



Witzenhausen-Institut

Abschlussbericht

Erarbeitung und Bewertung von
Verwertungsalternativen für Gärreste aus
der Bioabfallvergärung am Beispiel der
Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal



Abschlussbericht

Erarbeitung und Bewertung von Verwertungsalternativen für Gärreste aus der Bioabfallvergärung am Beispiel der Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal

Auftraggeber

Abfallwirtschaftsgesellschaft
des Rems-Murr-Kreises mbH
Stuttgarter Straße 110
71332 Waiblingen



Auftragnehmer

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH
Werner-Eisenberg-Weg 1
37213 Witzenhausen
Telefon: 05542 9380-0
E-Mail: info@witzenhausen-institut.de



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des
Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Witzenhausen, 21. Januar 2016

Inhaltverzeichnis

1	Veranlassung und Projektdurchführung	8
1.1	Europäische und deutsche Gesetzgebung	8
1.2	Verfügbare Technik.....	8
1.3	Fragestellung und Zielsetzung	10
1.4	Projektdurchführung.....	12
2	Grundlagenermittlung am Standort	13
2.1	Ausbringung von Gärprodukten auf Grünland, Futterflächen und im Rahmen qualitätsgesicherter Landwirtschaft.....	13
2.2	Planungsdaten/Auslegung der Anlage	14
2.3	Betriebsdaten und Festlegung der Ausgangssituation.....	14
2.3.1	Stoffströme.....	14
2.3.2	Energiebilanzen	17
2.3.3	Weitere Daten	18
2.4	Ausgangssituation (Blockschema)	20
3	Untersuchte technische Konzepte und Verfahren	22
3.1	Übergreifende Ansätze zur Verminderung des Anfalls flüssiger Reststoffe	22
3.1.1	Abwassermanagement	22
3.1.2	Verminderung des Anfalls flüssiger Gärreste	24
3.2	Ansätze zur Optimierung der Gärrestverwertung	24
3.2.1	Mechanische Verfahren	25
3.2.2	Thermische Verfahren.....	26
3.2.3	Abwassertechnik.....	29
3.3	Anfragen Hersteller	30
3.4	Vorauswahl geeigneter Ansätze.....	31
3.5	Versuche Dekanter	32
3.6	Beispiele umgesetzter Konzepte.....	36
3.6.1	Gärresttrocknung Vergärungsanlage Leonberg.....	36
3.6.2	Teilstromvergärung	37
3.6.3	Solare Trocknung Passau	38
3.6.4	Dekantereinsatz Passau und Braunschweig	39

4	Technische Untersuchung der ausgewählten Varianten	41
4.1	Grundlagen der Variantenbetrachtung	41
4.2	Variante (0) - Zusätzliche Gärrestlager	42
4.3	Variante (1) - Sickerwasserkläranlage.....	45
4.4	Variante (2) - Solare Trocknung	48
4.5	Variante (3) - Teilstromvergärung	51
4.6	Variante (4) - Trommeltrocknung	54
4.7	Variante (5) - Eindampfung	57
5	Wirtschaftliche Betrachtung der Varianten	60
5.1	Berechnungsgrundlagen und Vorbemerkungen zu den wirtschaftlichen Betrachtungen	60
5.2	Wirtschaftlichkeit.....	61
5.2.1	Investitionskosten.....	61
5.2.2	Betriebs-/Entsorgungskosten	64
5.2.3	Erlöse und Synergien im Anlagenbetrieb	68
5.2.4	Behandlungskosten.....	68
5.3	Sensitivitätsbetrachtungen.....	70
5.3.1	Verwertungspreis für Flüssigdünger.....	71
5.3.2	Preis der Sickerwasseraufbereitung.....	72
5.3.3	Preis der Kondensatentsorgung.....	73
5.3.4	Erlöse für die Mitverarbeitung von externem Biogut	74
5.3.5	Wärmepreis.....	75
6	Ökologische Betrachtung	76
7	Fazit und Empfehlung	80
8	Anhänge	82
8.1	Literatur	82
8.2	Daten aus den Dekanter-Versuchen	83
8.3	Auslegungsdaten für die Stoffströme der untersuchten Varianten.....	85

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Eingesetzte Vergärungstechnik in deutschen Bioabfallvergärungsanlagen Quelle: /4/	9
Abb. 2:	Luftaufnahme und Funktionsbereiche der Bioabfallvergärungsanlage Backnang (links unten: Gelände des Klärwerks mit Klärschlamm-trocknungsanlage)	11
Abb. 3:	Roher Gärrest (TS 22 % - 25%) vom Fermenteraustrag der Anlage in Backnang.....	14
Abb. 4:	Gegenüberstellung der In- und Outputströme	15
Abb. 5:	Monatliche Wärmeverbräuche	18
Abb. 6:	Analyse vom festen Gärrest und Probenahme im Dezember 2014	19
Abb. 7:	Trockensubstanzgehalte im Kompost der Anlage Backnang von 2011 bis 2014.....	20
Abb. 8:	Fließschema Ausgangssituation 2015+.....	21
Abb. 9:	Skizzierung des Ersatzes von Brauchwasser durch dekantierten flüssigen Gärrest.....	23
Abb. 10:	Dekanter für flüssigen Gärrest/Abwurf Dekanterkuchen	23
Abb. 11:	Konzeptionelle Darstellung der Teilstromvergärung bei Pfropfenstromanlagen.....	24
Abb. 12:	Übersicht der betrachteten technischen Lösungsansätze	25
Abb. 13:	Dekanter (Quelle Grafik: Fa. GEA Westfalia) (Foto Witzenhausen-Institut: Dekanter vor einer Eindampfung)	26
Abb. 14:	Grundlegende Zusammenhänge zur Erhöhung des TS-Gehalts von Gärresten /8/	27
Abb. 15:	Schema Bandtrockner (Quelle: Firma Dorset) und Bandtrockner der Biogutvergärungsanlage Leonberg	28
Abb. 16:	Trommeltrockner (Quelle: Firma Dörfler).....	28
Abb. 17:	Schema der solar unterstützten Gärresttrocknung (Quelle: Thermo-System)	29
Abb. 18:	Versuchsaufbau	33
Abb. 19:	(v.l.n.r.) Dekanterkuchen und Fugat nach Versuch sowie Schleudertest flüssiger Gärrest und Fugat ohne FHM sowie mit stärkebasiertem und synthetischem FHM	34
Abb. 20:	TS-Gehalte von Gärrest, Fugat und Dekanterkuchen	35
Abb. 21:	Massenverteilung der In- und Outputströme bei unterschiedlichem Einsatz von Flockungshilfsmitteln (FHM)	36
Abb. 22:	Bandtrockner in Leonberg.....	37
Abb. 23:	Vergärungsanlage Hengelo; Quelle: OWS.....	38
Abb. 24:	Befüllung der solaren Trocknung mit flüssigem Gärrest (links) und Bearbeitung mit „elektrischem Schwein“ (rechts); Quelle: Thermo-System ...	39

Abb. 25:	Solare Trocknung in der Anlage in Passau: Gewächshaus mit Ventilatoren (links), gekapselter Abwurf für das Outputmaterial (rechts)	39
Abb. 26:	Dekanter in der Anlage in Passau	40
Abb. 27:	Stoffstrom zur "Nullvariante"	43
Abb. 28:	Aufstellungsskizze zu Variante "0" - Neubau zusätzlicher Gärrestlager	44
Abb. 29:	Fließbild zu Variante 1 – Sickerwasserkläranlage	46
Abb. 30:	Aufstellungsskizze zu Variante 1 - Sickerwasserkläranlage	47
Abb. 31:	Fließbild zu Variante 2 - Solare Trocknung	49
Abb. 32:	Aufstellungsskizze zu Variante 2 - Solare Trocknung	50
Abb. 33:	Fließbild zu Variante 3 - Teilstromvergärung	52
Abb. 34:	Aufstellungsskizze zu Variante 3 - Teilstromvergärung	53
Abb. 35:	Fließbild zu Variante 4 - Trommeltrocknung	55
Abb. 36:	Aufstellungsskizze zu Variante 4 - Trommeltrocknung	56
Abb. 37:	Fließbild zu Variante 5 - Eindampfung	58
Abb. 38:	Aufstellungsskizze zu Variante 5 - Eindampfung	59
Abb. 39:	Investitionskostenschätzung für die betrachteten Varianten	63
Abb. 40:	Schätzung der spezifischen Kapitalkosten	64
Abb. 41:	Schätzung der spezifischen Betriebs- und Entsorgungskosten	67
Abb. 42:	Schätzung der spezifischen Behandlungskosten inkl. der kostenmindernden Einflüsse	69
Abb. 43:	Steigerung der Behandlungskosten bezogen auf den Gesamtinput von 40.000 Mg/a der Gesamtbehandlungskosten	70
Abb. 44:	Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Verwertungspreis für Flüssigdünger	71
Abb. 45:	Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Preis der Sickerwasseraufbereitung	72
Abb. 46:	Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Preis der Kondensatentsorgung	73
Abb. 47:	Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit von den Erlösen für die Mitverarbeitung von externem Biogut	74
Abb. 48:	Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Wärmepreis	75
Abb. 49:	Stoffstrom zur Variante 1 - Sickerwasserkläranlage	85
Abb. 50:	Stoffstrom zur Variante 2 - Solare Trocknung	86
Abb. 51:	Stoffstrom zur Variante 3 - Teilstromvergärung	87
Abb. 52:	Stoffstrom zur Variante 4 - Trommeltrocknung	88
Abb. 53:	Stoffstrom zur Variante 5 - Eindampfung	89

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zusammenstellung und Übersicht der Anlagendaten – In- / Outputmengen	16
Tab. 2:	Zusammenstellung und Übersicht der Anlagendaten – Elektrische und thermische Leistung.....	17
Tab. 3:	Abschätzung der anfallenden Wassermengen am Standort Backnang (Annahme: 800 mm Niederschlag).....	19
Tab. 4:	Anfragen Hersteller	30
Tab. 5:	Bewertungsmatrix aus dem Zwischenbericht zur Vorauswahl der Varianten	31
Tab. 6:	Variantenauswahl aufgrund der Bewertungsmatrix und zusätzlicher Überlegungen	32
Tab. 7:	Übersicht der betrachteten Variantenauswahl.....	41
Tab. 8:	Kostenschätzung Gärrestbehandlung Backnang – Stoffströme.....	61
Tab. 9:	Auflistung der wesentlichen erforderlichen Investitionsmaßnahmen und Zuordnung zu den Kostengruppen (DIN 276) sowie Grundlagen der Kapitalkostenschätzung	62
Tab. 10:	Kalkulation der Investitionskosten – Zusammenstellung der berücksichtigten Kostenpositionen in Anlehnung an die DIN 276.....	63
Tab. 11:	Auflistung der wesentlichen Ansätze zur Abschätzung der Betriebs- und Entsorgungskosten	65
Tab. 12:	Schätzung der Betriebs- und Entsorgungskosten.....	67
Tab. 13:	Schätzung der Erlöse und monetärer Effekte durch die Verbesserung der Kompostierung.....	68
Tab. 14:	Schätzung der Behandlungskosten für 19.000 m ³ flüssigen Gärrest	69
Tab. 15:	Steigerung der Behandlungskosten bezogen auf den Gesamtinput von 40.000 Mg/a der Gesamtbehandlungskosten.....	70
Tab. 16:	Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang (Teil 1).....	78
Tab. 17:	Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang (Teil 2).....	79
Tab. 18:	Analyseergebnisse für Fugat (ohne FHM).....	83
Tab. 19:	Analyseergebnisse für Fugat (mit stärkebasiertem FHM).....	83
Tab. 20:	Analyseergebnisse für Dekanterkuchen (mit stärkebasiertem FHM)	84
Tab. 21:	Analyseergebnisse für Fugat (mit synthetischem FHM)	84

1 Veranlassung und Projektdurchführung

Die Abfallwirtschaftsgesellschaft des Rems-Murr-Kreises mbH (AWG) betreibt seit 2011 eine integrierte Vergärungs- und Kompostierungsanlage für kommunale Bioabfälle. Die Anlage erfüllt hinsichtlich wesentlicher Parameter (z. B. Durchsatz, Energieerzeugung, Behandlungskosten etc.) die Erwartungen des Betreibers. Allerdings führt der unerwartet hohe Anfall an flüssigen Gärresten in Verbindung mit steigenden rechtlichen Anforderungen und verhaltener Abnahmebereitschaft für den Flüssigdünger in der Landwirtschaft zu Herausforderungen. Die AWG beauftragte das Witzenhausen-Institut mit der Untersuchung technischer Lösungsansätze. Wegen des übergeordneten Interesses an dieser Fragestellung gewährte das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg eine Förderung. Zusammen mit den Ergebnissen der Praxisuntersuchungen an einer weiteren Bioabfallvergärungsanlage in Baden-Württemberg werden die Ergebnisse für einen Leitfaden aufbereitet und publiziert (voraussichtlich erste Jahreshälfte 2016).

1.1 Europäische und deutsche Gesetzgebung

Gemäß den im § 11 des novellierten KrWG formulierten Anforderungen sind ab 01.01.2015 überlassungspflichtige Bioabfälle (gemäß § 3 [7]: Grüngut, Biogut einschließlich Küchen- und Nahrungsabfälle sowie Landschaftspflegeabfälle) getrennt zu erfassen. Im Sinne einer möglichst hochwertigen Verwertung (§ 6 KrWG) ist eine energetisch-stoffliche Kaskadennutzung durch Vergärung in Verbindung mit einer Kompostierung fester Gärreste anzustreben (siehe auch EEG § 27a bzw. § 45 in der EEG-Novellierung).

1.2 Verfügbare Technik

Für die Vergärung (überlassungspflichtiger) kommunaler Bioabfälle,

- vor allem Bioabfälle aus privaten Haushalten (AVV 20 03 01, nachfolgend als „Biogut“ bezeichnet) sowie
- in geringem Umfang auch Garten- und Parkabfälle aus privaten Haushalten (AVV 20 02 01, nachfolgend als „Grüngut“ bezeichnet)

kommen in Deutschland nach einer aktuellen Untersuchung /4/ hauptsächlich Boxen- und Pfropfenstromverfahren zum Einsatz. Die Vor- und Nachteile der jeweiligen Technik sind standortspezifisch abzuwägen (vgl. Abb. 1).

In Pfropfenstromvergärungen wird üblicherweise der breiartige Gärrest nach dem Austrag aus dem Fermenter abgepresst und in eine feste (ca. 30 – 40 % TS) und eine flüssige Fraktion (ca. 10 – 18 % TS) getrennt. Je nach Gärmaterial und Einstellung der Presse kann das Mengenverhältnis der Fraktionen variieren, liegt aber meist in Größenordnungen um 50 % : 50 % (Masse). Die Pressen sind in der Regel redundant ausgeführt und verzeichnen einen hohen Aufwand für Wartung und Unterhalt.

Der feste Gärrest wird kompostiert und ist qualitativ kaum von einem Kompost, der durch eine ausschließlich aerobe Behandlung erzeugt wurde, zu unterscheiden. Positiv ist der nach einer Abpressung niedrigere Salzgehalt der Komposte. Die Kompostierung fester Gärreste stellt im Vergleich zur Kompostierung von Biogut höhere Anforderungen an die Technik, spezifische Flä-

chenausstattung der Anlagen und an das Betriebs-Know-how. Insbesondere das Management der TS-Gehalte in den einzelnen Prozessschritten und das Erzielen eines siebfähigen Produkts sind in der Praxis immer wieder zu beobachtende Herausforderungen.

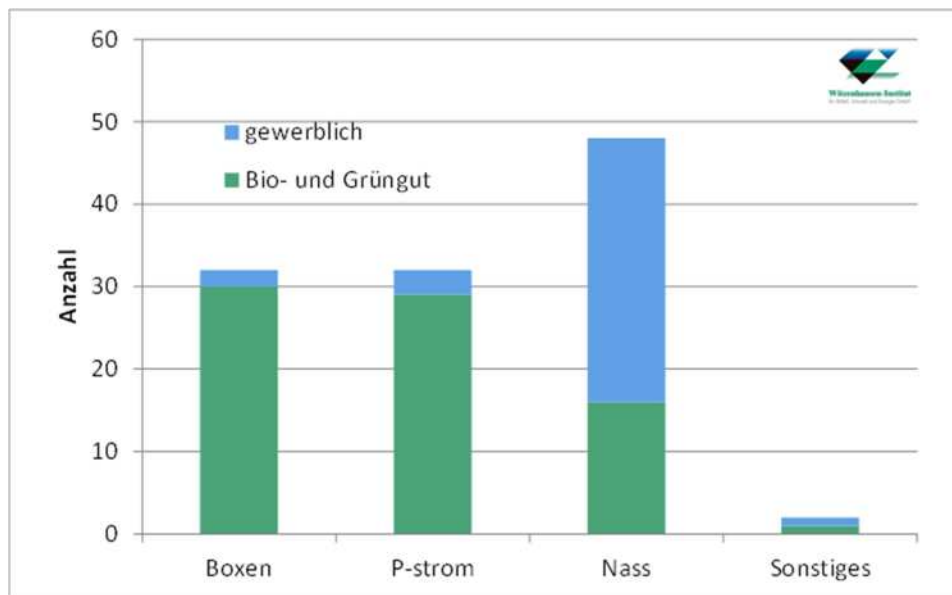


Abb. 1: Eingesetzte Vergärungstechnik in deutschen Bioabfallvergärungsanlagen
Quelle: /4/

Der flüssige Gärrest ist ein für den Ackerbau geeigneter Flüssigdünger mit schnell pflanzenverfügbaren Nährstoffen (typische Werte je m³: 5-10 kg N; 1-2 kg P; 4-6 kg K). Die entsprechende Transport- und Ausbringtechnik ist im landwirtschaftlichen Umfeld vorhanden. Allerdings

- ist die Ausbringung von Düngemitteln aus Biogut auf Grünland nicht gestattet (BioAbfV § 7 i. V. mit Anhang 1 Nr. 1 Spalte 3).
- ist zukünftig (Entwurf AwSV § 23) ein Lagervolumen für mindestens 9 Monaten vorzuhalten und ein Havariekonzept (§ 37), i.d.R. in Form einer Umwallung (Retentionsbereich), zu entwickeln (vorgesehene Übergangsfrist für bestehende Anlagen: 5 Jahre).
- müssen die Lagertanks regelmäßig und aufwändig von Sinkschichten befreit werden.
- wird der Wert des flüssigen Gärrests seitens der Landwirtschaft im Vergleich zu Alternativprodukten (Wirtschaftsdünger, Gärreste aus NawaRo-Vergärungsanlagen und ggf. Klärschlamm) geringer bewertet. Ackerbauern sind sich bei den Verhandlungen mit Betreibern von Bioabfallvergärungsanlagen durchaus ihrer Monopolstellung für die Verwertung flüssiger Gärreste bewusst; i.d.R. sind für die Ausbringung auf Ackerflächen Zuzahlungen erforderlich.
- sind flüssige Gärreste (mit niedrigen TS-Gehalten) anders als Komposte aus wirtschaftlicher Sicht nur über wenige Kilometer transportwürdig.

1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Neben vielen Vorteilen der Pfropfenstromvergärung für die energetisch-stoffliche Verwertung von Biogut sind das Abpressen des Gärguts an sich sowie vor allem die Verwertung flüssiger Gärreste (in einer gewissen Abhängigkeit von den Standortgegebenheiten) Herausforderungen für den Betrieb der Anlagen, die auch wirtschaftlich deutlichen Einfluss haben. Dies gilt u. a. für die Bioabfallvergärungsanlage Backnang-Neuschöntal (Abb. 2), die seit 2011 in Betrieb ist und neben den zuvor genannten Einschränkungen der Gärresteverwertung zusätzlich folgende Herausforderungen hat:

- Der Anfall flüssiger Gärreste liegt über der in den Planungen für die Anlage getroffenen Annahme.
- Insbesondere vor dem Hintergrund der künftigen rechtlichen Vorgaben ist die auf sechs Monate ausgelegte Lagerkapazität für flüssige Gärreste zu klein.
- Die Errichtung zusätzlicher Lagerkapazität auf dem begrenzten Grundstück der Anlage ist schwierig, insbesondere sind auch die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen und ggf. noch erforderlicher Grunderwerb zu beachten. Dieser Sachverhalt gilt auch für alle weiteren baulichen Anlagen.
- Die Vermarktung der flüssigen Gärreste in der Landwirtschaft gestaltet sich schwierig, wobei der unterdurchschnittliche Anteil Ackerfläche an der landwirtschaftlichen Fläche im Rems-Murr-Kreis mit 46 % (zum Vergleich: Regierungsbezirk Stuttgart: 67 %; Deutschland: 71 %) eine wichtige Rolle spielen dürfte.

