaeroben Verstoffwechslung durch das Einbringen von Nährstoffen, Enzymen und Mikroorganismen. Durch Selbsterhitzung und externe Wärmezufuhr stellt sich die gewünschte Temperatur ein. Durch die anschließende Berieselung mit Prozesswasser wird die Perkolation initiiert. Um die Verweildauer auf ein Minimum (21 Tage) zu beschränken und die Gasausbeute zu maximieren, werden die Fermentertunnel thermophil betrieben. In Abbildung 15 ist das Verfahrensprinzip der Boxen-Fermentation dargestellt.

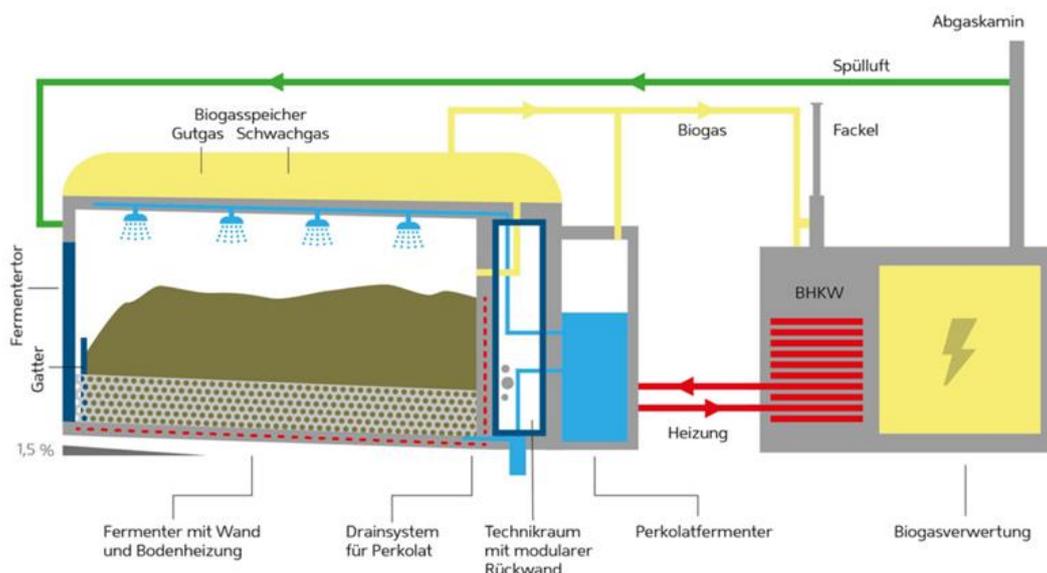


Abbildung 15: Prinzip der Boxen-Fermentation (BEKON GmbH, 2022)

Die Auslegung der Batch-Fermentation ergibt sich aus dem Zusammenspiel der zu verarbeitenden Inputmenge, dem zur Verfügung stehenden Fermentervolumen und der Verweilzeit. Das Fermentervolumen entspricht dem gesamten Nutzvolumen der einzelnen Fermentertunnel und die mittlere Verweilzeit beträgt 21 Tage.

Ein limitierender Faktor bei der Steuerung von Mengen in die Vergärungsstufe ist die Prozesswasserbildung und die als Teil der Aufgabenstellung formulierte Prämisse eines abwasserfreien Betriebs bezogen auf die Gesamtanlage. Die Zielsetzung bedingt, dass die angeschlossene Kompostierungsstufe sämtliches überschüssiges Prozesswasser veratmen kann.

Nachfolgend sind die Abmessungen der Fermentertunnel zusammengefasst.

Tabelle 3: Maße Fermentertunnel

	Maße
Länge	30,0 m
Nutz-Länge	29,0 m
Breite	5,70 m
Nutz-Breite	5,30 m
Nutz-Volumen Fermentertunnel	384 m ³
Höhe (Innenmaß)	4,10 m
max. Schütthöhe	3,30 m
Auslegungsschütthöhe	2,50 m

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Auslegungsgrößen und den wöchentlichen Inputvolumina ergibt sich der in Abbildung 16 beispielhaft dargestellte, tagesspezifische Fermentertunnel Belegungsplan (Anzahl belegter Tunnel pro Tag) für die Batchfermentation am Standort Rabenau.

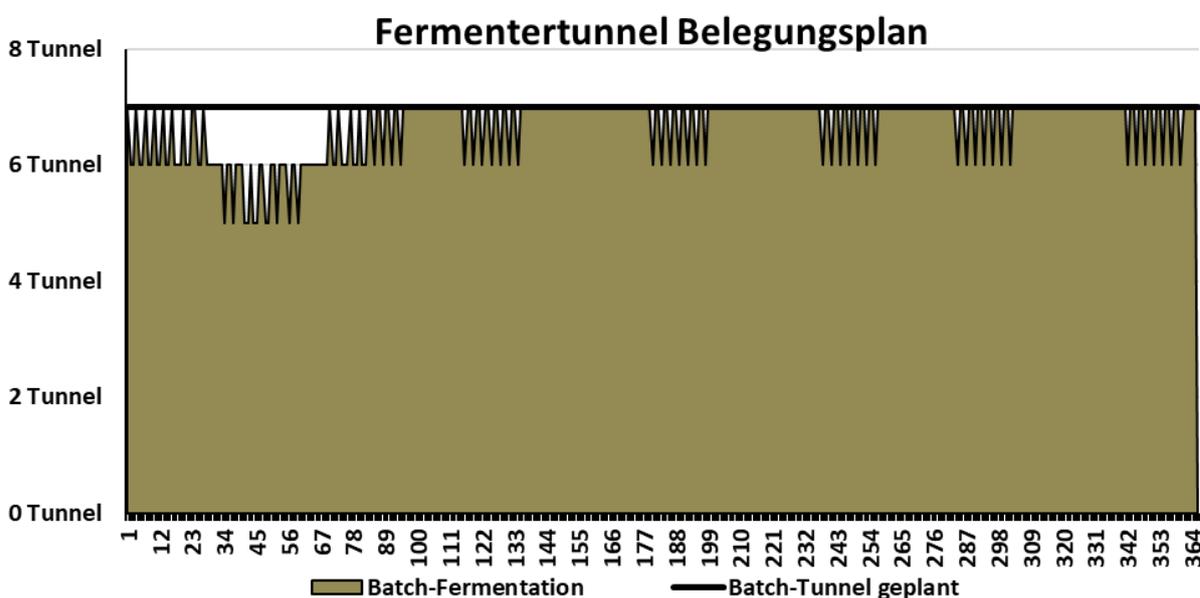


Abbildung 16: Fermentertunnel Belegungsplan

Die Auswertung des Tunnelbelegungsplans zeigt im Zusammenspiel mit der Mengenverarbeitung in der Rotte, dass für die Vergärung von 22.200 t/a 7 Fermentertunnel gewählt werden sollten. Über das gesamte Jahr ist eine konstante und weitestgehend vollständige Auslastung der Fermentertunnel gewährleistet. Einzig im Frühjahr ist die Vergärungsstufe nicht vollständig ausgelastet. Anhand des Fermentertunnel Belegungsplans wurde die Tunnelkapazität auf 7 festgelegt. Die gute Auslastung ist Ergebnis der prioritären

Beschickung der Vergärungsstufe mit dem Ziel einer maximalen Gasausbeute. Die gleichmäßige Beschickung der Fermentation hat zur Folge, dass jahreszeitlich bedingte Schwankungen durch die Kompostierungsstufe aufgefangen werden müssen.

Die Tunnelfermenter werden in die Anliefer- und Aufbereitungshalle integriert. Die Anordnung wurde aufgrund der am Standort vorherrschenden Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung der Optimierung der Logistikbereiche sowie Aufgabenabläufe gewählt. Die Anordnung ist in der nachfolgenden Abbildung 17 dargestellt.

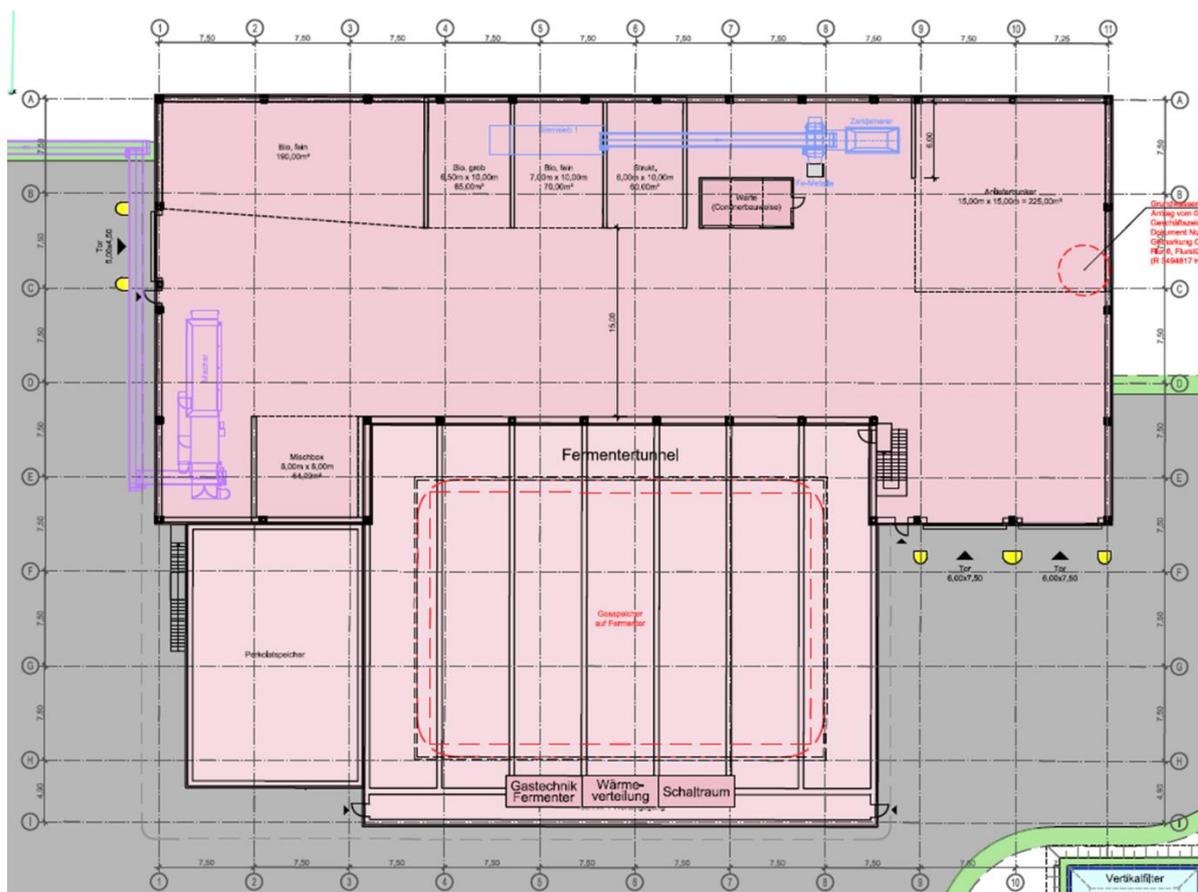


Abbildung 17: Planausschnitt Lageplan Standortlayout V1

3.4.2 Variante 2 (Pfropfenstromfermentation)

Die Pfropfenstromfermentation wird in erster Linie über die Kombination aus Inputmenge und Faulraumbelastung dimensioniert. Dabei beschreibt die Faulraumbelastung die Menge an organischer Trockensubstanz (oTS), die pro Kubikmeter Fermentervolumen und Tag in den Fermenter eingebracht wird. Als Inputmenge sollen im Regelbetrieb 20.800 t/a über die Fermentation verarbeitet werden können. Generell kann über die Fermentation, durch eine Anpassung der Verweilzeit und des Füllstands, sowohl mehr als auch weniger ($\pm 10\%$) Substrat eingetragen werden, sofern die maximale Faulraumbelastung nicht überschritten

wird. Gewählt wurde entsprechend eine Fermentergröße mit einem Nettovolumen von 1.700 m³.

Aus den Inputmassen, die in die Fermentation eingetragen werden, und einer Fermentergröße von 1.700 m³ ergibt sich der in Abbildung 18 dargestellte Jahresgang des Füllstands. Dargestellt sind zudem der maximale und der minimale Füllstand des Fermenters.

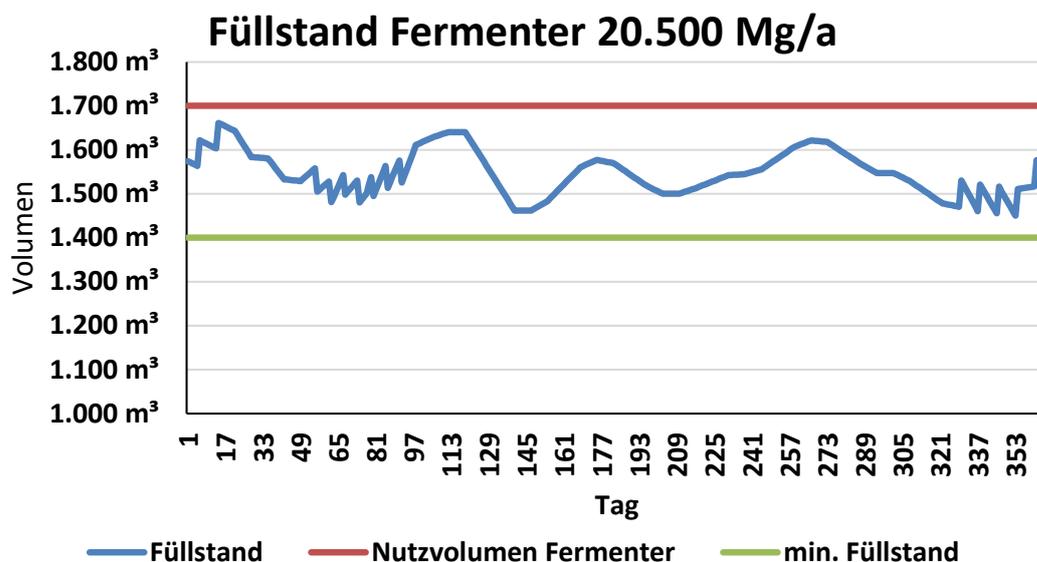


Abbildung 18: Jahresgang Füllstand Fermenter; Verweilzeit 21 Tage

In Abbildung 19 ist der Jahresgang der Faulraumbelastung für die gewählte Fermentergröße von 1.700 m³ dargestellt. Die Auslastung liegt über den gesamten Zeitraum unterhalb des Bereichs der kritischen Faulraumbelastung. Im Fermenter steht somit bei der gewählten Größe noch etwas Kapazität zur Verfügung, um weitere Mengen aufzunehmen. Sofern die Kompostierung höhere Mengen von Gärrest zulässt, also mehr Flüssigkeit veratmet werden kann, kann der Fermenter somit auch mit mehr Material beschickt werden. Die Veratmung hängt u. a. von standortspezifischen Faktoren sowie der betrieblichen Führung des Zusammenspiels von Fermentation und Kompostierung ab.

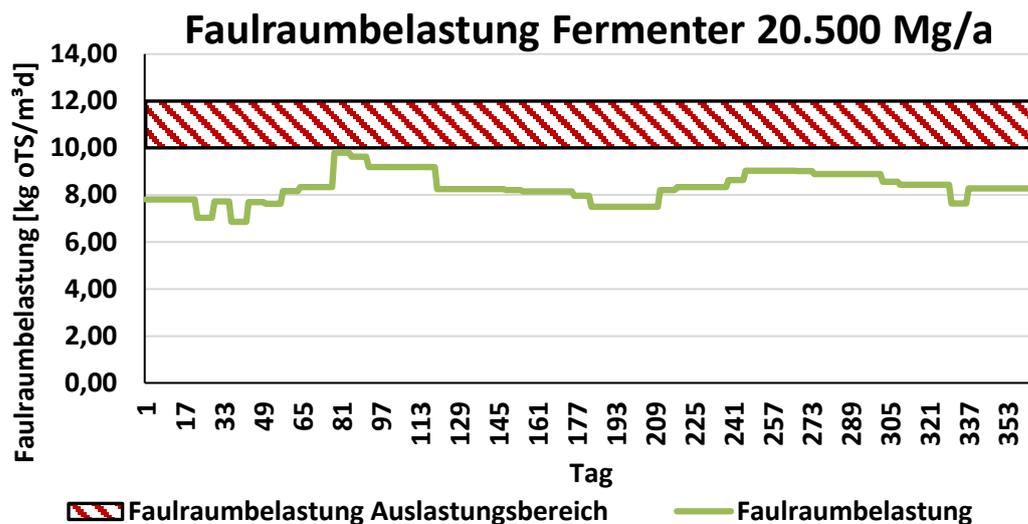


Abbildung 19: Jahresverlauf Faulraumbelastung Fermenter 20.500 t/a

Die wichtigsten Kenngrößen liegender Pfropfenstromfermenter sind in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Kenngrößen der Fermentertypen

Parameter	liegender Fermenter
Inputkorngröße	60 – (80) mm
TS-Gehalt Input	30 – 35 %
TS-Gehalt Output	20 – 30 %
Fahrweise	thermophil
Verweilzeit	14 – 21 Tage
Gasertrag	hoch (abhängig vom Inputmaterial)
Baugrößen	bis 2.200 m ³
Platzbedarf	hoch

In Abbildung 20 ist die Aufstellung eines liegenden Fermenters am Standort Rabenau dargestellt.

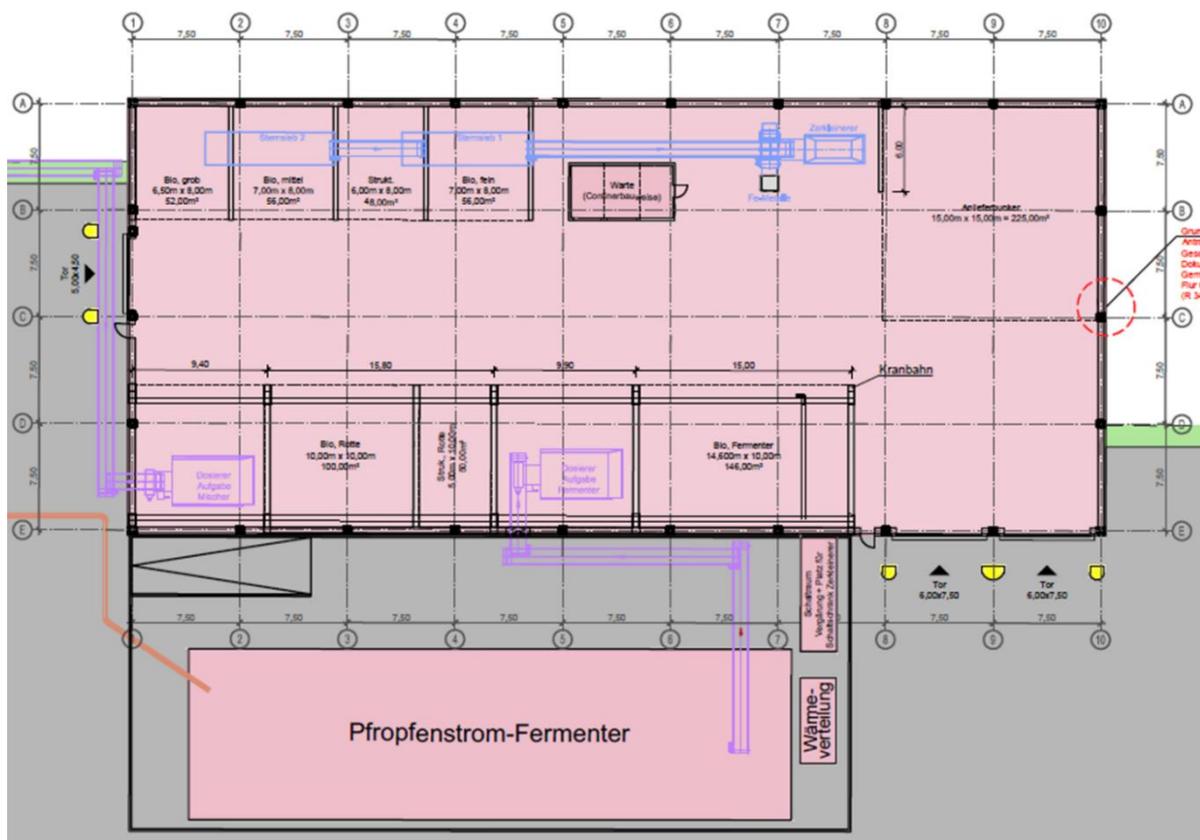


Abbildung 20: Planausschnitt Lageplan Standortlayout V2

3.5 Mischsystem

In die Tunnelkompostierung müssen unter der Prämisse der Mitverarbeitung des Gärrests verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften eingetragen werden. Für einen funktionierenden Prozess müssen die Inputmaterialien zuvor zu einem möglichst homogenen, belüftbaren Gemisch konditioniert werden. Gärreste weisen mit ca. 65 – 70 % noch einen hohen Wassergehalt auf und besitzen – je nach Verfahrensansatz – nur einen geringen Strukturanteil. Ziel des Mischvorgangs ist es, die Gärreste mit strukturreicheren Materialien und Bioabfall so zu vermischen, dass eine gleichmäßige Belüftung des gesamtern Rotteguts während der Kompostierung ermöglicht wird. Weiterhin sollte die Mischung möglichst schonend erfolgen, sodass strukturreiche Materialien und/oder Fremdstoffe nicht durch den Mischvorgang zerkleinert werden.

Die Mischung der Materialien erfolgt in drei Stufen:

- Zuführen der Materialien mittels Radlader, Krananlage (nur Variante 2) und Gärrestleitung (nur Variante 2)
- Mischung über das Mischaggregat
- Eintrag in die Kompostierungstunnel durch einen Radlader

Ein projektiertes Mischaggregat verwendet beispielsweise das Prinzip eines Mietenumsetzers, indem es das Material durch gegenläufige Wellen mehrstufig durchmischt und gleichzeitig kontinuierlich durch den Mischer fördert. Beispielhaft für dieses System ist ein in Abbildung 21 dargestellter Mischer der Firma Eggersmann.

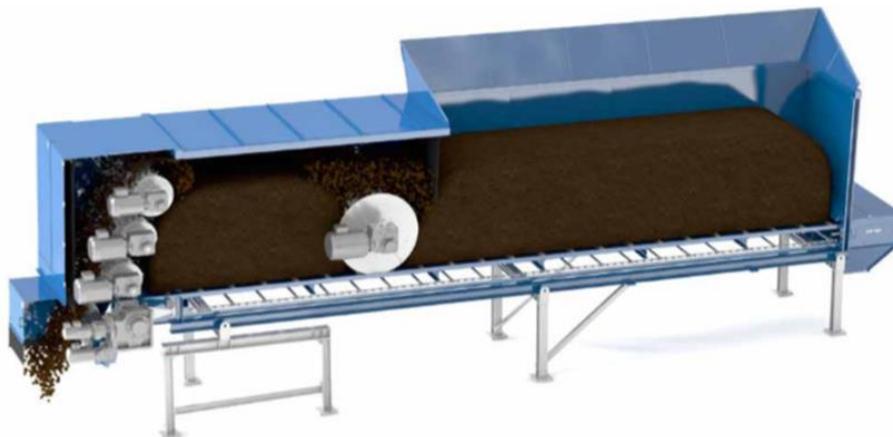


Abbildung 21: Mischaggregat Eggersmann

Eine alleinige Mischung über einen Radlader ist nicht vorgesehen, da dieser die gewünschte bzw. erforderliche belüftbare Mischung nicht so homogen wie benötigt einstellen kann. Bei einem Ausfall des Mixers können die Tunnel ersatzweise aber auch im Rahmen eines weniger optimalen Notbetriebs direkt über einen Radlader beschickt werden.

In Variante 1 und Variante 2 ist aus Logistikgründen der Mischer unterschiedlich positioniert. In Variante 1 erfolgt die Aufstellung des Aggregats innerhalb der Anlieferhalle. Das gemischte Material wird anschließend über Fördertechnik in die Tunnelvorhalle transportiert und dort in eine Box abgeworfen.

In Variante 2 wird der Mischer innerhalb der Tunnelvorhalle positioniert. Das strukturreiche Material wird aus der Anlieferhalle über Fördertechnik in den Mischer transportiert. Der flüssige Gärrest wird während des Mischvorgangs über Rohrleitungen quasikontinuierlich in den Mischer gepumpt. Nach Durchfahren des Mischaggregats wird die Materialmischung in eine Box abgeworfen.

In beiden Varianten wird das vorgemischte Material aus der Abwurfbox von einem Radlader aufgenommen und in einen Kompostierungstunnel eingebracht.

3.6 Tunnelkompostierung

In Abbildung 22 ist das Schema einer Rottetunnelkompostierung mit den Hauptprozessströmen dargestellt.

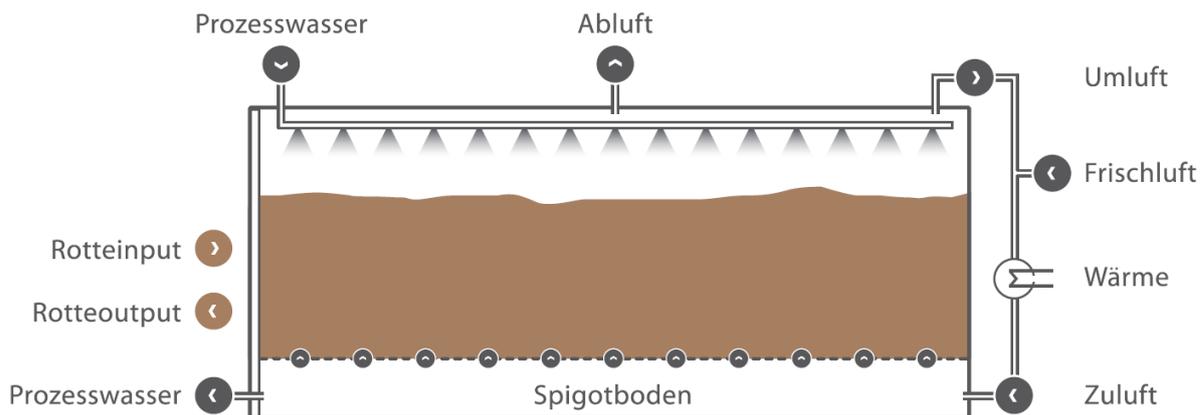


Abbildung 22: Schema Tunnelkompostierung

Der Eintrag des konditionierten Materialstroms in die einzelnen Rottetunnel erfolgt durch Radlader. Das biogene Material wird im Regelbetrieb bis auf eine Höhe von ca. 2,8 m in die Tunnel eingebracht. Nach Abschluss des Füllvorgangs wird der Tunnel durch ein Tor luftdicht verschlossen.

Unter steuerungstechnisch optimiertem Einsatz der Bewässerung und Belüftung des Rotteguts wird die Tunnelkompostierung als thermophiler Prozess gefahren, sodass eine hygienisierende Behandlung des Rotteguts gemäß Anhang 2 Punkt 2.2.2 der Bioabfallverordnung gewährleistet wird. Die Aufenthaltszeit in den Kompostierungstunneln beträgt durchschnittlich 28 Tage, wobei nach ca. 14 Tagen ein einmaliges Umsetzen in einen anderen Tunnel erfolgt. Nachdem das Material nach einer ca. 4-wöchigen Kompostierung die gewünschte Kompostproduktqualität (min. Rottegrad 4) aufweist, wird es der Feinaufbereitung zugeführt.

Der Kompost wird mittels Radlader aus den Rottetunneln entnommen und über einen Aufgabedosierer der Kompostfeinaufbereitung zugeführt.