Am Beispiel der Bioabfallvergärungsanlage Backnang soll konzeptionell untersucht werden,

- (1) wie flüssiger Gärrest aus Pfropfenstromvergärungen weitestgehend vermieden oder zumindest mengenmäßig deutlich reduziert werden kann,
- (2) welche Verfahren zur Konditionierung der flüssigen Gärreste (z. B. Dekanter, Verfahren der Abwasserbehandlung, thermische Verfahren etc.) möglich sind und welche für die praktische Umsetzung in Frage kommen und
- (3) welche Verwertungsalternativen für Gärprodukte aus Bioabfall außerhalb des Ackerbaus bestehen.

Die zu untersuchenden Alternativen müssen technisch, wirtschaftlich und ökologisch betrachtet werden und ein Vergleich mit dem Ist-Zustand durchgeführt werden.



Abb. 2: Luftaufnahme und Funktionsbereiche der Bioabfallvergärungsanlage Backnang (links unten: Gelände des Klärwerks mit Klärschlamm-trocknungsanlage)

Somit ist die Untersuchung Grundlage für die Investitionsentscheidung der AWG Rems-Murr-Kreis zur weiteren Optimierung der Gärrestverwertung. Hierbei soll ein möglichst innovatives Konzept entwickelt werden, welches auch orientierend für andere öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger in Baden-Württemberg neue Ansätze beinhaltet und alternative Entwicklungspotenziale der Gärresteverwertung außerhalb der Landwirtschaft erschließen kann.

1.4 Projektdurchführung

Das Vorhaben wurde von November 2014 bis November 2015 bearbeitet. Grundlage der Arbeiten war zunächst die Auswertung der Betriebsdaten und die Beschreibung des Ist-Zustands (vgl. Kapitel 2). Darauf aufbauend wurden die für das Vorhaben relevanten Rahmenparameter definiert, sodass auf dieser Basis die Auslegung und Bewertung grundsätzlich möglicher technischer Ansätze bearbeitet werden konnte.

Basierend auf dem Zwischenbericht vom 02.04.2015 und einem Abstimmungsgespräch wurden letztendlich fünf Varianten detailliert technisch und wirtschaftlich untersucht. Dazu wurden Informationen aus Praxisanlagen und von Herstellern (z. T. mit Richtpreisangeboten) eingeholt. Mehrere Anlagen, die ähnliche Varianten bereits in der Praxis anwenden, wurden besucht und die Erfahrungen diskutiert und dokumentiert. Die Dekantierbarkeit flüssigen Gärrests und der dabei zu beachtende Einfluss der Zugabe von Flockungshilfsmitteln wurden in einem Praxisversuch getestet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen waren die Basis für die Erstellung von Fließbildern mit Massen- und Energieströmen sowie von Aufstellungsskizzen für die fünf Varianten. Basierend auf diesen Daten und der Ermittlung bzw. Abschätzung der Investitionskosten konnten letztendlich die Wirtschaftlichkeit und die ökologischen Auswirkungen für die fünf Varianten bewertet werden.

Im Verlauf des Vorhabens fanden vier Gesprächs- und Arbeitstermine auf der Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal sowie eine gemeinsame Exkursion statt. Die Ergebnisse des Vorhabens wurden

- am 23.09.2015 auf dem Bioabfallforum Baden-Württemberg 2015 in Stuttgart /9/ und
- am 17.11.2015 auf dem 9. Biomasse-Forum in Bad-Hersfeld /8/

vorgelegt.

Ein Entwurf für den Leitfaden wurde erstellt. Die Fertigstellung erfolgt, sobald die Bearbeitung des zweiten Praxisbeispiels (Vergärungsanlage Leonberg) abgeschlossen ist.

2 Grundlagenermittlung am Standort

Für die Grundlagenermittlung wurden von der AWG die Betriebsdaten seit der Inbetriebnahme sowie die ursprünglichen Planungsdaten zur Verfügung gestellt.

Die Anlage wurde eingehend besichtigt und es wurden Proben des festen und rohen Gärrests analysiert. Der flüssige Gärrest wurde im Rahmen eines Praxisversuchs zu seiner Dekantierbarkeit untersucht (vgl. Kapitel 3.5).

Die Daten wurden zusammengefasst und ausgewertet. Zum einen, um den bisherigen Betrieb und den Zustand der Anlage zu dokumentieren, aber im Wesentlichen, um eine Ist-Situation bzw. eine optimierte Ist-Situation (2015+) zu modulieren. Die daraus resultierenden Stoffströme bilden die erforderliche Basis für die Ausarbeitung der ausgewählten Varianten.

2.1 Ausbringung von Gärprodukten auf Grünland, Futterflächen und im Rahmen qualitätsgesicherter Landwirtschaft

Die Vermarktung der flüssigen Gärreste in der Landwirtschaft gestaltet sich am Standort Backnang schwierig, wobei der unterdurchschnittliche Anteil Ackerfläche an der landwirtschaftlichen Fläche im Rems-Murr-Kreis mit 46 % (zum Vergleich: Regierungsbezirk Stuttgart: 67 %; Deutschland: 71 %) eine wichtige Rolle spielen dürfte, denn die Ausbringung von Düngemitteln aus Biogut auf Grünland ist nicht gestattet (BioAbfV § 7 i. V. mit Anhang 1 Nr. 1 Spalte 3).

Es ist nicht ersichtlich, aus welchen Gründen einzelne Stoffe auf Grünland aufgebracht werden dürfen und andere nicht. Die Verordnung selbst noch ihre rechtliche Begründung geben dazu Auskunft. Die bestehenden Zuordnungen scheinen willkürlich, wie auch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. kritisierte /1/. So ist z. B. die Aufbringung von biologisch behandelten Garten- und Parkabfällen und von biologisch abbaubaren Küchen- und Kantinenabfällen auf Grünland zulässig. Unzulässig ist dagegen die Aufbringung von getrennt erfassten Bioabfällen privater Haushalte, die von der stofflichen Zusammensetzung materiell nichts anderes sind als die Summe der vorgenannten Stoffe. Zulassungen und Verbote sollten nach fachlich begründeten und nachvollziehbaren materiellen Kriterien erfolgen. Aus diesem Grunde soll das BMU die Gelegenheit der bereits angekündigten Novelle nutzen und eine fachliche Überprüfung und Begründung der Zuordnung für die Aufbringbarkeit auf Grünland vornehmen. Insbesondere die flüssigen Gärreste aus der Biogutvergärung, die aufgrund der Abpressung frei von Störstoffen und grobstückigen Materialien sind, sollten für die Düngung von Grünland und Futterflächen zugelassen werden.

Schwer nachzuvollziehen sind ebenfalls regionale Anforderungen, wie z. B. QZBW (Qualitätszeichen Baden-Württemberg gesicherte Qualität und Herkunftsangabe), die den Einsatz von Gärprodukten aus der Bioabfallbehandlung untersagen, während sich gleichzeitig der biologische Landbau für den Einsatz dieser Stoffe öffnet.

Sowohl hinsichtlich der Novellierung der BioAbfV als auch zur Weiterentwicklung des QZBW ist politische Unterstützung für die hier skizzierten Bereiche im Umfeld der Bioabfallverwertung wesentlich.

2.2 Planungsdaten/Auslegung der Anlage

Bei der Anlage handelt es sich um eine Pfropfenstromvergärung nach dem Kompogas-Verfahren mit angeschlossener eingehauster Kompostierung des festen Gärrests. Das angelieferte Biogut wird grob zerkleinert und anschließend mit einem Sieb auf 60 – 80 mm abgesiebt. Das Unterkorn wird in einem Zwischenbunker gelagert und dann kontinuierlich in zwei parallel liegenden Fermentern (je 1.300 m³ + 300 m³ Gasraum) innerhalb von zwei Wochen thermophil vergoren. Das dabei entstehende Biogas wird getrocknet, entschwefelt und anschließend in 2 BHKW (je 800 kW_{el}) verstromt. Die anfallende Wärme wird als Prozesswärme für die Vergärung sowie für das Sozialgebäude genutzt und an die benachbarte Kläranlage zur Klärschlamm-trocknung abgegeben. Überschüssige Wärme wird über Notkühler abgeleitet.

Der Gärrest am Austrag des Fermenters hat eine kuhfladenähnliche Konsistenz (Abb. 3) und wird anschließend in vier Schneckenpressen in eine flüssige und eine feste Phase separiert. Der feste Gärrest wird in Rottebuchten kompostiert und anschließend gesiebt (Siebschnitt 11 bzw. 15 mm). Der flüssige Gärrest wird zunächst in ein Absetzbecken (700 m³) und anschließend in zwei Gärrestlager (2 x 3.150 m³) gepumpt und bis zur Abholung zwischengelagert. Kompost und Flüssigdünger werden in der Landwirtschaft bzw. im GaLaBau oder durch private Abholer (Kompost) verwertet.



Abb. 3: Roher Gärrest (TS 22 % - 25%) vom Fermenteraustrag der Anlage in Backnang

2.3 Betriebsdaten und Festlegung der Ausgangssituation

2.3.1 Stoffströme

Die Hauptstoffströme für 2011 bis 2014 sind in Abb. 4 gegenübergestellt. Zum Abgleich wurden die angenommenen Planungsdaten hinzugenommen. Dabei wird deutlich, dass hinsichtlich einiger Parameter Diskrepanzen zwischen Planungs- und Betriebsdaten bestehen. In Ermangelung von allen Detailkenntnissen über die Rahmenbedingungen der Plan- und IST-Daten können die Gründe für Abweichungen an dieser Stelle nicht erörtert werden. Einige Planannahmen erscheinen allerdings aus heutiger Sicht optimistisch.

Darüber hinaus wurde die optimierte Ist-Situation moduliert (2015+), die die erwarteten Änderungen durch die bereits laufenden bzw. geplanten Optimierungen des Anlagenbetriebs abbildet. Die absoluten Mengen können teilweise auch Tab. 1 entnommen werden.

Die Planungsdaten „2015+“ zu Stoffströmen (vgl. Abb. 4 und Tab. 1) und Energiebilanzen (vgl. Tab. 2) wurden mit der AWG im Vorfeld der planerischen Bearbeitungen abgestimmt und festgelegt.

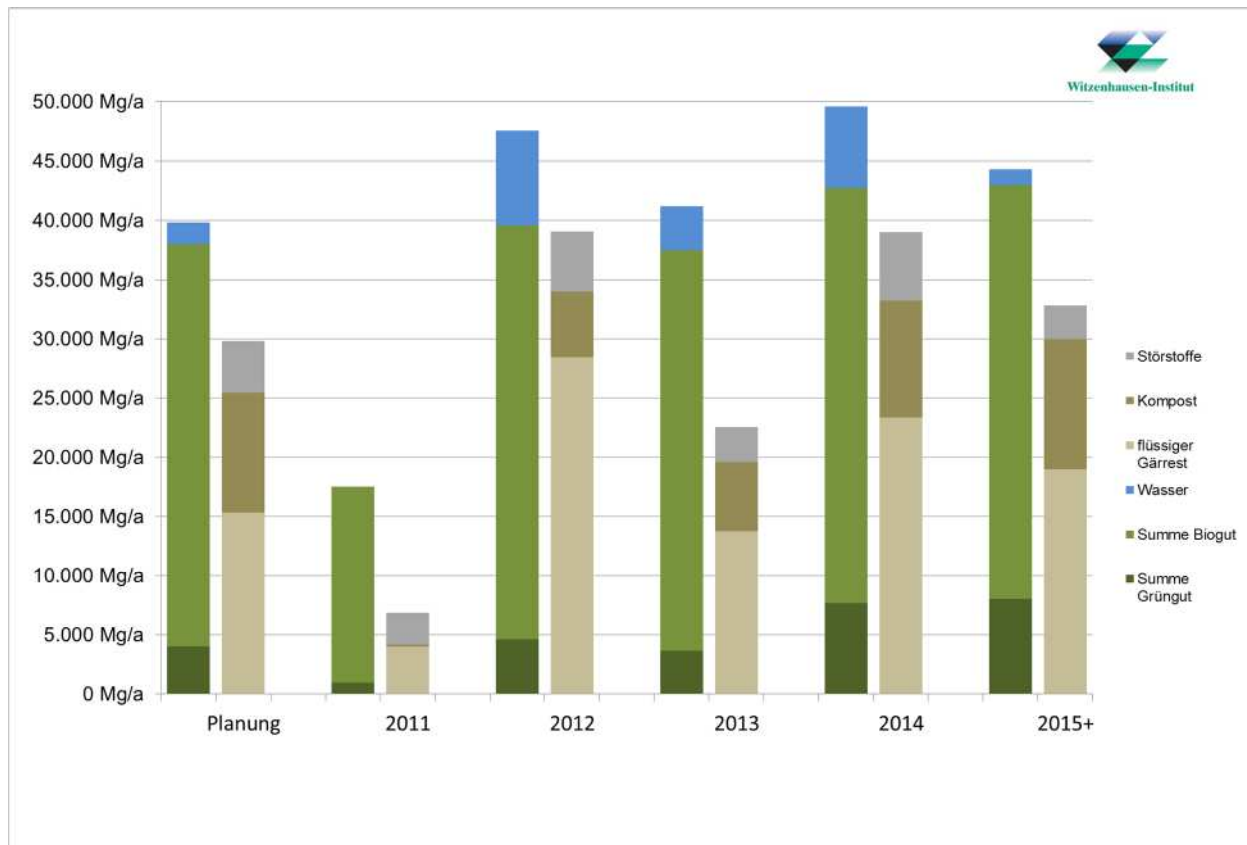


Abb. 4: Gegenüberstellung der In- und Outputströme

- Die Anlage wurde im Juni 2011 angefahren. Daher sind die dargestellten Stoffströme noch sehr niedrig und es wurde noch kein Kompost produziert.
- Der verminderte Durchsatz im Jahr 2013 resultiert aus der zeitweisen Außerbetriebsetzung wegen einer außerplanmäßigen Fermenterentleerung.
- Die Wasserzugaben (2012 und 2014) weichen in der Praxis von den Planungsannahmen ab. Hierzu wurde Schmutzwasser und Brauchwasser von der Anlage verwendet.
- Die Mengen flüssiger Gärrest (2012 und 2014) weichen ebenfalls von den getroffenen Planungsannahmen ab.
- Ab 2014 wurde die Zugabe von Grüngut (inkl. Grün-Strukturmaterial) erhöht, womit auch das Abpressergebnis deutlich verbessert wurde. Dies bestätigt auch die Analyse des festen Gärrestes (siehe Kap. 2.1).

Tab. 1: Zusammenstellung und Übersicht der Anlagendaten – In- / Outputmengen

1003 - Backnang - Übersicht der Varianten



Stichwort	B1		B2		B3	
	Auslegung		Ist 2014		2015 +	
	Planung und Kompogas		Betriebsdaten		AWG optimiert	
Technik (Hauptkomponenten)						
Fermenter	2 x PF 1.300		2 x PF 1.300		2 x PF 1.300	
Pressen	4 Pressen		4 Pressen		4 Pressen	
Gärrestlager fl.	6.350 m³		2 x 3.150 m³		2 x 3.150 m³	
Gärrestkompostierung belüftet	775 m³ belüft.		5 x 60 m² belüft.		5 x 60 m² opt.	
Gärrestkompostierung unbelüftet	1075 m³ unbel.		9 x 35 m² unbel.		9 x 35 m² opt.	
Lager Komp.	xx		ca. 450 m²		xx	
Neue Komponenten						
	-		-		Rottebox. ertücht.	opt. A
Input						
Biogut	34.000 Mg/a	91%	35.000 Mg/a	71%	35.000 Mg/a	80%
Grüngut	2.000 Mg/a	5%	4.700 Mg/a	10%	~ 5.000 Mg/a	11%
Struktur	~ 2.000 Mg/a	5%	3.-4000 Mg/a*	6%	~ 3.000 Mg/a	7%
Störstoffe Aufb. (-)	2.400 Mg/a	6%	300 Mg/a	1%	300 Mg/a	1%
Wasserzugabe	1.800 Mg/a	5%	6.900 Mg/a	14%	~ 1.300 Mg/a	3% opt. B
Summe	37.400 Mg/a		49.300 Mg/a		44.000 Mg/a	
Output						
Biogas (-)	~ 5.100 Mg/a	14%	~ 6.000 Mg/a	12%	~ 6.000 Mg/a	14%
Gärrest Output Fermenter	32.300 Mg/a	86%	43.300 Mg/a	88%	38.000 Mg/a	86%
fl. Gärrest	15.300 Mg/a	47%	23.300 Mg/a	54%	19.000 Mg/a	50% ->b
Abwasser	-		-		-	
Wasserdampf					-	
Gärrest fest (berechn.)	ca. 17.000 Mg/a	53%	ca. 20.000 Mg/a	46%	ca. 19.000 Mg/a	50% ->b
Kompost	~ 10.100 Mg/a	59%	9.800 Mg/a	49%	~ 11.000 Mg/a	58%
Siebüberlauf Komp.	~ 4.000 Mg/a	24%	5.500 Mg/a	28%	~ 2.500 Mg/a	13% ->a
Rotteverlust (berechn.)	~ 2.900 Mg/a	17%	~ 4.700 Mg/a	24%	~ 5.500 Mg/a	29% ->a
Summe	37.400 Mg/a		49.300 Mg/a		44.000 Mg/a	
Output - Qualität						
TS Gärrest fl.	-		~ 12 % TS		~ 12 % TS	
TS Gärrest fest / Rottegrad	-		38-40 % TS	■	~ 40 % TS	■
TS kompost / Rottegrad	-		~ 51 % TS	xx	~ 60 % TS	v
Kenndaten div.						
Lagerkapazität fl. GR vorh.	5,0 Monate		3,2 Monate		4,0 Monate	
Schmutzwasser			5.000 m³/a		xx	
Brauchwasser			1.900 m³/a		xx	
* es wurde mit 3.000 Mg/a gerechnet; xx = Wert nicht bekannt						

Aus den Betriebsdaten für 2014 wurde, u. a. unter der Voraussetzung der zwei nachfolgend skizzierten Optimierungsschritte, der Stoffstrom 2015+ moduliert und als Grundlage für die weiteren Betrachtungen mit der AWG abgestimmt. Im Wesentlichen lassen sich diese beide Optimierungsschritte wie folgt zusammenfassen:

Optimierungsschritt A (opt. A):

Die Verbesserung der Funktionalität in der Nachrotte, insbesondere um einen siebfähigen Kompost (> TS 60 %) zu erreichen. Nachrüstungen und Umbauten z.B. im Bereich der Lüftungstechnik im Bereich der Rotteboxen sind laut der AWG geplant (siehe hierzu auch Kap.4.1).

Optimierungsschritt B (opt. B):

Reduzierung der Presswassermenge durch Rezirkulation von flüssigem Gärrest. Hierzu wurden Ende 2014 und Anfang 2015 bereits erste Tests an der Anlage durchgeführt. Als ambitionierte aber zum damaligen Zeitpunkt als erreichbare bewertete Zielgröße wurde eine Wasserzugabe von 1.300 m³ abgeschätzt. Ob dieser Wert in der Praxis erreicht werden kann, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht abzusehen. Nach dem aktuellen Bearbeitungsstand wird es als wahrscheinlich angesehen, dass zur Erreichung dieser Reduzierung ein zusätzliches Entwässerungsaggregat (z.B. Dekanter) erforderlich sein wird.

Welche Stoffströme durch diese beiden Optimierungen (opt. A und opt. B) direkt beeinflusst werden, wurde zusätzlich in Tab. 1 markiert (->a und ->b).

2.3.2 Energiebilanzen

Analog zu den Stoffströmen wurden die Betriebsdaten bzgl. der produzierten und verbrauchten Energiemengen ausgewertet und gegenübergestellt (Tab. 2).

Tab. 2: Zusammenstellung und Übersicht der Anlagendaten – Elektrische und thermische Leistung

Stichwort	Auslegung		Ist 2014		2015 +	
	Planung und Kompogas		Betriebsdaten		AWG optimiert	
elektrische und thermische Leistungsdaten						
Prod. Energie th.	~ 1.140 kW		~ 1.340 kW		~ 1.340 kW	
Eigenbedarf th.	~ 250 kW	22%	~ 150 kW	11%	~ 150 kW	11%
Fremdabgabe th.	~ 890 kW	78%	~ 320 kW	24%	~ 320 kW	24%
Überschuss th.	-		~ 870 kW	65%	~ 870 kW	65%
Bedarf für neue Aggregate						
Prod. Energie el..	~ 1.170 kW		~ 1.220 kW		~ 1.220 kW	
Elektrischer Eigenbedarf			n.V.		+ Rotte opt.	

- Die produzierte thermische Leistung lag im Jahr 2014 ca. 200 kW über dem Auslegungswert. Der Eigenverbrauch für die Fermenterheizung lag ca. 100 kW unter dem Planwert.

- Die Fremdagabe an Wärme (Abwasserreinigungsanlage / Kläranlage) lag deutlich unter der Auslegung und schwankte, begründet durch den nicht konstanten Betrieb des Trockners, auch deutlich im Jahresverlauf (Abb. 5). Die Fremdagabe zur Klärschlamm-trocknung an die benachbarte Kläranlage sollte jedoch aufgrund des Verfahrens relativ konstant sein.
- Die tatsächliche elektrische Leistung der BHKW lag mit ca. 1,2 MW_{el} über dem Bereich der Planung.
- Zum elektrischen Eigenverbrauch lagen keine gemessenen Daten vor bzw. wurden diese auch nicht weiter betrachtet. Der Verbrauch an elektrischer und ggf. auch an thermischer Energie wird aber voraussichtlich im Rahmen der Rotteoptimierung noch zunehmen.

Bezüglich der thermischen Energien wurden für den modulierten Betriebsfall 2015+ die Daten aus 2014 übernommen. Im Wesentlichen resultiert daraus, dass im Mittel eine Wärmeleistung von ca. 870 kW_{th} in Form von Warmwasser für weitere Verfahren zur Verfügung stehen würde, wenn die Kläranlage nicht in Zukunft mehr thermische Energie verbraucht.

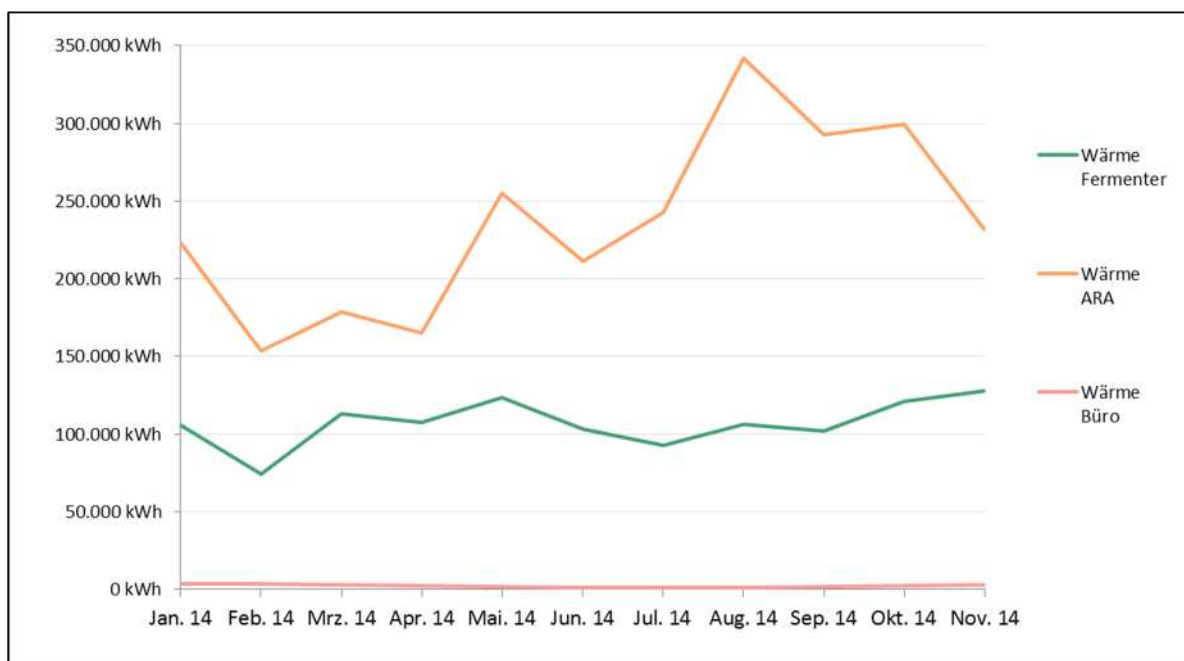


Abb. 5: Monatliche Wärmeverbräuche

2.3.3 Weitere Daten

2.3.3.1 Prozesserwasserzugaben in den Fermenter

Die Auswertung der Betriebsdaten ergab, dass mit ca. 8.000 m³/a (in 2012) bzw. 6.900 m³/a (2014) der Vergärung relativ hohe Mengen Prozesswasser zugegeben wurden. Laut Betriebsdokumentation wurde Prozesswasser in Form von Brauch- und Schmutzwasser verwendet. Im

Wesentlichen richtet sich die Wasserzugabe in die Fermenter (laut Herstellerangabe) nach der sogenannten "Paddelspur", d.h. der Viskosität des Gärguts im Eintragsbereich des Fermenters.

Zum Vergleich wurden die am Standort anfallenden Wassermengen (Niederschlagsmengen inkl. Kondensate) abgeschätzt (Tab. 3). Aus der Abschätzung ergibt sich, dass jährlich ca. 8.500 m³ am Standort anfallen.

Tab. 3: Abschätzung der anfallenden Wassermengen am Standort Backnang (Annahme: 800 mm Niederschlag)

Bezeichnung	Ursprung	Fläche	Jahresmenge
Dachwasser			
Dachwasser	Niederschlag - Hallendach	3.597 m ²	2.880 m ³ /a
Dachwasser	Niederschlag - Fermenterdach	504 m ²	400 m ³ /a
Summe			3.280 m³/a
Schmutzwasser			
Hofwasser	Niederschlag - Austragsbereich Fermenter	200 m ²	160 m ³ /a
Hofwasser	Niederschlag - Verkehrsflächen, Asphalt etc.	5.000 m ²	4.000 m ³ /a
Halle und Biofilter	Kondensate, Drainwasser	-	500 m ³ /a
Biogaskondensat	Gaskühlung	-	550 m ³ /a
Summe			5.210 m³/a
Gesamt:			~ 8.500 m³/a

2.3.3.2 Analysen

Eine Probe des festen Gärrests aus dem Abwurf der Pressen wurde entnommen und analysiert (Abb. 6). Der feste Gärrest hat eine lockere belüftbare Konsistenz (Dichte ~ 0,3 Mg/m³), einen TS Gehalt von deutlich > 35 % (ca. 40 %) und hat einen üblichen Rottegrad von 3. Diese Daten belegen die erfolgreiche Optimierung der Abpressung (u.a. durch Zugabe von Strukturmaterial), die eine gute Grundlage für die nachfolgende Kompostierung bildet.

Untersuchungsparameter	Einheit	Prüfwert
Trockensubstanz [Originalprobe]	% FM	40,3
Glühverlust (Organische Substanz)	% TM	72,8
Volumengewicht	g/lFM	311
Rottegrad		3
Maximaltemperatur	°C	50



Abb. 6: Analyse vom festen Gärrest und Probenahme im Dezember 2014

Allerdings zeigt die Auswertung der vorliegenden Kompostanalysen (Austrag Nachrotte), dass der durchschnittliche TS-Gehalt im Jahr 2014 nur bei 51 % TS lag (vgl. Abb. 7). Damit ist der

Kompost für eine gute Konfektionierbarkeit (effektive Siebung) deutlich zu feucht. Das zeigt sich im Mengenverhältnis der Siebung (Siebüberlauf : abgesiebter Kompost = 36 % : 64 %). Anzustreben sind 60 % TS im Kompost.

Ausgehend von einem TS-Gehalt des festen Gärrests nach der Presse von ca. 40 % wird also im Kompost lediglich ein TS-Gehalt von ca. 51 % erreicht. Diese Zahlen verdeutlichen die Notwendigkeit zur Optimierung des Rottebereichs der Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal (vgl. hierzu Kap. 4.1).

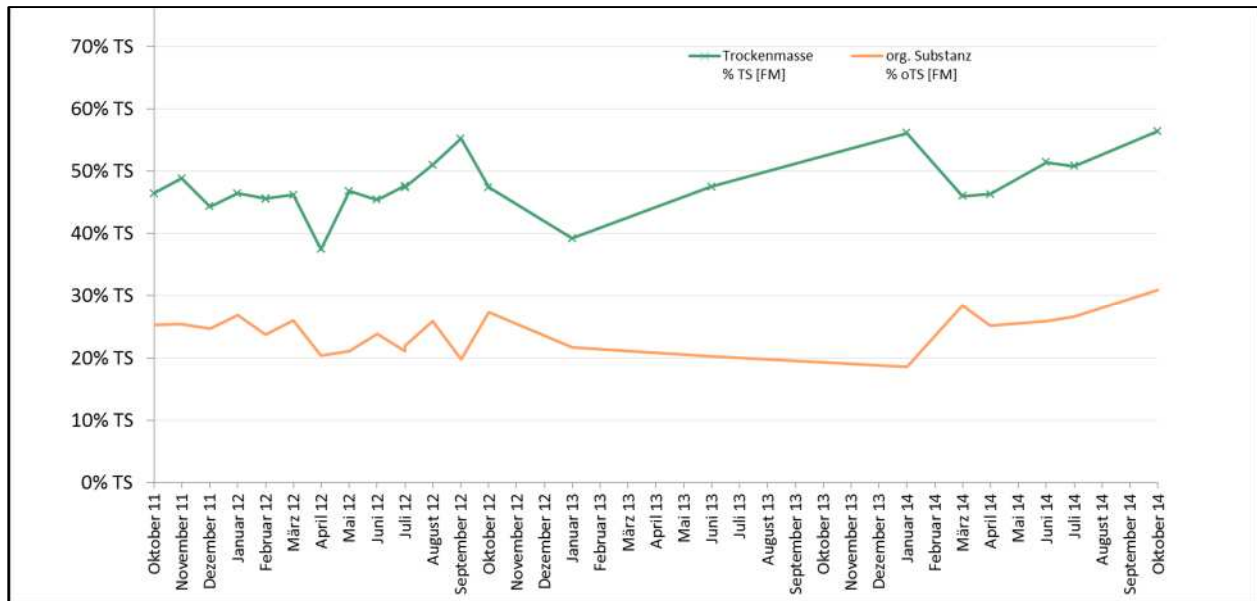


Abb. 7: Trockensubstanzgehalte im Kompost der Anlage Backnang von 2011 bis 2014

Der flüssige Gärrest wurde später im Rahmen des Dekanterversuchs analysiert (siehe Kap.3.5) und hatte einen Trockensubstanzgehalt von ca. 14-15 % TS.

2.4 Ausgangssituation (Blockschema)

Die zusammenfassende Auswertung der Betriebsdaten und die Modellierung der zu erwartenden Daten (u.a. aufgrund laufender Betriebsoptimierungen) ergibt für die Ausgangssituation das nachfolgende Blockschema (Abb. 8). Dieses bildet die abgestimmte Basis für die nachfolgenden Untersuchungen bzgl. der Verwertungsalternativen für den flüssigen Gärrest.

Eine wesentliche Grundlage für die untersuchten Varianten (und somit deren Vergleichbarkeit untereinander) war, dass ca. 8.400 m³/a flüssiger Gärrest weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden. Für diese Menge können die vorhandenen Gärrestlager (ca. 6.300 m³ eff. Volumen) eine Lagerkapazität von 9 Monaten gewährleisten.

Damit verbleiben 10.600 m³/a flüssiger Gärrest, für die alternative Verwertungsoptionen mit verschiedenen Verfahren für den Standort Backnang ausgearbeitet und anschließend miteinander verglichen wurden.

Stoffstrom 2015 +

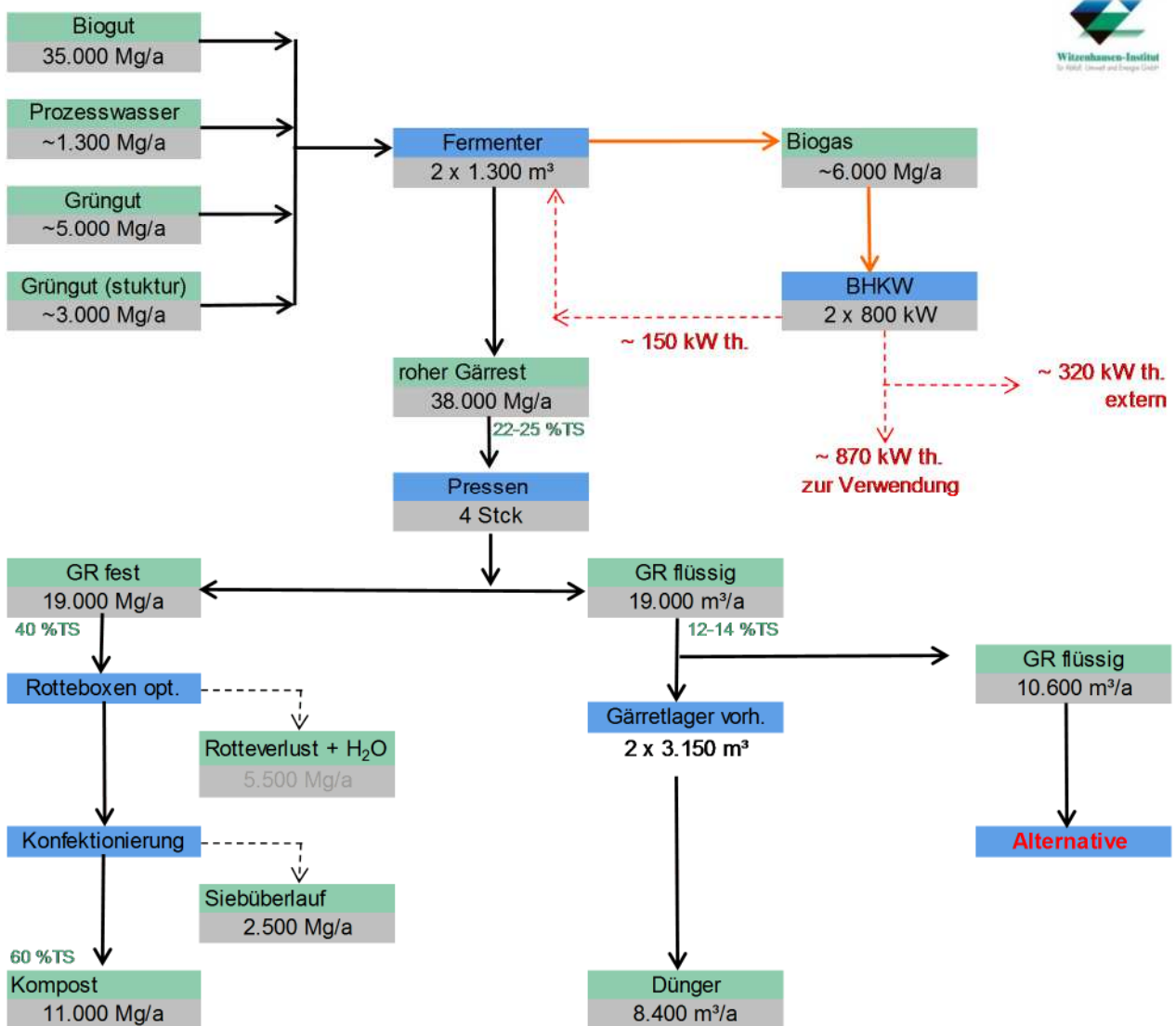


Abb. 8: Fließschema Ausgangssituation 2015+

3 Untersuchte technische Konzepte und Verfahren

3.1 Übergreifende Ansätze zur Verminderung des Anfalls flüssiger Reststoffe

3.1.1 Abwassermanagement

Bei der Planung von Erweiterungen oder Neubauten biologischer Behandlungsanlagen muss dem Abwassermanagement besondere Beachtung geschenkt werden. Grundsätzlich sind unbelastete Abwässer (z. B. von Dachflächen) von belasteten Abwässern (Verkehrsflächen, Kondensate, Sickerwasser etc.) wie derzeit praktiziert getrennt zu halten. Im Folgenden ist zu prüfen, welche der belasteten Abwässer sinnvollerweise im Vergärungsprozess einzusetzen sind, wobei beachtet werden muss, dass die zusätzlich eingebrachten Mengen den Output an flüssigem Gärrest erhöhen und dort Kosten für Lagerung und Ausbringung verursachen.

Zur Einstellung eines optimalen TS-Gehaltes im Pfpfenstromfermenter und zum Animpfen des Materials sind Maßnahmen erforderlich. In der Regel erfolgen eine Rezirkulation von rohem und flüssigem Gärrest sowie die Zugabe von Brauchwasser. Da jeder Kubikmeter zugegebenes Brauchwasser einen Kubikmeter flüssigen Gärrest und eine gewisse Verdünnung der Nährstoffdichte zur Folge hat, sollte eine Brauchwasserzugabe möglichst vermieden werden.

Brauchwassermengen können ganz oder teilweise durch Prozesswasser substituiert werden. Dieses Prozesswasser kann aus der Dekantierung des flüssigen Gärrests (ohne Flockungsmittel) aus der Gärrestabpressung gewonnen werden. Die erforderlichen Invest- und Betriebskosten für den Dekanter sind gegenüber den resultierenden betrieblichen und wirtschaftlichen Vorteilen abzuwägen.



Die Kreislaufführung des Fugats kann u.U. zu Aufkonzentrationen von Stoffen führen, die in der Fermentation die Prozessstabilität gefährden. Dieses ist im Anlagenbetrieb zu beobachten. Sollte dies erkennbar werden, kann durch die zeitweilige Zugabe von Brauchwasser gegengesteuert werden.



Abb. 10: Dekanter für flüssigen Gärrest/Abwurf Dekanterkuchen (Fotos Witzenhausen-Institut)

Eine weitere wichtige Frage betrifft die Auslegung der Vergärung und der nachfolgenden Kompostierung. Es kann sinnvoll sein, den breiartigen rohen Gärrest mit ausreichend anderem organischen Material so zu mischen, dass ein belüft- und kompostierbares Substrat entsteht. Meist wird ein Teilstrom (ca. ein Drittel) des Bioguts nicht vergoren und mit dem Gärrest vermischt. Aber auch Mittelkorn aus der Kompostkonfektionierung und Grüngut werden zugegeben (Abb. 11.).

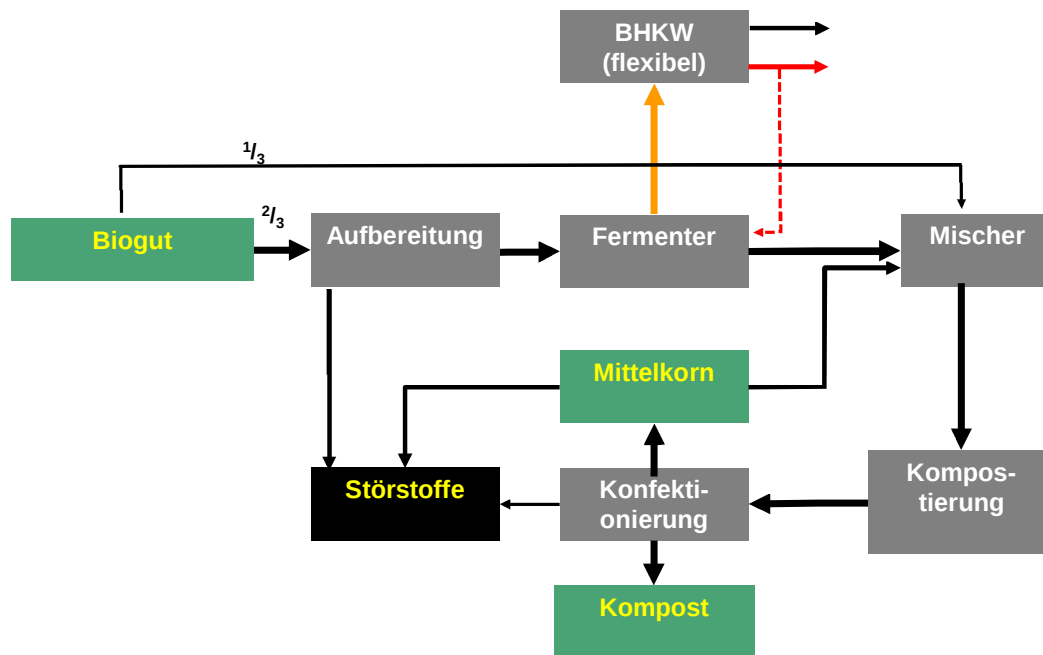


Abb. 11: Konzeptionelle Darstellung der Teilstromvergärung bei Pfropfenstromanlagen

In der Kompostierung muss dann die Hygienisierung des gesamten Materials sicher erreicht werden. Untersuchungsbedarf besteht hinsichtlich geeigneter Mischaggregate für das Herstellen eines kompostierbaren Gemisches aus Gärrest, Biogut und Strukturmaterial. Im einfachsten Fall wird dies per Radlader oder durch Dosieren auf Förderbänder durchgeführt. Es stehen aber auch spezielle Mischaggregate für diese Aufgabe zur Verfügung, wobei eine wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bewertung vorzunehmen ist.