3.6.1 Auslegung Rottetunnelkompostierung

Die Kompostierungsanlage Rabenau verfügt bereits über 11 Intensivrottetunnel mit erhaltenswürdiger Bausubstanz. Für den zukünftigen Betrieb sollen diese ertüchtigt und weiter genutzt werden. Zudem muss die bestehende Rottetunnelkapazität erweitert werden, um die Verarbeitung der erwarteten Mehrmengen sowie die Nachkompostierung der anfallenden Gärreste zu gewährleisten. Die Anzahl der zukünftig benötigten Rottetunnel wurde daher im Rahmen der Vorplanung ermittelt. Die Abmessungen der neuen Tunnel werden an die Bestandstunnel angepasst, die Abmessungen des Bestands werden beibehalten. Die erforderliche Rottetunnelanzahl und somit das zur Verfügung stehende Kompostierungsvolumen ist vom Inputvolumen und von der Fahrweise der Tunnelkompostierung abhängig. Je nach Variante unterscheidet sich die erforderliche Tunnelanzahl

aufgrund der unterschiedlich großen Mengen Bioabfalls, die in die Vergärungsstufe geführt werden.

Input Kompostierung:

Die Inputmaterialien in die Kompostierung sind der Gärrest, frischer Bioabfall und Strukturmaterial. Als Strukturmaterial wird der Siebüberlauf aus der Kompostfeinaufbereitung verwendet, alternativ kann strukturreicher Grünabfall eingesetzt werden. Die jährlichen Inputmengen, differenziert in die unterschiedlichen Inputmaterialien, können der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Parameter Tunnelkompostierung

Parameter	V1 Batch-Fermentation	V2 Propfenstromfermentation
Gärrestinput	17.000 t/a	20.000 t/a
Bioabfallinput	18.500 t/a	20.000 t/a
Strukturmaterialbedarf	2.000 t/a	9.000 t/a

Die verschiedenen Inputmaterialien werden im Jahresverlauf in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen, die insbesondere von der zum jeweiligen Befüllzeitpunkt vorhandenen Bioabfallmenge abhängen, in die Kompostierung eingetragen. Die Mischungsverhältnisse werden so gewählt, dass der Gärrest höchstens ein Drittel des Inputvolumens ausmacht und dass sich eine Schüttdichte der Mischung von maximal $0,65 \text{ t/m}^3$ einstellt. Den Anforderungen entsprechend wird der Strukturanteil variiert. In den Wintermonaten ist der Anteil des Bioabfalls, der nicht in die Vergärung gefahren wird, gering und der Bioabfall tendenziell strukturärmer, sodass ein höherer Strukturanteil in die Mischung eingebracht werden muss. In den anlieferungsstarken Wochen wird der Gärrest hauptsächlich mit dem strukturreicheren frischen Bioabfall gemischt, wobei immer ein Anteil Strukturmaterial zum Beispiel als Strukturmatte über den Belüftungsdüsen des Spigotbelüftungsbodens zur gleichmäßigeren Luftverteilung im Rottekörper oder direkt im Rottegemisch eingesetzt wird.

Fahrweise Tunnelkompostierung:

Die Tunnelabmessungen sind in Tabelle 6 angegeben und entsprechen den Abmessungen der Bestandstunnel.

Tabelle 6: Maße Kompostierungstunnel

	Maße
Länge	30,0 m
Nutz-Länge	29,0 m
Breite	5,30 m
Nutz-Breite	5,00 m
Nutz-Volumen Kompostierungstunnel	392 m ³
Höhe (Innenmaß)	5,70 m
Max. Schütthöhe	3,20 m
Auslegungsschütthöhe	2,70 m

Die Kompostierung wird zweistufig mit einem Umsetzvorgang durchgeführt, wobei die erste Kompostierungsphase z. B. mit 14 Tagen zur Hygienisierung und die zweite Kompostierungsphase mit ebenfalls 14 Tagen zur Trocknung des Komposts angesetzt wird. Die genaue Aufteilung der Phasen kann während des Betriebs der Anlage und auch individuell für jeden Tunnel an die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden. In Summe wird über die Rottezeit von ca. 28 Tagen erfahrungsgemäß ein Rottegrad von mindestens 4 (bei optimalem Verlauf 5) erreicht.

Durch das Umsetzen wird das Rottegut nochmals durchmischt und erfährt dadurch eine gleichmäßigere Reife. Der Umsetzvorgang ist erforderlich, da durch diesen Inhomogenitäten im Rottekörper ausgeglichen werden können. Die Umsetzung erfolgt mittels Radlader, der das Material aus dem einen Tunnel aufnimmt und es in einen neuen einträgt.

Aus den zuvor genannten Auslegungsgrößen und den wöchentlichen Inputvolumina ergibt sich ein tagesscharfer Rottetunnelbelegungsplan für ein Jahr. In Abbildung 23 ist der Rottetunnelbelegungsplan (Anzahl begter Tunnel pro Tag) der Kompostierung für Variante 1 (Batch-Fermentation) dargestellt.

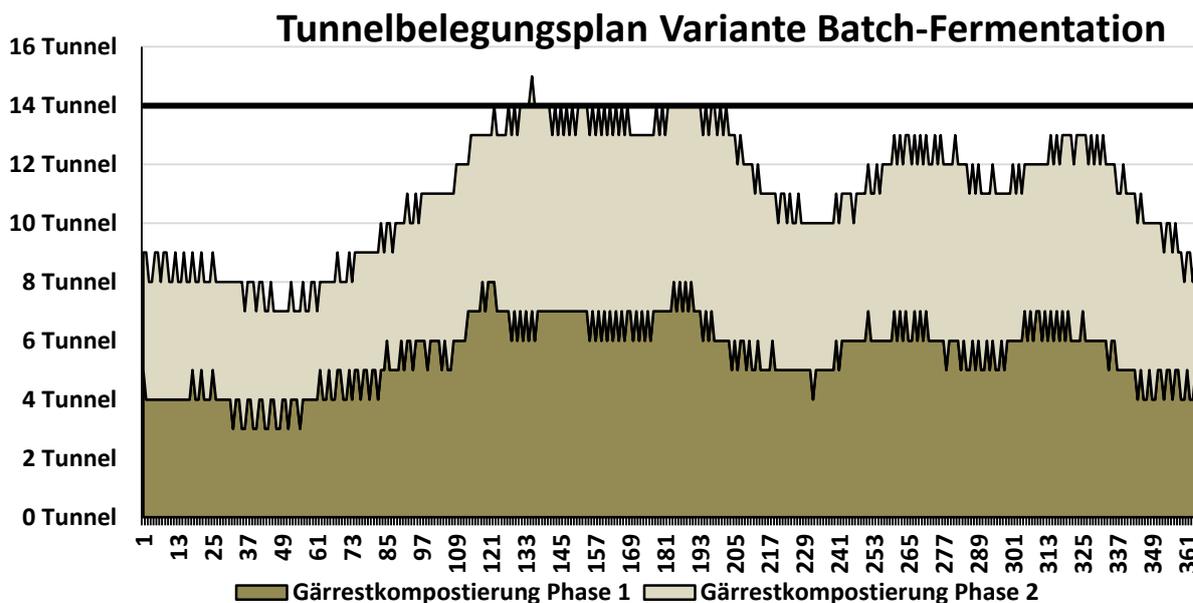


Abbildung 23: Tunnelbelegungsplan Bioabfallkompostierung V1

Es wird deutlich, dass in den ersten 70 Tagen des Jahres knapp 60 % der Tunnelkapazität genutzt wird. Im weiteren Verlauf des Jahres steigt die Tunnelbelegung bis auf maximal 14 benötigte Rottetunnel an. Für ca. ein Drittel des Jahres werden 14 Rottetunnel benötigt. Im Durchschnitt sind in den Tagen 71 bis 325 12 Tunnel befüllt, im restlichen Jahresverlauf werden etwa 10 Tunnel benötigt. Auf Grundlage der Auslegung wurde die Tunnelanzahl auf 14 Tunnel festgelegt, um auf Qualitätsschwankungen im Material und auf sich potenziell verändernde Mischungsverhältnisse reagieren und jahresspezifische Veränderungen eingehen zu können. Die freien Kapazitäten, die anlieferungsbedingt im Jahr vorliegen, bieten zudem die Möglichkeit, dass Rottezeiten verlängert werden können. Dies führt zu einer Kompostierbarkeit von schwierigeren Materialgemischen, einem höheren Rottegrad des Komposts und ermöglicht zudem eine weitere Veratmung von Flüssigphasen unter Zugabe von Wärme. Des Weiteren ist es vorgesehen, in Phasen geringerer Auslastung, die ebenfalls angelieferten und zwischengelagerten Grünabfälle zu kompostieren.

Abbildung 24 zeigt den Rottetunnelbelegungsplan (Anzahl belegter Tunnel pro Tag), der sich aus der Auslegung der Kompostierung in Variante 2 (Pfropfenstrom-Fermentation) ergibt. Die Auslegung hat ergeben, dass die Anzahl von 17 Rottetunneln, also der Zubau von 6 neuen Rottetunneln zu einer guten Auslastung des Kompostwerks führt bei gleichzeitigem Vorhalten ausreichender Reserven zur sicheren Verarbeitung des Gärrests.

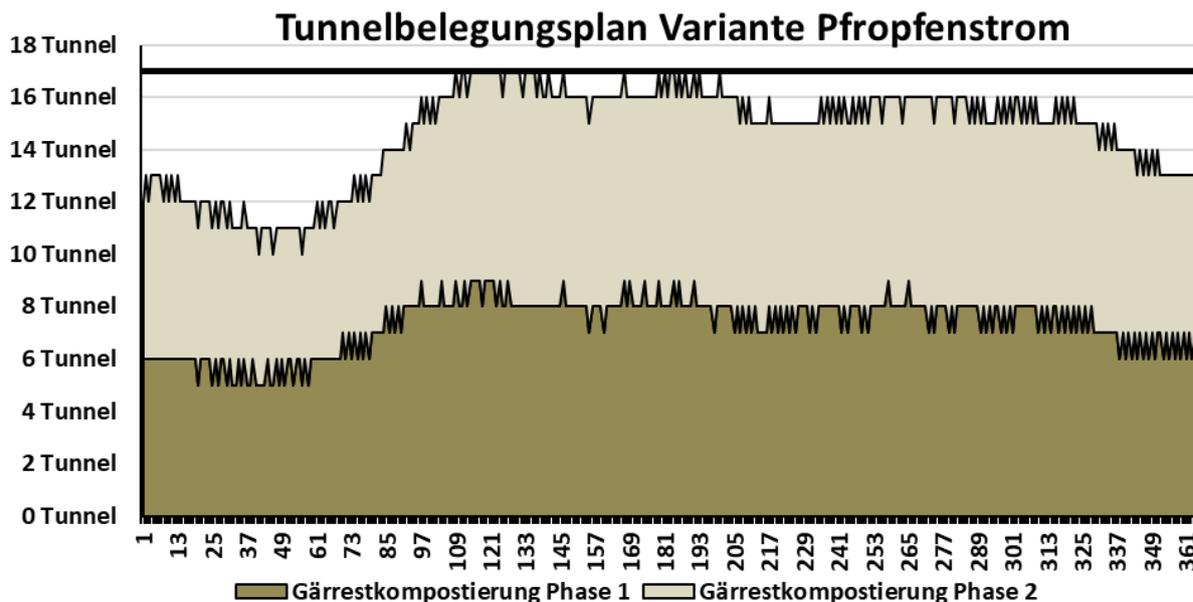


Abbildung 24: Tunnelbelegungsplan Bioabfallkompostierung V2

In den ersten 60 Tagen des Jahres liegt die Auslastung der Tunnelkapazität bei 60 %. Anschließend steigt die Anzahl belegter Tunnel auf maximal 17 Rottetunnel an. In den Tagen 61 bis 308 sind durchschnittlich 16 Tunnel belegt. Im restlichen Jahresverlauf werden 14 Rottetunnel benötigt.

In Abbildung 25 ist das Layout der Kompostierungshalle der Variante 1 dargestellt. Die drei neu zu errichtenden Tunnel schließen seitlich an den bestehenden Wartungs- und Technikgang an. Die Ausrichtung der Tunnel erfolgt parallel zu den Bestands-tunneln. Um für Variante 2 ausreichend Tunnelkapazität herzustellen, werden sechs neue Rottetunnel errichtet. Diese werden ebenfalls parallel zu den bestehenden Rottetunneln errichtet. Um alle Tunnel in das bestehende Hallenbauwerk integrieren zu können, wird der bestehende Wartungs- und Technikgang rückgebaut.

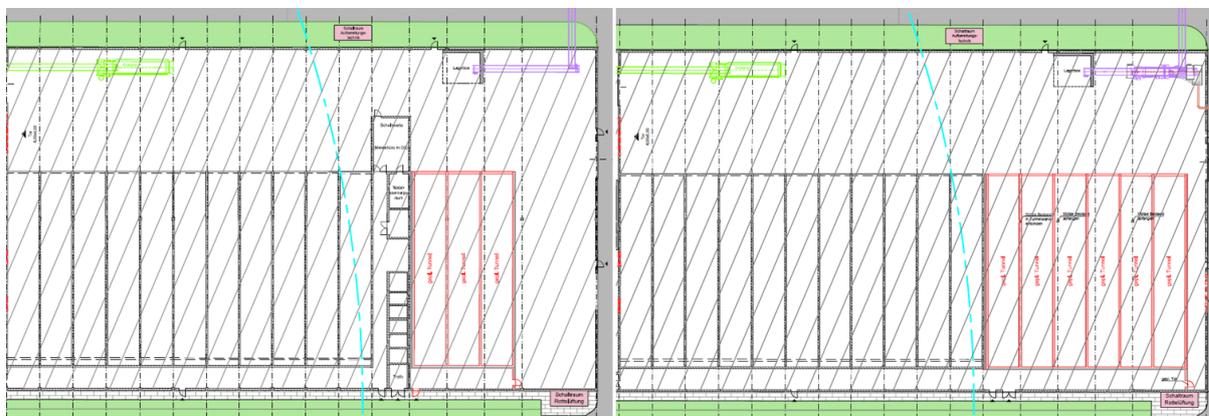


Abbildung 25: Links: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V1; rechts: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V2

3.6.2 Belüftung

Die Erweiterung der Kompostierungsstufe umfasst die Ertüchtigung der bestehenden 11 Tunnelbauwerke. Diese verfügen bereits über die Spigotbelüftungsböden, die für den weiteren Betrieb saniert werden. Die Steuerungstechnik und Ventilatoren des Bestands sind veraltet. Eine Sanierung ist nicht mehr möglich, da Ersatzteile bereits nicht mehr verfügbar sind. Eine Einbindung der bestehenden Ventilatoren in eine neue Belüftungsstruktur (neue Steuerung, Wäscher, Lüftungsleitungen, Erhöhung des Luftvolumens) wird als nicht zielführend erachtet, sodass die komplette Lüftungstechnische Anbindung – Ventialtoren und sämtliche Lüftungsleitungen – erneuert wird. Nach den Umbaumaßnahmen weist die gesamte Kompostierungsstufe den gleichen technischen Stand auf.

Über jedem Kompostierungstunnel ist ein Ventilator angebracht, der für die Zwangsbelüftung des Kompostierungsprozesses sorgt. In Abbildung 26 ist beispielhaft der Aufbau im Schnitt dargestellt. Die Zuluft besteht aus der Abluft der Anlieferungs- und Aufbereitungshalle sowie der Tunnelvorhalle. Wahlweise kann die Tunnelabluft im Umluftbetrieb geführt werden bzw. eine Mischung aus Tunnelabluft und Hallenabluft eingestellt werden, sodass weniger Wärme aus dem Prozess ausgetragen wird.

Die Zuluft der Kompostierung wird über Wärmetauscher auf das erforderliche Temperaturniveau erhitzt. Bei der eingesetzten Wärme handelt es sich um eingesetzte Abwärme der Biogasverstromung in den BHKW.

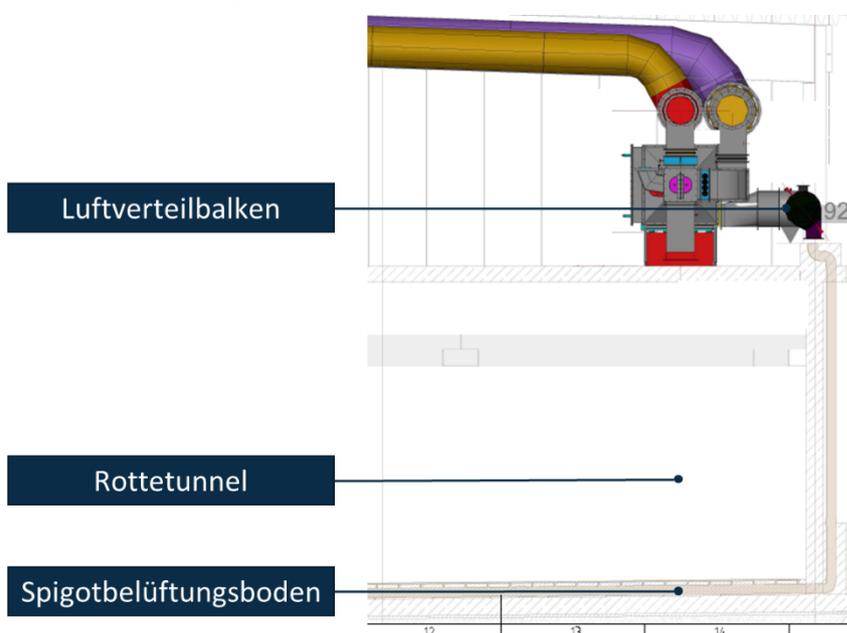


Abbildung 26: Beispielhafter Aufbau der Tunnelbelüftung

Die Zuluft der einzelnen Rottetunnel wird über einen Luftverteilerbalken auf die einzelnen Spigotrohrstränge aufgeteilt und über sich im Boden befindliche Spigot-Düsen in das Rottegut

eingeströmt. Während der Kompostierung werden über die Abluft der organische Abbau in Form von CO₂ und der Wasserverlust in Form von Wasserdampf abgeführt.

Die Abluft der Rotte wird gemeinsam mit der verbleibenden Hallenabluft einer sauren Wäsche unterzogen. Das Abluftbehandlungskonzept wird in Kapitel 3.8 nähergehend erläutert.

Sowohl die Rotteventilatoren als auch die sonstigen technischen Einheiten, die – je nach Hersteller - auf den Kompostierungstunneln positioniert sind, müssen ggf. bei einem Defekt ausgetauscht oder repariert werden. Dafür ist eine doppelfügelige Tür vorgesehen, durch die defekte Bauteile aus dem Bereich oberhalb der Tunnel herausgenommen werden können. Die Tür führt in den Hallenbereich der Feinaufbereitung und ist mit einem Hebewerkzeug (z. B. einem Staplerfahrzeug) erreichbar.

3.6.3 Bewässerung

Der Umbau der bestehenden Kompostierungstunnel für die weitere Nutzung umfasst neben der Belüftungs- auch die Bewässerungstechnik. Sämtliche wasserführenden Leitungen und Beregner werden erneuert, sodass die Bewässerungstechnik der Bestandstunnel den gleichen technischen Stand aufweist, wie die der neuen Tunnel. Die Funktionstüchtigkeit der verbauten Komponenten kann somit für alle Tunnel gewährleistet werden. Die Erneuerung ist zudem erforderlich, da die verbauten wasserführenden Leitungen der Bestandstunnel nicht den Anforderungen der AwSV entsprechen.

In die Tunnel wird über an den Tunneldecken angebrachte Beregner bedarfsweise Wasser eingedüst, um einen für die Kompostierung optimalen Wassergehalt (ca. 50 – 60 %) einzustellen. Bewässert wird anfangs mit rezykliertem Sickerwasser (Prozesswasser). Da sich im Sickerwasser auch nicht-hygienisiertes Wasser befindet, darf das Prozesswasser nur vor der Hygienisierung des Rotteguts in die Kompostierungstunnel eingebracht werden. Neben Prozesswasser steht außerdem Brauchwasser zur Verfügung. Das Brauchwasser wird maßgeblich durch Niederschlagswasser von Dachflächen gespeist. Während der Hygienisierungsphase kann dem Rottegut Dachflächenwasser zur Befeuchtung hinzugegeben werden. Für die Zwischenspeicherung des Prozesswassers und des Dachflächenwassers wird auf der Tunneldecke je ein Speicherbecken errichtet, aus dem bedarfsweise die Rotte bewässert werden kann. Der Wasserbedarf der Rotte variiert im Verlauf des Rotteprozesses stark. Zu Beginn der Rotte besitzt das Gemisch noch eine ausreichende Feuchte, die jedoch durch die Wasseraufnahme der Rottezuluft über die Rotteabluft aus dem Prozess ausgeschleust wird. In Folge dessen trocknet das Rottegemisch über die Zeit ab. Während des Prozesses ist darauf zu achten, dass der Wassergehalt ein Niveau von 40 – 50 % nicht unterschreitet. Ansonsten kämen mikrobiologische Abbauprozesse zum Erliegen, da die Mikroorganismen die Nährstoffe nur in gelöster Form aufnehmen können.

3.7 Feinaufbereitung

Ziel der Feinaufbereitung ist die Produktion eines hochwertigen Komposts, der die Anforderungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) und der Düngemittelverordnung (DüMV) erfüllt. Über die Maschinenteknik der Feinaufbereitung werden daher Störstoffe aus dem frisch produzierten Kompost abgetrennt.

Tabelle 7: Qualitätsanforderungen Fertigkompost

Fremdstoff	Grenzwert nach BGK	Grenzwert nach DüMV
Steine	max. 5 % TM >10 mm	max. 5 % TM >10 mm
Auslesbare Fremdstoffe > 1 mm	max. 0,4 Ma.-% TM	max. 0,4 Ma.-% TM
Weitere	- nicht abbaubare Kunststoffe >1 mm: max. 0,1 % TM - max. Flächensumme der ausgelesenen Fremdstoffe: 15 cm ² /l FS	- nicht abbaubare Kunststoffe >1 mm: max. 0,1 % TM

Konzept der Feinaufbereitung:

Ziel der Feinaufbereitung ist es, zum einen hochwertigen Kompost zum anderen gereinigtes Strukturmaterial herzustellen. Das Strukturmaterial wird aufbereitet, da es an den Anfang der Prozesskette und zurück in den Kompostierungsprozess geführt wird.

Die Materialzugabe auf die Feinaufbereitung erfolgt direkt über einen Aufgabedosierer, der in der Tunnelvorhalle positioniert ist. Durch diese Positionierung werden Fahrwege für Radlader möglichst kurz gehalten. Das Konzept der Feinaufbereitung sieht vor, dass der Frischkompost zuerst auf ein Sieb mit einem Siebschnitt von ca. 40 mm aufgegeben wird. Aus dem Siebüberlauf > 40 mm werden zunächst Fe-Partikel mit Hilfe eines Magnetscheiders abgeschieden. Anschließend wird der Siebüberlauf über einen Windsichter von Folien und anderem Leichtgut entfrachtet. Dem verbleibenden Material (Strukturmaterial) werden über eine Steinfalle Steine abgezogen und anschließend erfolgt eine Nachreinigung mittels Sensorsortierer. Über die Sensorsortierung können Kunststoffpartikel aussortiert werden, sodass diese nicht im Kreislauf des Kompostierungsprozesses geführt werden, nicht weiter zerkleinert werden können und somit nicht in den Kompost gelangen und seine Qualität verschlechtern.

Der Siebdurchgang der ersten Siebung < 40 mm wird einer weiteren Siebung mit einem Siebschnitt von ca. 20 mm zugeführt. Die Fraktion < 20 mm stellt das Kompostprodukt dar,

die Fraktion 20 – 40 mm kann einerseits sofort als Strukturmaterial in den Kompostierungsprozess zurückgeführt oder, sofern diese einen zu hohen Schadstoffgehalt aufweist, ein weiteres mal auf die Feinaufbereitung aufgegeben und ebenso auf den Sensorsortierer aufgegeben werden. Die Feinaufbereitung kann sowohl in Richtung der Kompostaufbereitung erweitert als auch im Bereich der Strukturmaterialaufbereitung weniger intensiv umgesetzt werden. Projektiert wurde eine Feinaufbereitung, mit der die erwarteten Störstoffe in guter Quantität ausgeschleust und qualitativ hochwertige Produkte erzeugt werden können.

Die Produkte der Feinaufbereitung fallen in separaten Schüttboxen an und werden von einem Radlader in die entsprechenden Lagerbereiche verfahren.

In Abbildung 27 ist das Fließbild der projektierten Feinaufbereitung dargestellt.

Der Grundriss der Feinaufbereitung ist in Abbildung 28 dargestellt.

Die Abluft aus besonders staubenden Prozessen (insbesondere aus der Windsichtung) muss einer separaten Abluftbehandlung zugeführt und kann nicht der Hallen- und Rotteabluftbehandlung zugeführt werden. Diese Abluftbehandlung der Feinaufbereitung erfolgt über einen Staubfilter, der sich im Außenbereich der Anlage befindet. Die gereinigte Abluft wird über einen Kamin an die Umgebung abgegeben. Die Aufstellung der Feinaufbereitung erfolgt in der bestehenden Lagerhalle der Kompostierungsanlage.