3.2 Ansätze zur Optimierung der Gärrestverwertung

Eine Vielzahl von Maßnahmen und technischen Lösungsansätzen zur Optimierung der Gärrestverwertung ist grundsätzlich vorhanden /3/ und auf vielen Anlagen werden auch einzelne Aspekte oder integrierte Konzepte umgesetzt. Nachfolgend werden beispielhaft verschiedene Ansätze dargestellt.

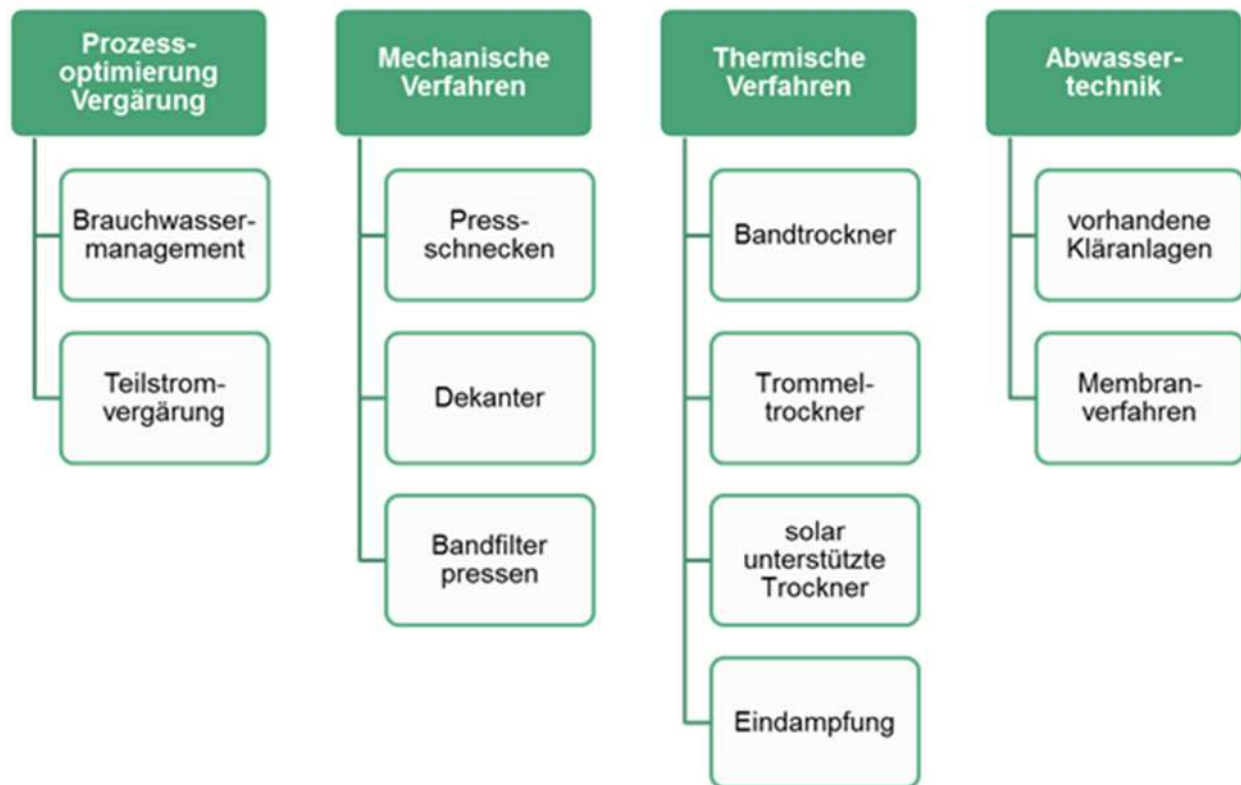


Abb. 12: Übersicht der betrachteten technischen Lösungsansätze

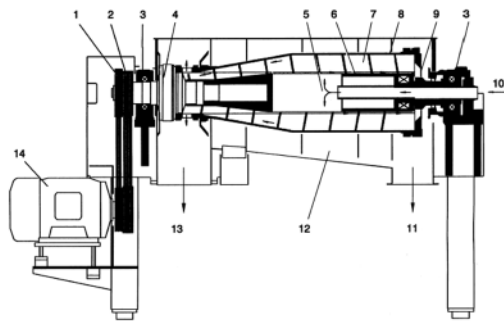
3.2.1 Mechanische Verfahren

Analog zum Vorgehen in jedem Haushalt bei der Trocknung der Wäsche wird auch in der Verfahrenstechnik in der Regel zunächst mechanisch entwässert (analog zum Schleudern bei der Waschmaschine), bevor thermische Verfahren (z. B. Trockner) zum Einsatz kommen.

Der erste Schritt bei den Propfenstromvergärungsanlagen ist, wie oben beschrieben, die mechanische Entwässerung mittels einer Schneckenpresse (Grobaufteilung 50 : 50 in fest : flüssig), wodurch erst der flüssige Gärrest entsteht.

Anschließend kann zur weiteren mechanischen Entwässerung des flüssigen Gärrestes ein Dekanter (oder auch eine Bandfilterpresse) nachgeschaltet werden (analog wie bei der Prozesswasserherstellung). Daraus resultiert, bezogen auf den gesamten flüssigen Gärrest, eine Grobaufteilung von 15 % (fest) bis zu 85 % (flüssig).

Dekanter oder Bandfilterpressen werden bei der Gärrestaufbereitung von Biogutgärrest einer Schneckenpresse o. Ä. nachgeschaltet, mit dem Hauptziel, die flüssige Phase für ein nachgeschaltetes Verfahren aufzubereiten (z. B. eine Abwasseraufbereitung oder eine Aufkonzentrierung mittels Eindampfung oder Umkehrosmose).



1 Schneckenantrieb
2 Trommelantrieb
3 Trommellager
4 Getriebe
5 Verteiler

6 Schnecke
7 Separationsraum
8 Trommel
9 Regulierplatte
10 Zulauf

11 Ablauf der geklärten Flüssigkeit
12 Gestell
13 Feststoffaustrag
14 Antriebsmotor

Abb. 13: Dekanter (Quelle Grafik: Fa. GEA Westfalia)
(Foto W-I Dekanter vor einer Eindampfung)

3.2.2 Thermische Verfahren

Thermische Verfahren können

- unmittelbar für den gesamten Gärrest (ohne Separation) bzw.
- nach einer mechanischen Separation zur Eindickung des flüssigen Gärrests oder
- zur weiteren Trocknung des abgetrennten festen Gärrests

zum Einsatz kommen. Folgende Techniken werden für die (Teil-)Trocknung eingesetzt:

- Bandtrockner
- Trommeltrockner
- solare Trockner

Eindampfungsverfahren, wie sie vereinzelt im Bereich flüssiger Gärreste, vor allem aus der Co-Fermentation mit Gülle, zum Einsatz kommen, sind in der Biogutvergärung bisher nicht verbreitet. Aktuell konzeptionieren einige Hersteller Vorhaben zur Eindampfung flüssiger Gärreste (siehe auch Tab. 4).

In der Praxis wird zunächst soweit wie möglich mechanisch entwässert, da die thermische Trocknung sehr energieintensiv ist (vgl. Abb. 14). Eine gewisse Schüttfähigkeit des Gärrests ist vor allem bei Bandtrocknern für die Trocknung erforderlich, damit das Material im Zuge der Trocknung überhaupt belüftbar wird. Ist diese Schüttfähigkeit nicht gegeben, kann ein Teil des getrockneten Materials wieder zurückgeführt und mit frischem Inputmaterial vermischt werden. Bei typischen Trocknern werden unter Praxisbedingungen überschlägig 1,0 bis 1,2 kWh thermische Energie benötigt, um 1 kg Wasser auszutreiben. Verfahren unter Vakuum benötigen weniger thermische Energie, dafür aber Strom zur Aufrechterhaltung des Vakuums.

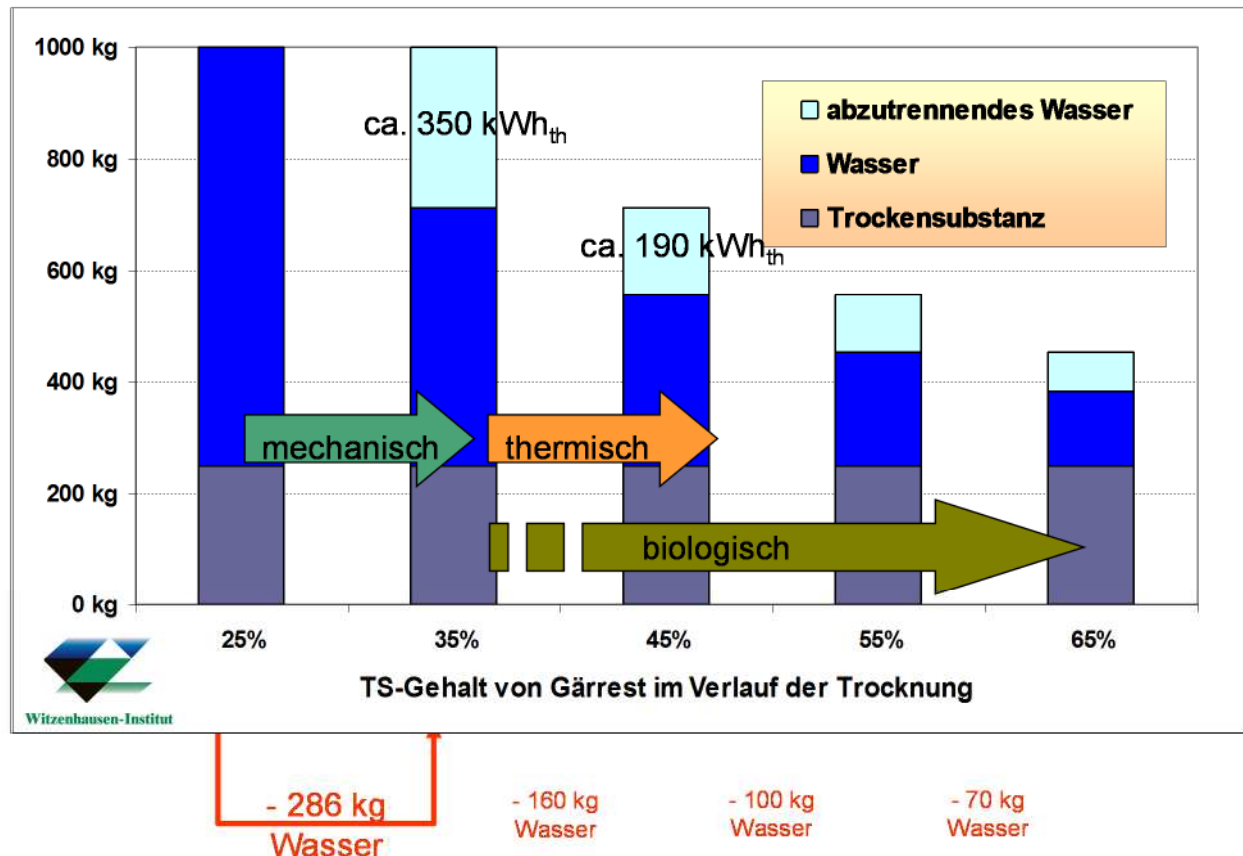


Abb. 14: Grundlegende Zusammenhänge zur Erhöhung des TS-Gehalts von Gärresten /8/

Bandrockner bestehen aus einem Trockenraum, in dem das rieselfähige Transportgut auf mehreren gegenläufigen Transportbändern bewegt wird (Abbildung Abb. 15). Die Transportbänder bestehen aus Drahtgewebe oder perforierten Stahlplatten und werden von erwärmter Luft durchströmt. Bei der Übergabe auf nachfolgende bzw. tiefer liegende Bänder wird das Material durchmischt und homogenisiert.

Das Temperaturniveau der Bandrockner liegt bei 80 bis 120 °C und ist daher zur Nutzung der BHKW-Abwärme aus Wasser- und Abgaswärmetauschern geeignet. Als Größenordnung zeigt sich häufig, dass bei Biogutvergärungsanlagen die frei verfügbare Wärme der BHKW ausreicht, um etwa die Hälfte des Gärrests zu trocknen. Die entstehende Abluft muss behandelt werden. Dabei anfallende Kondensate sind im Stoffstromkonzept zu berücksichtigen.

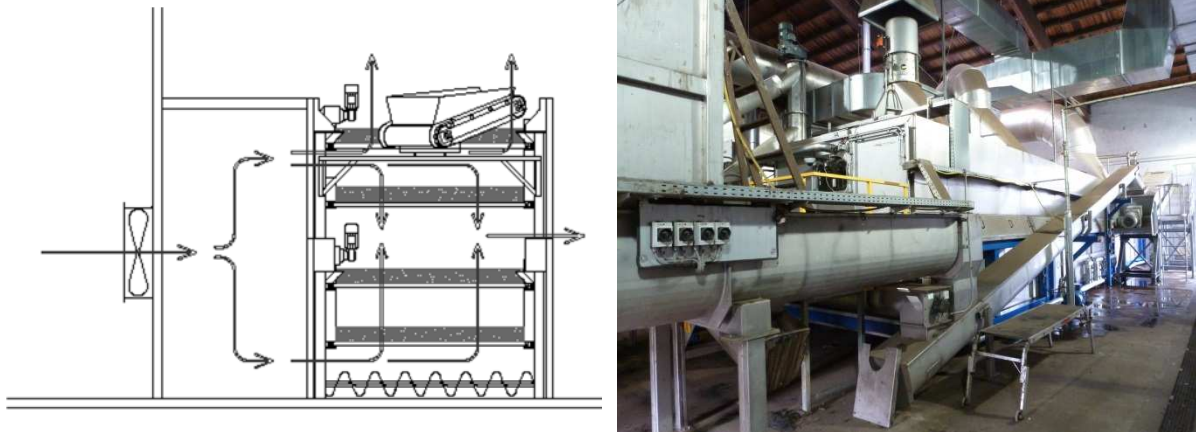


Abb. 15: Schema Bandtrockner (Quelle: Firma Dorset) und Bandtrockner der Biogutvergärungsanlage Leonberg

Ein **Trommeltrockner** besteht aus einem schwach geneigten Drehrohr mit Heißluftgebläse (Abb. 16). Der mechanisch entwässerte Gärrest wird am erhöhten Rohrende aufgegeben und durchläuft das rotierende Drehrohr auf einer langen Spiralbahn. Es kommen auch mehrzügige Trommeltrockner zum Einsatz. Heiße Trockenluft ($> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) wird im Gleich- oder Gegenstrom durch diese Trommel bzw. die Züge geblasen. Wegen des erforderlichen hohen Temperaturniveaus kann nur die Abgaswärme der BHKW verwendet werden. Da aber ohnehin ca. 30 % der Wärme des BHKW für die Vergärung erforderlich sind, kann dieser Bedarf aus dem Wasserkreislauf und die Abgaswärme für den Trommeltrockner verwendet werden.

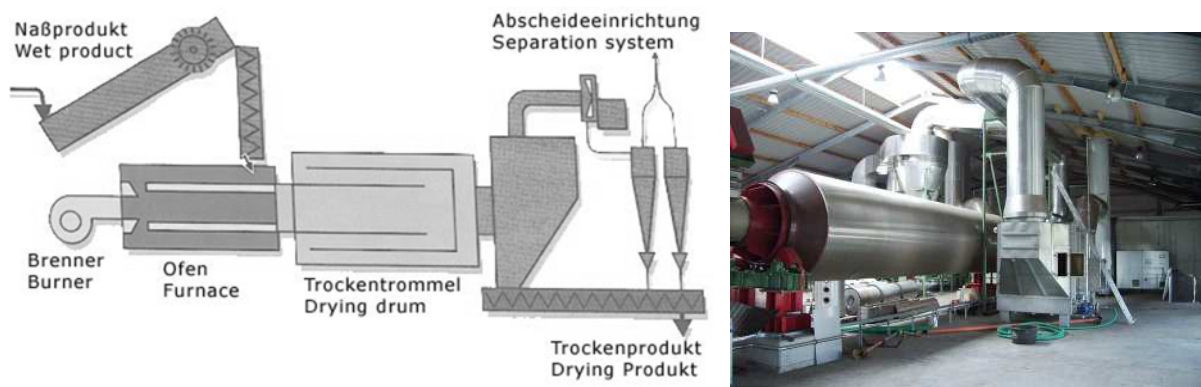


Abb. 16: Trommeltrockner (Quelle: Firma Dörfner)

Die **solar unterstützte Trocknung**, bisher vor allem in der Klärschlamm-trocknung eingesetzt, ist ein Verfahren, bei dem in großflächigen, einem Gewächshaus ähnlichen Hallen mit solarer Unterstützung getrocknet wird. Hiermit ist grundsätzlich auch die Trocknung von Gärresten möglich. Dabei wird der Schlamm chargenweise großflächig am Boden ausgebracht und solar sowie durch vorewärmte Luft bzw. optional auch durch eine Bodenheizung erwärmt und getrocknet. Das Material wird dabei automatisch bewegt (meist durch ein selbstfahrendes Aggregat „elektrisches SchweinTM“). Eine Abluftbehandlung (insbesondere für Ammoniak und Gerüche) dürfte zur Einhaltung der geforderten Werte (TA Luft) erforderlich sein.

Unter mitteleuropäischen Bedingungen werden etwa 20 % des Wärmebedarfs solar bereitgestellt. Der Flächenbedarf ist stark abhängig von den TS-Gehalten des Input-Schlammes und dem Zielwert der Trocknung sowie von der eingesetzten Wärmeübertragung /1/. Als Größenordnung

können 0,2 bis 1 m²/Mg zu trocknender Schlamm angesetzt werden. Das Gleiche gilt für den Strombedarf, der, insbesondere für die Lüfter, in einer Größenordnung von 25 bis 45 kWh/Mg liegt. Das System zeichnet sich durch seine Robustheit aus.

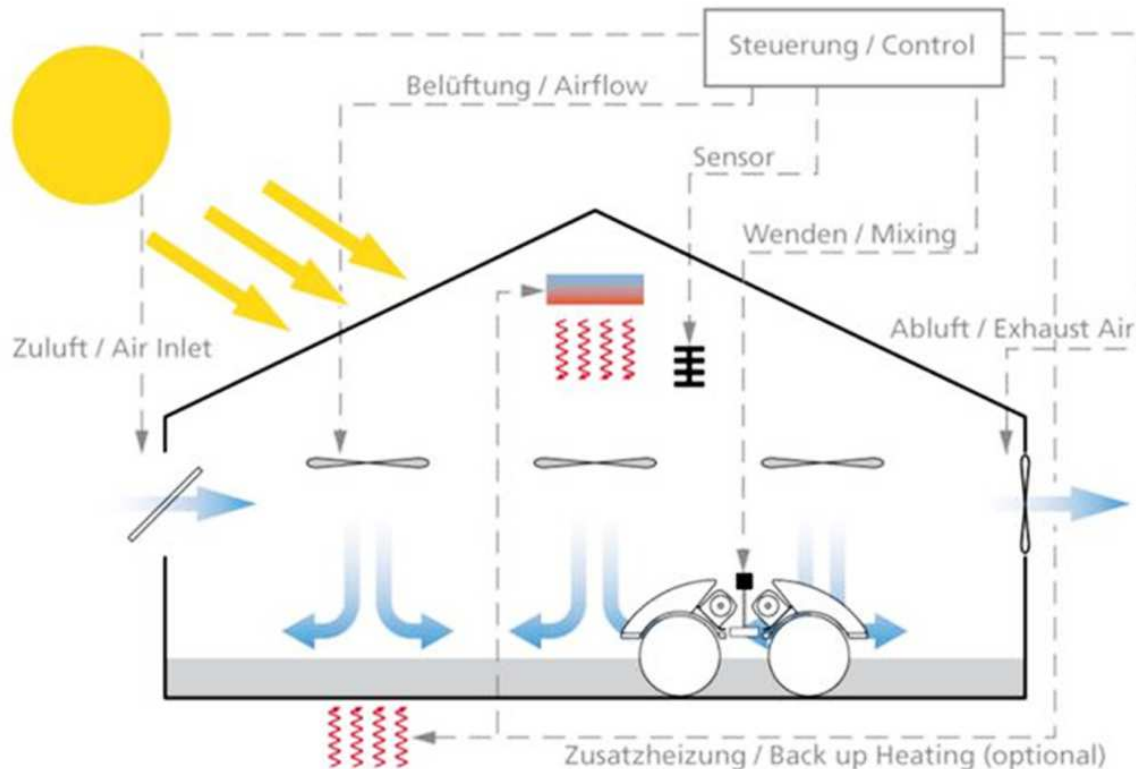


Abb. 17: Schema der solar unterstützten Gärresttrocknung (Quelle: Thermo-System)

3.2.3 Abwassertechnik

Manchmal stehen an Standorten der Abfallwirtschaft Kläranlagen zur Verfügung. Diese können u.U. zur Behandlung aufbereiteten flüssigen Gärrests verwendet werden.