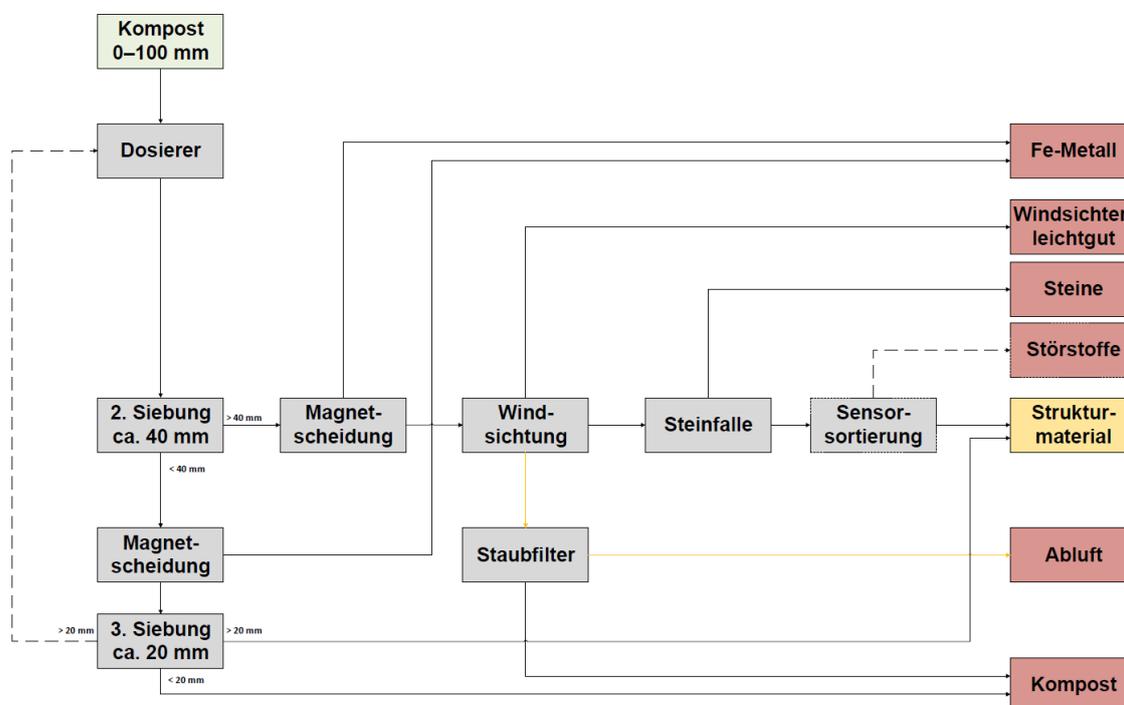


Abbildung 27: Fließbild der Kompost-Feinaufbereitung

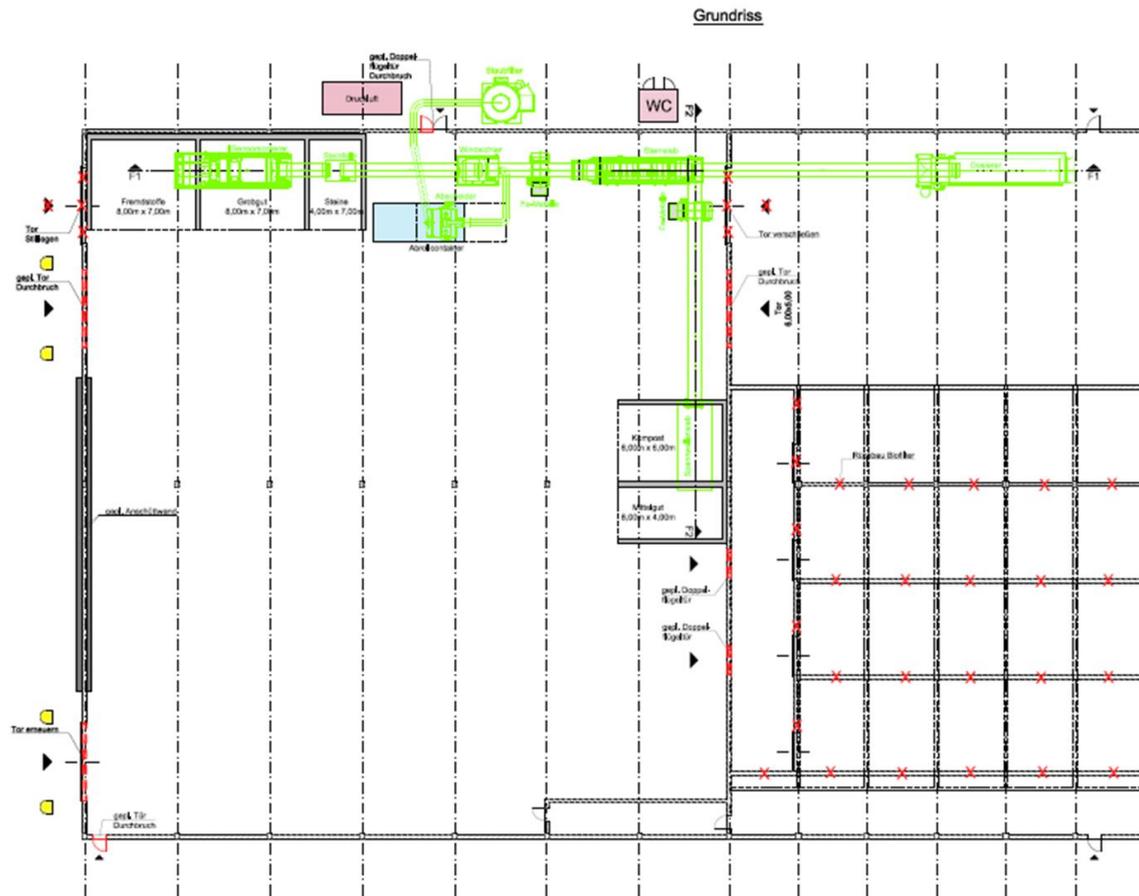


Abbildung 28: Planausschnitt Feinaufbereitung V1/V2

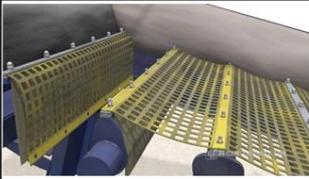
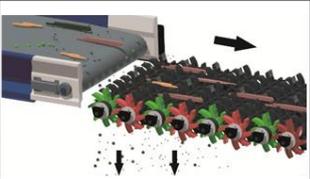
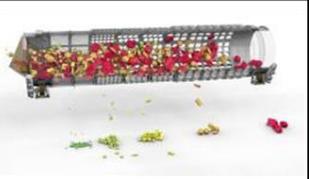
3.7.1 Auswahl Klassiertechnik

Für die Klassierung im Bereich der Kompostfeinaufbereitung sind grundsätzlich drei unterschiedliche Siebtypen geeignet:

- Spannwellensieb
- Sternsieb
- Trommelsieb

Die wichtigsten Kenngrößen und Eigenschaften dieser Siebaggregate sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Gegenüberstellung Siebtechnik

	Spannwellensieb	Sternsieb	Trommelsieb
			
Sieffizienz	hohe Siebkennziffer	niedrige Siebkennziffer	niedrige Siebkennziffer, Vorteil durch Umwälzen
Siebschärfe	scharfer Trennschnitt	ungenauer Trennschnitt	scharfer Trennschnitt
Verstopfungs-anfälligkeit	Mittel: anfällig gegen Folien und Bänder	Mittel: anfällig gegen Folien und Bänder	Hoch
Reinigungs-aufwand	Gering	Mittel: Umwicklungen problematisch	Mittel: große Siebfläche
Einziehen Folien	Gering	Gering, aber möglich bei geringem Durchsatz	Mittel, Durchdrücken der Folien möglich
Änderung Siebschnitt	Wechselmatten, Austausch ca. 1-2 h	Drehgeschwindigkeit, Veränderung in Minuten	Wechseltrommel, sehr aufwändig

Aufgrund der hohen Siebschärfe und Siebkennziffer erzeugt das Spannwellensieb den größten Kompostanteil bei vergleichbaren Fremdstoffgehalten. Dies wurde durch eigene großtechnische Versuche von pbo für die Aufbereitung von Frischkompost bestätigt. Aus diesem Grund und wegen weiterer Vorteile, wie Wartungsfreundlichkeit und einfachem Siebmattenwechsel, wird für die Kompostabsiebung auf 20 mm in der Feinaufbereitung ein Spannwellensieb vorgesehen.

Für die Siebung bei 40 mm wird ein Sternsieb projektiert, welches über die Drehzahl der Sterne flexibel eingestellt werden kann, wodurch die Massenverteilung und Kornzusammensetzung des Strukturmaterials angepasst werden kann. Eine Anpassung ist insbesondere bei wechselndem Feuchtegehalt und im Jahresverlauf variierender Struktur des Komposts zielführend. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die folgenden Sortierprozesse (Sensorsortierer) von Bedeutung, da diese anfällig gegenüber zu großen Massen- bzw. Volumenströmen sind.

3.7.2 Auswahl Sortiertechnik

Ein Aussortieren der anfallenden Folien ist unumgänglich, da in der Regel der Grenzwert dieses Fremdstoffparameters als Erstes überschritten wird. Hartkunststoffe und Glas können ebenfalls Probleme bei der Einhaltung der Grenzwerte darstellen. Steine, Porzellan und Metall liegen in der Regel nicht nennenswert im Kompost vor. Die möglichen Sortiermechanismen sind in der nachfolgenden Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Technische Varianten der Störstoffabscheidung

	Folien o. ä.	Steine, Glas, Porzellan o. ä.	Metalle	Hartkunststoffe o. ä.
Separations- prinzip	Stromklassierung	Ballistik, Sortierung, ggf. Sensorsortierung	Magnetscheidung/ Sensorsortierung	Sensorsortierung
Ausführung	Windsichtung	Steinfalle, Trenntisch/ ggf. NIR-, Optiksensoren	Magnetscheider/ Induktionssensoren	NIR-, Optiksensoren
Notwendigkeit	Definitiv, da Anreicherung in Strukturmaterial oder Kompost	ggf., da Anreicherung in Strukturmaterial und Kompost möglich	ggf., da Anreicherung in Strukturmaterial und Kompost möglich	Empfohlen bei hohen Störstoffgehalten, da Anreicherung in Strukturmaterial oder Kompost

Die Abtrennung der Folien erfolgt über eine Stromklassierung mittels Windsichtung. In der Feinaufbereitung wurde im Rahmen der Vorplanung ein Windsichter projektiert.

Grundsätzlich können im Kompost sowohl NE-Metalle (Nicht-Eisen-Metalle) als auch Fe-Metalle in geringen Mengen vorliegen. Für die Abscheidung der Fe-Metalle werden Überbandmagnetscheider vorgesehen, die Fe-Partikel aus dem Materialstrom herausheben. Die Abtrennung von NE-Metallen ist aufgrund des geringen Vorkommens im Materialstrom und des hohen erforderlichen Invests für eine funktionierende Abtrennung in der Kompostaufbereitung nicht wirtschaftlich darstellbar, sodass eine entsprechende Sortierstufe nicht vorgesehen wird.

Die weiteren Störstoffe werden, wie zuvor bereits angesprochen, über einen Nahinfrarot-Sensorsortierer (NIR) abgetrennt. Die Durchsatzleistung der Aufbereitungstechnik ist an den gewählten Sensorsortierer und die zu sortierende Stofffraktion adaptiert. Während die klassischen Aufbereitungsmethoden, wie ballistische Separatoren oder Trenntische, nur nach jeweils einer physikalischen Eigenschaft effizient trennen können (Form bzw. Dichte), werden mithilfe der Sensorsortierung mehrere Merkmale gleichzeitig erfasst und für die Abtrennung genutzt.

Eigene Versuche mit NIR-Sortierern haben gezeigt, dass neben farbigem auch schwarzer Kunststoff erkannt und abgetrennt werden kann. Darüber hinaus kann die Erkennung weiterer Störstoffe, wie Glas, Porzellan, Steine, Metalle und weitere Materialverbunde, „angelernt“ werden. Die Abtrennung dieser Materialien erfolgt mit einem geringeren Wirkungsgrad. Im Zuge der Entwurfsplanung erfolgt eine genaue Betrachtung der Materialqualitäten, sodass auf die sensorbasierte Sortierung gegebenenfalls verzichtet werden kann. Derzeit ist sie projektiert und in der Kostenschätzung berücksichtigt. So fern

die Sensorsortierung entfällt werden die erforderlichen Flächen nicht überbaut, sodass durch eine Nachrüstung auf sich verschärfende rechtliche Anforderungen reagiert werden kann.

3.8 Abluftbehandlungskonzept

3.8.1 Abluftvolumenstrom

Die Auslegung des Abluftsystems, der sauren Wäscher und des Biofilters erfolgt über die Berechnung der Hallenablufte auf Basis der jeweiligen Hallenkubatur der in den Varianten projektierten Gebäudeabmessungen und jeweils erforderlichen Luftwechselzahl (LWZ). Der Abluftvolumenstrom berechnet sich entsprechend der nachfolgenden Formel.

$$\text{Abluftvolumenstrom} = V_1 * LWZ_1 + V_2 * LWZ_2 + \dots + V_n * LWZ_n$$

Die gewählte Luftwechselzahl orientiert sich an der Emissionsbelastung bestimmter Hallenbereiche. In der Anlieferhalle wird eine Luftwechselzahl von 3 vorgesehen. Für die Tunnelvorhalle sowie den Lagerbereich für Kompost wird eine Luftwechselzahl von 2 angesetzt. Im stark belasteten Aufstellbereich des Mischers wird rechnerisch ein 10-facher Luftwechsel angesetzt. Die Aufteilung der Bereiche am Beispiel der Variante 1 kann der Abbildung 29 entnommen werden.

Die Lüftungsleitungen werden entlang emissionsreicher Prozesse geführt und Einlässe in der Nähe der Emissionspunkte positioniert, sodass in diesen Bereichen der Luftaustausch deutlich intensiver stattfindet. Zu diesen Emissionsbereichen zählen insbesondere die Kippstellen und Abwurfpunkte, Aggregate der Voraufbereitung, Lagerbereiche und der Mischer sowie die Bereiche oberhalb von Rotte- und Fermentertunneltoren.



Abbildung 29: Emissionsbereiche und Luftwechselzahl (Variante 1)

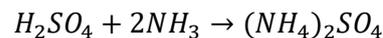
Insgesamt ergibt sich ein Gesamtabluftvolumenstrom von ca. 156.000 Nm³/h (Variante 1) bzw. 151.000 Nm³/h (Variante 2).

Die Hallenabluft wird zum Teil als Rottetunnelzuluft verwendet. Die Mischung der verbleibenden Hallenabluft wird mit der Rotteabluft in einem sauren Wäscher gereinigt und anschließend auf die Biofilter gegeben.

3.8.2 Saurer Wäscher

Die der Biofilteranlage vorgeschalteten Wäscher sind für einen Betrieb als „saurer Wäscher“ konzipiert, d.h. sie bestehen aus beständigem PE und sind mit entsprechenden Sonden zur Überwachung des pH-Werts innerhalb der Behälter ausgestattet. Die Ausführung der Wäscheranlage wird unter Beachtung der Vorgaben, die sich aus der AwSV ergeben, erfolgen.

Der saure Wäscher dient der Senkung des Ammoniakgehalts der ammoniakhaltigen Abluft durch Einsatz von Schwefelsäure im Waschwasser. Entsprechend folgender Reaktion bildet sich eine Ammoniumsulfatlösung.



Neben der Abtrennung von Ammoniak wird die Staubfracht der Abluft über den sauren Wäscher reduziert, was ein schnelles Zusetzen der Biofilter verhindert. Zudem sorgt der saure Wäscher für eine ausreichende Wassersättigung der Biofilterzuluft, die essentiell für die im Biofilter wirkenden Bakterien ist.

Sowohl Schwefelsäure (bzw. eine schweflige Säure) als auch die Ammoniumsulfatlösung werden in im Außenbereich aufgestellten doppelwandigen Flachbodentanks á ca. 30 m³ aus Edelstahl oder Kunststoff gelagert. Das gewählte Speichervolumen ist auf das gängige Anliefer-/Abholvolumen von Tankfahrzeugen abgestimmt.

Die Abfüllung beider Flüssigkeiten muss auf einem Abfüllplatz, der AwSV-konform ausgeführt sein muss, erfolgen. Die Aufstellung der Tanks und die Positionierung des Abfüllplatzes können der Abbildung 30 entnommen werden. Der Abfüllplatz wird auch als Tank- und Waschplatz genutzt und entsprechend ausgerüstet.

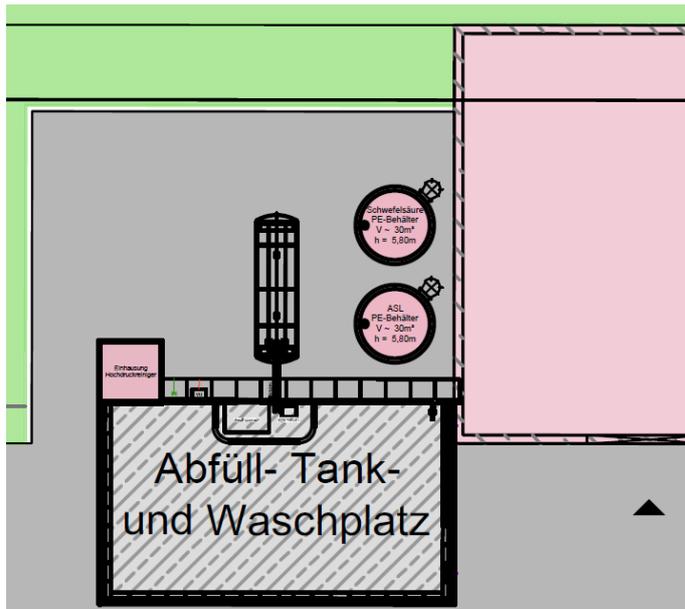


Abbildung 30: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V2; Aufstellung Ammoniumsulfat- und Schwefelsäurespeicher

3.8.3 Biofilter

Die über den sauren Wäscher vorbehandelte Hallen- und Rotteabluft wird entsprechend der TA-Luft über Biofilter gereinigt. Für Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen mit einer Bearbeitungskapazität von 50 t/d oder mehr ist eine kontinuierliche Messung des Gesamtkohlenstoffs notwendig. Daraus resultiert das Erfordernis, den gesamten Abluftstrom gezielt über einen Kamin zu führen, damit eine kontinuierliche Messung vorgenommen werden kann. Aus diesem Grund wird der Biofilter als geschlossenes System konzipiert.

Gegenwärtig befinden sich die Biofilter des bestehenden Kompostwerks auf den Rottetunneln. Dieses System hat sich in der Wartung als extrem aufwändig und in der Standzeit des Biofilters als suboptimal erwiesen. Die bestehenden Biofilter können und sollen daher zukünftig nicht weiter genutzt werden und werden zurückgebaut und durch neue Biofilter ersetzt. Für das erweiterte Werk ist ein geschlossener Beton-Flächenfilter mit Membranabdeckung in den weiteren Planungen berücksichtigt. Dieser bietet den Vorteil einer großen Filterfläche bei gleichzeitig geringen spezifischen Kosten und eines einfachen Filtermaterialwechsels. Die neuen Biofilter werden in zwei Segmenten außerhalb der Rottehalle, südlich der Rottetunnel angeordnet. Die Lage wird gewählt, da so die Distanz zwischen Wäscher und Biofilter möglichst gering gehalten werden kann. Über den Untergrund liegen gegenwärtig keine Informationen vor, es wird jedoch zerklüfteter Basalt erwartet. Um eine Geländeabsenkung zu vermeiden werden die Biofilter auf das bestehende Gelände aufgesetzt und liegen somit höher als die Zufahrt zur Rottehalle. Der gegenwärtig bestehende Hang wird partiell aufgefüllt. Entlang der Biofilter wird eine Straße gelegt, sodass

der Austausch des Biofiltermaterials stattfinden kann. Die Straße dient zusätzlich als Umfahrung und als Ausfahrt von LKW die im Bereich des Kompostlager beladen wurden. Für das erweiterte Werk ist ein geschlossener Beton-Flächenfilter mit Membranabdeckung in den weiteren Planungen berücksichtigt. Dieser bietet den Vorteil einer großen Filterfläche bei gleichzeitig geringen spezifischen Kosten und eines einfachen Filtermaterialwechsels.

Die Dimensionierung des Biofilters erfolgt über die Flächen- und Volumenbelastung. Die Flächenbelastung gibt an, mit welchem Volumenstrom ein Quadratmeter der Filterfläche beaufschlagt wird. Die Volumenbelastung stellt den Zusammenhang zwischen Abluftvolumenstrom und Biofiltervolumen her.

Als Richtwerte gibt die VDI-Richtlinie 3477 für diese Parameter und auch für die Einbauhöhe für offene Flächenfilter folgende Werte an:

- Flächenbelastung: 100 – 150 Nm³/(m²h)
- Einbauhöhe: 1,5 – 2,5 m
- Volumenbelastung: 40 – 100 Nm³/(m³h)

Ein direkter Übertrag der Richtwerte auf ein geschlossenes Biofiltersystem ist nicht möglich, da dieser im Vergleich zu einem offenen Biofilter besser reguliert werden kann. Dies gilt insbesondere für die Filtermaterialfeuchte. Dementsprechend sollen diese Werte im Folgenden nur als Orientierungsgröße dienen.

In Tabelle 10 sind die Auslegungsgrößen des Biofilters, differenziert nach Varianten 1 und Variante 2, mit den sich ergebenden Flächen- bzw. Volumenbelastungen dargestellt. Variantenunabhängig besteht der Biofilter aus zwei Segmenten mit einer Filterfläche von jeweils ca. 680 m². Die Gesamtfilterfläche von ca. 1.360 m² führt, unter Berücksichtigung des Abluftvolumenstroms, zu einer Filterflächenbelastung von ca. 115 Nm³/m²h (Variante 1) bzw. 111 Nm³/m²h (Variante 2). Als Einbauhöhe wurden 1,9 m gewählt, wobei konstruktiv eine maximale Einbauhöhe von 2,2 m berücksichtigt werden kann. Unter den gewählten Rahmenbedingungen ergibt sich für die projektierten Biofilter eine Volumenbelastung von ca. 60 Nm³/m³h (Variante 1) bzw. 58 Nm³/m³h (Variante 2). Die Flächen- und Volumenbelastung sowie die Einbauhöhe halten somit die Richtwerten der VDI 3477 ein.

Tabelle 10: Auslegung des Biofilters

Auslegung des Biofilters		
Anzahl Segmente		2
Breite Segment		40 m
Länge Segment		17 m
Einbauhöhe Filtermaterial		2 m
GesamtfILTERfläche		1360 m ²
GesamtfILTERvolumen		2584 m ³
Variante 1	Abluftvolumenstrom	156.000 m ³ /h
	Flächenbelastung	115 m ³ /m ² h
	Volumenbelastung	60 m ³ /m ³ h
Variante 2	Abluftvolumenstrom	151.000 m ³ /h
	Flächenbelastung	111 m ³ /m ² h
	Volumenbelastung	58 m ³ /m ³ h

In Abbildung 31 ist die Aufstellung des Biofilters dargestellt. Die Biofiltersegmente sind mit Toren versehen, sodass der Wechsel des Biofiltermaterials mit kleinen Radladern oder einem BobCat vorgenommen werden kann. Der Filtermaterialwechsel ist, abhängig von der Rohgasbelastung, in der Regel alle 3 Jahre erforderlich. Dieser wird u. a. aufgrund von Verstoffwechslung des Filtermaterials hervorgerufen. Als Filtermaterial kann z. B. eine Mischung aus gerissenem Wurzelholz der Körnung 40 – 80 mm im unteren Bereich des Filters und einer Aktivmischung, bestehend aus Rindenmulch und Fichtenhackschnitzeln der Körnung 20 – 40 mm, im oberen Bereich des Filters eingesetzt werden.

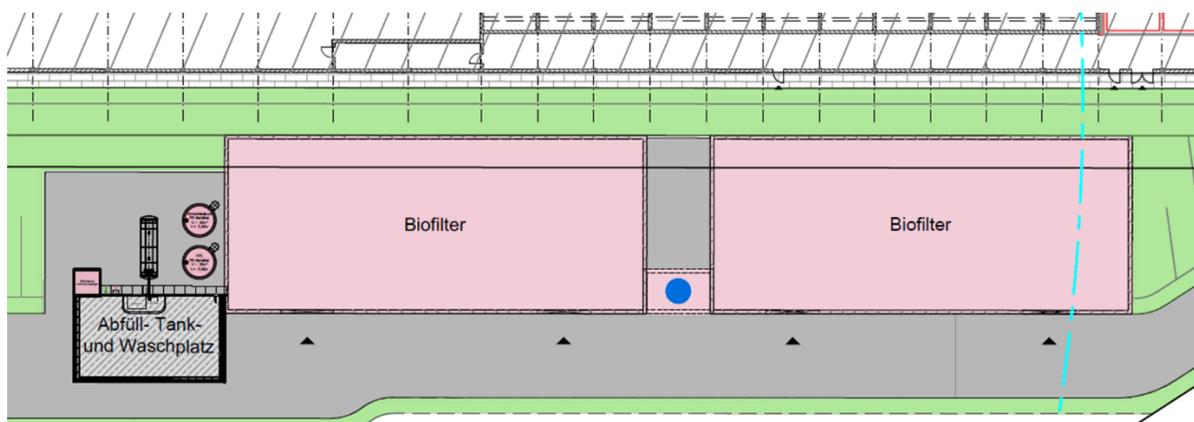


Abbildung 31: Ausschnitt Lageplan Standortlayout V2; Aufstellung Biofilter

Die Reinluft wird im Filter im Reinluftschacht gesammelt und in den Schornstein geleitet, der zwischen den Filtern angeordnet ist. In 10 m Höhe ist am Schornstein über eine Steigleiter und ein Podest die Möglichkeit zur Messung der Reingaswerte gegeben. Die Höhe des Schornsteins ist über den Emissionsgutachter festzulegen.

3.9 Lagerflächen

Zu gewissen Jahreszeiten ist es erforderlich, die kontinuierlich hergestellten Kompostmengen zu lagern, um diese zu Zeiten großer Nachfrage vermarkten zu können. Gerade während der durch die Düngemittelverordnung vorgesehenen Sperrfristen vom 01. Dezember bis zum 15. Januar ist eine Lagerung der entstehenden Kompostmengen zwingend erforderlich. Dementsprechend müssen ausreichend große Lagerflächen vorgesehen werden. Zudem sind am Standort Lagerflächen für die Anlieferung und Zwischenlagerung von Grünabfällen vorgesehen.

Für die Lagerung werden weiterhin die Bereiche westlich der Kompostierungstunnel genutzt, sowohl innerhalb der Lagerhalle als auch außerhalb, die in Abbildung 32 dargestellt sind. Für die Produktlagerung sowie für die Lagerung des angelieferten Grünabfalls sind die Flächen mit den nachfolgend aufgeführten Größen vorgesehen:

- | | | |
|-----------|--------------|------------------------|
| • Lager 1 | Kompostlager | ca. 670 m ² |
| • Lager 2 | Kompostlager | ca. 300 m ² |
| • Lager 3 | Kompostlager | ca. 840 m ² |
| • Lager 4 | Kompostlager | ca. 260 m ² |
| • Lager 5 | Grüngutlager | ca. 420 m ² |

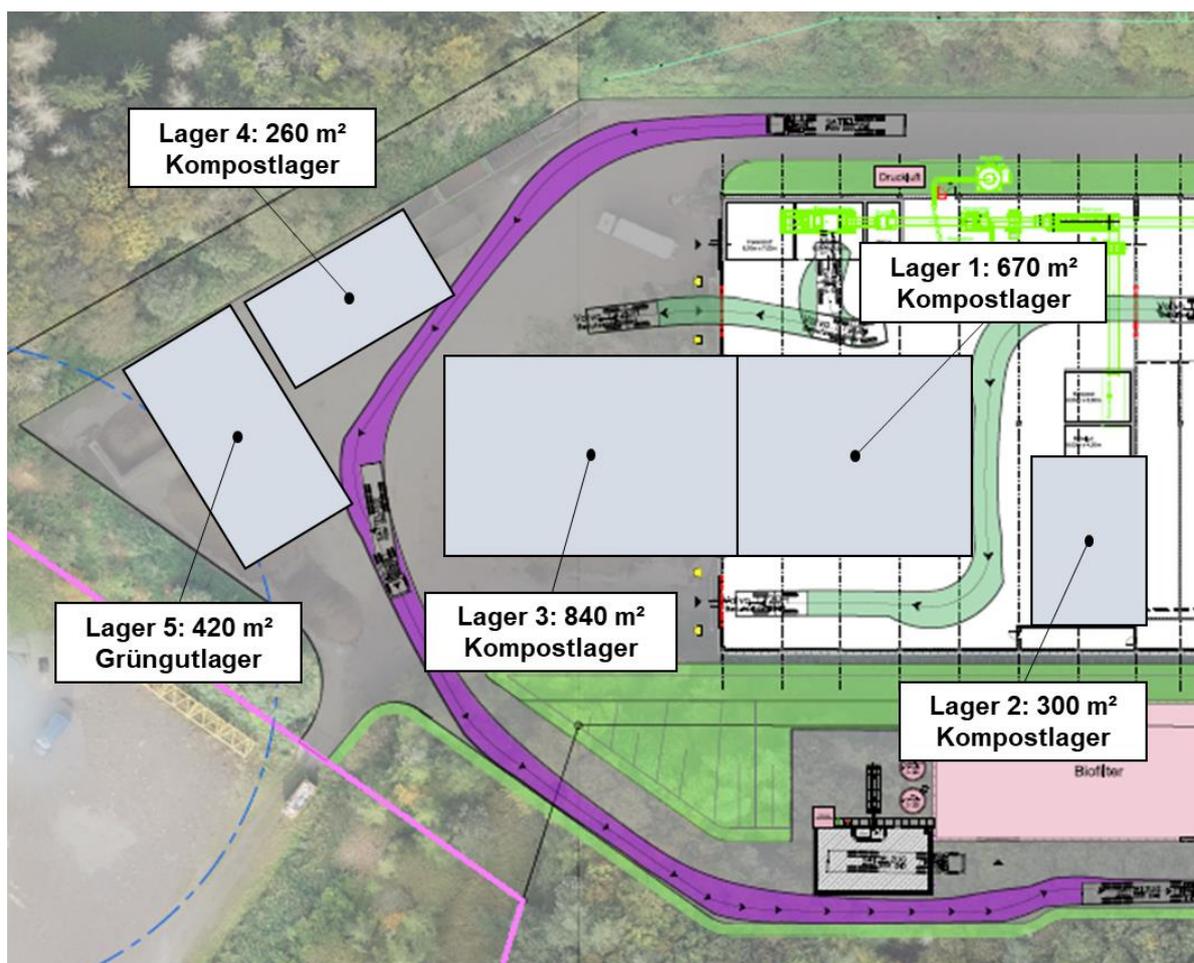


Abbildung 32: Lagerflächen für Kompost und Grüngut

Insgesamt stehen für die Lagerung des abgeseibten Komposts ca. 2.070 m² zur Verfügung. Bei einer Einbauhöhe von etwa 4 m ergibt sich unter Berücksichtigung von Schüttwinkeln ein Nettolagervolumen von ca. 6.700 m³. Für die Lagerung des angelieferten Grünguts stehen ca. 420 m² und somit bei einer Einbauhöhe von etwa 4 m und unter Berücksichtigung der Schüttwinkel ca. 1.350 m³ zur Verfügung.