Durch Dekantierung (meist mit Flockungshilfsmitteln) kann flüssiger Gärrest soweit von Feststoffen befreit werden, dass das Fugat über eine Kläranlage oder auch eine Sickerwasseraufbereitungsanlage geführt werden kann. Dies hängt wesentlich von den örtlichen Gegebenheiten und Kapazitäten ab. Das Retentat kann grundsätzlich der Kompostierung des festen Gärrests zugeführt werden, muss zuvor aber aufgelockert werden.

Zu den Membranverfahren gehören die Mikrofiltration, die Ultrafiltration und die Umkehrosmose. Diese Verfahren dienen dazu, feinste Partikel bis hin zu gelösten Stoffen aus dem Abwasser „herauszufiltern“. Mit Hilfe von Membranen können höhermolekulare von niedermolekularen Stoffen getrennt werden. Dazu sind neben einer effizienten Vorabtrennung von Grobteilen auch Drücke zwischen 1 und 10 bar notwendig. Darüber hinaus ist in der Regel eine Ansäuerung des Inputs notwendig, um zu garantieren, dass Stickstoff im Konzentrat zurückgehalten wird.

Für die Gärrestaufbereitung werden Ultrafiltration und Umkehrosmose folgendermaßen eingesetzt: Das Zentrat wird zunächst über eine Siebung (z. B. 200 µm) geführt, um eine Verblockung der Membrane zu verhindern. Für Brüden ist dies in der Regel nicht erforderlich.

In der Ultrafiltration (0,2 - 0,05 µm) werden die makromolekularen Stoffe entfernt. Anschließend kann das Filtrat noch einer Umkehrosmose zugeführt werden, in der auch niedermolekulare Stoffe, wie z. B. Salze, aus dem flüssigen Medium abgetrennt werden (Stoffrückhalt 0,1 - 1 nm).

Bei diesem Verfahren der Aufbereitung des Flüssiganteils entsteht einleitfähiges Prozesswasser und ein flüssiges Konzentrat, das als Flüssigdünger zertifiziert und eingesetzt werden kann. Aus dem Inputmaterial Gärrest entstehen so neben einem festen Gärrest ca. 60 % Prozesswasser und 20 % Konzentrat.

3.3 Anfragen Hersteller

Im Folgenden werden tabellarisch die angefragten Anlagenbauer, Hersteller, Ingenieurbüros und Universitäten sowie Betreiber aufgelistet. Anlagenbesichtigungen sind bei den jeweiligen Betreibern vermerkt.

Tab. 4: Anfragen Hersteller

Verfahren	Anlagenbauer /Hersteller	Ingenieurbüro /Universität	Betreiber
Abgabe Gärrest an Kläranlage			AVEA Engelskirchen
Ammoniakstrippung	GNS – Gesellschaft für Nachhaltige Stoffnutzung mbH		Benas GmbH (Anlagenbesichtigung 2008)
Drehrohrofen	Werkstätten heating-systems GmbH	UMS Umwelt- und Management Service Unterberg	
Eindampfung	Buchwitz Bioenergiesysteme GmbH GEA Wiegand GmbH MKR Metzger GmbH Steffen Hartmann Recycling-technologien GmbH		Tracjusa Tractanents de Juneda (Spanien; Anlagenbesichtigung 2008)
Entwässerung	Alfa Laval Aquaen aqua-engineering GmbH Bellmer Kufferath Machinery GmbH Emslandstärke Flottweg SE (Versuche siehe Kap.3.5) Gebr. Bellmer GmbH Hitachi Zosen Inova AG (Kompogas)	FH Münster IGLux Witzenhausen GmbH Kläranlagenberatung Kopp	AVEA Engelskirchen (Anlagenbesichtigung Lindlar 2015) ZAW Donau Wald (Anlagenbesichtigung Passau 2015) Vergärungsanlage Bebra (ehem. Betreiber)
Membranverfahren	A3 Water Solutions GmbH		

Verfahren	Anlagenbauer /Hersteller	Ingenieurbüro /Universität	Betreiber
SBR/MBR	Huber SE		Benas GmbH (Anlagenbesichtigung 2008) Vergärungsanlage Bebra (ehem. Betreiber)
Solare Trocknung	Thermo System Industrie- und Trocknungstechnik GmbH		ZAW Donau Wald (Anlagenbesichtigung Passau 2015)
Thermische Trocknung	Andritz AG Dörfler GmbH Trocknungs- und Verfahrenstechnik Haarslev Industries GmbH Stela Laxhuber GmbH Taprogge GmbH		Abfallzweckverband Südniedersachsen (Anlagenbesichtigung MBA Deiderode 2013) AWB Böblingen (Anlagenbesichtigung Vergärungsanlage Leonberg 2015) Benas GmbH (Anlagenbesichtigung 2008)
Sonstiges		Uni Hohenheim (Gärrestaufbereitung)	

3.4 Vorauswahl geeigneter Ansätze

In einem Besprechungstermin zwischen AWG und Witzenhausen-Institut im März 2014 wurden acht Varianten zum Umgang mit den anfallenden flüssigen Gärresten vorgestellt und intensiv diskutiert. In dem Zwischenbericht vom 02.04.2015 wurde eine orientierende Bewertungsmatrix erstellt (Tab. 5).

Tab. 5: Bewertungsmatrix aus dem Zwischenbericht zur Vorauswahl der Varianten

Kriterien	Gewichtung	0 Gärrestlager	1a Strippung	1b RO	1c Eindampfung	1d SiWaKA	2a Bandrockner, roh	2b Solar, flüssig	2c Bandrockner, fest	3 Bypass 10.000
Mehrkosten	50%	1	4	3	3	3	4	2	4	1
Platzbedarf	20%	4	2	1	1	1	2	4	2	5
technische Eignung	30%	2	5	5	5	3	3	3	3	2
gewichtetes Mittel		1,9	3,9	3,2	3,2	2,6	3,3	2,7	3,3	2,1

Aufgrund der o.g. Bewertung wurden drei Varianten zur weiteren Betrachtung ausgewählt (siehe Tab. 6). Im Nachgang wurden dann noch zwei weitere Varianten mit in die vertiefende Betrachtung einbezogen. Somit wurden in Summe fünf Varianten ausgewählt (Tab. 6)

Tab. 6: Variantenauswahl aufgrund der Bewertungsmatrix und zusätzlicher Überlegungen

Variantenauswahl		
0	Zusätzliche Gärrestlager (Benchmark)	
1a	Strippung	
1b	RO (Umkehrosmose)	
1c	Eindampfung	-> Var. 5
1d	SiWaKA (Sickerwasserkläranlage)	-> Var. 1
2a	Bandtrockner, roher Gärrest	
2b	Solare Trocknung, flüssiger Gärrest	-> Var. 2
2c	(Band)Trockner, <i>fester</i> Gärrest	-> Var. 4
3	Bypass 10.000 Mg/a (Teilstromvergärung))	-> Var. 3
	erste Auswahl = Ergebnis Bewertungsmatrix	
	zusätzliche Auswahl im Nachgang auf Wunsch Betreiber	

Das zu Grunde liegende Konzept der ausgewählten Verfahren lässt sich wie folgt kurz beschreiben:

- 0 Für die Übermenge an flüssigem Gärrest werden **zusätzliche Gärrestlager** errichtet.
- 1 Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird zentrifugiert und das Fugat wird zur Entsorgung in die **Sickerwasserkläranlage** der AWG entsorgt.
- 2 Die Übermenge an flüssigen Gärrest wird in einer **Solaren Trocknung** zu einem festen Gärrest getrocknet.
- 3 Die Übermenge an Gärrest wird unsepariert in einer Tunnelkompostierung mit **zusätzlichem Biogut** und Strukturmaterial kompostiert.
- 4 Die Übermenge an flüssigen Gärrest wird in einem **Trommeltrockner** zu einem festen Gärrest getrocknet (modifiziert: die Variante sah ursprünglich einen Bandtrockner vor).
- 5 Eine Teilmenge des flüssigen Gärrestes wird in einem **Eindampfverfahren** eingedickt, um die max. Flüssigdüngermenge einzuhalten.

Eine detaillierte Beschreibung sowie die zeichnerische Ausarbeitung erfolgen in Kapitel 4.

3.5 Versuche Dekanter

Für die Variante 1 „Sickerwasserkläranlage“ und die Variante 5 „Eindampfung“ ist eine zusätzliche Entwässerungsstufe notwendig, um die Vorgaben der Kläranlage oder des Prozesses an den Input erfüllen zu können. Zur besseren Abschätzung der Machbarkeit einer erweiterten Entwässerung wurden zusammen mit der Firma Flottweg Separation Technology indikative Dekanterversuche mit folgenden Zielen durchgeführt:

- Prüfung der generellen Dekantierbarkeit (mit oder ohne Flockungshilfsmittel [kurz: FHM]) des anlagenspezifischen flüssigen Gärrestes
- Einschätzung des Fugats bzgl. einer mögl. Entsorgung in einer Sickerwasserkläranlage und ggf. in alternativen Wegen (Rückführung als „Brauchwasser“ in die Fermentation, Flüssigdünger in der Landwirtschaft)
- Einschätzung des Dekanterkuchens bzgl. einer möglichen Mitkompostierung oder alternativen Wegen (z.B. direkte landwirtschaftliche Verwertung oder Pelletierung)

In drei (einfachen) Technikumsversuchen

1. ohne Flockungshilfsmittel
2. mit einem stärkebasierten Flockungshilfsmittel (Emfloc ECG 750)
3. mit einem synthetischen Flockungshilfsmittel (Praestol 853 BC)

wurde der Gärrest orientierend dekantiert. Hierzu wurden drei IBC mit je 1 m³ flüssigem Gärrest aus Backnang zum Technikum (Fa. Flottweg in Vilsbiburg) gebracht und mittels einer Dekanterzentrifuge (Abb. 18) im Industriemaßstab mechanisch in eine Flüssigphase (Fugat) und eine Festphase (Dekanterkuchen) separiert.

Der Prozess wurde bilanziert und die einzelnen Stoffströme analysiert sowie der Einfluss der Flockungshilfsmittel ermittelt. Neben TS und oTS für alle Fraktionen wurde das Fugat auf Nährstoffe, spezifischen Gasertrag und für die Einleitung in die Kläranlage wichtige Parameter untersucht. Beim Dekanterkuchen aus dem Versuch mit dem stärkebasierten FHM wurde die Einhaltung der Kriterien der Bundesgütegemeinschaft für festen Gärrest geprüft und grundsätzlich bestätigt (Ergebnisse siehe Tab. 20).



Abb. 18: Versuchsaufbau

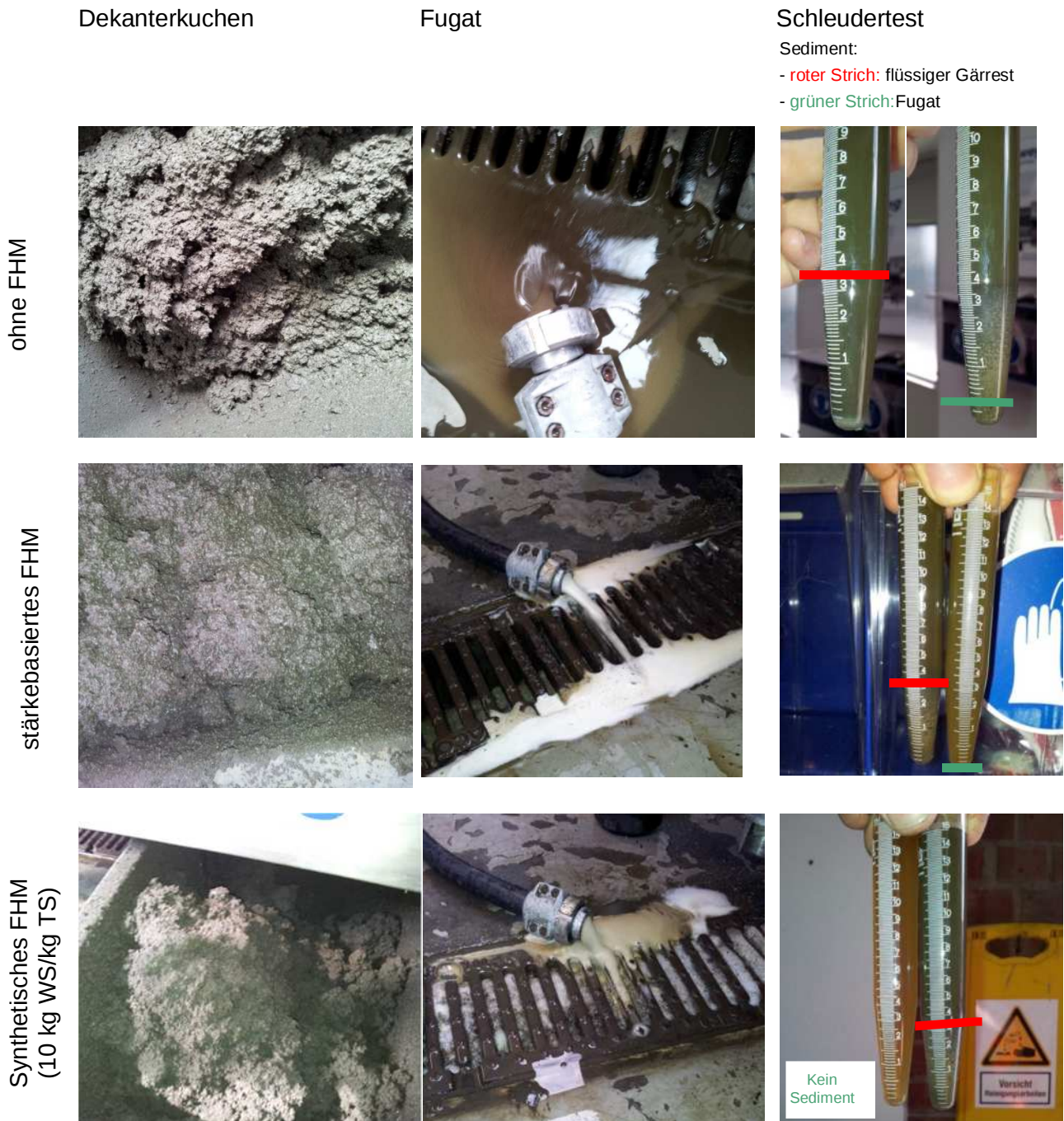


Abb. 19: (v.l.n.r.) Dekanterkuchen und Fugat nach Versuch **sowie** Schleudertest flüssiger Gärrest und Fugat ohne FHM sowie mit stärkebasiertem und synthetischem FHM

In Hinblick auf die Regelung in der Düngemittelverordnung (siehe Kasten), ist die Verwendung

Düngemittelverordnung (DüMV) 2012, Tab. 8 „Nebenbestandteile“ Nummer 8.1.3 „Synthetische Polymere“ „Ab dem 1.1.2017 Verwendung nur, soweit sämtliche Bestandteile und das Endprodukt sich mindestens um 20 % in zwei Jahren abbauen [...]“

von Flockungshilfsmitteln kritisch zu sehen. Die Abbaubarkeit von synthetischen wie auch auf

Stärkebasis funktionierendem Flockungshilfsmittel ist, bei vielversprechenden Untersuchungsergebnissen, bisher nicht abschließend nachgewiesen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse in Form von Fotos dargestellt. Die detaillierten Ergebnistabellen der Analysen sind im Anhang 8.2 dokumentiert.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass ohne Flockungshilfsmittel aus dem flüssigen Gärrest mit einem Trockensubstanzgehalt von knapp 15 % ein Fugat mit 6,6 % TS erzeugt werden kann. Bei Zugabe von FHM reduziert sich dieser Wert auf ein bzw. zwei Prozent.

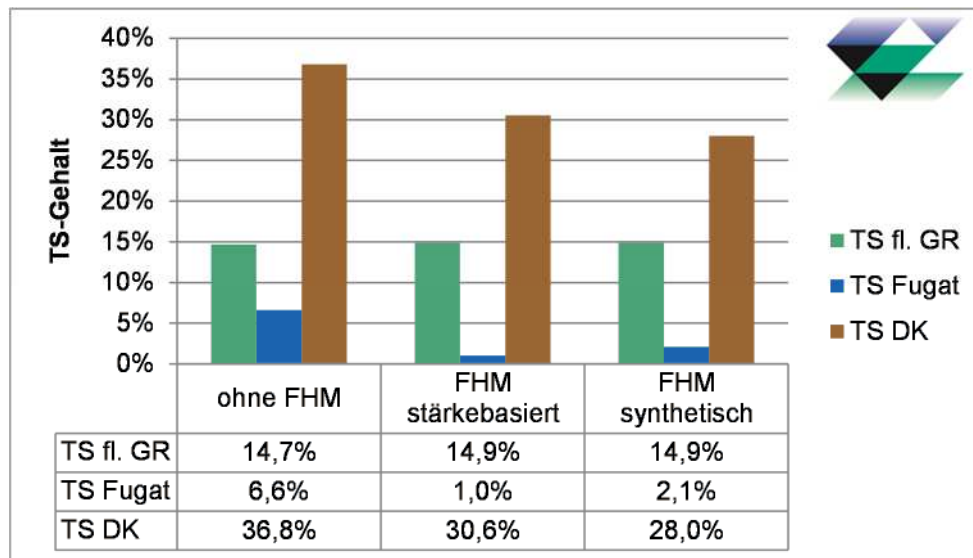


Abb. 20: TS-Gehalte von Gärrest, Fugat und Dekanterkuchen

Der flüssige Gärrest aus Backnang ist grundsätzlich gut dekantierbar. Die Ergebnisse sind insgesamt als sehr gut einzustufen, allerdings mit der Einschränkung, dass es sich um Technikkumsversuche handelt. Vor einer Realisierung wird ein Langzeitversuch empfohlen.

Das Fugat kann sowohl in die Fermentation zur Substitution von Brauchwasser als auch in die Sickerwasserkläranlage beziehungsweise in die kommunale Kläranlage eingeleitet werden, wenn z.B. stärkebasierte FHM eingesetzt werden.

Der Dekanterkuchen ist nicht uneingeschränkt streufähig. Eine Mitkompostierung wäre nur bei geringen Mengen möglich. Andere Verwertungswege, wie z.B. eine Pelletierung, sind noch offen.

Das stärkebasierte FHM war überraschend gut und besser als das synthetische Polymer für diesen Gärrest (Klärung mit BGK bzgl. Zulassung offen).

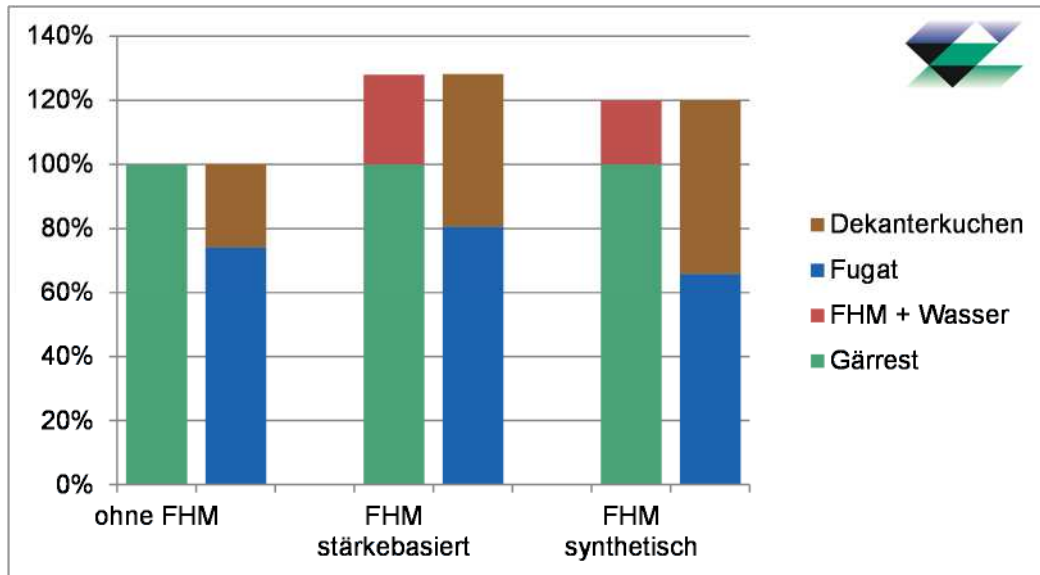


Abb. 21: Massenverteilung der In- und Outputströme bei unterschiedlichem Einsatz von Flockungshilfsmitteln (FHM)

Durch den Einsatz von FHM wird zusätzliches Wasser in das System eingetragen. Dies ist zum einen notwendig, um die Viskosität des FHM einzustellen und die Einmischbarkeit zu gewährleisten. Zum anderen ist das Wasser notwendig, um die Leitfähigkeit des Gärrestes herabzusetzen, da bei zu hohem Salzgehalt die FHM nicht bzw. nur schlecht wirken. Bei den Versuchen fand sich das zusätzliche Wasser allerdings zum größten Teil im Dekanterkuchen wieder.