3.10 Biogasverwertung

Für die Verwertung von Biogas haben sich zwei Verfahren etabliert. Einerseits die Verstromung des Gases durch Blockheizkraftwerke, andererseits die Aufbereitung des Biogases zu reinem Biomethan (Methanisierung). In Ermangelung eines Einspeisepunktes für Biomethan im näheren Umfeld zum untersuchten Standort wurde im Rahmen der Vorplanung die Festlegung auf eine Gasverwertung durch Blockheizkraftwerke getroffen. Die erforderlichen Komponenten der Gasaufbereitung und -verwertung werden im Folgenden vorgestellt.

Vom klassischen Vorgehen der HOAI wird im Bereich der Biogasverwertung abgewichen, um dem LKGI die Entscheidung des umzusetzenden Verwertungswegs des Biogases nicht zum Zeitpunkte der Vorplanung abringen zu müssen.

Aufgrund der aktuellen Energiepreisentwicklungen sollte diese Entscheidung zu einem späteren Zeitpunkt getroffen werden können.

Sowohl die Verstromung des Biogases in BHKWs, als auch die Biomethanaufbereitung und Einspeisung ins Gasnetz werden in der Entwurfsplanung planerisch betrachtet und in der Kostenberechnung kostentechnisch bewertet werden.

3.10.1 Biogasspeicher

Die kontinuierliche Vergärung erfordert das Zwischenspeichern des produzierten Biogases, bevor es nach entsprechender Aufbereitung verwertet wird. Vorgesehen wird die Errichtung eines Zeppelinspeichers auf der Tunneldecke der Batchreaktoren (Variante 1) oder die Errichtung einer freistehenden Gasspeicherkugel (Variante 2), unter Berücksichtigung der entsprechenden Sicherheitsabstände gemäß TRAS 120.

Das EEG sieht eine Flexibilisierung von Biogasanlagen vor, um deren Anteil an der regelbaren Stromproduktion zu erhöhen. Um eine strombedarfsgesteuerte Fahrweise zu ermöglichen, sind Speichervolumina von mindestens 6 Stunden erforderlich.

Gaserzeugung in Spitzenwoche (Variante 1):	$V_{Gas.} = 235 \text{ m}^3/h$
Gaserzeugung in Spitzenwoche (Variante 2):	$V_{Gas.} = 275 \text{ m}^3/h$
Speicherkapazität:	6 h
Gasspeichervolumen (Variante 1):	$235 \text{ m}^3/h * 6 \text{ h} = \mathbf{1.400 \text{ m}^3}$
Gasspeichervolumen (Variante 2):	$275 \text{ m}^3/h * 6 \text{ h} = \mathbf{1.650 \text{ m}^3}$

Das daraus resultierende Speichervolumen beträgt 1.400 m^3 (Variante 1) bzw. 1.650 m^3 (Variante 2). Weitere vorteilhafte Effekte der Gasspeicherung sind die Vergleichmäßigung von Produktionsspitzen und eine Homogenisierung der Biogasqualität. Darüber hinaus ist der Gasspeicher funktional erforderlich, um Anlagenstörungen zu kompensieren und die Fackelzeiten zu minimieren.

Der Gasspeicher besteht aus einer formgebenden Außenmembran sowie einer Innenmembran, die den eigentlichen flexiblen Gasraum bildet. Ein permanent laufendes Stützgebläse fördert Luft in den Zwischenraum der inneren und äußeren Membran und hält den Druck, unabhängig von Gasbefüllung und -entnahme, konstant. Der Druck im Zwischenraum hält die Außenmembran in Form. Dadurch kann der Speicher äußere Lasten

aufnehmen. Abbildung 33 zeigt beispielhafte Ausführungen von Zeppelin- beziehungsweise freistehenden Doppelmembran-Gasspeichern.



Abbildung 33: links: Zeppelingasspeicher, rechts: Freistehender Gasspeicher (3/4-Kugel)

3.10.2 Biogasreinigung

Vor der Verstromung des Biogases durch Blockheizkraftwerke sind eine Reihe von Aufbereitungsschritten erforderlich, in denen unerwünschte Bestandteile, wie z. B. Schwefelwasserstoff (H₂S) und Wasserdampf, aus dem Gasstrom entfernt werden. Die Entschwefelung erfolgt in zwei Stufen. Die erste Stufe bildet eine chemische oder biologische Grobentschwefelung, die der Gasspeicherung vorgeschaltet ist. Die zweite Stufe besteht aus einem Aktivkohlefilter, der die Feinent Schwefelung vornimmt und als Polzeifilter dient. Durch die zweistufige Entschwefelung wird eine Reduktion des kostenintensiven Aktivkohleverbrauchs bewirkt. Vor dem Aktivkohlefilter erfolgt eine Trocknung des Biogases.

3.10.3 Biogasverstromung

Die Verstromung des aufbereiteten Biogases erfolgt in Blockheizkraftwerken (BHKW), die als Fertigcontainermodule geliefert werden. Zum Einsatz kommen 2 BHKW mit unterschiedlich großer, installierter Leistung. Das ermöglicht einen an die aktuelle Biogasverstromung angepassten Einsatz der BHKW und gleichmäßigeren Verschleiß der BHKW.

Das EEG 2021 sieht eine Bemessungsleistung von max. 45 % der Gesamtleistung für Biogasanlagen mit flexibler und strombedarfsgesteuerter Fahrweise vor. Dies entspricht einer mindestens 2,22-fachen Überbauung. Ziel der Flexibilisierung von Biogasanlagen ist es, deren Anteil an der regelbaren Stromproduktion zu erhöhen.

Die Auslegung der erforderlichen BHKW-Module erfolgt in Abhängigkeit zur Biogasproduktion gemäß der nachfolgenden Tabelle 11.

Tabelle 11: Auslegung BHKW-Module

	Variante 1	Variante 2
Biogasmenge	1,9 Mio. Nm ³ /a	2,2 Mio. Nm ³ /a
el. Wirkungsgrad BHKW	41 %	
Methangehalt	57 %	
Energiegehalt Methan	10 kWh/Nm ³	
Erzeugbare elektrische Leistung (Bemessungsleistung)	510 kW	590 kW
Mindestens erforderliche installierte Leistung	1.130 kW	1.310 kW
Gewählte Leistung	1.600 kW	1.600 kW
BHKW 1	1.000 kW	1.000 kW
BHKW 2	600 kW	600 kW

Neben der elektrischen Energie zur Einspeisung in das Stromnetz erzeugen BHKWs in etwa der gleichen Größenordnung Wärme. Diese wird in den standortinternen Prozessen der Kompostierung und Fermentation genutzt sowie zur Beheizung des Betriebsgebäudes. Um eine maximale Ausnutzung der verfügbaren Wärme zu erreichen wird in der Entwurfsplanung eine Satelliten-Lösung geprüft, bei der eines der beiden BHKW an einem externen Standort errichtet wird und dort zusätzliche Wärmeabnehmer versorgt. Als potentieller Standort dient das zurzeit neu entstehende Gewerbegebiet „Lumda“. Das Gewerbegebiet entsteht in etwa 2 Kilometer Entfernung zum Kompostwerk Rabenau (vgl. Abbildung 34).

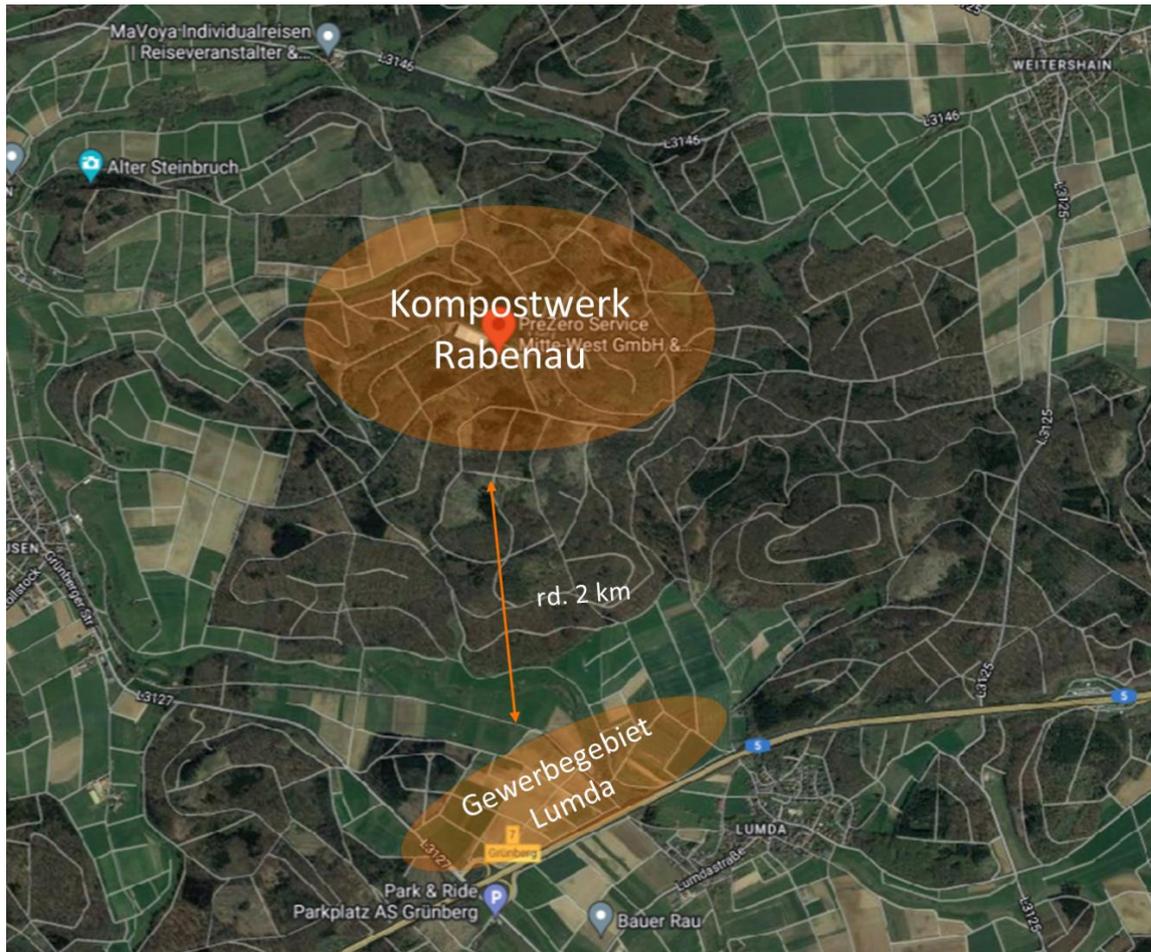


Abbildung 34: Luftbild (Google Maps); Entfernung zum neuen Gewerbegebiet

3.10.4 Biomethanaufbereitung

Eine alternative Verwertungsform des Biogases zur Verstromung im BHKW stellt die Biomethanaufbereitung dar. Zur Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität ist im Wesentlichen die Abtrennung von Kohlendioxid (CO_2) sowie weiteren Gasbegleitstoffen wie Schwefelwasserstoff (H_2S), Wasser, Flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC) sowie Siliziumverbindungen erforderlich. Des Weiteren sind die Bestandteile an O_2 begrenzt. Im Detail werden die erforderlichen Gaseigenschaften, wie z.B. Brennwert, Wobbeindex etc., in den DVGW-Arbeitsblättern G 260 und G 262 definiert.

Die Verfahren zur Methananreicherung können in adsorptive und absorptive Prozesse sowie Membranverfahren unterschieden werden.

- Adsorption: Druckwechseladsorption (PSA)
- Absorption: Aminwäsche
- Membranverfahren

Die Verfahren der Druckwechseladsorption und Aminwäsche sind in Deutschland ähnlich verbreitet und sind technisch ausgereift. Von den Membranverfahren hingegen gibt es bisher nur wenige Umsetzungen.

Druckwechseladsorption

Bei der Druckwechseladsorption (PSA – pressure swing adsorption) wird das unterschiedliche Adsorptionsverhalten der Rohbiogasbestandteile gegenüber dem Adsorbens genutzt, um Methan von den übrigen Gasbestandteilen zu trennen. Unter Adsorbens versteht man den Feststoff, auf dessen Oberfläche das Adsorbtiv gebunden wird. Zur Methananreicherung von Rohbiogas kommen als Adsorbens Aktivkohle, Molekularsiebe (Zeolithe) sowie Kohlenstoffmolekularsiebe zum Einsatz. Kohlendioxid – als eine der Hauptkomponenten von Rohbiogas – stellt das Hauptadsorbtiv dar, welches in diesem Prozess abgeschieden wird. Aber auch die übrigen Gasbestandteile wie Stickstoff, Sauerstoff und Methan werden an das Adsorbens gebunden. Dabei stellt die Molekülgröße das maßgebliche Selektionskriterium für den Adsorptionsprozess dar.

Die nachfolgende Abbildung 35 veranschaulicht den Prozessablauf der PSA zur Methananreicherung aus Biogas.

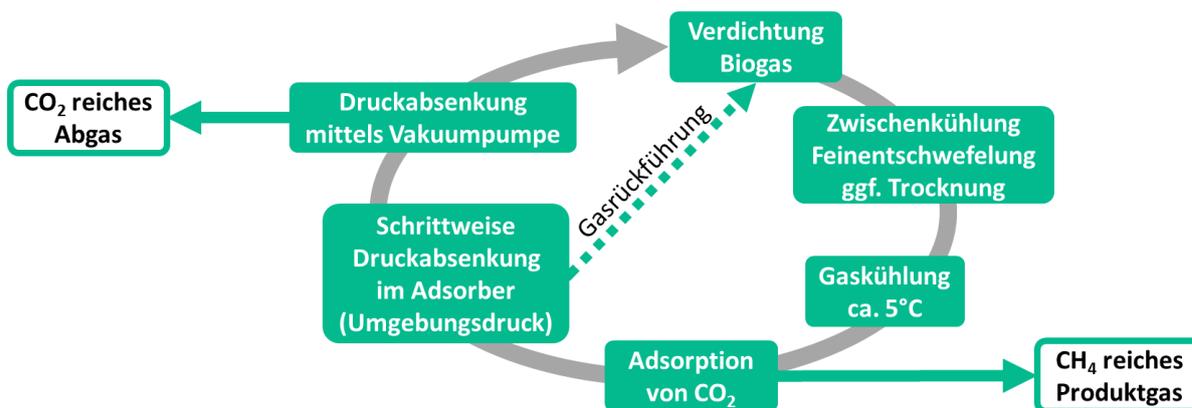


Abbildung 35: Prozessablauf der Druckwechseladsorption (PSA)

Zu Beginn erfolgt eine Verdichtung des Biogases, wobei sich das Gas erwärmt. Zur Reduzierung der Gastemperatur werden entweder die Verdichter gekühlt oder es findet eine Zwischenkühlung des Gases zwischen den einzelnen Verdichterstufen statt. Da das Adsorbens empfindlich gegenüber Verunreinigungen reagiert, ist vor der PSA zwingend eine Feinentschwefelung und ggf. eine Trocknung erforderlich (bei entsprechender Vorreinigung des Biogases können Standzeiten des Adsorbens von bis zu 20 Jahren erreicht werden). Zusätzlich zum hohen Druck begünstigen niedrige Temperaturen die Adsorption von CO₂. In einer weiteren Gaskühlung wird der Strom daher auf rd. 5°C gekühlt. Anfallendes Kondenswasser kann nach einer eventuell erforderlichen Neutralisation als Abwasser

entsorgt werden. Da bei der PSA grundsätzlich auch Wasserdampf abgeschieden wird, ist vor der Einspeisung des Methans keine weitere Trocknung erforderlich.

Im Anschluss wird das Biogas dem Adsorber zugeführt. Zum Schutz des Adsorbens vor Verunreinigungen werden üblicherweise ölfreie Verdichter eingesetzt. Der Betriebsdruck der ersten PSA-Anlagen lag in einem Bereich von 4-7 bar. Heute existieren jedoch LPSA-Verfahren, die bereits ab 2 bar Überdruck arbeiten. Dies reduziert den Verbrauch an elektrischer Energie, ist allerdings mit einem erhöhten Investitions- und Platzbedarf verbunden, da die Anzahl der Kolonnen höher ist.

Zu Beginn der Adsorption entsteht ein kontinuierlicher Produktgasstrom mit fast konstanter Gaszusammensetzung. Bevor das Adsorbens vollständig mit den zu adsorbierenden Gasbestandteilen gesättigt ist, wird der Biogasstrom auf einen frisch regenerierten Adsorber umgeleitet. Zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Prozessablaufs werden mehrere Adsorber parallel betrieben. Der Umschaltvorgang zwischen den einzelnen Adsorbern läuft nahezu unterbrechungsfrei, doch eine gewisse Pulsation des Produktgases kann nicht gänzlich verhindert werden. In Abhängigkeit des Anwendungsfalls kommen daher Pufferspeicher zur Vergleichmäßigung von Produktgasvolumenstrom und -zusammensetzung zum Einsatz.

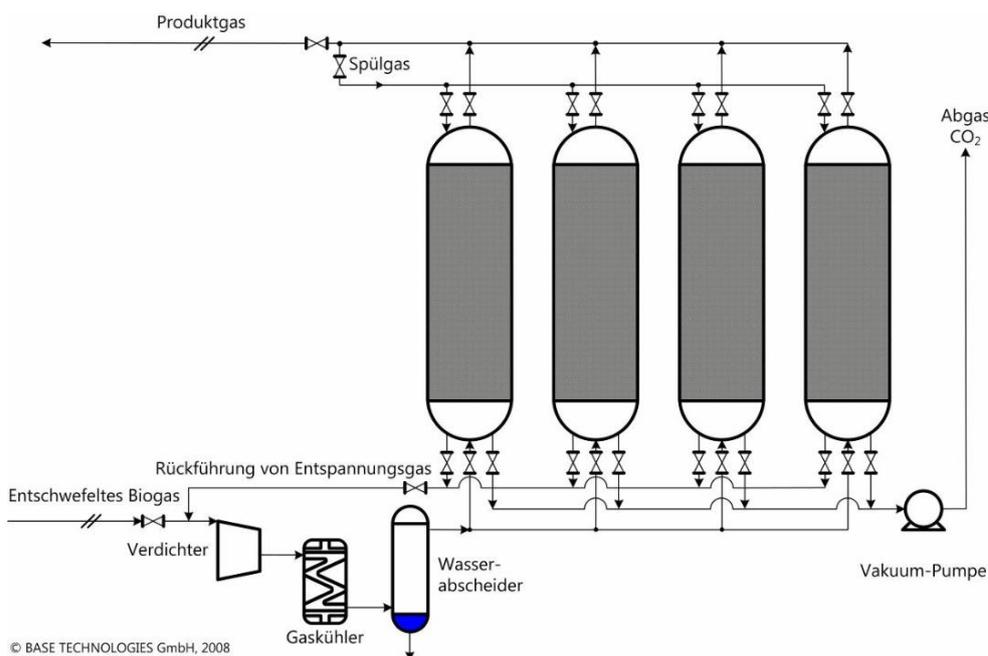


Abbildung 36: Prinzipschaltbild einer PSA

Zur Regenerierung des Adsorbens wird der beladene Adsorber schrittweise bis auf Umgebungsdruck entspannt. Das dabei freigesetzte Gas enthält noch relevante Mengen an Methan und wird zur Abscheidung wieder der Verdichterstufe zugeführt. In einem zweiten Schritt wird der Druck innerhalb des Adsorbens mit Hilfe einer Vakuumpumpe bis auf 100 mbar (absolut) abgesenkt. In dem bei der Evakuierung desorbierten CO₂-reichen

Gasstrom sind noch immer Restmengen an Methan enthalten, sodass dieser einer Schwachgasbehandlung (z.B. RTO) zugeführt werden muss.

Mit diesem Verfahren lassen sich aus dem Biogas Methankonzentrationen von > 96 % erzeugen. Eine Steigerung bis auf 99 % Reinheit kann durch eine Verlängerung der Beladungszeit erreicht werden, was jedoch mit einem steigenden Energieverbrauch einhergeht. Die PSA ist eine Anerkannte Regel der Technik und wird bereits an vielen Standorten zur Biogasaufbereitung eingesetzt. Die Anlagen verfügen über Behandlungskapazitäten von 400-2.800 Nm³/h Rohbiogas.

Aminwäsche

Die Aminwäsche ist ein Verfahren der chemischen Absorption, bei der auf die physikalische Absorption aller Gaskomponenten eine reversible chemische Reaktion einzelner Komponenten (z.B. CO₂, H₂S) mit der Waschflüssigkeit folgt. Durch diese chemische Reaktion ist die Bindung der abzutrennenden Sauerstoffe an das Waschmittel deutlich größer, sodass eine höhere Beladung des Waschmittels mit den abzutrennenden Gasen erreicht werden kann. Dies ist jedoch gleichzeitig ein Nachteil des Verfahrens, da für die Regeneration des Waschmittels eine entsprechend hohe Energie für die Umkehrreaktion aufgebracht werden muss.

Da nur einzelne Gaskomponenten mit dem Waschmittel reagieren, kann mit der Aminwäsche eine viel höhere Selektivität im Vergleich zu anderen Methananreicherungsverfahren erreicht werden. Auf diese Weise können sehr hohe Methankonzentrationen im Produktgasstrom bei gleichzeitig geringem Methanschlupf (<0,1 %) erreicht werden.

Das Waschmittel ist eine mit Wasser verdünnte Lösung von Aminen (Monoethanolamin, Diethanolamin, Methyldiethanolamin etc.). Durch die Zugabe von Aktivatoren und Stabilisatoren können unerwünschte Nebenreaktionen wie die Salzbildung weitestgehend unterdrückt werden. Die Absorption des CO₂ erfolgt in einer Absorptionskolonne, in der das feinentschwefelte Biogas die Waschlösung im Gegenstrom durchströmt. Durch die vorgeschaltete Feinentschwefelung kann die Kapazität der Aminlösung länger aufrechterhalten werden. In einer nachgeschalteten Desorptions- und Regenerationsstufe wird die Waschlösung bei Temperaturen von 120-160°C „ausgekocht“. Da die Absorption bei niedrigen Temperaturen begünstigt wird, muss die Waschflüssigkeit vor Rückführung in den Absorber auf <40°C abgekühlt werden. Die Abwärme aus dem Absorber (bei der Reaktion des CO₂ mit der Waschflüssigkeit entsteht Wärme) und aus dem Regenerationsprozess kann zurückgewonnen und zum Beispiel zur Beheizung des Fermenters eingesetzt werden.

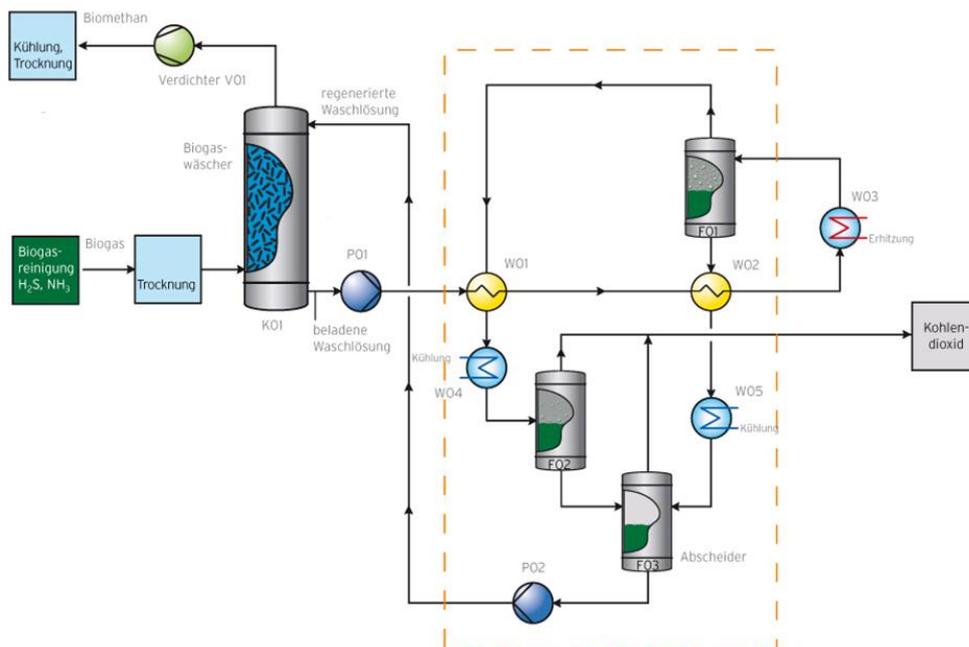


Abbildung 37: Verfahrensschema Amin-Wäsche (BCM-Verfahren) der Fa. MT-BioMethan GmbH

Das Produktgas fällt in der Regel nahezu drucklos an und muss aufgrund der im Absorber entstehenden Wärme noch gekühlt und getrocknet werden. Im Vergleich mit anderen Methananreicherungsverfahren kann mit der Aminwäsche die höchste Produktgasqualität bei gleichzeitig sehr geringem Methanschlupf erzeugt werden, sodass unter Umständen auf eine Schwachgasbehandlung verzichtet werden kann. Amine sind jedoch wassergefährdend, gesundheitsschädlich und ätzend. Daher sind zum Schutz von Mensch und Umwelt Sicherheitsvorkehrungen sowie geschultes Personal erforderlich. Das Verfahren der Aminwäsche hat sich in der Praxis bewährt und reagiert unempfindlich gegenüber veränderlichen Biogaszusammensetzungen oder Volumenströmen. Zur Umkehrung der chemischen Reaktion des Kohlendioxids mit dem Waschmittel wird in erheblichem Maße Prozesswärme für die Regeneration der Aminlösung benötigt. Aus diesem Grund ist ein entsprechendes Wärmenutzungskonzept am Standort der Gasaufbereitung erforderlich. Standorte, die sowohl über eine Wärmequelle mit hohem Temperaturniveau als auch Wärmesenken für die Restwärme der Anlage verfügen, bieten sich besonders für diese Technik an. Eine externe Wärmequelle, die die für die Aminwäsche benötigten Temperaturen zur Verfügung stellt, ist in Rabenau nicht vorhanden und müsste ggf. in Form eines Biomassedampfkessels separat errichtet werden.

Membranverfahren

Die im Bereich der Biogasaufbereitung angewandte Membrantechnik gehört zu den Trockenmembranverfahren. Bei der sogenannten Gaspermeation erfolgt die Trennung der

Gaskomponenten auf Basis ihrer unterschiedlichen Löslichkeit und Diffusionsgeschwindigkeit gegenüber der Membran. Im Vergleich zu Methan ist die Permeabilität von Kohlendioxid 20-mal, die von Schwefelwasserstoff sogar 60-mal so hoch. Aufgrund dieser Eigenschaft durchwandern diese Gaskomponenten die Membran deutlich schneller als Methan. In Abbildung 38 ist das Grundprinzip der Permeation von Biogaskomponenten qualitativ skizziert:

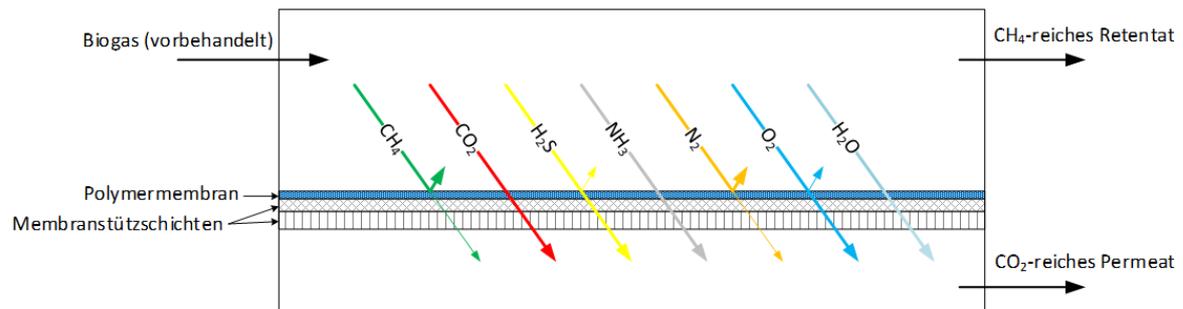


Abbildung 38: Funktionsprinzip des Membranverfahrens (qualitativ)

Das Biogas wird verdichtet und anschließend der Membran – in der Regel Hohlfasern oder Rohre – zugeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Permeabilität der Gaskomponenten durchwandern diese die Membran mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Das Methan durchströmt das Membranmodul, wobei nur wenige Methanmoleküle durch die Membranen dringen. Das methanreiche Retentat kann an der Hochdruckseite des Moduls entnommen werden. Kohlendioxid und die weiteren schneller permeierenden Komponenten durchdringen die Membrane und fallen an der Niederdruckseite nahezu drucklos an. Zum Schutz der Membranen ist diesem Prozess immer eine Feinentschwefelung und Trocknung des Biogases vorgeschaltet.

Die Effektivität dieses Verfahrens hängt im Wesentlichen von vier Faktoren ab:

- Verfügbare Membranoberfläche
- Membrandicke
- Partialdruckdifferenz Permeat- und Retentatseite
- Selektivität der Membran

Um den Durchgangswiderstand der Membranen zu reduzieren und somit technisch relevante Durchflussmengen zu erreichen, müssen diese möglichst dünn sein. In dieser Anwendung beträgt die Dicke der Polymermembran zwischen 0,1-1 μm . Aufgrund der fehlenden mechanischen Stabilität dieser aktiven Schicht wird sie auf eine Membranstützsicht aufgetragen (vgl. Abbildung 38). Zur Steigerung der Produktgasreinheit und des Durchsatzes werden in der Regel mehrere Hohlfasern bzw. Rohre in Reihen- und oder Parallelschaltung betrieben.

Die für die Permeation erforderliche Partialdruckdifferenz wird üblicherweise über einen rohgasseitigen Überdruck (gleichzeitig Retentatseite) von ca. 3,5-10 bar erzeugt, ist aber grundsätzlich auch über ein Vakuum auf der Permeatseite möglich. Die erste Variante bietet den Vorteil, dass der produktgasseitig anstehende Druck für eine weitere Nutzung, wie die Einspeisung in das Erdgasnetz, genutzt werden kann. Mit einstufigen Anlagen kann mit Blick auf die im Produktgas erreichbare Methankonzentration ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Aufgrund der (wenn auch vergleichsweise geringen) Permeabilität von Methan werden jedoch rd. 20 % des Methans in das Permeat verloren, welches einer Schwachgasbehandlung unterzogen werden muss. Zur Steigerung der Methanausbeute gibt es eine Reihe von Modulverschaltungsvarianten, bei denen zwei- bis dreistufige Kaskaden mit teilweiser Permatrückführung in die Verdichterstufe betrieben werden. Auf diese Weise kann der Methanschluß auf <1 % reduziert werden; die Produktgasqualität liegt bei bis rd. 95 %. Mit steigender Modulanzahl und -verschaltung erhöht sich der Druckverlust des Systems. Neben dem höheren Invest steigt somit auch der Energiebedarf der Anlage. Aufgrund der Einfachheit des Membranverfahrens verfügt es über eine hohe Betriebssicherheit bei gleichzeitig geringem Wartungsaufwand – bis auf den Kompressor gibt es in diesem Prozess kaum bewegliche Teile. Durch den modularen Aufbau der Anlagen ist die spezifische Investitionshöhe vergleichsweise gering. Somit eignet sich das Verfahren insbesondere für die Aufbereitung geringer Volumenströme. Nachteilig ist der hohe Energieaufwand für die Verdichtung und der im Vergleich mit anderen Verfahren hohe Methanschluß.

Auch wenn das Verfahren in Bereichen wie der Erdgasaufbereitung seit vielen Jahren erfolgreich im Einsatz ist, hat es im Bereich der Biogasaufbereitung erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Mittlerweile ist diese Technik über die Markteinführungsphase hinaus und es gibt eine Reihe von Umsetzungen, die erfolgreich betrieben werden.

Unabhängig vom Aufbereitungsverfahren ist für die Einspeisung des Biomethan in das öffentliche Erdgasnetz zudem ein Einspeisepunkt erforderlich. Die nächste Möglichkeit zur Einspeisung befindet sich gemäß Machbarkeits-Check der AVR Energie GmbH in ca. 12-14 km Entfernung. Aufgrund der großen Entfernung und der ggf. erforderlichen hohen Zusatzkosten beispielsweise für die Wärmequelle bei der Aminwäsche ist die Verstromung mittels BHKW (vgl. Kapitel 3.10.3) die bevorzugte Variante der Biogasverwertung.

3.11 Havarie-Konzept

Das Havarie-Konzept basiert auf den Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach der AwSV. Nach § 3 der Verordnung wird Bioabfall als allgemein wassergefährdender Stoff definiert. In § 17 werden Grundsatzanforderungen an

Anlagen gestellt, welche voraussetzen, dass keine wassergefährdenden Stoffe aus der Anlage austreten dürfen. Undichtigkeiten von Anlagenteilen, die mit wassergefährdenden Stoffen in Berührung stehen, müssen schnell und zuverlässig erkennbar sein und austretende wassergefährdende Stoffe müssen zuverlässig erkannt, zurückgehalten sowie ordnungsgemäß entsorgt werden. Das erforderliche Rückhaltevolumen muss dem Volumen entsprechen, welches bei Betriebsstörungen bis zum Wirksamwerden geeigneter Sicherheitsvorkehrungen freigesetzt werden kann, inklusive Lösch- und Niederschlagswasser.

Für die Vergärungsanlage Rabenau muss demnach insbesondere der Havariefall des Pfpfenstromfermenters in Variante 2 betrachtet werden.

Rückhalteräume für den Havariefall:

Für den Parkolatspeicher (Variante 1) muss kein Havarieraum vorgesehen werden, da der Perkolatspeicher als maßgeblicher Behälter doppelwandig und somit AwSV-konform ausgeführt werden kann.

Für den Pfpfenstromfermenter in Variante 2 muss ein Havarieraum mit ausreichendem Rückhaltevolumen für den Fermenter vorgesehen werden, da dieser nicht doppelwandig ausgeführt werden kann. Die Fläche des vorgesehenen Havarieraums ist in Abbildung 39 dargestellt.

Die Aufstellfläche des Fermenters liegt 1 m unter dem Niveau der restlichen Anlage und ist in Asphaltbauweise ausgeführt. Zusätzlich wird eine ca. 1 m hohe Umwandung der Aufstellfläche vorgesehen, sodass im Falle eines Behälterversagens insgesamt mindestens 2.100 m³ Rückhaltevolumen zur Verfügung stehen. Dies entspricht der konservativen Annahme der vollständigen Havarie des größten Behälters inklusive der erforderlichen Volumina für Lösch- und Niederschlagswasser. In den Havarieraum führt eine Rampe, sodass der Bereich für Wartungszwecke befahren werden kann. Die zur Befahrung benötigte Öffnung in der Umwandung wird über ein Schott verschlossen.

Die genaue Ausführung, insbesondere der Grad der Versiegelung des Untergrunds, wird im Rahmen der Entwurfsplanung unter Einbeziehung eines AwSV-Gutachters detailliert.

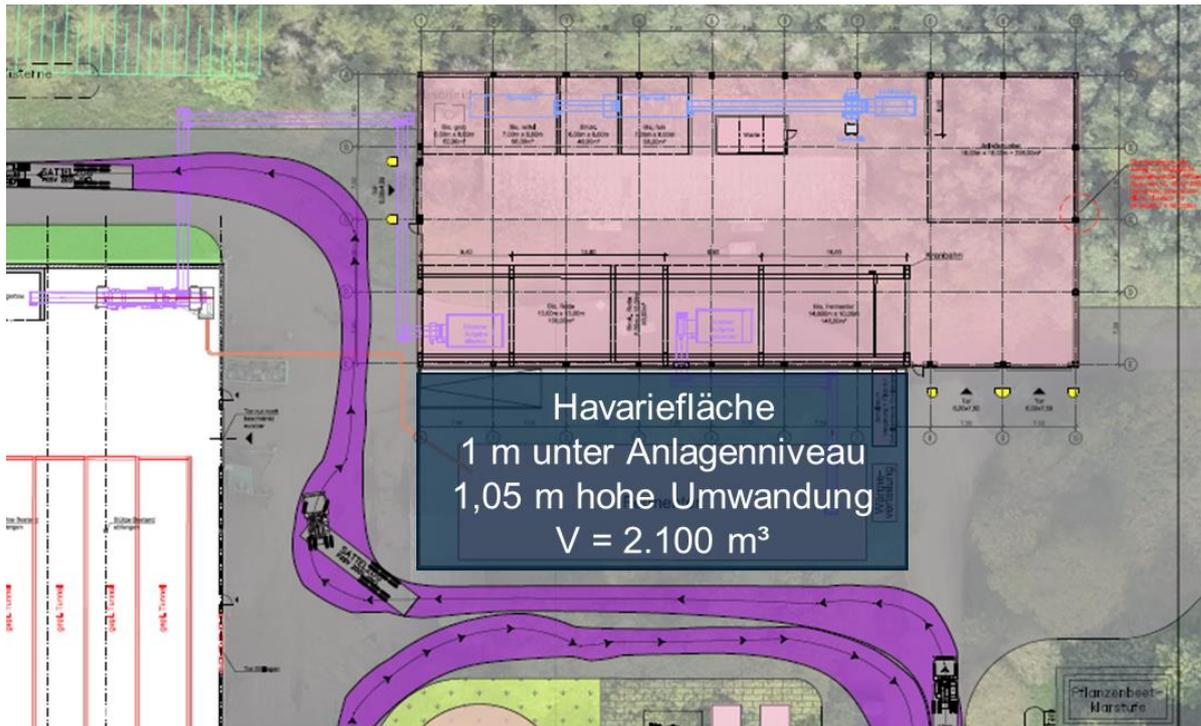


Abbildung 39: Havarieraum Pfropfenstromfermenter (Variante 2)

3.12 Elektrotechnische Ausrüstung

Zur elektrotechnischen Ausrüstung der neuen Bioabfallbehandlungsanlage zählen insbesondere die folgenden Gewerke:

- Übergabestation inkl. Mittelspannungs-Schaltanlage, Transformatoren und Niederspannungs-Hauptverteilung
- Blindstromkompensationsanlage (für die Verbraucher)
- Schaltschränke für die Energieversorgung und die Steuerung der neuen Maschinen- und Gebäudetechnik
- Kabelwegeausbau und Verkabelung der kompletten Anlagen- und Gebäudetechnik
- Motoren und Antriebe inkl. Frequenzumrichter
- Speicherprogrammierbare Steuerung und Visualisierung inkl. Software
- Gebäudetechnik (Beleuchtung, Steckdosen etc.)

Um eine maximale Verfügbarkeit der Anlage zu gewährleisten, wird bei der Wahl der elektrotechnischen Betriebsmittel Industriestandard angesetzt.

3.12.1 Anschluss an die elektrische Energieversorgung

Der Standort des Kompostwerks Rabenau ist gemäß Abbildung 40 über eine 20 kV-Mittelspannungsleitung des Typs 3 x NA2XS(F)2Y 1 x 150 an das Stromnetz der Mittelhessen Netz GmbH (MIT.N) angeschlossen. Der Anschluss ist als Stickleitung aus

westlicher Richtung kommend ausgeführt. Die seitens der MIT.N zugesicherte Versorgungsleistung beträgt gemäß telefonischer Auskunft der MIT.N derzeit 500 kW und als Vertragspartner wird die Sita Mitte GmbH angegeben.

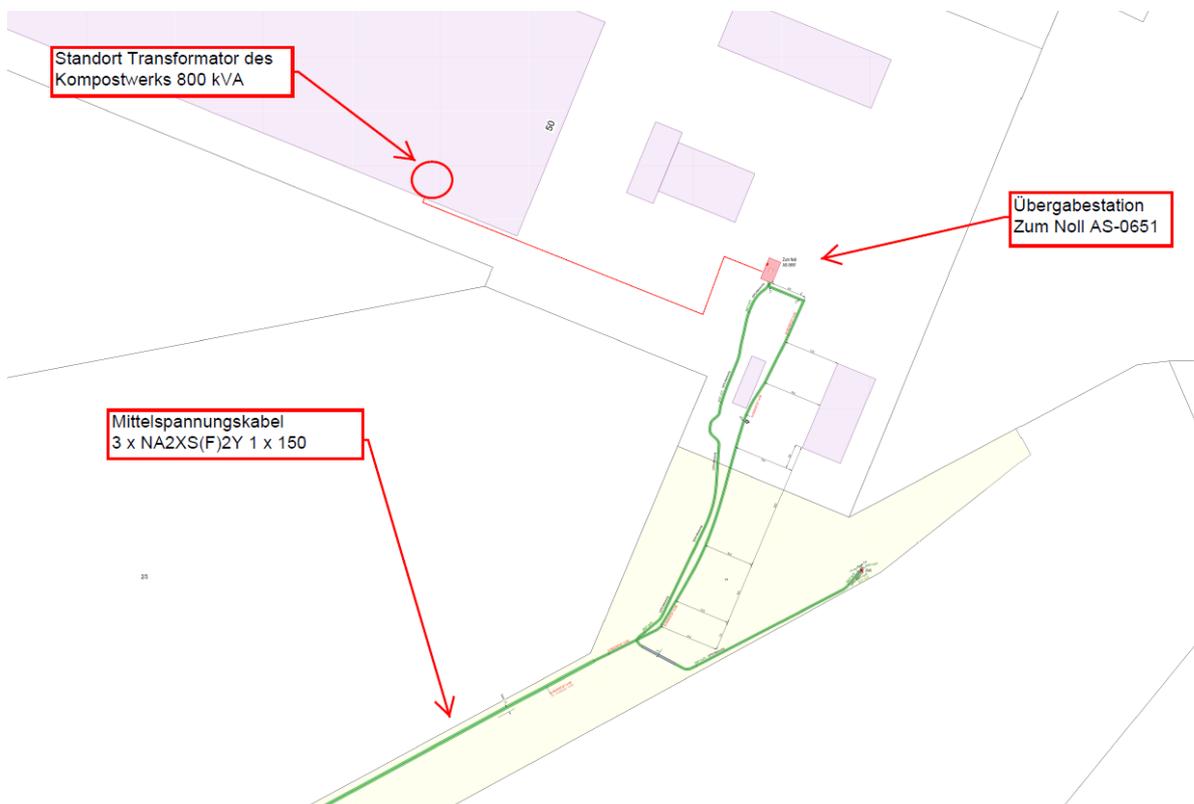


Abbildung 40: Lageplan MS-Anschluss Planauskunft Stadtwerke Gießen vom 12.07.2021

Die 20 kV-Stichleitung endet in der Übergabestation des Kompostwerks Rabenau (Station „Zum Noll AS-0651“), die sich im Eingangsbereich des Standorts befindet. Von dieser Station verläuft ein Mittelspannungskabel weiter bis zum 800 kVA-Transformator des Kompostwerks, der sich in einem separaten Traforaum im südöstlichen Bereich des Hallengebäudes befindet. Dieser Transformator versorgt die Maschinen- und Gebäudetechnik des gesamten Standorts mit elektrischer Energie auf der Niederspannungsebene (400 V).

Verbraucher

Für die Versorgung der neuen Anlagentechnik der Vergärungs- und Kompostierungsanlage wird die bislang seitens der MIT.N zugesicherte Versorgungsleistung in Höhe von 500 kW nicht mehr ausreichend sein. Auch der vorhandene Transformator mit einer Scheinleistung von 800 kVA muss gegen einen größeren Transformator ausgetauscht werden. Auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Vorplanung muss für die Abdeckung von Spitzenlasten ein Transformator mit einer Scheinleistung in Höhe von ca. 1.000 kVA bis 1.250 kVA vorgesehen werden. Die exakte Festlegung kann erst mit Vorliegen der Ausschreibungsergebnisse für

die Maschinentechnik erfolgen, da erst dann die tatsächlich zum Einsatz kommenden Aggregate und die Angaben der Lieferanten zu den zugesicherten Leistungsaufnahmen vorliegen.

Erzeugungsanlagen

Die bevorzugte Variante der Biogasverwertung am Standort ist der Betrieb von BHKW-Anlagen mit einer Einspeisung der erzeugten elektrischen Energie in das öffentliche Stromnetz. Die Abwärme der BHKW wird in dieser Variante für die Beheizung der biologischen Verfahrenstechnik und für die Beheizung von Gebäuden genutzt.

Anschlusskonzept

Für die Einspeisung der mit den beiden BHKW erzeugten elektrischen Energie in das Stromnetz der MIT.N wurden zusätzlich zum Verbrauchertransformator konzeptionell zwei weitere Transformatoren vorgesehen. Die jeweils zugehörigen Transformatoren befinden sich in der Nähe des Verbrauchsschwerpunkts bzw. in der Nähe der Einspeiseanlage, was zu kurzen Kabelstrecken auf der Niederspannungsseite führt. Die benötigten Schutztechniken können gezielt auf die einzelnen Einsatzzwecke abgestimmt werden.

Des Weiteren bietet diese Aufteilung die Möglichkeit, zusätzliche Einspeiseanlagen (insbesondere PV-Anlagen auf den Dächern der Gebäude) ohne wesentliche Veränderungen an den Mittelspannungsschaltanlagen über den Verbrauchertransformator an das Netz der MIT.N anzuschließen.

Überprüfung Netzanschluss

Bis Ende 2024 kann durch MIT.N eine Veränderung am 20 kV-Netz vorgenommen werden, sodass bei Inbetriebnahme der Vergärungsanlage eine Option für den Anschluss der BHKW und einer möglichen PV-Anlage besteht.

In einer Modellrechnung der MIT.N wurde eine BHKW-Einspeiseleistung von 1.600 kW zuzüglich eine PV-Einspeiseleistung von 749 kWp betrachtet, die die Einspeiseleistung der zukünftigen Anlage abdeckt. Für die Verbraucher des Standorts wurde im Modell eine Bezugsleistung in Höhe von 1.000 kW berücksichtigt.

Die weiteren Einzelheiten (Netzanschlussvertrag, Baukostenzuschuss für die Leistungserhöhung, Einspeisezusage, Anschluss- und Einspeisevorgaben etc.) sowie die weitere Vorgehensweise sind im Rahmen der Entwurfsplanung mit der MIT.N abzustimmen.

3.12.2 Übergabestation

Die vorhandene Übergabestation im Eingangsbereich kann nicht an der jetzigen Stelle verbleiben, da hier zukünftig die Aufstellung der BHKW-Anlagen sowie der Verlauf von innerbetrieblichen Verkehrswegen geplant ist. Die vorhandene Station ist aufgrund des veralteten technischen Stands auch aus Sicht der MIT.N nicht mehr wiederzuverwenden. Daher soll im Energieschwerpunkt des Standorts, also in der Nähe der beiden neuen BHKW-Module eine neue Übergabestation errichtet werden. Die Station wird in Form einer Betonfertigstation ausgeführt und mit einem Mittelspannungsraum, drei Trafzellen sowie einem Niederspannungsraum ausgestattet.

In der Station werden die Messungen der Übergabe- und Einspeiseleistungen sowie alle gemäß VDE-AR-N 4110 erforderlichen Kommunikationsgeräte und Schutzeinrichtungen installiert.

3.12.3 Mittelspannungsanlage

Die Mittelspannungs-Schaltanlage ist als metallgekapselte und typgeprüfte Schaltanlage gemäß DIN EN 62271-200:2012-08; VDE 0671-200:2012-08 mit einer Nennspannung von 20 kV und einem Bemessungsbetriebsstrom von 630 A geplant. Es wurde eine SF₆-isolierte Schaltanlage berücksichtigt, die aufgrund der Kapselung gegenüber Staub unempfindlich und recht wartungsfreundlich ist. Die Mittelspannungs-Schaltanlage wird im Mittelspannungsraum der Übergabestation untergebracht. Der Raum verfügt über eine Doppelschließung, so dass sowohl dem Netzbetreiber als auch dem Betreiber der Vergärungs- und Kompostierungsanlage der Zugang über das jeweils eigene Schließsystem möglich ist. Die Mittelspannungsschaltanlage beinhaltet die Kabel-, Mess- und Leistungsschalterfelder für den Anschluss an das Netz der MIT.N sowie die Schaltfelder für den Anschluss der drei Transformatoren zzgl. einer Erweiterungsoption.

3.12.4 Transformator

Die neuen Transformatoren müssen bzgl. der Verlustleistungen den Anforderungen der Ökodesign-Vorgaben entsprechen (siehe EU-Verordnung Nr. 548/2014 der Kommission). Aufgrund der möglichen Staubbelastungen im Bereich der Kompostierungs- und Vergärungsanlage wurde planerisch der Einsatz von Öltransformatoren vorgesehen. Öltransformatoren sind im Vergleich mit Gießharztransformatoren besser gekapselt und daher weniger staubempfindlich. Die benötigte Scheinleistung des Transformators für die Verbraucher des Standorts kann abschließend erst festgelegt werden, wenn die Angaben zur Maschinenteknik aus den einzelnen Ausschreibungen vorliegen. Derzeit ist von einer Größe von ca. 1.000 bis 1.250 kVA auszugehen.

Für die Verwertung des Biogases sind gemäß Kapitel 3.10.3 zwei BHKW-Module mit einer elektrischen Gesamtleistung von 1.600 kW vorgesehen. Die Leistung teilt sich wie folgt auf:

- BHKW 1: 1.000 kW
- BHKW 2: 600 kW

Jedem BHKW ist eigener Transformator zuzuordnen. Für die Auslegung der Transformatoren ist die Scheinleistung der BHKW-Module maßgebend. Üblicherweise wird der Wert der größten Scheinleistung eines BHKWs für einen $\cos \varphi = 0,8$ angegeben. Daraus ergeben sich mindestens die folgenden Transformatorgrößen:

- Transformator für BHKW 1: 1.000 kW / 0,8 = 1.250 kVA
- Transformator für BHKW 2: 600 kW / 0,8 = 750 kVA

Aufgrund der am Markt verfügbaren Transformatorgrößen wurden die folgenden Scheinleistungen berücksichtigt:

- Transformator 1: 1.250 kVA
- Transformator 2: 800 kVA

Alle drei Transformatoren sind darüber hinaus durch folgende technische Daten gekennzeichnet:

- $U_N = 20 \text{ kV} \pm 2 \times 2,5\% / 0,4 \text{ kV}$
- Kühlart ONAN
- Schaltgruppe Dyn5
- $u_k = \text{ca. } 6 \%$

3.12.5 Niederspannungs-Schaltanlagen der Verfahrens- und Gebäudetechnik

Die Aufstellung sämtlicher Schaltschränke der Kompostierungs- und Vergärungsanlage sowie der gebäudetechnischen Ausrüstung erfolgt in separaten Schalträumen. Damit ist eine Anordnung in einem staub- und feuchtigkeitsgeschützten Bereich möglichst in der Nähe der Hauptverbraucher sichergestellt. Die Schalträume werden mit Klimaanlage ausgestattet, um eine unzulässige Erwärmung der Schaltanlagen zu verhindern. Eine zusätzliche Heizung dient dem Frostschutz. Sämtliche Verbraucher der Neuanlage werden aus diesen Schaltanlagen heraus direkt angeschlossen, d.h. Vor-Ort-Schaltschränke, z. B. für die Ventilatoren der Kompostierungstechnik, sollen nicht vorgesehen werden.

3.12.6 Anpassung der Elektrotechnik der vorhandenen Verfahrenstechnik

Die vorhandene maschinentechnische Ausrüstung des Kompostwerks soll im Zuge der geplanten Erweiterung inkl. der zugehörigen elektrotechnischen Ausrüstung zurückgebaut und durch eine neue Ausstattung ersetzt werden. Daher gelten die Beschreibungen zur elektrotechnischen Ausrüstung der Neuanlagen des Kapitels 3.12 analog auch für die Ersatzmaßnahmen bei der vorhandenen Anlagentechnik.

3.12.7 Blindstrom-Kompensationsanlage

Für die Schaltanlagen der gesamten Bioabfallbehandlungsanlage ist die Installation einer automatisch geregelten Blindstrom-Kompensationsanlage vorgesehen, damit ein $\cos \varphi$ -Wert von 0,95 induktiv nicht unterschritten wird. Damit wird die Forderung der Technischen Anschlussbedingungen (TAB) für Niederspannungsanlagen der MIT.N nach einem $\cos \varphi < 0,9$ sicher eingehalten und der Bezug an kostenrelevanter Blindleistung gesenkt.

Für die BHKW-Anlagen ist eine zusätzliche Blindstromkompensationsanlage nicht erforderlich, da deren Generatoren entsprechend den Anforderungen an Erzeugungsanlagen hinsichtlich der Blindleistung geregelt werden können.

3.12.8 Motorabgänge und Antriebe

Die Module der Motorabgänge werden als fest verdrahtete Schützkombinationen mit einheitlichem Schaltungsaufbau vorgesehen. Alle Antriebe größer 7,5 kW werden grundsätzlich über Sanftstarter betrieben, es sei denn, der Motor wird ohnehin mit Frequenzumrichter betrieben.

Alle Antriebe der Maschinentechnik werden für industrielle Umgebungsbedingungen und mindestens in der Schutzart IP 54 ausgeführt. Sämtliche Antriebe werden antriebsnah mit Reparaturschaltern ausgestattet, die ein allpoliges Freischalten der Antriebe für Wartungszwecke ermöglichen. Die Motoren werden entsprechend den Vorgaben der EU-Energieeffizienz-Richtlinie ausgeführt.

3.12.9 Frequenzumrichter

Die Unterbringung der Frequenzumrichter (FU) erfolgt ausschließlich innerhalb von klimatisierten Elektroschalträumen (keine Vor-Ort-Aufstellung). Um Netzurückwirkungen zu vermeiden, wird bei der Verwendung von FU eine Verdrosselung (Eingangsfiler) vorgesehen. Weiterhin werden die FU mit EMV-Filter ausgerüstet. Die Leistungskabel zwischen den FU und den jeweiligen Motoren sind in geschirmter Ausführung vorgesehen.