Bei der weiteren Betrachtung sollten weitere Entwässerungsaggregate, wie z.B. eine Bandfilterpresse, in Betracht gezogen werden.

3.6 Beispiele umgesetzter Konzepte

3.6.1 Gärresttrocknung Vergärungsanlage Leonberg

Die Kompostanlage in Leonberg im Kreis Böblingen wurde 2004 in eine Vergärungsanlage umgebaut. Im Zuge dessen wurde ein Bandrockner der Firma Andritz zur Trocknung der rohen Gärreste installiert.

Die Gärreste werden hier auf > 90 % TS Gehalt getrocknet und mit rohem Gärrest gemischt, um die gewünschte Feuchtigkeit im Ausgangsprodukt für die Kompostierung einzustellen. Der Trockner ist ausgelegt auf eine Verarbeitungsmenge von ~ 12.000 Mg/a.



Abb. 22: Bandtrockner in Leonberg

Im Rahmen des Biomasseforums 2009 in Witzenhausen wurde von folgenden Betriebserfahrungen berichtet:

1. Die Förderaggregate waren zu klein dimensioniert, Verstopfung Haischnecke [zur Mischung roher Gärrest mit getrocknetem Gärrest, Anm.: W-I], neue, selbstreinigende Schnecke wurde nachgerüstet
2. Bandsteuerung nicht optimal ausgelegt, Verschleißanfälligkeit
3. Materialfeuchtemessung fehlt, neigt zu Übertrocknung
4. Wärmetauscher staubempfindlich, Nachrüstung Filterflieseinschübe
5. Installierter Brenner war nicht umschaltbar von Heizöl auf Biogas; komplett neue Brenneranlage nachgerüstet
6. Trocknersteuerung nicht optimal, Nachrüstung notwendig
7. Umbau- und Optimierungsmaßnahmen erhöhten die störungsfreien Betriebsphasen um den Faktor 5
8. Jahresbetriebsstunden ca. 1/3 höher
9. Bereitschaftsdienst konnte stark eingeschränkt werden
10. Halbierung des Heizölverbrauchs
11. Steigerung der Abwärmenutzung auf über 5.000 MWh/a

Bei der Anlagenbesichtigung im Rahmen dieses Vorhabens wurde von einer Verfügbarkeit von mittlerweile 70 % berichtet. Ausfallzeiten werden hauptsächlich durch Probleme mit der Zuführtechnik und der Wärmebereitstellung verursacht und nicht durch Ausfälle des Trockners. Eine Herausforderung ist das Mischen der rohen und getrockneten Gärreste, welches mittlerweile nur noch via Bandübergabe realisiert wird.

3.6.2 Teilstromvergärung

Einige Bioabfallvergärungsanlagen in Deutschland arbeiten nach dem im Kapitel 3.1.2 bereits dargestellten Prinzip der Teilstromvergärung, darunter z. B. die Anlagen in Frankfurt, Coesfeld. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde die 2011 in Betrieb genommene nachgerüstete Vergärungsanlage in Hengelo (NL) besichtigt. Sie vermeidet flüssige Gärreste durch Teilstromvergärung und anschließende Kompostierung (Rotte) des rohen Gärrestes zusammen mit Strukturmaterial und dem im Bypass geführten Biogut.



Abb. 23: Vergärungsanlage Hengelo; Quelle: OWS

Die Rote erfolgt in den vorher vorhandenen Rottetunneln (ca. 14 Tage). Durch die nachträglich vorgeschaltete Fermentation ist das Inputmaterial feuchter und grober geworden und die Kompostierung anspruchsvoller. Dies führt ggf. auch zu längeren Aufenthaltszeiten. Entscheidend ist die Zumischung von geeignetem Strukturmaterial zum Gärrest.

Als Resümee lässt sich zusammenfassen, dass die Technik gut funktioniert und eine gute Kompostierung benötigt. Bei nachgerüsteten Vergärungsanlagen sollte auch die Rottetechnik angepasst werden.

3.6.3 Solare Trocknung Passau

Die solare Trocknung der Vergärungsanlage Passau ist seit 2011 in Betrieb. In den zwei Hallen mit je ca. 1.000 m² können 8.000 bis 10.000 m³/a Gärrest getrocknet werden.

Während zu Beginn noch flüssiger Gärrest getrocknet wurde, ist es jetzt Klärschlamm, da externe Gärrestlagerkapazitäten in der Region günstiger waren im Vergleich zu den Gesamtkosten der solaren Trocknung.

Der vorentwässerte Klärschlamm wird direkt in der Halle abgekippt. Flüssiger Gärrest wurde ursprünglich über ein Rohrleitungssystem mit außenliegender Andockmöglichkeit in der Halle verteilt. Da sich die Rohrleitungen im Laufe der Zeit mit Sedimenten zusetzten, wurde der Tankwagen dann direkt in die Halle gefahren und dort der Schieber geöffnet.

Neben dem solaren Anteil wird zusätzlich auch thermische Energie über Luftwärmetauscher eingetragen. Die Verweilzeit beträgt ca. 1-2 Wochen im Sommer und 3-4 Wochen im Winter. Während dieser Zeit wird das Material mit einem „elektrischen Schwein“ gewendet. Das Material wird dann per Radlader ausgetragen und kann im hinteren, ebenfalls gekapselten Bereich der Halle auf einen LKW verladen werden. Der LKW steht hierfür etwas tiefer. Eine Abluftreinigung wurde von der Genehmigungsbehörde nicht gefordert.



Abb. 24: Befüllung der solaren Trocknung mit flüssigem Gärrest (links) und Bearbeitung mit „elektrischem Schwein“ (rechts); Quelle: Thermo-System

Vom Betreiber wurde darauf hingewiesen, dass der Austrags-TS-Gehalt unter 80 % liegen sollte, da sonst Probleme durch Staub und Klumpenbildung auftreten könnten. Er ist grundsätzlich zufrieden mit der Technologie, allerdings sollte ggf. noch der Stromverbrauch optimiert werden.



Abb. 25: Solare Trocknung in der Anlage in Passau: Gewächshaus mit Ventilatoren (links), gekapselter Abwurf für das Outputmaterial (rechts)

3.6.4 Dekantereinsatz Passau und Braunschweig

In den beiden Vergärungsanlagen in Passau-Hellersberg und Braunschweig werden Dekanter eingesetzt, um den Brauchwasserverbrauch zu senken.

Dazu wird der Dekanter ohne Flockungshilfsmittel betrieben, um den flüssigen Gärrest nach Schneckenpresse weiter zu entwässern. Das Fugat substituiert dann Brauchwasser zum Anmaischen der Fermentermischung.

Diese Technik wurde ursprünglich bei vielen Vergärungsanlagen des Herstellers Kompogas eingesetzt. Aufgrund der hohen Betriebskosten der Dekanter wurde auf diese Technologie in

vielen Fällen verzichtet. Durch die verschärften Anforderungen an die Lagerung und Ausbringung von Gärresten werden allerdings aktuell wieder Anlagen nach diesem Muster konzipiert.



Abb. 26: Dekanter in der Anlage in Passau

4 Technische Untersuchung der ausgewählten Varianten

In der nachfolgenden Variantenuntersuchung wurden die ausgewählten fünf Varianten (siehe auch Kap. 3.4) betrachtet und detailliert untersucht. Es wurden jeweils eine Auslegung, ein Fließbild sowie ein erster Aufstellungsentwurf erstellt.

Tab. 7: Übersicht der betrachteten Variantenauswahl

Übersicht der betrachteten Varianten

Var. 0	Zusätzliche Gärrestlager
Var. 1	Sickerwasserkläranlage
Var. 2	Solare Trocknung
Var. 3	Teilstromvergärung
Var. 4	Trommeltrocknung
Var. 5	Eindampfung

Die sogenannte "Nullvariante" wird als Benchmark für die alternativen Varianten herangezogen. Diese Variante (siehe Kap. 4.2) beinhaltet im Wesentlichen (nur) den Neubau zusätzlicher Lagerkapazität für den flüssigen Gärrest. Aktuell befindet sich diese Variante in der Planungsphase (Entwurfs- bzw. Genehmigungsplanung). Im Einzelnen sind Grundlagen der untersuchten Varianten:

- 0 Für die Übermenge an flüssigem Gärrest werden **zusätzliche Gärrestlager** errichtet.
- 1 Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird zentrifugiert und das Fugat durch die **Sickerwasserkläranlage** der AWG entsorgt.
- 2 Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird in einer **Solaren Trocknung** zu einem festen Gärrest getrocknet.
- 3 Die Übermenge an Gärrest (roh) wird unsepariert in einer **Tunnelkompostierung** mit zusätzlichem Biogut und Strukturmaterial kompostiert.
- 4 Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird in einem **Trommeltrockner** zu einem festen Gärrest getrocknet.
- 5 Eine Teilmenge des flüssigen Gärrestes wird in einem **Eindampfverfahren** eingedickt, um die mit den vorhandenen Gärrestlagern maximal lagerbare Flüssigdüngermenge einzuhalten.

4.1 Grundlagen der Variantenbetrachtung

Grundlegenden Daten waren die im Vorfeld ermittelten und abgestimmten Stoffstromdiagramme (u.a. 2015+) am Standort Backnang (siehe Kapitel 2.4). Zudem wurden die Ergebnisse des Dekanterversuchs mit eingearbeitet. Die technische Variantenuntersuchung bildet wiederum die Grundlage für die wirtschaftliche Betrachtung (siehe Kapitel 5).

Die Optimierung der vorhandenen Nachrotte (d.h. eine funktionale Behandlung der festen Gärreste aus den Pressen in den Rottebuchten) wurde vorausgesetzt und nicht weiter in dieser Untersuchung betrachtet. Entscheidende Parameter sind hier die Siebfähigkeit ($TS > 60 \%$) und das Erreichen eines Rottegrades V vor der Konfektionierung des Komposts. Eine Optimierung der vorhandenen Rottebuchten sollte jedoch (nach einer ersten Einschätzung des Witzenhausen-Instituts) folgende Punkte beinhalten:

- Direkte Rückführung von Rottematerial in die Gärrestbehandlung zur Erhöhung des TS-Gehalts
- Belüftung aller Buchten und Optimierung der Belüftung bzgl. Durchsatz/Druck
- Steuerung der Lüftung über die Haufwerkstemperatur (Wärme aus Organikabbau)
- ggf. zusätzlicher Wärmeeintrag (aus BHKW-Abwärme)
- ggf. Umluftführung (jedoch nur bei geschlossenem Tunnel möglich)

Die Entscheidung für eine der genannten Maßnahmen unterliegt einer Kosten-Nutzen-Abwägung.

Eine weitere wesentliche Grundlage für die untersuchten Varianten (und somit deren Vergleichbarkeit untereinander) war, dass ca. 5/12 des flüssigen Gärrestes ($8.400 \text{ m}^3/\text{a}$) weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden. Für diese Menge können die vorhandenen Gärrestlager (ca. 6.300 m^3) eine Lagerkapazität von 9 Monaten gewährleisten. Die, nach Ermessen der Genehmigungsbehörde, erforderliche Nachrüstung eines Havariievolumens für die vorhandenen Gärrestlager wurde nicht betrachtet.

Anders formuliert, für die verbleibenden $10.600 \text{ m}^3/\text{a}$ (von $19.000 \text{ m}^3/\text{a}$) flüssigen Gärrests wurden verschiedene Verfahren für den Standort Backnang ausgearbeitet und anschließend miteinander verglichen.

In der Grundlagenermittlung (siehe Kapitel 2.3) ergab sich für die verfügbare Wärme eine zur Verfügung stehende mittlere thermische Leistung von bis zu 870 kW am Standort (Überschusswärme), falls sich die Abnahme an thermischer Energie durch die Kläranlage nicht erhöht. Dies ist ein weiterer wesentlicher Faktor für die Bemessung der Varianten, insbesondere der thermischen Verfahren.

4.2 Variante (0) - Zusätzliche Gärrestlager

Für die Übermenge an flüssigem Gärrest werden zusätzliche Gärrestlager errichtet.

Stichpunktartige Beschreibung des Verfahrens (siehe auch Abb. 27):

- Der rohe Gärrest wird wie bisher in den 4 vorhandenen Pressen in eine feste und eine flüssige Phase separiert.
- Der flüssige Anteil wird vollständig in die vorhandenen und die neuen Gärrestlager gepumpt.

- Um die anfallenden Mengen an flüssigen Gärrest bis zur landwirtschaftlichen Verwertung ausreichend für neun Monate zwischenlagern zu können, müssen ca. 8.000 m³ zusätzliches Lagervolumen zur Verfügung gestellt werden.

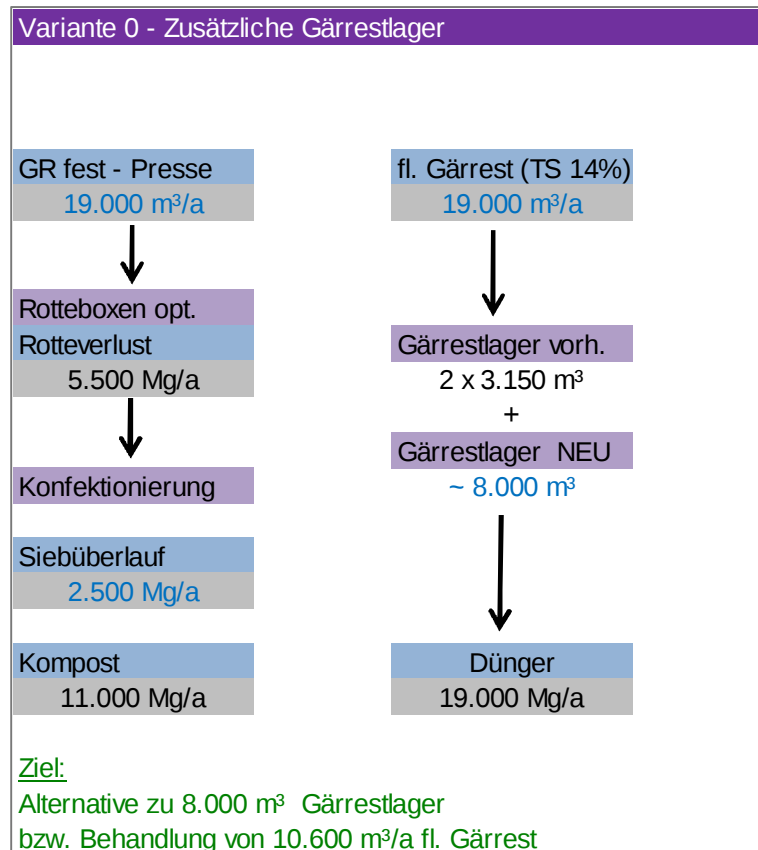


Abb. 27: Stoffstrom zur "Nullvariante"

Der erforderliche Platzbedarf bzw. eine mögliche Platzierung von zwei zusätzlichen Gärrestlagern (je 4.000 m³) wurde zur Veranschaulichung in den Bestandsplan eingezeichnet (siehe Abb. 28).

Anmerkungen / Offene Punkte:

- Neue Gärrestlager müssen gasdicht errichtet werden (siehe u.a. EEG). Dabei sind auch Themen der klimaschädlichen Methanemissionen im Zuge der Entsorgung und des Explosionsschutzes (Probleme mit Ex-Bereichen) berührt.
- Die Gashauben erlauben eine größere Flexibilität der Anlage (z.B. bei Wartungsarbeiten an den BHKW) und auch eine flexible Stromeinspeisung.
- Es wurden zwei Behälter für die zusätzlichen Gärrestlager gewählt, um u.a. das erforderliche Havarievolumen zu reduzieren.
- Inwieweit alternative Lösungen vor dem Hintergrund des Baugrunds sinnvoll sind, wurde aufgrund der Topografie und der Baugrundcharakteristik nicht berücksichtigt.



Abb. 28: Aufstellungsskizze zu Variante "0" - Neubau zusätzlicher Gärrestlager

4.3 Variante (1) - Sickerwasserkläranlage

Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird zentrifugiert und das Fugat wird zur Entsorgung in die Sickerwasserkläranlage der AWG gebracht.

Stichpunktartige Beschreibung des Verfahrens (siehe auch Abb. 29 und Abb. 49):

- Der rohe Gärrest wird wie bisher in den 4 vorhandenen Pressen in eine feste und eine flüssige Phase separiert.
- Ein Teilstrom des flüssigen Gärrestes (ca. 8.400 m³/a) wird wie bisher in die vorhandenen Gärrestlager gepumpt und anschließend in der Landwirtschaft verwertet.
- Der feste Gärrest wird in der Nachrotte kompostiert.
- Die verbleibende Teilmenge des flüssigen Gärrestes (10.600 m³/a) wird jedoch weiter separiert mittels eines neu zu errichtenden Dekaners.
- Die Zugabe von Flockungshilfsmittel (FHM) ist erforderlich (siehe auch Kap. 3.4), um einen TS-Gehalt von ca. 1 % im Fugat zu erreichen. Dabei sind die Vorgaben der Düngemittelverordnung zu berücksichtigen (vgl. Kap. 3.5).
- Das Fugat (oder auch Zentrat) aus dem Dekanter wird anschließend mit Tankwagen zu der vorhandenen Sickerwasserkläranlage der AWG gebracht und dort entsorgt.
- Je nach Logistik kann an dieser Stelle eine Zwischenpufferung des Fugats erforderlich sein (optional: Puffertank).
- Der Dekanterkuchen (oder auch Feststoff) wird in einem Flachbunker (Kapazität ca. 4 Wochen) bis zur Verwertung als fester Dünger zwischengelagert (vgl. Kap. 3.5).
- Der erforderliche Platzbedarf bzw. eine Platzierung des Dekaners und des Flachbunkers wurde zur Veranschaulichung in den Bestandsplan eingezeichnet (siehe Abb. 30).

Anmerkungen / Offene Punkte:

- Eine Dekantierung des flüssigen Gärrestes kann generell auch dazu beitragen, die Brauchwassermenge im Fermenter zu minimieren (und ggf. ganz zu substituieren). Hierzu wäre jedoch kein Flockungshilfsmittel erforderlich bzw. nicht ökonomisch. Daher würde für solch einen Anwendungsfall ein 2. Dekanter ohne FHM vorgeschaltet werden, wobei der erforderliche Invest zu beachten ist.
- Generell kann die Entwässerung des flüssigen Gärrestes auch mit einer Bandfilterpresse erfolgen.
- Ein wesentlicher Faktor sind die Flockungshilfsmittel, welche hohe Kosten verursachen und einen zusätzlichen Wasserbedarf erzeugen. Die hier zu Grunde gelegten stärkebasierten FHM sind derzeit noch in der Prüfung bzgl. ihrer biologischen Abbaubarkeit.
- Im Rahmen der Projektbesprechungen wurde diskutiert, im Anschluss an diese Studie ggf. einen kontinuierlichen Versuch (Leihgerät) mit einem Dekanter oder einer Bandfilterpresse am Standort Backnang durchzuführen. Auch gibt es hierzu Erfahrungen an anderen Standorten.
- Auch die Verwertbarkeit des Fugats in einer Sickerwasserkläranlage ist zwingend durch einen Praxisversuch zu verifizieren.

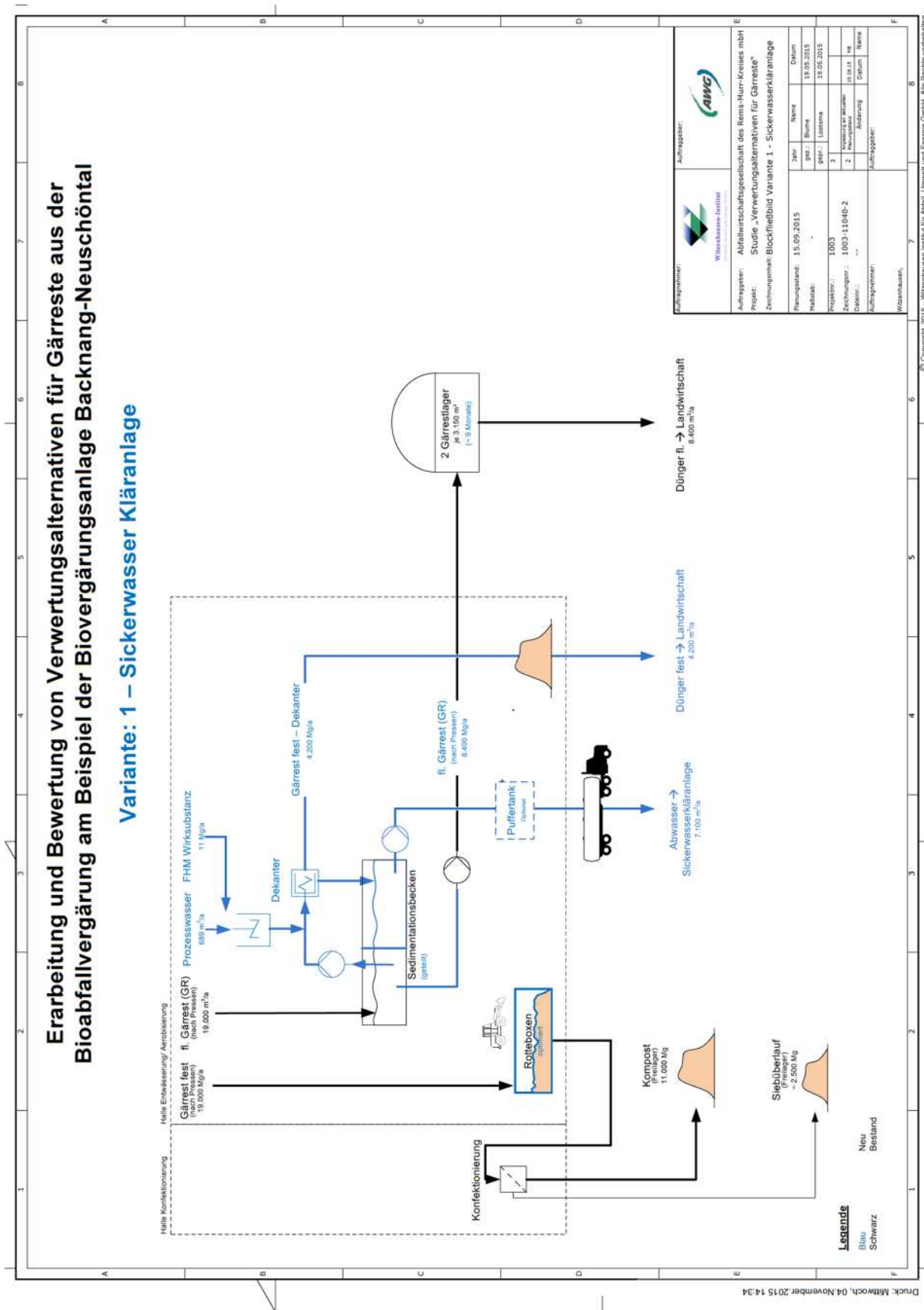


Abb. 29: Fließbild zu Variante 1 – Sickerwasserkläranlage



Abb. 30: Aufstellungsskizze zu Variante 1 - Sickerwasserkläranlage

4.4 Variante (2) - Solare Trocknung

Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird in einer solaren Trocknung zu einem festen Gärrest getrocknet.

Stichpunktartige Beschreibung des Verfahrens (siehe hierzu auch Abb. 31 und Abb. 50):

- Der rohe Gärrest wird wie bisher in den vier vorhandenen Pressen in eine feste und eine flüssige Phase separiert.
- Ein Teilstrom des flüssigen Gärrestes (ca. 8.400 m³/a) wird wie bisher in die vorhandenen Gärrestlager gepumpt und anschließend in der Landwirtschaft verwertet.
- Der feste Gärrest wird in der Nachrotte kompostiert.
- Die verbleibende Teilmenge des flüssigen Gärrestes (10.600 m³/a, mit ~ 13-15 % TS) wird zu einer neu zu errichtenden solaren Trocknung gepumpt.
- In gewächshausähnlichen Gebäuden (2 Felder) wird in einer Kombination aus BHKW-Wärme und Solar-Wärme der Gärrest getrocknet. Hierbei wird der Gärrest kontinuierlich durch ein "Solarschwein" gewendet.
- Die Abluft aus den beiden Modulen wird anschließend über einen sauren Wäscher gereinigt.
- Anschließend wird der teilgetrocknete Gärrest (~ 38-44 % TS) batchweise mittels Radlader ausgetragen zur Verwertung als fester Dünger.

Der erforderliche Platzbedarf der solaren Trocknung wurde zur Veranschaulichung in den Bestandsplan auf dem Nachbargrundstück eingezeichnet (siehe Abb. 32). Die Eignung des Bau- und des Nachbargrundstücks und der Umfang der damit verbundenen baulichen Maßnahmen, insbesondere durch die Topografie bedingt, sind noch zu prüfen.

Anmerkungen / Offene Punkte:

- Aufgrund der zur Verfügung stehenden Wärme (870 kW, falls sich die Abnahme thermischer Energie der Kläranlage nicht erhöht) wäre derzeit eine Trocknung auf einen TS-Gehalt von ca. 40 % möglich. Die Konsistenz dieses Produktes kann derzeit nicht vorhergesagt werden. Nach Herstellerangaben ist die Trocknung von struktureicherem Material zu bevorzugen.
- Von Nachteil sind die fehlenden großtechnischen Langzeit-Betriebserfahrungen mit der solaren Trocknung flüssiger Gärreste.
- Der Anteil der solaren Energie ist gering im Vergleich zur erforderlichen Wärmemenge aus den BHKW. Generell liegt der thermische Wirkungsgrad bei ca. 1,5 kWh / kg H₂O.
- Analog zum Dekanterkuchen wird dieser Dünger nahezu störstofffrei sein, ggf. wird hierfür der Aufbau einer angepassten Gütesicherung erforderlich sein.

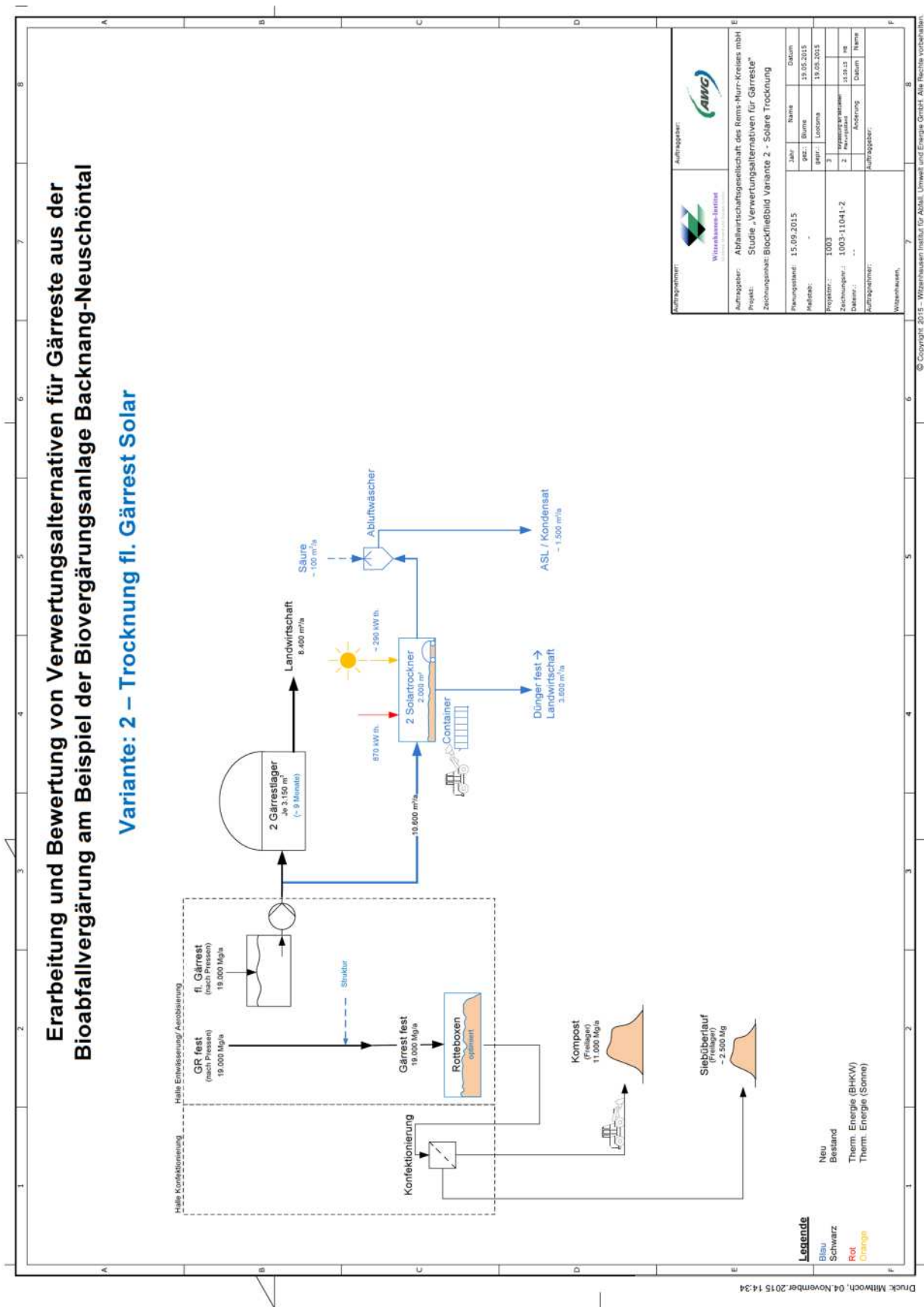


Abb. 31: Fließbild zu Variante 2 - Solare Trocknung

Abb. 32: Aufstellungsskizze zu Variante 2 - Solare Trocknung

4.5 Variante (3) - Teilstromvergärung

Die Übermenge an Gärrest (roh) wird unsepariert in einer Tunnelkompostierung mit zusätzlichem Biogut und Strukturmaterial kompostiert. Stichpunktartige Beschreibung des Verfahrens (siehe hierzu Abb. 33 und Abb. 51):

- Eine Teilmenge (ca. 17.000 Mg/a) des rohen Gärrestes wird wie bisher in den vorhandenen (2 von 4) Pressen in eine feste und eine flüssige Phase separiert.
- Der anfallende flüssige Gärrestes (ca. 8.400 m³/a) wird wie bisher in die vorhandenen Gärrestlager gepumpt und anschließend in der Landwirtschaft verwertet.
- Der feste Gärrest wird in die neu zu errichtende Tunnelkompostierung transportiert und dort mitkompostiert.
- Die andere Hälfte des rohen Gärrestes (ca. 21.000 Mg/a mit ~ 25 % TS) wird in der Logistikhalle mit festem Gärrest aus den Pressschnecken und frischem Bio- oder Grüngut sowie Rotteaustragsmaterial vermischt. Die Herstellung dieser (belüftbaren/kompostierfähigen) Mischung kann mit einem Radlader oder optional mit einem Mischaggregat erfolgen.
- Die Mischung wird anschließend in 9 Intensivrottetunnel ca. 3 Wochen zu Fertigkompost gerottet. Hierbei findet gleichzeitig auch eine Hygienisierung statt.
- Die Rottetunnel werden mit Radladern bewirtschaftet (optional sind z.B. automatische Eintragssysteme mit Gurtförderern möglich).
- Nach der Konfektionierung des Kompostes wird der Kompost in den vorhandenen Rottebuchten (Lagerkapazität ca. 5-6 Wochen) in der Halle gelagert.

Der erforderliche Platzbedarf der Rottetunnel und der erforderlichen Halle wurde zur Veranschaulichung in den Bestandsplan auf dem Nachbargrundstück eingezeichnet (siehe Abb. 34). Eine Aufstellung wäre daher flächenmäßig möglich. Die Fläche des Nachbargrundstücks würde jedoch komplett hierfür benötigt werden und bietet kaum Reserven. Die Eignung des Baugrunds auf dem Nachbargrundstück und der Umfang der damit verbundenen baulichen Maßnahmen, insbesondere durch die Topografie bedingt, sind noch zu prüfen.

Anmerkungen / Offene Punkte:

- Dieser Prozess ist gängige Praxis in verschiedenen Biogutvergärungsanlagen.
- Durch die Umsetzung am Standort Backnang würde die erforderliche Optimierung des Rottebereichs (vgl. Kapitel 2.3.3.2) statt in der derzeitigen Halle in dem für die Teilstromvergärung neu zu errichtenden Anlagenteil erfolgen.
- Damit stünde die bisherige Rottehalle weitgehend als zusätzliches Kompostlager zur Verfügung.
- Die zusätzlichen Biogutmengen sind am Markt zu akquirieren.
- Das zusätzliche Biogut wird in der Annahmehalle angeliefert, aufbereitet und anschließend, beispielsweise mittels einer Kranlösung in Verbindung mit einer Dosiereinrichtung, auf das Transportband gegeben, welches den festen abgepressten Gärrest gemeinsam mit frischem Biogut fördert.
- Der Aufwand der Radladertätigkeiten und der personelle Arbeitsaufwand erhöht sich.



52



Abb. 34: Aufstellungsskizze zu Variante 3 - Teilstromvergärung

4.6 Variante (4) - Trommeltrocknung

Die Übermenge an flüssigem Gärrest wird in einem Trommeltrockner zu einem festen Gärrest getrocknet.

Stichpunktartige Beschreibung des Verfahrens (siehe hierzu auch Abb. 35 und Abb. 52):

- Der rohe Gärrest wird wie bisher in den 4 vorhandenen Pressen in eine feste und eine flüssige Phase separiert.
- Ein Teilstrom des flüssigen Gärrestes (ca. 8.400 m³/a) wird wie bisher in die vorhandenen Gärrestlager gepumpt und anschließend in der Landwirtschaft verwertet.
- Der feste Gärrest wird in der Rottehalle kompostiert.
- Die verbleibende Teilmenge des flüssigen Gärrestes (10.600 m³/a; ~13-15 % TS) wird zu einer neu zu errichtenden Trommeltrocknung gepumpt.
- Durch Rückmischung mit bereits getrocknetem Material wird der Gärrest dem Trommeltrockner zugeführt und mittels heißer Abgase getrocknet. Um den Gärrest auf einen TS-Gehalt von ca. 50 % zu trocknen, sind 1,1 MW thermische Leistung erforderlich.
- Ein Teil der Wärme wird mittels eines 500 kW Drehrohrofens erzeugt, welcher z.B. mit aufbereitetem holzigem Grüngut betrieben werden kann (ca. 1.600 Mg/a bei 2,8 kWh/kg).
- Der übrige Teil von ~ 600 kW kann aus den Abgasen der BHKW entnommen werden (thermischen Leistung der BHKW ~ 1.340 kW).
- Der getrocknete Gärrest wird unter einer Überdachung (Kapazität ca. 4 Wochen) bis zur Verwertung als fester Dünger zwischengelagert.

Der erforderliche Platzbedarf der Hallen (Trommeltrocknung und Drehrohrofen) wurde zur Veranschaulichung in den Bestandsplan auf dem Nachbargrundstück eingezeichnet (siehe Abb. 36). Die Eignung des Baugrunds auf dem Nachbargrundstück und der Umfang der damit verbundenen baulichen Maßnahmen, insbesondere durch die Topografie bedingt, sind noch zu prüfen. Neben der Trocknung wurde auch der Platzbedarf für das Grüngut- und das Düngerlager dargestellt.

Anmerkungen/ Offene Punkte:

- Analog zum Dekanterkuchen wird dieser feste Dünger nahezu störfreier sein. Auch hierfür wird ggf. ein eigenes Gütesiegel erforderlich sein.
- Auf Nachfrage beim Hersteller für Drehrohrofen liegen bisher keine Referenzen bzgl. der emissionsrechtlichen Anforderung bei der Verbrennung von Siebüberläufen aus der Kompostaufbereitung vor.



55



56

4.7 Variante (5) - Eindampfung

Eine Teilmenge des flüssigen Gärrestes wird in einem Eindampfverfahren eingedickt, um die max. Flüssigdüngermenge einzuhalten.

Stichpunktartige Beschreibung des Verfahrens (siehe hierzu auch Abb. 37 und Abb. 53):

- Der rohe Gärrest wird wie bisher in den vier vorhandenen Pressen in eine feste und eine flüssige Phase separiert.
- Ein Teilstrom des flüssigen Gärrestes (ca. 5.000 m³/a) wird wie bisher in die vorhandenen Gärrestlager gepumpt und anschließend in der Landwirtschaft verwertet.
- Der feste Gärrest wird in der Rottehalle kompostiert.
- Die verbleibende Teilmenge des flüssigen Gärrestes (14.000 m³/a) wird zentrifugiert, jedoch ohne den Einsatz von Flockungshilfsmittel (FHM).
- Der Dekanterkuchen (oder auch Feststoff) wird in einem Flachbunker (Kapazität: ca. 4 Wochen) bis zur Verwertung als fester Dünger zwischengelagert. Bezüglich der Düngereigenschaften siehe hierzu auch Kap. 3.5.
- Das Fugat wird eingedampft auf eine Konzentratmenge von 3.400 m³/a und auch in die Gärrestlager gepumpt.
- Zur Behandlung der Abluft ist ein saurer Wäscher vorgesehen. Das dabei entstehende Ammoniumsulfat kann als Düngemittel vermarktet werden.
- Das Kondensat aus der Eindampfung (ca. 7.100 m³/a) wird zur Kläranlage geleitet

Der erforderliche Platzbedarf für die Eindampfanlage und den Flachbunker für den Dekanterkuchen wurde zur Veranschaulichung in den Bestandsplan auf dem Nachbargrundstück eingezeichnet (siehe Abb. 38). Die Eignung des Baugrunds auf dem Nachbargrundstück und der Umfang der damit verbundenen baulichen Maßnahmen, insbesondere durch die Topografie bedingt, sind noch zu prüfen.

Anmerkungen/ Offene Punkte:

- Wesentlicher Punkt bei diesem Konzept ist der Verzicht auf FHM bei der Dekantierung (Kosten und Düngereigenschaften) bzw. die Bestätigung des Herstellers, dass ein Fugat mit 5-6 % TS für die Funktionalität der Eindampfung ausreichend ist. Dies sollte in einem Eindampfversuch bestätigt werden. Es gibt bisher keine Referenzanlage für die Eindampfung von Gärrest aus der Biogutvergärung.
- Im Zusammenhang mit einem möglichen Eindampfversuch wäre auch die optionale Nachklärung der Kondensate zu betrachten sowie die Verwendung von Kondensat im Kühlturm.
- Weitere Punkte, wie z.B. das Ansäuern des Vorlaufs oder die Biofilter für Brüden, sind zu vertiefen.
- Es wird hier auch das Potenzial gesehen, ggf. die gesamte Menge (19.000 m³/a) in der Eindampfung zu behandeln.