3.12.10 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

Die Steuerung der neuen Anlage erfolgt über eine zentrale Steuerungsanlage, die im Schalt-raum installiert wird. Bei der Wahl des Automatisierungssystems wird Industriestandard angesetzt. Es ist der Einsatz einer Steuerung des Fabrikats Siemens Simatic S7 der neuesten Generation vorgesehen. Die Projektierung soll über das Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) der Firma Siemens erfolgen. Im Feldbereich werden dezentrale Peripheriebausteine, wie z. B. Siemens ET200 eingesetzt. Für die SPS wird eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) mit Meldung zur SPS sowie einer Anzeige auf dem Visualisierungssystem berücksichtigt.

Die Anlage wird so programmiert, dass ein automatisches An- und Abfahren der Anlage unter Berücksichtigung von Vor- und Nachlaufzeiten einzelner Maschinen erfolgt. Da die Inbetriebsetzung von Maschinen eine Gefahr für Personen hervorrufen kann, erfolgt vor dem Anlaufen im Automatikbetrieb ein deutlich wahrnehmbares akustisches und optisches Warnsignal von mindestens 10 s Länge.

Eine dem Betriebszustand der Anlage entsprechende Fahrweise der Abluftbehandlungsanlage (Tag-/Nacht-/Wochenendbetrieb) wird in die Programmierung integriert.

Maschinen bzw. Maschinenteile, die zum Erreichen des ordnungsgemäßen Betriebszustands lange Hochfahrzeiten benötigen, werden so gesteuert, dass sie bei kurzen Stillständen der Anlage möglichst schnell wieder in Betrieb gesetzt werden können.

Neben der automatisierten Betriebsweise über die zentrale SPS soll eine manuelle Fahrweise von Vor-Ort-Bedienfeldern aus möglich sein. Dazu werden an Maschinen bzw. Anlagenteilen mit komplexer steuerungstechnischer Ausstattung lokale Vor-Ort-Bedienfelder vorgesehen. Diese dienen in erster Linie der Inbetriebnahme sowie der Lösung von Problemen während des regulären Anlagenbetriebs. Die Bedienung erfolgt dabei vorzugsweise über einheitliche Operation Panels. Einfachere Maschinen oder Aggregate ohne eigenes Vor-Ort-Bedienfeld werden antriebsnah mit Hand-Revisionsschlüsselschalter ausgerüstet.

3.12.11 Ersatz der vorhandenen SPS (Siemens S5)

Die Steuerung der heutigen Kompostierungsanlage erfolgt über eine SPS des Typs Siemens Simatic S5. Diese Steuerung wurde bereits vor vielen Jahren vom Hersteller abgekündigt. Die Einführung des Nachfolgemodells S7 erfolgte bereits im Jahr 1994. Ersatzteile sind heute nur noch schwer zu beziehen und dann meist auch noch sehr teuer in der Anschaffung. Teilweise muss auf gebrauchte Ware zurückgegriffen werden. Um diese unsichere Situation bzgl. der Verfügbarkeit der Anlagensteuerung zu ändern, sieht unsere Planung eine

Integration der verbleibenden Anlagenteile des Kompostwerks in die neue Steuerung des Typs Siemens S7 vor.

3.12.12 Visualisierungssystem

Die Visualisierung und die Anlagenbedienung erfolgen mit zwei PC-Anlagen über WinCC. Ein PC wird zur Anlagenbedienung in der Warte aufgestellt. Ein zweiter PC wird im Büro des Betriebsleiters angeordnet. Dieser PC dient zusätzlich zur Anlagenbedienung auch der Datensicherung. Die Datensicherung entspricht mindestens der Anforderung RAID 1, d.h. es werden neben dem PC eine Serverfestplatte sowie eine gespiegelte Festplatte vorgesehen. Zusätzlich soll ein Tablet-PC eingerichtet werden, über den eine Anlagenüberwachung z. B. durch eine Rufbereitschaft von außerhalb möglich ist. Dazu wird eine entsprechende Software (z. B. TeamViewer) installiert. Die Zugriffssicherung erfolgt über Mehr-Faktoren-Authentifizierung. Neben der reinen Überwachung soll über diesen Weg auch eine Veränderung von Parametern, z. B. der Rotteführung möglich sein (z. B. Temperatursollwert verändern). Sicherheitsrelevante Quittierungen sollen darüber jedoch nicht erfolgen.

Dem Anlagenlieferanten soll für Fernwartungen und Servicezwecke ein separater externer Zugriff auf die Anlagensteuerung ermöglicht werden.

3.12.13 Not-Halt- / Not-Aus-System

Die Maschinen bzw. Anlagen der Vergärungs- und Kompostierungsanlage werden mit Not-Halt-Einrichtungen ausgerüstet. Die Not-Halt-Einrichtung dient dem Abschalten beim Auftreten von mechanischen Gefährdungen, die es erforderlich machen, Bewegungen anzuhalten oder das kontrollierte Fahren in eine sichere Position zu bewirken.

Wird im Rahmen der Risikobeurteilung ein elektrisches Risiko identifiziert, wenn es also notwendig ist, die elektrische Spannung zu unterbrechen oder die Energiezufuhr zu unterbrechen, erfolgt eine Not-Aus-Abschaltung, d.h. die Abschaltung erfolgt direkt über z. B. zentrale Leistungsschalter im Schaltschrank.

Bei der Betätigung einer Not-Halt- bzw. Not-Aus-Einrichtung ertönt ein akustisches Störungssignal (Intervallton) und es wird eine Meldung des Auslöseorts an die zentrale SPS abgegeben. Der Auslöseort wird auf der Visualisierung angezeigt. Der Reset einer Not-Abschaltung erfolgt durch Quittierung des Auslösegeräts (z. B. Pilztaster) vor Ort und anschließender Quittierung am Prozessleitsystem.

3.12.14 Beleuchtung

Arbeitsplätze und Verkehrswege werden gemäß der Arbeitsstättenrichtlinie ausreichend mit künstlichen Beleuchtungseinrichtungen ausgestattet. Generell ist der Einsatz von LED-Beleuchtung geplant.

Für die Ausleuchtung der Hallen sind LED-Industriestrahler vorgesehen. Technikräume sowie von der Anlagentechnik verschattete Bereiche werden mit LED-Langfeldleuchten ausgestattet. Der Außenbereich wird weitestgehend durch Straßenleuchten ausgeleuchtet, die an den Fassaden der Gebäude montiert werden. In Bereichen, die durch diese Leuchten nicht ausreichend ausgeleuchtet werden können, werden Mastaufsatzleuchten aufgestellt. Die Außenbeleuchtung erhält ein zentrales Schaltgerät, das im Stromkreisverteiler der gebäudetechnischen Ausrüstung im Schaltraum montiert wird. Dieses Gerät verfügt über eine frei programmierbare Zeitschaltuhr und einen Dämmerungsschalter. Die Verschaltung der Außenbeleuchtung bzw. die Leuchtenausführung erfolgt derart, dass nachts eine Absenkung der Beleuchtungsstärke möglich ist.

3.12.15 Steckdosen-Kombinationen

Zu Wartungszwecken werden in gleichmäßigen Abständen innerhalb der Hallen sowie an wartungsrelevanten Stellen Steckdosenkombinationen (CEE und Schuko) vorgesehen. Die Kombinationen sind bestückt mit jeweils 1x CEE 32 A + 2 x Schuko 16 A. Der Abstand der Kombinationen in den Aufbereitungshallen soll 30 m nicht überschreiten. Weitere Kombinationen sind im Außenbereich in der Nähe einzelner Anlagengruppen (z. B. Fermenter, Biogasreinigung) vorgesehen. In Bereichen, in denen z. B. mit Schweißarbeiten zu rechnen ist, werden die Kombinationen mit einer 63 A CEE-Steckdose ausgestattet.

3.12.16 Potentialausgleich und Blitzschutz

Die Betonbodenplatten und Fundamente der Gebäude erhalten zum Potentialausgleich Fundamentender aus verzinktem Bandstahl. Um die Gebäude herum werden Ringerder aus Edelstahl und unterhalb der Betonbodenplatten Maschen aus Edelstahl-Erdern verlegt.

Die Gebäude der Neuanlage (inkl. Speicherbehälter, Schaltraum etc.) werden mit äußeren Blitzschutzeinrichtungen versehen. Die Fangeinrichtungen werden über Erdungsfestpunkte an die Fundament- bzw. Ringerder der jeweiligen Gebäude bzw. Bauwerke angeschlossen. Bei der Auslegung der Blitzschutzanlagen wird größtenteils die Blitzschutzklasse III zugrunde gelegt. Bestimmte Bereiche, in denen sich gastechnische Anlagen befinden (z. B. Biogasspeicher), müssen die höheren Anforderungen der Blitzschutzklasse II erfüllen.

3.12.17 Überspannungsschutz

In der neuen Trafostation wird ein 4-poliger Grobschutz-Blitzstrom-/Überspannungsableiter (Typ 1) installiert. Dieser dient dem Einbeziehen von Starkstromleitungen in den Blitzschutz-Potenzialausgleich und zum Schutz von Niederspannungs-Verbrauchsanlagen vor Überspannungen, auch bei direkten Blitzeinschlägen. Für die auf der 400 V-Ebene verbleibenden Überspannungen werden in den Schaltanlagen Überspannungsableiter für den Mittelschutz (Typ 2) eingebaut. Darüber hinaus werden empfindliche Geräte, Anlagenteile und Sensoren mit Feinschutzeinrichtungen (Typ 3) ausgerüstet.

3.12.18 Brandmeldeanlage

Im Rahmen der Vorplanung wurde zunächst keine Brandmeldeanlage berücksichtigt. Die Notwendigkeit und ggf. die erforderliche Ausstattung einer solchen Anlage ergeben sich auf der Basis einer Planung auf Entwurfsplanungsniveau, d.h. erst nach Festlegung der abschließenden Planungsvariante durch den LKGI und der anschließenden Fortschreibung der Planung durch pbo. Auf Basis der Entwurfsplanung erfolgt die Erstellung eines brandschutztechnischen Konzepts durch einen Sachverständigen (separate Beauftragung durch den LKGI), das wiederum die Grundlage für die Auslegung einer Brandmeldeanlage ist, sollte diese notwendig sein.

3.13 Standortlayout

Die ausgelegten Anlagenkomponenten wurden unter Berücksichtigung der bestehenden Struktur des Betriebsgeländes positioniert und zu den Standortlayouts der Varianten 1 und 2 zusammengefügt. Dabei wurde auf eine möglichst kompakte und betrieblich sinnvolle Anordnung geachtet, die die Transportwege von einem zum nächsten Prozessschritt möglichst kurz hält. Zentrale Aspekte, die bei der Gesattlung des Standorts berücksichtigt wurden, werden im Folgenden erläutert.

Die gesamte Bioabfallbehandlungsanlage ist im Einbahnverkehr umfahrbar. Die Umfahrung des Standortes führt zu einer Entspannung der Verkehrssituation auf dem Standort. Insbesondere die Materialverschiebung mittels Radlader hat im bisherigen Betrieb zu regelmäßigen Verkehrskonflikten geführt. Zukünftig werden diese trotz gesteigerter Behandlungskapazität vermieden. Abholende Fahrzeuge können die Lagerbereiche direkt anfahren und werden über die Feuerwehrumfahrung wieder zum Waagebereich geführt. Kreuzender Verkehr wurde auf dem gesamten Standort vermieden.

Die bestehende Entwässerungssituation wurde soweit ertüchtigt beziehungsweise ausgebaut, dass die Entwässerungseinrichtungen an die zukünftig größere Belastung angepasst sind. Dachflächen- und Verkehrsflächenwasser werden weiterhin getrennt

gehalten. Verkehrsflächenwasser wird einer mechanischen Behandlung (beispielsweise einer Sedimentationsanlage unterhalb der Verkehrsfläche) unterzogen und anschließend in die bestehende Zisterne geführt. Das Dachflächenwasser wird direkt in die Zisterne geleitet. Beide Wässer gelangen von der Zisterne in den angrenzenden Wald, in dem eine großflächige Versickerung erfolgt.

Alle erforderlichen Abstände gemäß Hessischer Bauordnung wurden berücksichtigt. Darüber hinaus wurden Sicherheitsabstände gemäß der „Technischen Regel für Anlagensicherheit“ (TRAS 120) für die Komponenten der Biogasanlage untereinander, zu benachbarten Bauwerken und zu den in Umgebung des Kompostwerks befindlichen Windkraftanlagen beachtet. Nachfolgend sind die Standortlayouts der Variante 1 (Abbildung 41) und Variante 2 (Abbildung 42) abgebildet.



Abbildung 41: Standortlayout Variante 1



Abbildung 42: Standortlayout Variante 2

4 Bautechnik

4.1 Statik

Statische Berechnungen erfolgen durch den Anlagenerrichter.

4.2 Hochbau

Nachfolgend sind ausführliche Beschreibungen zu den Bauwerken der Bioabfallbehandlungsanlage aufgeführt.

Je nach Variante unterscheiden sich die Anliefer- und Voraufbereitungshalle, die Vergärungsstufe sowie die vorzunehmenden Umbauten in der Kompostierungshalle. Alle weiteren Gebäude wurden variantenunabhängig ausgelegt.

4.2.1 Betriebsgebäude

Baukenndaten:

- Außenmaße:
- Breite: ca. 12,4 m
- Länge: ca. 22,3 m
- Höhe: 3,6 m

Gründung:

- Die Gründung erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

Außenwände:

- Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem nach dem GEG (Gebäudeenergiegesetz, November 2020). Als Oberputz wird ein Feinputz verwendet.

Innenwände:

- Mauerwerk, Innenputz bzw. Trockenbauwände mit Anstrichvlies mit Dispersionsanstrich abwaschbar
- Wandfliesen für Wasch- und WC-Bereiche (Raumhoch) sowie Fliesenspiegel im Bereich der Küchenzeile
- WC-Trennwände
- Technikraum Mauerwerk mit Fugenglattstrich und Dispersionsanstrich abwaschbar

Decke:

- Stahlbeton mit Abhangdecken aus Gipskarton, spachteln, schleifen, Dispersionsanstrich
- Hausanschlussraum ohne Abhangdecke

Dach:

- gedämmtes Flachdach mit Attika und Gründach

Heizung:

- die Beheizung des Gebäudes und die Warmwasserbereitung erfolgen über die Nahwärme
- Bei Ausfall der Nahwärme erfolgt die Warmwasserbereitung über Elektroboiler.

Lüftung:

- Multisplit-Klimaanlage, bestehend aus Außengerät und Innengeräten zur Belüftung des Gebäudes
- Ventilatoren in den Sanitär- und WC-Bereichen

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

4.2.2 Anlieferung- und Voraufbereitungshalle

Die Anliefer- und Voraufbereitungshalle dient der Annahme, Voraufbereitung und Zwischenlagerung des angelieferten Materials. Das Maß der Voraufbereitung und die Auslegung der Bunkerbereiche erfolgt angepasst an die nachfolgenden Prozessschritte, sodass sich die Abmessungen der Anliefer- und Voraufbereitungshalle in den untersuchten Varianten unterscheiden.

Gebäudemaß Variante 1 (ohne Fermentertunnel und Perkolatspeicher):

- Breite: ca. 34,1 m
- Länge: ca. 75,5 m
- Gebäudehöhe OK First (Satteldach): ca. 12,6 m

Gebäudemaß Variante 2:

- Breite: ca. 31 m
- Länge: ca. 69 m
- Gebäudehöhe OK First (Satteldach): ca. 14,0 m

Baukonstruktive Einbauten im Bereich der Anliefer- und Voraufbereitungshalle:

- Variante 1: Warte in Containerbauweise
- Variante 2: Krananlage zur Beschickung der Vergärungsanlage
Warte in Containerbauweise

Boden Anliefer- und Bunker- sowie Tunnelvorhalle:

- Bodenplatte aus Stahlbeton mit Hartstoffeinstreuung, alternativ auch in Asphaltbauweise mit halbstarrer Deckschicht

Außenwände:

- Betonsockelwände
- in Teilbereichen Ausbildung als Anschüttwände aus Stahlbeton mit Stahlbeplankung als Anfahrerschutz

Innenwände:

- Anschüttwände aus Stahlortbeton mit Stahlbeplankung als Schleißblech, Stahlbetonblocksteine mit Stahlbeplankung als Schleißblech, Systemelemente aus Stahlblech mit Sand-/Kiesfüllung

Fassade:

- Trapezblechverkleidung mit und ohne Wärmedämmung
- Lichtbänder

Dach (Variante 1):

- Satteldach der Anliefer- und Voraufbereitungshalle

Breite:	ca. 34,1 m
Länge:	ca. 75,5 m
Firsthöhe:	ca. 12,6 m über GOK
Traufhöhe:	ca. 11,25 m über GOK und 11,87 m über GOK
Dachneigung:	ca. 5°

Dach (Variante 1):

- Satteldach der Anliefer- und Voraufbereitungshalle

Breite:	ca. 31 m
Länge:	ca. 69 m
Firsthöhe:	ca. 14,0 m über GOK
Traufhöhe:	ca. 12,75 m über GOK
Dachneigung:	ca. 5°

4.2.3 Vergärungsstufe

Variante 1 sieht eine Batch-Fermentation im Perkolationsverfahren vor. Die erforderlichen Fermentertunnel werden in die Anliefer- und Voraufbereitungshalle integriert.

Baukenndaten Batch-Fermentation:

- Tunnelanzahl: 7
- Anordnung: in Linie
- Innenmaße Einzeltunnel: Breite ca. 5,15 m, Länge ca. 29,0 m
- Höhe 4,10 m

Gründung:

- Die Gründung erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

Tunnelbauwerk:

- Außenwände bzw. Zwischenwände sowie die Decke der Fermentertunnel werden als Stahlbetonkonstruktion gefertigt
- Stahlbeton für die Bodenplatte

Außenwände:

- Außenwand des Wartungs- und Technikgangs hinter den Fermentertunneln aus Stahlbeton

Fassade:

- Trapezblechverkleidung mit Wärmedämmung, alternativ Sandwichpaneele mit Wärmedämmung

Dach:

- Flachdach ca. 4,3 m ü. GOK zzgl. Aufbauten (Zeppelingasspeicher und Containermodule für Gastechnik, Wärmeverteilung und Schaltraum)
- Wärmedämmung und Dichtbahn
- Absturzsicherung durch umlaufendes Geländer

Tore, Türen:

- Stahltor vor jedem Tunnel; gasdicht schließend; Öffnen und Schließen manuell, Abmessungen: ca. 5,15 m x 4,10 m

Treppen:

- 1 Innentreppe zum Außenbereich über den Fermentertunneln
- 1 Außentreppe zum Außenbereich über den Fermentertunneln

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

Variante 2 sieht eine kontinuierliche Vergärung im Pfropfenstromverfahren vor. Der liegende Pfropfenstromfermenter wird südlich der Anliefer- und Voraufbereitungshalle errichtet. Die endgültigen Baukenndaten des Pfropfenstromfermenters können erst nach der Auswahl des Herstellers angegeben werden.

Baukenndaten liegender Pfropfenstromfermenter:

- Außenmaße Fermenter exkl. Begehung und Rohrleitungen:
- Breite: ca. 10,0 m
- Länge: ca. 40,0 m
- mittlere Höhe: ca. 10,0 m

Gründung:

- Die Gründung erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

Fermenterbauwerk:

- Beton für die Bodenplatte: C30/37 gemäß der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“
- Beton für die Außenwände: C30/37 gemäß der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“

Fassade:

- Trapezblechverkleidung mit Wärmedämmung
- Stahlunterkonstruktion

Dach:

- Das Dach des Fermenterbauwerks wird aus Stahlbeton bzw. einer Stahlhaube hergestellt. Es ist gedämmt und mit Dachfolienbahnen abgedichtet. Ggf. wird das Dach mit einer Kiesschüttung versehen.
- Breite: ca. 10,0 m
- Länge: ca. 40,0 m
- Firsthöhe: ca. 10 m über GOK
- Traufhöhe: ca. 10 m über GOK

Treppen:

- 1 Außentreppe zum Obergeschoss als Stahlkonstruktion mit Gitterrosten

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

4.2.4 Kompostierungsanlage

Das Gebäude der bestehenden Kompostierungshalle bleibt erhalten und wird nur in Teilbereichen an die neue Nutzung angepasst. Hierzu gehören die Schaffung von neuen Durchfahrten, der Rückbau von Teilbereichen wie der vorhandenen Voraufbereitung, der bestehenden Biofilter und in Variante 2 dem Wartungsgang und Einrichtungen, die sich parallel zu den bestehenden Tunneln befinden. Außerdem wird die bestehende Anlage für die weitere Nutzung ertüchtigt. Zur Ertüchtigung zählen Betonarbeiten, die Erneuerung der gesamten elektrotechnischen sowie Lüftungstechnischen Steuerung der Tunnelkompostierung und alle weiteren Arbeiten, die zur Sanierung erforderlich sind. Zudem erfolgt ein Ausbau der bestehenden Tunnelkapazität von 11 auf 14 Rottetunnel (Variante1) bzw. 17 Rottetunnel (Variante 2).

Das Bauwerk wird als Kompostierungsanlage bezeichnet und gliedert sich in die Abschnitte Tunnelkompostierung mit Tunnelvorhalle und Feinaufbereitung inklusive Lagerbereich. Die Feinaufbereitung wird im westlichen Teil der Halle errichtet, die zuvor ausschließlich als Lagerfläche genutzt wurde.

Gemäß Anforderungen der TA-Luft für Anlagen zur Erzeugung von Kompost aus organischen Abfällen (TA-Luft Nr. 5.4.8.5) sind die Tunnelkompostierung sowie die Feinaufbereitungshalle mit den Zwischenlagerbereichen geschlossen ausgeführt.

Kompostierungstunnel:

- Bestand: 11 Stück
- Erweiterung Variante 1: 3 Stück
- Erweiterung Variante 2: 6 Stück
- Anordnung: in Linie in Fortführung zum Bestand
- Innenmaße Einzeltunnel: Breite ca. 5,0 m, Länge ca. 30,00 m
- Lichte Höhe ca. 4,0 m

Gründung:

- Die Gründung erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

Tunnelbauwerk:

- Außenwände bzw. Zwischenwände sowie die Decke der Kompostierungstunnel werden als Stahlbetonkonstruktion gefertigt
- Stahlbeton für die Bodenplatte

Unterkellerung Tunnelbauwerk:

- Belüftungsboden aus Stahlbeton mit einbetonierten, mit Düsen besetzten Belüftungsrohren

Außenwände:

- Betonsockelwände und Ortbetonwände (Bestand)

Innenwände:

- Trapezblechwände motiert an Stützen (Bestand)
- Anschüttwände aus Beton mit Stahlbeplankung als Schleißblech, Anschüttwände aus Stahlbetonblocksteinen mit Stahlbeplankung als Schleißblech
- Trapezblechwände zur Abtrennung des Bereichs oberhalb der Tunnel

Fassade:

- Trapezblechverkleidung mit und ohne Wärmedämmung
- Lichtbänder

Tore, Türen:

- Stahltor vor jedem Tunnel; dicht schließend; Öffnen und Schließen manuell, Abmessungen: ca. 5,10 m x 4,10 m
- 3 Außentore
- 2 Wartungstore
- Fluchttüren aus Stahl mind. 1,00 m x 2,20 m

Treppen:

- Treppe zum Bereich über den Tunneln als Stahlkonstruktion mit Gitterrosten
- Treppen zur Begehung der Maschinenteknik

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

4.2.5 Ammoniumsulfatbehälter

Im Ammoniumsulfatbehälter wird Ammoniumsulfat zwischengespeichert, welches bei der Wäsche der Hallenabluft anfällt.

Baukenndaten:

- Doppelwandiger Flachbodenbehälter aus PE-HD oder Stahl gemäß WHG mit DIBt-Zulassung
- Nutzvolumen: ca. 30 m³

Gründung:

- Die Gründung des Ammoniumsulfatbehälters erfolgt auf einer Stahlbetonplatte gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

Aufstellfläche:

- Bodenplattenstärke gemäß statischen Vorgaben

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100 für die Pumpensteuerung

4.2.6 Schwefelsäurebehälter

Im Schwefelsäurebehälter wird Schwefelsäure, die für die Wäsche der Hallenabluft benötigt wird, zwischengespeichert.

Baukenndaten:

- Doppelwandiger Flachbodenbehälter aus PE-HD oder Stahl gemäß WHG mit DIBt-Zulassung
- Innendurchmesser: ca. 2,80 m
- Lichte Bauhöhe: ca. 5,50 m
- Nutzvolumen: ca. 30 m³

Gründung:

- Die Gründung des Schwefelsäurebehälters erfolgt auf einer Stahlbetonplatte gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

Aufstellfläche:

- Bodenplattenstärke gemäß statischen Vorgaben

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100 für die Pumpensteuerung

4.2.7 Tank-, Wasch- und Abfüllplatz

Der Tank- Wasch- und Abfüllplatz wird zum Betanken der Radalder, zum Befüllen bzw. Entleeren des Schwefelsäurebehälters und des Ammoniumsulfatbehälters und zum Reinigen von Fahrzeugen genutzt. Der Platz wird in räumlicher Nähe zum Schwefelsäure- und Ammoniumsulfatbehälter an der südwestlichen Ecke der Kompostierungshalle errichtet. Direkt an dem Platz werden eine Tanksäule und ein Dieseltank vorgesehen sowie ein Lagerschrank zur Aufbewahrung der Reinigungshilfsmittel.

Baukenndaten Abfüllplatz:

- Breite: ca. 14,00 m
- Länge: ca. 8,00 m

Abfüllplatz mit Auffangwanne bzw. Tragwanne:

- aus nicht rostendem Stahl oder Stahlbeton, beständig gegen WGK I
- überfahrbarer Gitterrost
- Anschlüsse für Schwefelsäure, Ammoniumsulfatlösung, Diesel
- Spritzschutzwand
- Havarieschacht mit Absperrschieber
- Koaleszenzabscheider
- Oberflächenwasser wird gefasst und in dem Schmutzwassersystem zugeführt

4.2.8 Perkolatspeicher

In Variante 1 wird ein Perkolatspeicher benötigt, in dem das Perkolat aus den Fermentertunneln zwischengespeichert werden kann. Das Perkolat wird aus den Tunneln über einen zwischengeschalteten Schlammfang in den Perkolatspeicher gepumpt.

Der Perkolatspeicher hat ein Speichervolumen von ca. 400 m³. Der Speicherbehälter wird doppelwandig und AwSV-konform errichtet. Die AwSV-Konformität muss mit einem externen AwSV-Gutachter in der Entwurfsplanung abgestimmt werden.

Abmessungen:

- Breite: ca. 14,00 m
- Länge: ca. 8,00 m
- Höhe: ca. 4,3 m

4.2.9 Biogasspeicher

Der Gasspeicher dient der Zwischenspeicherung des im Fermenter produzierten Biogases. Der Biogasspeicher unterscheidet sich im Hinblick auf Bauart, Speichervolumen und Position in den beiden Varianten.

Variante 1 sieht einen Zeppelingasspeicher vor, der auf dem Dach der Fermentertunnel errichtet wird. Für die Speicherung des Biogases ist ein Volumen von 1.410 m³ erforderlich.

Baukenndaten Zeppelingasspeicher:

- Maße Gasspeicher:
- Länge: ca. 30,0 m
- Breite: ca. 20,0 m
- Höhe: ca. 5,0 m
- Nettovolumen: ca. 1.500 m³

Bauwerk des Gasspeichers:

- Doppelmembran-Dach, aus beidseitig PVC-beschichtetem, schwer entflammbarem Polyestergewebe
- Der Gasspeicher wird bspw. mit Stahlprofil-Klemmleisten auf einem Betonsockel auf den Fermentertunneln installiert.

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

Variante 2 sieht die Errichtung eines freistehenden, als $\frac{3}{4}$ -Kugel ausgeführten Doppelmembranspeichers vor. Beide Membranen bestehen beispielsweise aus beidseitig PVC-beschichtetem Polyestergewebe. Für die Speicherung des Biogases ist ein Volumen von 1.650 m³ erforderlich. Die endgültigen Baukenndaten des Biogasspeichers können erst nach der Auswahl des Herstellers angegeben werden.

Baukenndaten freistehender Gasspeicher (3/4-Kugel):

- Maße Gasspeicher:
- Durchmesser: ca. 16,0 m
- Höhe: ca. 12,0 m
- Nettovolumen: ca. 1.800 m³

Gründung:

- Gründung erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben

Bauwerk des Gasspeichers:

- Doppelmembran-Dach, aus beidseitig PVC-beschichtetem, schwer entflammbarem Polyestergewebe
- Der Gasspeicher wird mittels Befestigungsringen aus Edelstahl auf der Betonbodenplatte befestigt.

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

4.2.10 Biogasaufbereitung

Bei der Biogasaufbereitung wird ein zweistufiges Konzept eingesetzt. Nach der Biogasproduktion im Fermenter wird es einer chemisch/biologischen Vorentschwefelung zugeführt. Anschließend wird das Biogas in dem Gasspeicher zwischengespeichert. Vor der Verstromung im BHKW wird das Biogas entfeuchtet und einer Reinigung mittels Aktivkohle unterzogen.

Baukenndaten Entschwefelung:

- Biogasfiltermodul, Material PE100
- Außenmaße des Biogasfiltermoduls:
- Durchmesser: ca. 2,80 m
- Höhe: ca. 3,50 m

Baukenndaten Aktivkohleabsorber:

- Aktivkohleabsorber, Material Stahl, mit Wärmeschutzisolierung mit Mineralwolle und Alu-Zink-Verblechung
- Außenmaße des Aktivkohleabsorbers:
- Durchmesser: ca. 1,90 m
- Höhe: ca. 7,00 m

Gründung:

- Die Gründung erfolgt auf Fundamenten gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

4.2.11 Blockheizkraftwerke

Die Verstromung des entschwefelten und getrockneten Biogases erfolgt in 2 Blockheizkraftwerken. Die Blockheizkraftwerke werden in Fertigcontainermodulen geliefert.

Baukenndaten:

- Anzahl: 2 Fertigcontainermodule
- BHKW 1 1.000 kW
- BHKW 2 600 kW
- Außenmaße eines Fertigcontainers:
- Gesamtbreite: ca. 3 m
- Länge: ca. 13 m
- Höhe: ca. 2,6 m

Gründung:

- Die Gründung erfolgt auf Fundamenten gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben.

4.2.12 Schalträume

Die Schalträume dienen der Aufnahme der Steuerungstechnik der Vergärungs- und Kompostierungsanlage. Die Schalträume werden als Fertigcontainer aufgestellt. Insgesamt werden drei Schalträume (Rottebelüftung, Aufbereitungstechnik und Vergärung) an strategischen Punkten errichtet.

Baukenndaten:

- 3 Container in Modulbauweise
- Breite: ca. 2,50 m
- Länge: ca. 6,00 m bis 8,00 m
- Höhe: ca. 3,00 m
- Alle Container erhalten entweder einen Doppelboden, eine Unterkellerung oder eine Aufständering zur Verteilung der Kabel, Höhe: mind. 0,5 m.

Gründung:

- Die Gründung erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben

4.2.13 Warte

Die Aufstellung der Warte erfolgt innerhalb der Anliefer- und Voraufbereitungshalle.

Baukenndaten:

- Außenmaße der Warte in Containerbauweise ca. 4,0 m x 7,4 m x 3,0 m (L x B x H)
lichte Raumhöhe ca. 2,5 m

Aufstellung:

- Die Warte wird auf dem Boden auf den Hallenboden aufgesetzt.

Türen:

- Stahl-Außentür: Türelement 1,00 m x 2,20 m, mit Wärmedämmung

Fenster:

- Kunststofffenster, ein- bzw. zweiflügelig, Dreh-Kipp-Beschlag, mit Isolierglas

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100

4.2.14 Übergabestation

Die Standortversorgung mit elektrischer Energie erfolgt derzeit über einen Anschluss an das 20 kV-Netz der MIT.N. Die vorhandene Übergabestation sowie der Transformator reichen für die Versorgung des Standorts nach der geplanten Anlagenerweiterung nicht mehr aus. Daher wird die bestehende Übergabestation durch eine neue Übergabestation ersetzt, deren Position am Standort etwas in Richtung des Zufahrtstors verschoben werden muss. Eine detaillierte Beschreibung des Konzepts für die Versorgung der erweiterten Vergärungs- und Kompostierungsanlage ist dem Kapitel 3.12 zu entnehmen. Die neue Übergabestation wird in Form einer Betonstation hergestellt und als Fertigmodul angeliefert.

Baukenndaten:

- Ausführung als Betonraumzelle (Fertigteil) mit Außenmaßen von ca. 12,0 m x 3,0 m x 3,0 m (L x B x H) zzgl. Kranösen, lichte Raumhöhe über dem Doppelboden ca. 2.5 m
- Betonwandstärke ca. 12 cm

Gründung:

- Die Gründung des Betonmoduls erfolgt gemäß baugrundtechnischen und statischen Vorgaben auf einem Feinplanum; Gründungsbene ca. 60 cm unter GOK.

Außenwände:

- Fertigbetonwände, keine Wärmedämmung
- Außenputz als Kunstharzputz

Innenwände:

- Trennwände als Fertigbetonwände

Dachkonstruktion:

- Betonwannenflachdach mit umlaufender Attika, Tropfkante und Vorsprung zum Gebäude
- Das Dachflächenwasser wird auf die Verkehrsfläche geführt

Türen:

- 2 Stahl- oder Aluminium-Außentüren ca. 1.350 x 2.250 mm (MS-Raum und NS-Raum), inkl. Lüftungsgitter
- 3 Stahl- oder Aluminium-Außentüren doppelflügelig ca. 1,10 m x 2,10 m (Trafozellen), inkl. Lüftungsgitter

Fenster:

- Keine

Boden:

Mittelspannungsraum und Niederspannungsraum:

- Doppelbodenanlage wasserfest verleimte Sperrholzplatte, Bodenbelastung 200 kg/m²
- Auslegung der begehbaren Flächen mit finnischen TWINN-Platten, mehrfach verleimt
- Grundgerüst aus Aluminium-Strangpressprofilen und verzinkten Stahlprofilen, mit höhenverstellbaren, verzinkten Stahlstützen, vorbereitet für den Einbau der Schaltanlagen

3 Trafoszellen:

- Betonwanne mit WHG-Beschichtung für Ölauffangraum
- Trafo-Fahrschienen, feuerverzinkt mit aufgeschweißter Spurbegrenzung und Auflagerkonstruktion
- Stahlstützen unter Trafofahrschienen bzw. Betonzwischenboden komplett mit Platinenkopf

Elektrotechnik:

- Installation nach VDE 0100
- Heizung über elektrische Wandkonvektoren, ausschließlich zum Frostschutz

Brandschutz:

- Feuerlöscher gemäß Brandschutzkonzept

Blitzschutz:

- Blitzschutzeinrichtungen und Fundamenterder

Wärmeschutz:

- Keine Wärmedämmung, Lüftungsgitter für Abführung der Verlustwärme der Transformatoren erforderlich

4.3 Infrastruktur, Tiefbau

4.3.1 Strom, Wasser, Telekommunikation, Datenaustausch

Strom

Zur Versorgung der Vergärungs- und Kompostierungsanlage mit elektrischer Energie wird die im Zufahrtsbereich vorhandene Übergabestation sowie der vorhandene Transformator der Kompostierungsanlage zurückgebaut. Gemäß den Beschreibungen Kapitel 3.12 wird im Zufahrtsbereich eine neue Übergabestation inkl. 3 Transformatoren zur Aufstellung kommen und dort an das vorhandene 20 kV-Mittelspannungskabel angeschlossen. Von dieser Station aus erfolgt die Verteilung auf der 400V-Niederspannungsebene.

Wasserversorgung

Die Versorgung des Betriebsgeländes mit Trinkwasser wird über die bestehende Brunnenanlage sichergestellt. Durch die Errichtung der Anliefer- und Voraufbereitungshalle wird die Brunnenanlage überbaut. Die Zugänglichkeit wird durch die Errichtung eines Schachtbauwerks gewährleistet. Von den beiden Anschlusspunkten wird eine neue Leitung zur Bioabfallbehandlungsanlage und zum Verwaltungsgebäude verlegt.

Löschwasserversorgung

Grundsätzliche Hinweise an die bereitzustellende Löschwassermenge ergeben sich nach dem Merkblatt W 405 der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Technisch-wissenschaftlicher Verein DVGW. Für Industriegebiete mit nicht gesamtheitlich feuerbeständiger, hochfeuerhemmenden oder feuerhemmenden Umfassungen ist ein Löschwasserbedarf von 192 m³/h vorgeschrieben. 2 h -> ca. 400 m³. Die detaillierte Betrachtung erfolgt durch den Brandschutzgutachter im Rahmen der Entwurfplanung.

Die Sicherstellung der Restlöschwassermenge hat im Umkreis/Radius von 300 m um ein Objekt zu erfolgen. Daraus folgt, dass die Lage der bestehenden Löschwasserzisterne den Vorschriften entspricht. Das Fassungsvermögen der Zisterne in Höhe von 300 m³ entspricht wahrscheinlich nicht den Anforderungen.

Die bestehende Zisterne wird wahrscheinlich zurückgebaut und ein neuer Löschwasservorlagebehälter gemäß DIN 14230 ist zu errichten. Die Lage des neuen unterirdischen Behälters liegt im Bereich der Verkehrsfläche und wird überfahrbar ausgebildet. Gegebenenfalls kann das vorhandene Löschwasservorhaltebecken (V= 300 m³) weiterhin genutzt werden und um ein weiteres unterirdisches Speicherbecken zur Niederschlagswasserfassung für die Bewässerung der Kompostierungstunnel (Rotte) und als Löschwasservorhaltebecken (V= 100 m³) erweitert werden. Dies wird im Rahmen der Entwurfsplanung mit dem Brandschutzgutachter abgestimmt.

Löschwasserrückhaltung

Die AwSV fordert, dass Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen so geplant, errichtet und betrieben werden müssen, dass die bei Brandereignissen austretende wassergefährdenden Stoffe, Lösch-, Berieselungs- und Kühlwasser sowie die entstehenden Verbrennungsprodukte mit wassergefährdenden Eigenschaften nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (§ 15 AwSV und Arbeitsblatt DWA-A 779) zurückgehalten werden müssen. Dies wird im Rahmen der Entwurfsplanung unter Einbeziehung des AwSV-Gutachtens betrachtet.

Zur Rückhaltung des Löschwassers ist unterhalb der nördlichen Umfahrung der Kompostierungshalle ein Rigolensystem vorgesehen. Das benötigte Volumen entspricht

maximal der im vorgehenden Abschnitt berechneten Menge des vorzuhaltenden Löschwassers.

Telekommunikation, Datenaustausch

Gemäß dem Ergebnis des Vor-Ort-Termins vom 24.06.2021 ist kein leistungsfähiger Telefonfestnetzanschluss am Standort vorhanden. Die Telekom wollte ISDN am Standort nicht mehr anbieten, daher wurde alternativ dazu eine spezielle ISDN-Lösung über einen Anschlusspunkt in Dillenburg realisiert.

Die LTE- bzw. 3G-Abdeckung ist am Standort gering bzw. in den meisten Bereichen des Standorts gar nicht vorhanden (teilweise im Halleninnern kein Mobilfunkempfang möglich). Es wäre zu prüfen, ob mit einer Antenne eine Verbesserung erzielt werden kann. Da den Anlagenlieferanten für Wartungs- und Servicezwecke spätestens zur Inbetriebnahme Ihrer Anlagentechnik ein Zugriff von außen einzurichten ist, müssen die bis Ende 2024 realisierbaren Möglichkeiten bewertet und ausgeschöpft werden.

4.3.2 Infrastruktur

Die Verkehrs- und Betriebsflächen der Vergärungs- und Kompostierungsanlage werden auf der Grundlage der Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaues (RStO 12) in Asphaltbauweise hergestellt.

Da im Bereich der Vergärungs- und Kompostierungsanlage fast ausschließlich langsam fahrender Verkehr auftreten wird, sind für die LKW vor allem die beim Fahren in engen Radien sowie bei Brems- und Anfahrmanövern auftretenden Scherkräfte für die Bemessung des Asphaltbaus maßgebend. Damit wird der Asphaltaufbau gemäß RStO 12 der Verkehrs- und Betriebsbereiche in der Belastungsklasse BK 3,2 (schwere Beanspruchung) wie folgt ausgeführt.

- 4 cm Asphaltdeckschicht
- 6 cm Asphaltbinderschicht
- 12 cm Asphalttragschicht
- 43 cm Frostschutzschicht

Zum umgebenden Gelände wird eine Läuferzeile in Verbindung mit einem Hochbord eingebaut. Für die Lieferung und den Einbau der Materialien werden die entsprechenden verkehrsbau technischen Vorschriften berücksichtigt.

4.3.3 Standortentwässerung

Der Standort der Kompostierungsanlage in Rabenau ist nicht an das öffentliche Entwässerungssystem angeschlossen. Anfallendes Niederschlagswasser wird zur Zeit über

einen namenlosen Graben in das Gelände nördlich des Anlagengeländes geleitet, wo es flächig in das Grundwasser versickert. Bei der aktuellen Planung soll diese Vorgehensweise in angepasster Form auch nach dem Bau fortgeführt werden.

Häusliches Abwasser des Verwaltungsgebäudes wird in einer Pflanzenkläranlage nördlich des Verwaltungsgebäudes gereinigt und anschließend östlich des Anlagengeländes versickert. Das Abwasser einer Toilette in der Kompostierungshalle wird zur Zeit in einer unterirdischen Abscheideanlage zwischengespeichert, regelmäßig mittels Saug- und Pumpfahrzeugen abgefahren und extern behandelt. Diese Vorgehensweise wird an die neuen Umstände angepasst.

Perspektivisch ist die Anbindung an das in ca. 2 km Entfernung entstehende Gewerbegebiet Lumda möglich. Im Zuge der Entwurfsplanung wird geprüft, ob ein kosteneffizienter Anschluss möglich ist.

Verkehrsflächenentwässerung

Als Grundlage für die Entwässerung des Standortes dient das DWA-Merkblatt M 153 „*Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser*“ (kurz: DWA-M 153). Gemäß dem Bewertungsverfahren nach DWA-M 153 ist zu prüfen, ob eine Regenwasserbehandlung vor der Einleitung ins Grundwasser (Versickerung) erforderlich ist.

Der Anlagenstandort befindet sich nicht in einem Trinkwassereinzugebiet. Das anstehende Grundwasser ist deshalb gemäß DWA Merkblatt M 153, Tabelle A.1a als Typ G12, „*Grundwasser außerhalb von Trinkwassereinzugebieten*“, mit 10 Gewässerpunkten (G) zu bewerten.

Die Verkehrsflächen sind gemäß DWA-M 153 Tabelle A.3 als Typ F6, „*Straßen und Plätze mit starker Verschmutzung, z. B. durch Landwirtschaft*“, mit 35 Abflussbelastungspunkten (B) zu bewerten. Die Abflussbelastung B des Regenwassers wird mit den Gewässerpunkten G verglichen. Ist B größer als G, so ist eine Notwendigkeit einer Regenwasserbehandlung erforderlich.

Die Abflussbelastung B setzt sich aus Einflüssen aus der Luft L_i und der Verschmutzung der befestigten Flächen F_i zusammen. Danach ergibt sich bezogen auf die Gesamtfläche eine Abflussbelastung für die Verkehrsflächen von $B = 22$.

22 Abflussbelastungspunkte (B) > 10 Gewässerpunkte (G), daher ist für das anfallende Niederschlagswasser der Verkehrsflächen eine Regenwasserbehandlung notwendig.

Um geeignete Behandlungsmaßnahmen auszuwählen, ist der maximal zulässige Durchgangswert $D_{\max} = G / B$ zu ermitteln. Dieser ergibt sich wie folgt: $D_{\max} = 10 / 22 = 0,45$. In der Tabelle A 4a des DWA-M 153 werden den unterschiedlichen Sedimentationsanlagen Durchgangswerte zugeordnet. Durch die Wahl einer geeigneten Sedimentationsanlage und

dem dazugehörigen Durchgangswert kann die Abflussbelastung B reduziert werden, so dass G unterschritten wird ($D \times B < G$).

Beispielsweise hat eine Sedimentation mit Dauerstau und einer Oberflächenbeschickung von max. $18 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ einen Durchgangswert von ca. 0,35, sodass die Anforderung erfüllt wird. Die Verkehrsflächen werden so profiliert und ausgebildet, dass das anfallende Niederschlagswasser über Borde und Einläufe gefasst und anschließend einer Behandlungsanlage zugeführt wird bevor die Versickerung erfolgt. Aufgrund des geringen Platzangebots wird eine unterirdische Sedimentationsanlage für die mechanische Reinigung projektiert.

Im Bereich der Kompost- und Grünschnittlagerfläche können Starkregenereignisse erhebliche Mengen Grob- und Feststoffe in den Verkehrsflächenentwässerungskanal spülen, die im weiteren Rohrnetz leicht zu Verstopfungen führen. Aufgründessen wird im Ablauf dieser Fläche eine zusätzliche, separate Behandlung des Abflusses in Form eines Lamellenklärs vorgesehen, der unterirdisch hergestellt wird.

Dachflächenentwässerung

Das auf den Dachflächen der Kompostierungsanlage anfallende Niederschlagswasser wird teilweise in Regenrückhaltebecken gesammelt und als Brauchwasser für die Tunnelbewässerung wiederverwendet. Über einen Notüberlauf sind diese Regenrückhaltebecken an den Dachflächenentwässerungskanal angeschlossen.

Das auf der Dachfläche der Anlieferhalle anfallende Niederschlagswasser wird zur Befüllung des neuen bzw. vorhandenen Löschwasserbehälters genutzt. Gleichmaßen ist auch die Löschwasserzisterne gemäß DIN 14230 mittels Überlauf an den neuen Dachflächenentwässerungskanal angeschlossen.

Das übrige Dachflächenwasser wird getrennt gefasst und anschließend dem gereinigten Verkehrsflächenwasser der bestehenden Zisterne zugeführt und über einen namenlosen Graben in das Gelände geleitet.

Häusliches Abwasser

Das häusliche Abwasser des Verwaltungsgebäudes sowie aus einer Toilette in der Kompostierungshalle soll weiterhin über eine Pflanzenkläranlage nördlich des Verwaltungsgebäudes gereinigt werden. Gemäß den heutigen Erkenntnissen muss die vorhandene Pflanzenkläranlage erweitert bzw. umgebaut werden. Das gereinigte Abwasser soll einer Versickerung zugeführt werden. Die genaue Auslegung dieser Pflanzenkläranlage wird erst im Rahmen der Entwurfsplanung vorgenommen.

Sonstige Entwässerung

Das anfallende Niederschlagswasser des neuen Wasch-, Tank- und Abfüllplatzes muss gemäß AwSV gesondert betrachtet werden, da an dieser Stelle mit allgemein wassergefährdender Stoffen nach AwSV umgegangen wird. Hierzu muss im Ablauf eine Abscheideanlage sowie ein Havarieschacht mit Absperrschieber vorgesehen werden. Das vorgereinigte Abwasser wird folgend dem Verkehrsflächenentwässerungskanal zugeführt.

Ebenso werden die neuen und teils bestehenden Pflasterflächen an das Verkehrsflächenentwässerungsnetz angeschlossen.

Sowohl bei der Variante 1 „Batch-Fermentation“ als auch bei der Variante 2 „Pfropfenstromfermentation“ sind Entwässerungsmaßnahmen vorzusehen:

Variante 1 „Batch-Fermentation“:

Damit kein Perkolat auf die Verkehrsflächen fließen kann, sind entsprechende Entwässerungsrinnen vorzusehen. Das Perkolat wird in den Prozess zurückgeführt.

Variante 2: „Propfenstromfermentation“:

Bei der Variante 2 wird das Niederschlagswasser von der Dach- und Verkehrsfläche im Bereich des Pfropfenstromfermenters zusammengeführt und in den Verkehrsflächenentwässerungskanal geleitet. Die Maschinen- und Fördertechnik befindet sich je nach Hersteller meist außerhalb des Fermenters, sodass im Bereich von Austragspumpen etc. Schmierstoffe bzw. Öle austreten können, die gemäß AwSV als allgemein wassergefährdend einzustufen sind. Daher ist im Ablauf der Flächen eine Abscheideanlage vorzusehen.

Die aktuelle Einleiterlaubnis sieht keine Nebenbestimmungen vor, die das Einleiten von Niederschlagswasser quantitativ/hydraulisch beschränken. Die zur Vorhaltung möglichen Löschwasser vorgesehenen unterirdischen Rigolenelemente haben jedoch für ein solches Szenario eine drosselnde Wirkung auf den Abfluss. Die genaue Drosselwirkung lässt sich gemäß DWA-A 117 „Bemessung von Rückhalteräumen“ in folgenden Planungsschritten bestimmen.

In Abbildung 43 ist das geplante Gesamtließbild des Standortes ohne Berücksichtigung des häuslichen Abwassers dargestellt.

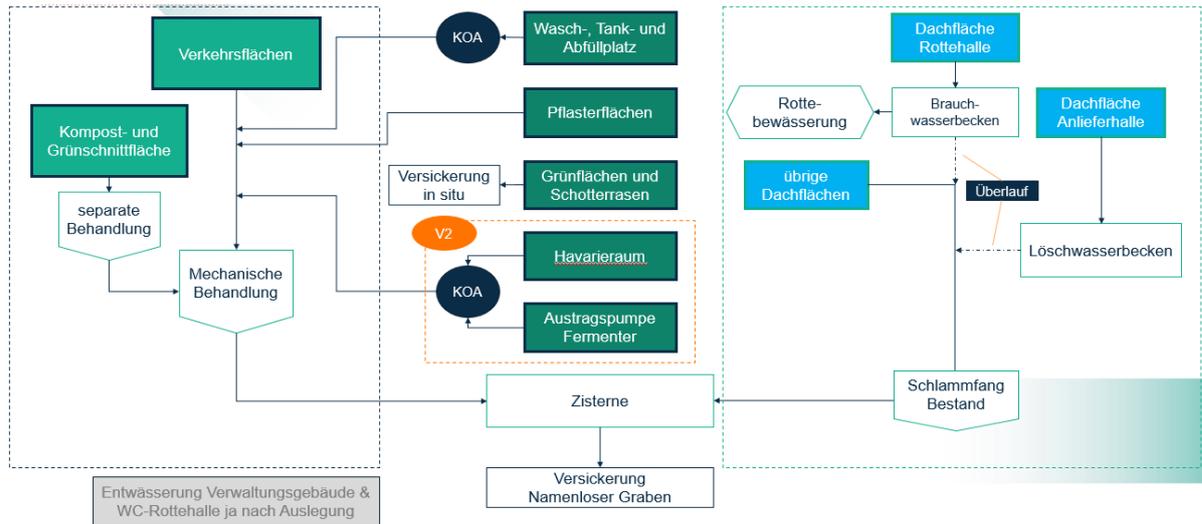


Abbildung 43: Gesamtließbild

Alle vorgenannten Maßnahmen müssen im Rahmen der folgenden Planungsschritte behördlich abgestimmt werden.

4.3.4 AwSV

Die sich für die Vergärungs- und Kompostierungsanlage aus der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) ergebenden Anforderungen werden im Rahmen der Entwurfsplanung mit dem dann einzuschaltenden Sachverständigen besprochen und diese insbesondere für den Fermenter und die Prozesswasserspeicherungen auch unter Hinzuziehung des Havarie-Konzeptes umgesetzt.

5 Kostenschätzung

Die Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten wurde für die Varianten 1 und Variante 2 durchgeführt und bildet den Kostenstand 15.03.2022 ab. Alle relevanten Parameter zur Ermittlung der Kapital- und Betriebskosten wurden im Vorfeld mit dem LKGI abgestimmt. Die wirtschaftlichen Betrachtungen entsprechen dem Kostenrahmen gemäß DIN 276. Das Vorgehen der Kostenschätzung, die Zusammenfassung der Ergebnisse und die abgestimmten Betriebskostenparameter werden im Folgenden vorgestellt.

5.1 Investitionskostenschätzung

Die Bauwerke wurden zur Ermittlung der Investitionskosten in Bauteilabschnitte zerlegt (wie z. B. Anliefer- und Voraufbereitungshalle, Fermentation, Rottehalle, Betriebsgebäude, Infrastruktur, Biofilter etc.) und einzeln kalkuliert. Für diese Bauteile erfolgte die Ermittlung von Einzelmassen und Bauteilen unter Berücksichtigung der Kostengruppen der DIN 276. Durch Hinterlegung mit Einheitspreisen wurden anschließend die Kosten ermittelt.

Die Berechnungen wurden mit pbo vorliegenden, aktuellen Ausschreibungsergebnissen abgeglichen. Die Preise für die mobile und fest installierte Maschinenteknik wurden im Wesentlichen auf Basis aktueller Preise aus anderen Projekten ausgewiesen. Kostenstand ist 02.2022. Bei Bedarf wurden auch hier Rücksprachen mit potentiellen Lieferanten der Aggregate oder Betreibern von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen geführt.

Übergeordnete Positionen, wie z. B. die erforderliche elektrotechnische Ausstattung der Maschinenteknik, wurden von uns anhand von Erfahrungswerten ergänzt. Im Bereich der Infrastruktur wurde eine detaillierte Massenermittlung durchgeführt.

Die einzelnen Investitionskostenpositionen der Varianten 1 (Batchfermentation) und Variante 2 (Pfropfenstrom-Fermentation) sind der nachfolgenden Kostenübersicht in Tabelle 12 zu entnehmen. Das Investitionsvolumen zur Errichtung einer Batch-Fermentation (Variante 1) beträgt rund 25,9 Mio. €. Die Realisierung einer Vergärungsstufe in Form einer Pfropfenstrom-Fermentation (Variante 2) bedarf Investitionen in Höhe von rund 26,3 Mio. €. Die Variante 1 bedarf eines größeren finanziellen Invests im Bereich der Kostenposition Bautechnik. Variante 2 weist aufgrund des höheren Technisierungsgrad größere Kosten im Bereich M&E-Technik auf. Im Vergleich der beiden Varianten zeigt sich, dass die Investitionskosten der Batch-Fermentation rund 385.770 € geringer als bei der Pfropfenstromfermentation sind.

Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Planungskosten in Höhe von 1.617.066,90 € vereinbart. Diese basieren auf den hinterlegten anrechenbaren Kosten der Angebotsanfrage. Ausschlaggebend für das Planungshonorar sind die in der Kostenberechnung, die am Ende der Entwurfsplanung (Leistungsphase 3) erstellt wird, ermittelten Projektkosten. Aus diesen werden die anrechenbaren Kosten abgeleitet. Unter Berücksichtigung der in der

Kostenschätzung (Leistungsphase 2) ermittelten Projektkosten haben wir das Planungshonorar abgeschätzt. Unter Beibehaltung der vertraglich vereinbarten Rahmenbedingungen ist das Planungshonorar mit rd. 2.7 Mio. € abzuschätzen.

Tabelle 12: Übersicht über die Investitionskosten

Pos.	Bezeichnung	Variante 1	Variante 2
<u>1</u>	Bautechnik	17.435.140 €	16.561.560 €
<u>2</u>	M&E-Technik	7.530.980 €	8.980.330 €
<u>3</u>	Mobiltechnik	780.000 €	590.000 €
<u>4</u>	Genehmigungskosten	173.000 €	173.000 €
	Summe (netto)	25.919.120 €	26.304.890 €

Zu diesen zusammengefassten Investitionskosten addiert sich das Planungshonorar in Höhe von rd. 2,7 Mio. € hinzu (sofern sich die in der Vorplanung ermittelten Kosten in der Entwurfsplanung verifizieren). Für Variante 1 sind die Projektgesamtkosten rd. 28,6 Mio. € (Variante 1) und 29,0 Mio. € (Variante 2). Die Gesamtinvestitionssumme variiert bei Wahl des Betreibermodells (z.B. anrechnen der Mobiltechnik, etc.) und stellt mit den zuvor benannten Werten eine Maximalabschätzung dar (Kostenstand 2022).

5.2 Statische Betriebskostenschätzung

Im Rahmen der Vorplanung wurde eine statische Betriebskostenschätzung angefertigt. Grundlage dieser sind die Betriebskostenansätze, die zwischen dem LKGI und pbo abgestimmt wurden. Wie auch für die Investitionskosten, beschreibt die folgende Betriebskostenschätzung den Kostenstand 15.03.2022.

Die statische Betriebskostenkalkulation liefert im Ergebnis einen spezifischen Behandlungspreis pro Tonne behandelten Bioabfalls.

Die statischen Betriebskosten setzen sich hauptsächlich aus den Kapitalkosten und Komponenten wie Personal, Energie, RWU, Materialkosten und Erlösen aus der Vermarktung des erzeugten Stroms zusammen.

Die Kapitalkosten ergeben sich aus der Abschreibungszeit und dem Zinssatz der Finanzierung. Aus den Betriebszeiten der mobilen Geräte ergibt sich zum einen der Verbrauch dieser Geräte an Dieselkraftstoff und Schmiermitteln. Zum anderen errechnet sich daraus der Mindestpersonalbedarf für die Bedienung der Mobilgeräte. Dieser Personalbedarf wurde um weitere Mitarbeiter, wie z. B. Betriebsleiter und Anlagenbediener, aufgestockt und an den wahrscheinlichen Bedarf der zukünftigen Vergärungsanlage des LKGI angepasst. Aus den erforderlichen Laufzeiten der fest installierten Maschinenteknik resultieren deren elektrische Energieverbräuche. Die anzusetzenden Kosten für Reparatur, Wartung, Unterhalt (RWU) basieren sowohl auf im Vorfeld abgestimmten Ansätzen als auch zusätzlich auf

Erfahrungswerten von pbo. So wurden z. B. für die Zerkleinerer höhere RWU-Kosten in Ansatz gebracht als für die übrige Maschinenteknik, da insbesondere die Werkzeuge von Zerkleinerern aufgrund von Verschleiß vergleichsweise hohe jährliche Kosten verursachen. Die Materialkosten beinhalten alle Absteuerungen von Produkt- und Fremdstoffen. Die Stromkosten werden nach dem Strompreis mit dem Stand 02.2022 und der Strommenge aus dem Verbrauch der Maschinenteknik berechnet.

In Abbildung 44 und Abbildung 45 sind die einzelnen Komponenten dargestellt. Insgesamt ergeben sich bei der Batch-Fermentation (Variante 1) statische Betriebskosten von 82,32 €/t und bei der Pfropfenstrom-Fermentation (Variante 2) statische Betriebskosten von 78,17 €/t. Die Minderkosten für die Behandlung des Bioabfalls durch Erweiterung der Kompostierungsanlage um eine Vergärungsstufe im Pfropfenstromverfahren betragen 4,15 €/t. Maßgeblich für den Kostenvorteil sind die höheren Erlöse aus der Vermarktung des Biogases, der geringere Personalbedarf und geringere Kosten für Entsorgung der Outputströme.

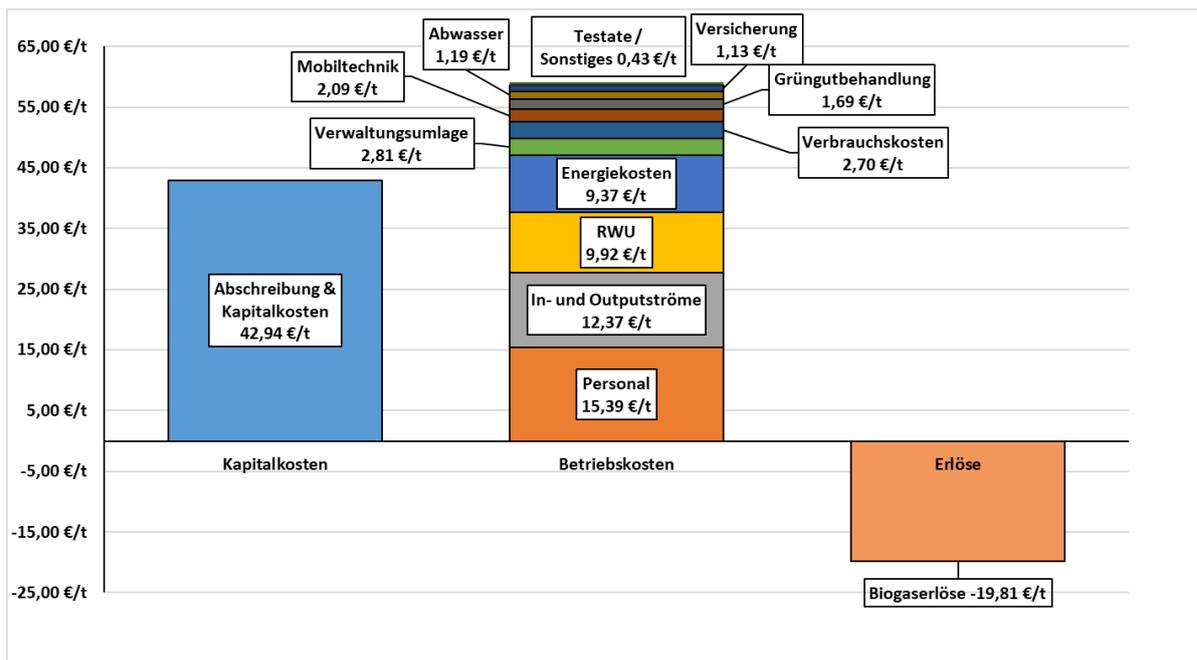


Abbildung 44: Zusammenfassung der statischen Betriebskostenbausteine (Variante 1)

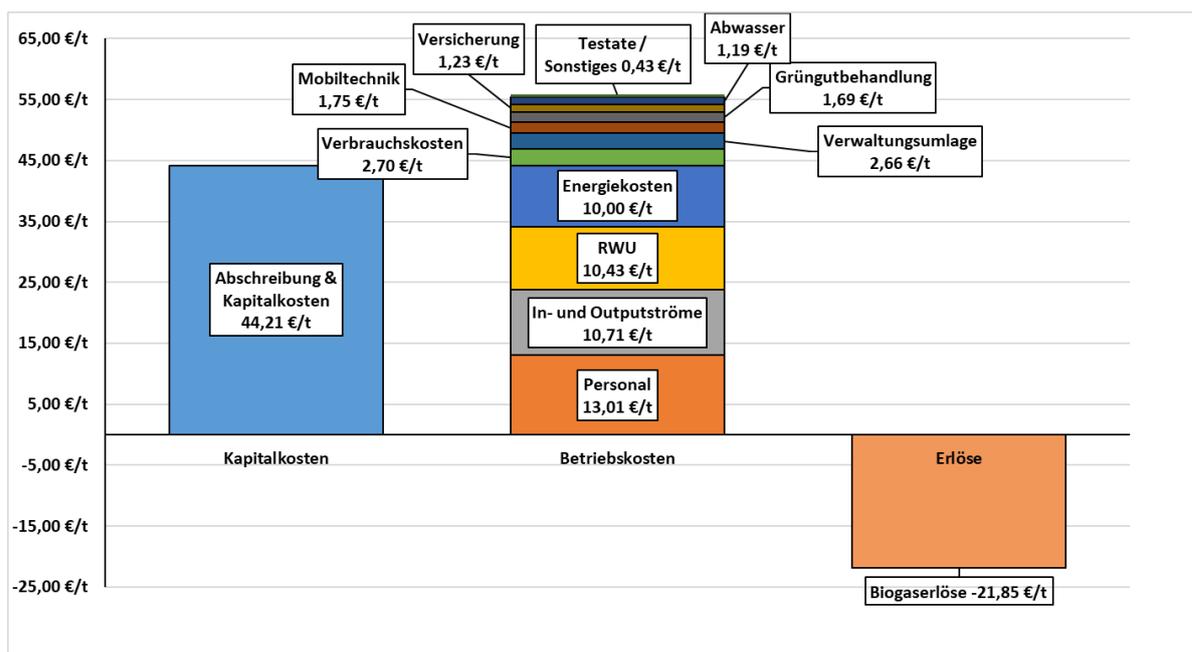


Abbildung 45: Zusammenfassung der statischen Betriebskostenbausteine (Variante 2)

Die Abschreibung und Kapitalkosten belaufen sich unter Berücksichtigung der abgeschätzten Planungskosten in Variante 1 auf 46,63 €/t und in Variante 2 auf 47,90 €/t.

5.3 Sensitivitäten

Für die Sensitivitätsbetrachtung der Betriebskostenschätzung wurden die Einzelkosten näher betrachtet. Nachfolgend werden Sensitivitäten vorgestellt, die einen relevanten Kostenpunkt darstellen und zugleich Volatilität aufweisen können. Die Sensitivitäten stellen die Auswirkungen auf den spezifischen Behandlungspreis (€/t) dar.

Gewählt wurden folgende Kostenpositionen:

- Gasproduktion
- Invest
- Personal
- Strompreis
- Zinssatz

Die Gasproduktion einer Vergärungsanlage hängt zum einen von dem gewählten Verfahren, zum anderen vom Gasbildungspotential des Inputmaterials ab. Dem LKGI liegen Untersuchungen zur potentiellen Methanausbeute des originären Bioabfalls vor, die dem Material ein sehr hohes Gasbildungspotential von im Mittel 160 Nm³/t nachweisen. Auf Grundlage von Erfahrungswerten wurde das Gasbildungspotential unter Berücksichtigung der Analysen abgeschätzt. In der Kostenschätzung wurden konservative Gaserträge von 85 Nm³/t für die Batch-Fermentation und 110 Nm³/t für die Pfpfenstromfermentation in Ansatz gebracht. Im Zuge der Sensitivitätsbetrachtung wurden für die Batch-Fermentation

Steigerungen bis 125 Nm³/t betrachtet und für die Pfpfenstromfermentation bis 150 Nm³/t, wobei in beiden Fällen das Erreichen der jeweils maximalen Gasausbeute als unwahrscheinlich eingeschätzt wird. Die Sensitivitäten sind in Abbildung 46 und Abbildung 47 dargestellt.

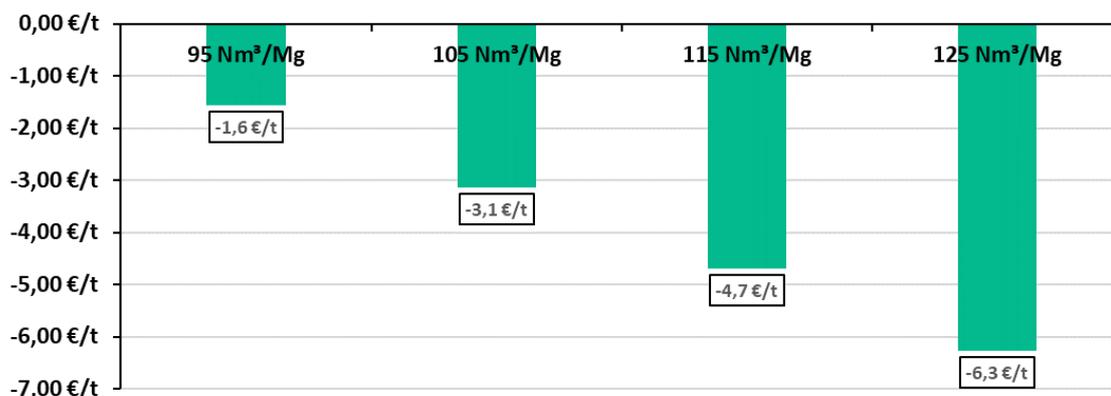


Abbildung 46: Sensitivität Gasbildungspotential Variante 1 (Batch-Fermentation)

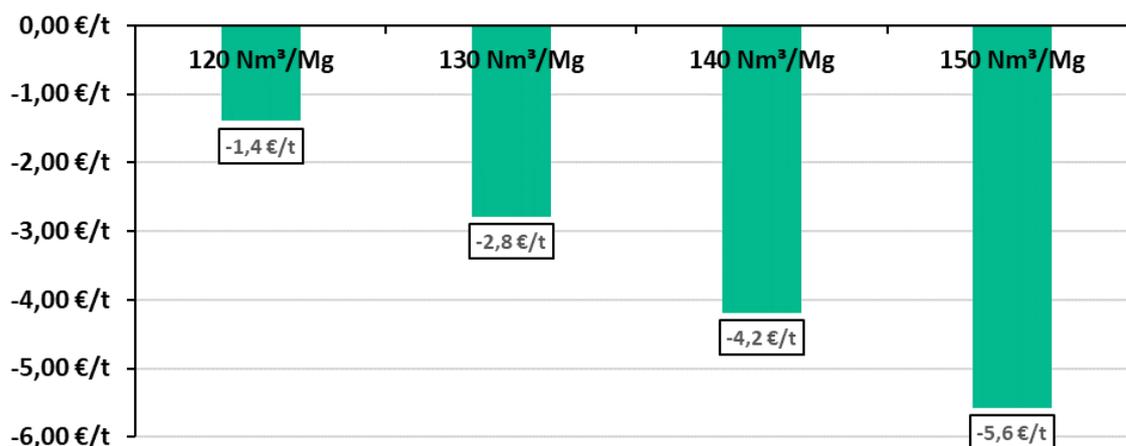


Abbildung 47: Sensitivität Gasbildungspotential Variante 2 (Pfpfenstrom-Fermentation)

Die Sensitivität Invest zeigt auf, welche Auswirkungen eine Mehr- oder Minderinvestition, differenziert nach Abschreibungsdauer, auf den Behandlungspreis (€/t) hat. Die Abschreibungsdauer von 12 Jahren repräsentiert eine Investition in Maschinentechnik, wohingegen über 25 Jahre üblicherweise bautechnische Komponenten abgeschrieben werden.

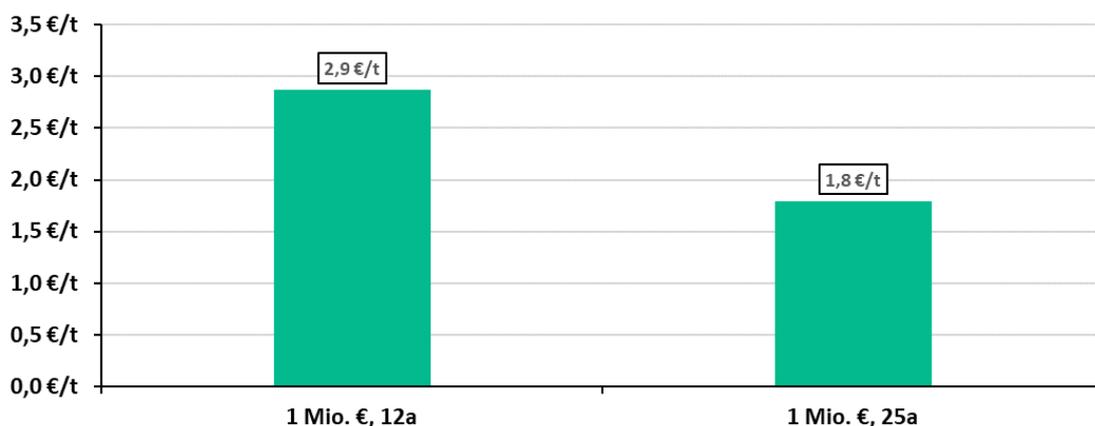


Abbildung 48: Sensitivität Invest

Die Sensitivität Personal stellt dar, welche Auswirkung die Beschäftigung eines Mitarbeiters mehr oder weniger auf die Behandlungskosten hat. Im Rahmen der Vorplanung wurde abgeschätzt, wie hoch der Personaleinsatz zukünftig sein könnte. Eine detaillierte Personalplanung erfolgt im Zuge der Entwurfsplanung. In Abbildung 49 ist diese Sensitivität am Beispiel eines Verdiensts von 53.000 €/a dargestellt.

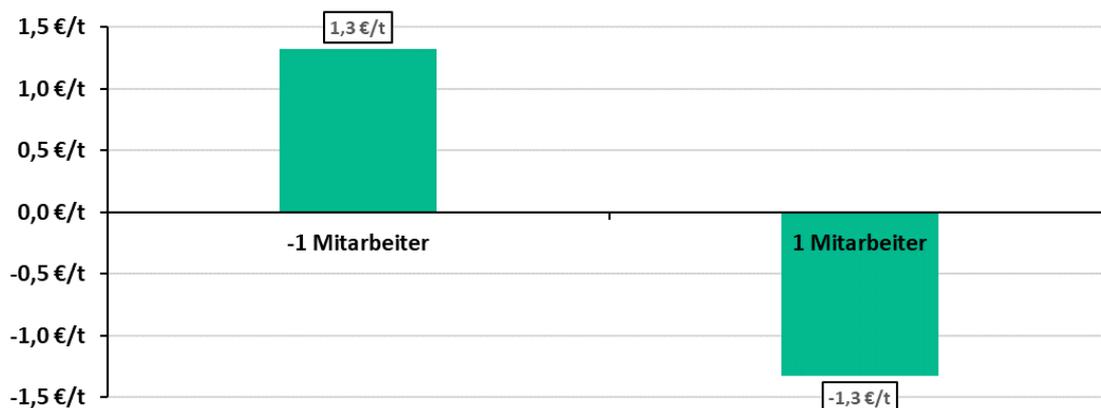


Abbildung 49: Sensitivität Personal

Eine Steigerung der Stromkosten wirkt sich aufgrund des hohen Energiebedarfs ebenfalls sichtbar auf die Behandlungskosten aus. Dargestellt ist eine Steigerung des Strompreises um jeweils 0,01 €/kWh gegenüber den vereinbarten, anzusetzenden 0,16797 €/kWh. Die Behandlungskosten sind in Abbildung 50 dargestellt und entwickeln sich linear zur Änderung des Strompreises.

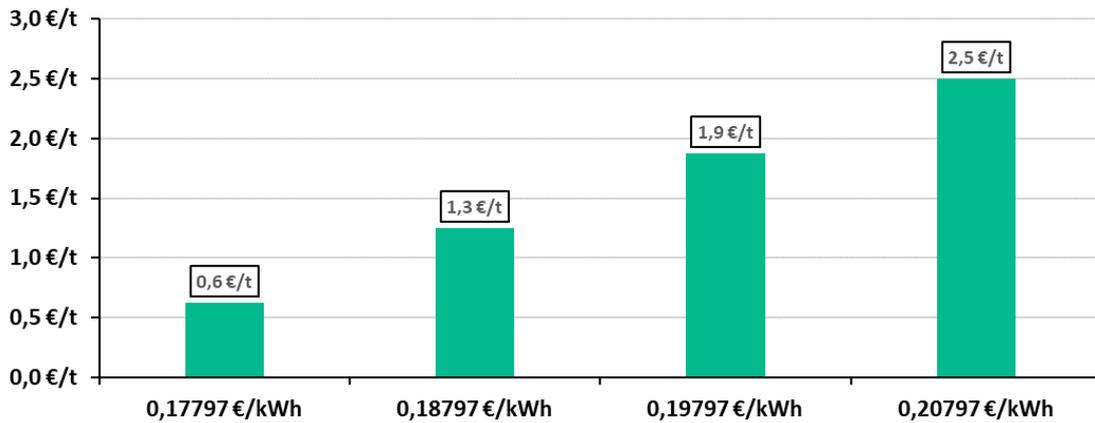


Abbildung 50: Sensitivität Strompreis

Die Sensitivität Zinssatz stellt eine Empfindlichkeit mit großem Hebel auf die spezifischen Behandlungskosten dar. Gemäß Vereinbarung zwischen pbo und KRGI wurde für die Kostenschätzung ein Zinssatz von 3 % in Ansatz gebracht. Abbildung 51 und Abbildung 52 stellen differenziert nach den Varianten 1 (Batch-Fermentation) und 2 (Pfropfenstromfermentation) die Auswirkungen auf die spezifischen Behandlungskosten bei Veränderung des Zinssatzes um $\pm 1,5$ %-Punkte dar.

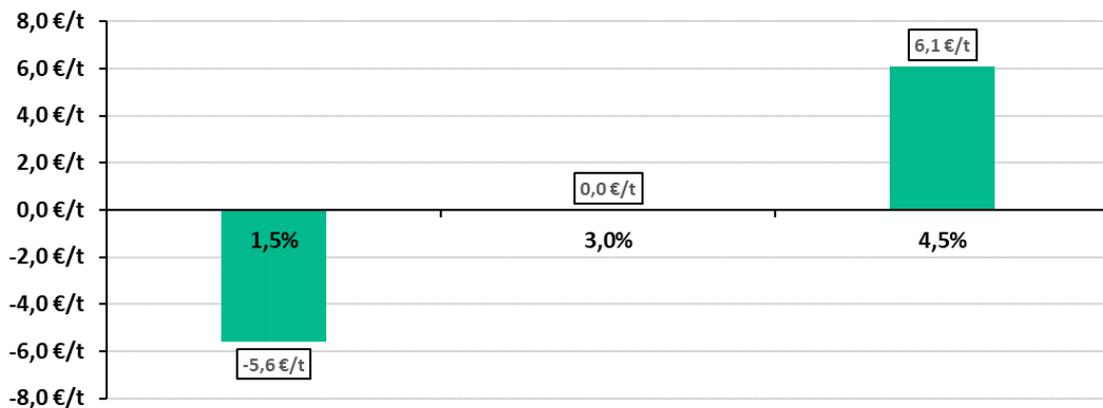


Abbildung 51: Sensitivität Zinssatz Variante 1

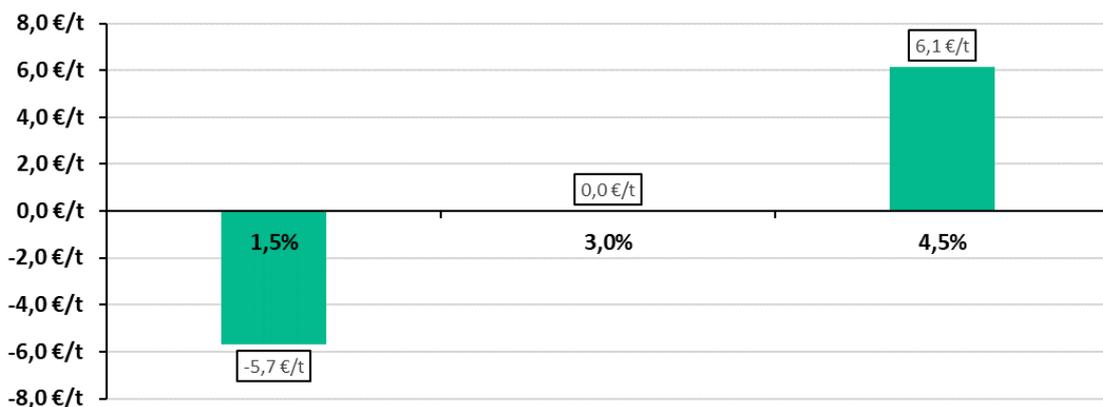


Abbildung 52: Sensitivität Zinssatz Variante 2

6 Empfehlung pbo

Auf der Basis unserer Vorplanung, die in diesem Bericht zusammengefasst ist, empfiehlt pbo unter Berücksichtigung der nachfolgend genannten Aspekte die Erweiterung des Kompostwerks um eine Vergärungsstufe im Pfropfenstromverfahren und somit den Einstieg in die folgenden Planungsphasen.

Der Gesamtanlageninput der Anlage beläuft sich zukünftig auf: 42.000 t/a Bioabfall und 6.000 t/a Grünabfall. Zwischen ca. 20.800 t/a (Variante 2) und ca. 22.200 t/a (Variante 1) Bioabfall werden der Fermentation zur Gewinnung von Biogas zugeführt. Der verbleibende Bioabfall, der Gärrest und das Strukturmaterial sowie der Grünabfall werden in der Intensivrotte zu Kompost verarbeitet. Das Strukturmaterial wird durch die Feinaufbereitung vom Kompost getrennt, von Störstoffen befreit und im Kreislauf geführt.

Für den Standort Rabenau wurden zwei Varianten untersucht, die Vergärung in einer Batch-Fermentation und die Vergärung in einer Pfropfenstrom-Fermentation. Für die Umsetzung beider Varianten wird das bestehende Kompostwerk ertüchtigt und erweitert. Wie sich dargestellt hat, ist der Gasertrag der Pfropfenstromfermentation höher, gleichzeitig der Betriebsaufwand und die Anzahl regelmäßig notwendiger Revisionenenszeiträume (s. Struvit) geringer.

Die spezifischen Behandlungskosten sind bei Pfropfenstromfermentation trotz eines höheren Invests geringer als bei der Batch-Fermentation.

Die Varianten sind tabellarisch in Tabelle 13 gegenübergestellt.

Tabelle 13: Variantenvergleich

Kriterium	Batch-Fermentation	Pfropfenstrom-Fermentation
Zusätzlicher Platzbedarf Anlieferung	ca. 3.920 m ²	ca. 2.780 m ²
Standortlogistik	Platz für Verkehrswege relativ gering	Ausreichend Platz für Verkehrswege
Neue Rottetunnel	3 Stück	6 Stück
Fermenterbeschickung	Radlader	Automatisiert über Kranbahn
Logistikaufwand Fermentation	Hoch	Niedrig
Fermenterbeschickung	Radlader	Automatisiert über Kranbahn
Wartungsaufwand	<ul style="list-style-type: none"> Anlagenstillstand in regelmäßigen Intervallen (Struvitbildung) Spülen der Leitungen Abbau des Struvits in Perkolatspeicher 	<ul style="list-style-type: none"> Kein Anlagenstillstand Wartungsarbeiten Eintrag und Austrag Lager Schmierien
Vollstrom-/Teilstromvergärung	Teilstromvergärung	Teilstromvergärung
Abwasserfreiheit	Ja	Ja
erwarteter Gasertrag	1,9 Mio. Nm ³	2,2 Mio. Nm ³
Investitionskosten/ Betriebskosten	25.919.120/ 82,32 €/t	26.304.890 € / 78,17 €/t
Gesamtinvestitionskosten inkl. Planung und Genehmigung	rd. 28,6 Mio. € / 86,00 €/t	rd. 29,0 Mio. € / 81,93 €/t

In der Vorplanung wurde vorzugsweise die Verstromung des Biogases in BHKW betrachtet und berücksichtigt. Gerade unter dem Eindruck der kurzzeitigen aktuellen Entwicklung am

Gas- und Energiemarkt, wird im Rahmen der Entwurfsplanung noch einmal betrachtet werden, ob eine Gasaufbereitung der Verstromung im BHKW vorzuziehen ist.

Auf Grundlage der vorherigen Ausführungen und der Unterlagen der Vorplanung, zusammengefasst in den nachfolgenden Punkten, wird die Errichtung einer Pfropfenstrom-Vergärungsanlage empfohlen.

- Behandlungskosten (höhere Biogaserlöse, weniger Personalaufwand, geringere Entsorgungskosten)
- Struvitproblematik des Perkolationsverfahrens
- Positive Erfahrung mit abwasserfreiem Betrieb bei vergleichbaren Anlagen
- Betriebsfreundlicher durch den höheren Grad der Technisierung/Automatisierung
- Geringerer Platzbedarf

Aufgestellt durch:

pbo Ingenieurgesellschaft mbH
Alfonsstraße 44
52070 Aachen

Aachen, 05.05.2022

gez. Dr. Grünbein