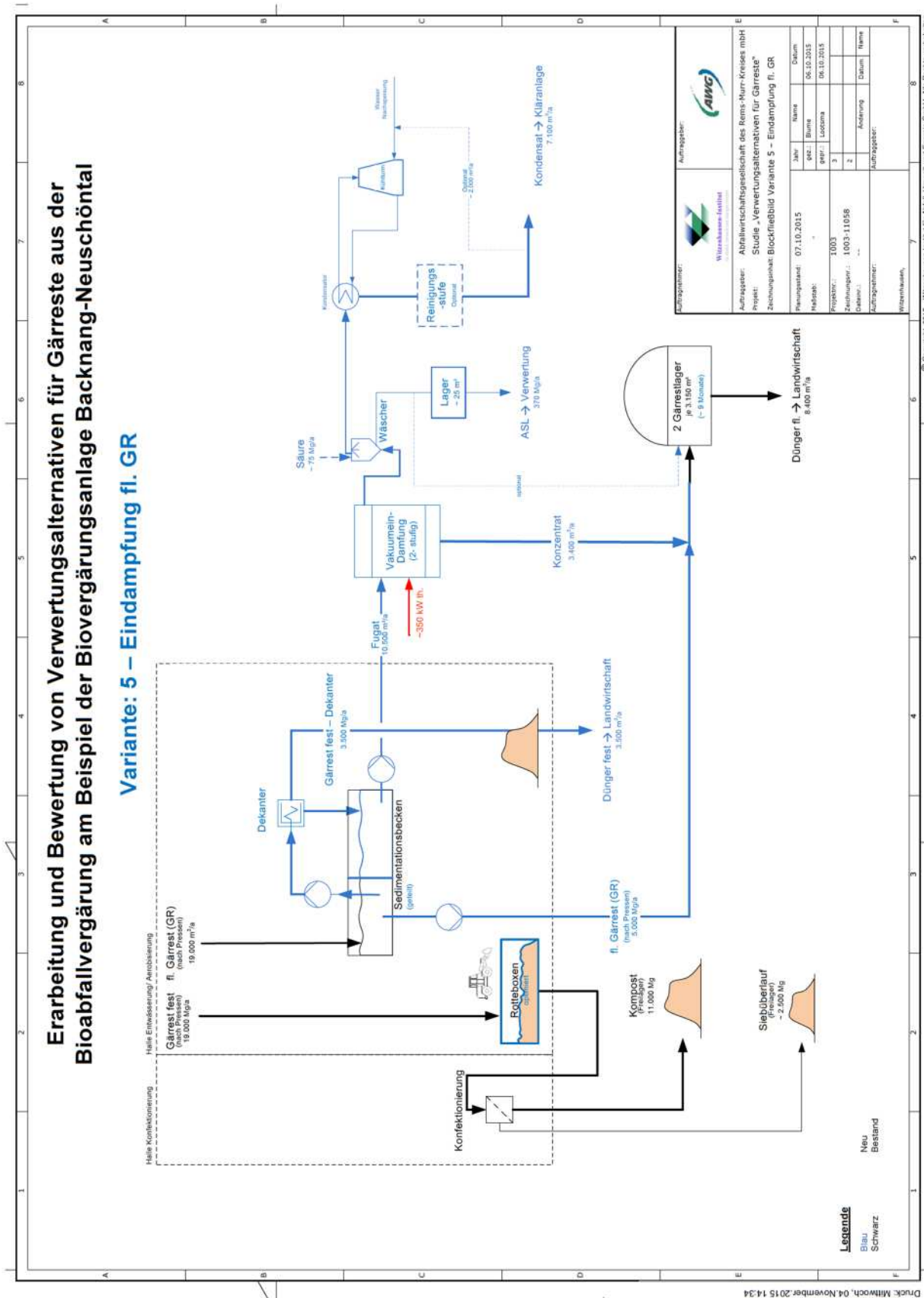


Abb. 37: Fließbild zu Variante 5 - Eindampfung

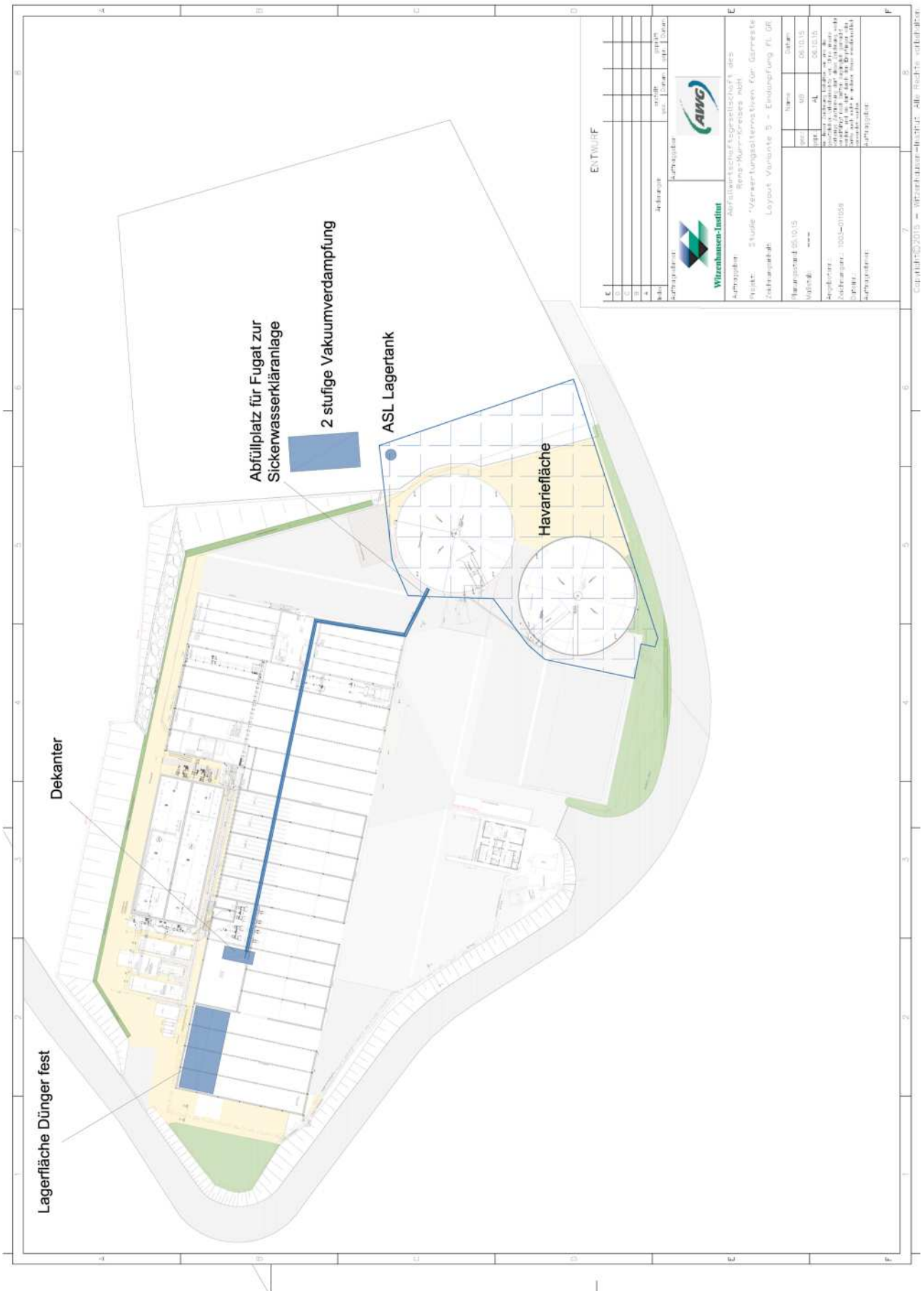


Abb. 38: Aufstellungsskizze zu Variante 5 - Eindampfung

5 Wirtschaftliche Betrachtung der Varianten

5.1 Berechnungsgrundlagen und Vorbemerkungen zu den wirtschaftlichen Betrachtungen

Ein weiterer Schwerpunkt in der Bearbeitung der Machbarkeitsstudie lag auf der Kalkulation der Wirtschaftlichkeit der vertieft betrachteten Lösungsansätze. Die Kostenschätzungen basieren auf aktuellen Daten aus Anlagenumsetzungen und -planungen, Ausschreibungen eigener Projekte des Witzenhausen-Instituts, den Herstelleranfragen und eingeholten Richtpreisangeboten. Insbesondere gilt dies für die Abschätzung der erforderlichen Investitionskosten. Ergänzend werden Kenntnisse aus zahlreichen Referenzanlagen berücksichtigt.

Wesentliche Ansätze hinsichtlich der künftigen Betriebsaufwendungen (Bezugskosten Strom, Entgeltstruktur Personal, spezifische Ansätze für RWU sowie Verwertungs- und Entsorgungskosten etc.) wurden durch die AWG übermittelt bzw. auf Basis der Erfahrungen des Witzenhausen-Instituts festgelegt.

Für die Gesamtkostenschätzung wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Konzeptentwicklung und Abschätzung der Stoffströme der Stoffflüsse
- Vordimensionierung mit Entwicklung von Aufstellungsskizzen
- Kostenschätzung Invest (Anlagenerrichtung, Nebenkosten)
- Kostenschätzung des Anlagenbetriebs und der Entsorgungskosten
- Schätzung der Erlöse und der mit der Umsetzung verbundenen monetären Synergieeffekte für den gesamten Anlagenbetrieb
- Schätzung der Gesamtwirtschaftlichkeit (Behandlungskosten)
- Sensitivitätsbetrachtungen

Nachstehend werden die für die Umsetzung der Behandlungsvarianten durchgeführten Kalkulationen zur Kostenschätzung dargestellt. Die Ergebnisse sind in den dargestellten Tabellen zusammenfassend wiedergegeben. Grundlegende Berechnungsansätze und Annahmen werden erläutert. Aufgrund der Fülle an Einzeldaten wird an dieser Stelle auf die genaue Beschreibung einzelner Angaben und Ergebnisse verzichtet.

Zum besseren Verständnis ist vorab anzumerken:

- Die Kostenschätzung für Invest, Betrieb und Erlöse erfolgt als Nettokosten-Betrachtung. Einzelne Kostenpositionen, wie z. B. Personalkosten, sind dabei bereits umsatzsteuerbefreite Kosten.
- Die Umrechnung auf spezifische Kosten erfolgt für die Behandlung je m³ flüssigem Gärrest (€/m³) und bezogen auf den Behandlungspreis der Vergärungsanlage (€/Mg). Hierdurch wird die Vergleichbarkeit aller Varianten sichergestellt.

Der Tab. 8 sind die zugrunde gelegten Stoffstrombilanzen zu entnehmen.

Tab. 8: Kostenschätzung Gärrestbehandlung Backnang – Stoffströme

Variante	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Verfahren	zus. Gärrestlager	Sickerwasser- kläranlage	Solare Trocknung	Teilstrom- vergärung	Trommel- trocknung	Eindampfung
DATEN STOFFSTRÖME						
Planmengen / Input						
Gärrest gesamt	38.000 Mg/a	38.000 Mg/a	38.000 Mg/a	38.000 Mg/a	38.000 Mg/a	38.000 Mg/a
Gärrest flüssig (nach Abpressung)	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a
Gärrest fest (nach Abpressung)	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a	19.000 Mg/a
Bioabfall extern, zur Mitverarbeitung				10.000 Mg/a		
Brennstoffe (aus Grünabfällen)					2.000 Mg/a	
Output						
Siebüberlauf a. Kompostkonfektionierung	2.500 Mg/a	2.500 Mg/a	2.500 Mg/a	2.500 Mg/a	2.500 Mg/a	2.500 Mg/a
Kompost	11.000 Mg/a	11.000 Mg/a	11.000 Mg/a	12.700 Mg/a	11.000 Mg/a	11.000 Mg/a
Dünger fest / Dekanterkuchen		4.200 Mg/a	3.600 Mg/a		3.000 Mg/a	3.500 Mg/a
Flüssigdünger (Gärrest flüssig)	19.000 Mg/a	8.400 Mg/a	8.400 Mg/a	8.400 Mg/a	8.400 Mg/a	8.400 Mg/a
Abwasser (z.B. Fugat)		7.100 Mg/a				
Kondensat						7.100 Mg/a
Ammoniumsulfatlösung (ASL)			1.500 Mg/a	4.000 Mg/a	2.000 Mg/a	370 Mg/a
Asche					200 Mg/a	

5.2 Wirtschaftlichkeit

5.2.1 Investitionskosten

Die Kostengliederung zu den investiven Maßnahmen im Hochbau basieren im Wesentlichen auf den Vorgaben der DIN 276. Unterschieden werden hier die Kostengruppen der 1. Ebene. Die Grundlagen der Kostenschätzung sind in Tab. 9 zusammengestellt.

Die Investitionskosten enthalten sämtliche Kosten für die Errichtung der Behandlungseinheiten inkl. der vorbereitenden Arbeiten zur Herrichtung von Baufeldern und Logistikflächen. Nicht berücksichtigt sind besondere bauliche Maßnahmen, die sich nach einer eingehenden Prüfung der Eignung des Baugrunds auf dem Nachbargrundstück als erforderlich herausstellen.

Die Kosten für den in einzelnen Varianten notwendigen Erwerb zusätzlicher Flächen (Ansatz 35 €/m² zuzüglich Gebühren und Grunderwerbssteuer) sind ergänzend aufgeführt, fließen jedoch in die Gesamtbetrachtung nicht ein.

Baunebenkosten für Genehmigung, Gutachten, Projektmanagement, Begleitung der Planung und Engineering sind als prozentuale Aufschläge enthalten.

Darüber hinaus ist bei den Investkosten ein prozentualer Kostenaufschlag in Höhe von 5 % für „unvorhersehbare Kosten (UVG)“ kalkuliert.

Es werden unterschiedliche Zeiträume für die Dauer der Abnutzung mit linearer Abschreibung angesetzt. Grundlage des Zinssatzes von 1,0 % (Mittelwert) sind die derzeitigen Konditionen der KfW-Bankengruppe für kommunale Investitionskredite.

Im derzeitigen Stadium des Konzepts ist von einer Kostensicherheit hinsichtlich der investiven Aufwendungen von +/- 25 % auszugehen.

Tab. 9: Auflistung der wesentlichen erforderlichen Investitionsmaßnahmen und Zuordnung zu den Kostengruppen (DIN 276) sowie Grundlagen der Kapitalkostenschätzung

INVESTITIONEN	
100 – Grundstück	Erwerb inkl. Gebühren und Grunderwerbssteuer
200 – Herrichten und Erschließen	Herrichten des Gesamtgrundstücks
300 – Bauwerk/ Baukonstruktion	Baustelleneinrichtung, Infrastruktur verbindend, Baufeld der Gebäude herrichten, Fundamente / Bodenplatten, Neubau Hallen, Lagerbereiche; Bauteil Konditionierung / Gärrestlager / Biofilter / Solartrockner
400 – Technische Anlagen	Dekanter, Eindampfer, Trommeltrockner, Drehrohrofen, Abluftbehandlung/-wäscher, M&E-Teil Gärrestlager/Biofilter/Solartrockner/ Konditionierung, Fördertechnik, Einbindung Technik
500 – Außenanlagen	Logistik-/Verkehrsflächen, Außenanlagen Grünflächen, Havariebecken, Einfriedung
700 - Baunebenkosten	Planung/Genehmigung/Fachgutachten (4 % vom Invest) Engineering/Projektmanagement (6 % vom Invest)
Mobile Maschinen	Radlader, „Solarschwein“
Aufschlag für „Unvorhersehbare Kosten“ (UVG; 5 %)	
KAPITALKOSTEN	
Abschreibung 200/300/500	20 Jahre
Abschreibung 400	10 Jahre
Abschreibung mobile Maschinen	5 Jahre
Abschreibung UVG	15 Jahre
Abschreibung 700	15 Jahre
Finanzierungszins	1,0 % (Grundlage KfW-Kreditprogramm 208, kommunale Infrastruktur)

Die Ergebnisse der Kostenschätzung sind in Tab. 10 und Abb. 39 dargestellt.

Die erforderlichen Investitionen zur Behandlung der Gärreste bilden mit einem Spektrum von 522.000 € bis 2,77 Mio. € (ohne Variante 3) eine weite Spanne. Darin spiegelt sich der unterschiedliche baulich-technische Aufwand, der bei der Ableitung in eine Sickerwasserreinigungsanlage (Variante 1) nachvollziehbar gering ist. Die wesentliche Investposition stellt hier der Dekanter mit peripheren Einrichtungen dar.

Ein erhebliches Investitionsvolumen resultiert bei der Variante 0 (zusätzliches Gärrestlager; 1,65 Mio. €), der Variante 2 (Solare Trocknung; 1,62 Mio. €) sowie der Variante 4 (Trommeltrockner; 2,77 Mio. €).

Bei der Umstellung des Anlagenbetriebs auf eine Teilstromvergärung (Variante 3) sind über 7 Mio. € aufzuwenden. Aufgrund der grundsätzlichen Änderung des Verfahrensablaufs der aeroben Gärrestbehandlung am Standort ist diese Variante nicht mit den anderen vergleichbar.

Tab. 10: Kalkulation der Investitionskosten – Zusammenstellung der berücksichtigten Kostenpositionen in Anlehnung an die DIN 276

Variante	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Verfahren	zus. Gärrestlager	Sickerwasserkläranlage	Solare Trocknung	Teilstromvergärung	Trommel-trocknung	Eindampfung
B WIRTSCHAFTLICHE DATEN Kosten (±25%)						
INVESTITIONSKOSTEN (in Anlehnung an DIN 276)						
100 - Grundstück	112.000 €	-----	130.000 €	242.000 €	53.000 €	21.000 €
200 - Herrichten und Erschließen	63.000 €	-----	92.000 €	163.000 €	32.000 €	9.000 €
300 - Bauwerk/Baukonstruktion (anteilig 400 / TGA)	894.000 €	54.000 €	660.000 €	3.539.000 €	369.000 €	44.000 €
400 - Technische Anlagen (anteilig 300)	412.000 €	400.000 €	500.000 €	2.495.000 €	1.960.000 €	1.140.000 €
500 - Außenanlagen	61.000 €	-----	108.000 €	95.000 €	50.000 €	42.000 €
mobile Maschinen	-----	-----	60.000 €	180.000 €	-----	-----
Baunebenkosten	143.000 €	45.000 €	136.000 €	630.000 €	241.000 €	123.000 €
Unvorhersehbares (UVG) 5,0 % v. Invest	72.000 €	23.000 €	68.000 €	315.000 €	121.000 €	62.000 €
Summe Anlagenkosten (ohne Grundstück)	1.645.000 €	522.000 €	1.624.000 €	7.417.000 €	2.773.000 €	1.420.000 €
Zins 1,0% Zins						
Summe Kapitalkosten	114.000 €/a	50.000 €/a	128.000 €/a	578.000 €/a	258.000 €/a	137.000 €/a

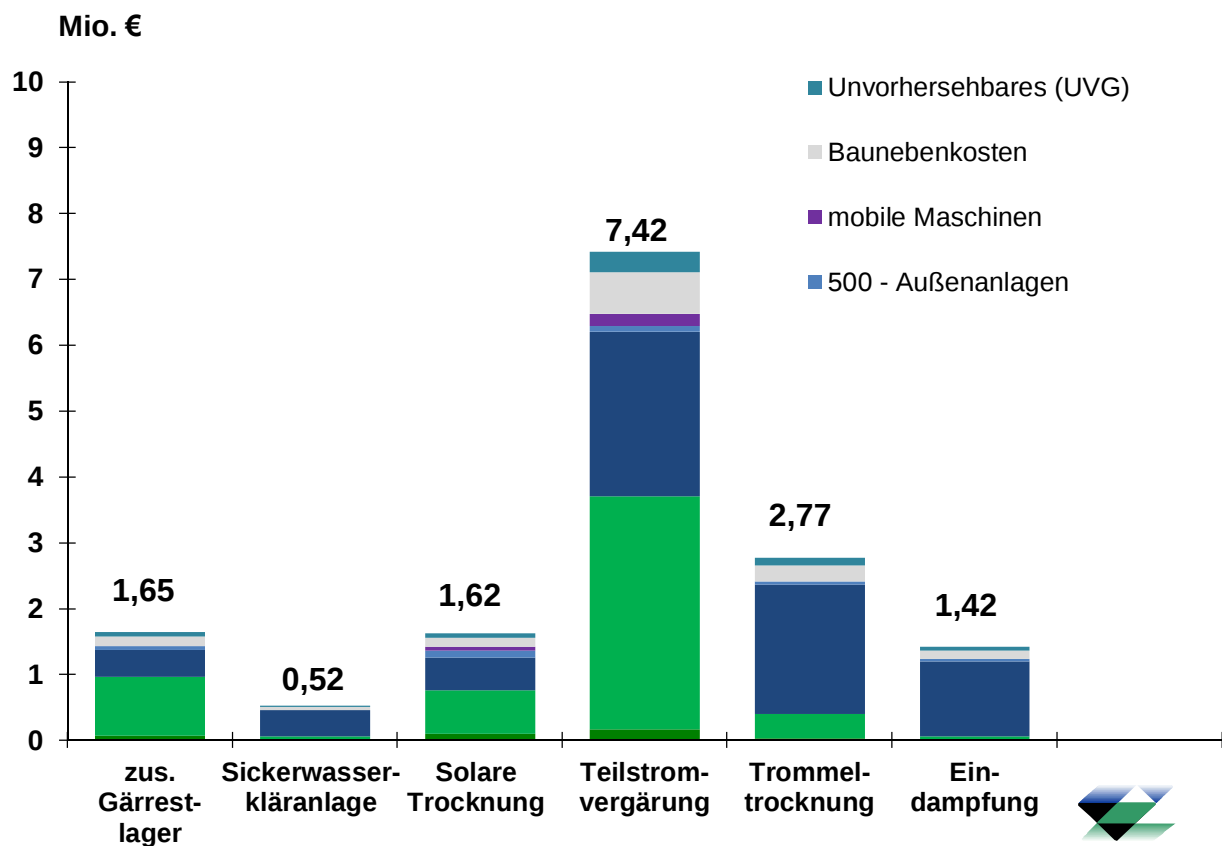


Abb. 39: Investitionskostenschätzung für die betrachteten Varianten

Damit belaufen sich die Kapitalkosten auf jährlich 2,6 €/m³ bis 13,6 €/m³ flüssigem Gärrest (Abb. 40). Bei der Variante 3 (Teilstromvergärung) ergeben sich 30,4 €/Mg.

Trotz des höheren Invests bei Nachrüstung der Anlage um ein zusätzliches Gärrestlager (Variante 0) ergeben sich aufgrund des größeren Anteils an Bauwerk/Baukonstruktion (längere Abschreibungsdauer) geringere Kapitalkosten als bei der Variante 2 (Solare Trocknung) und der Variante 5 (Eindampfung).

Gegenüber der Variante 1 (Sickerwasserkläranlage) ergeben sich aus ca. vierfach höheren Investitionskosten etwa dreifach höhere Kapitalkosten. Durch den Dekanter und die peripheren technischen Einrichtungen ist bei Variante 1 die mittlere Abschreibungszeit vergleichsweise kurz.

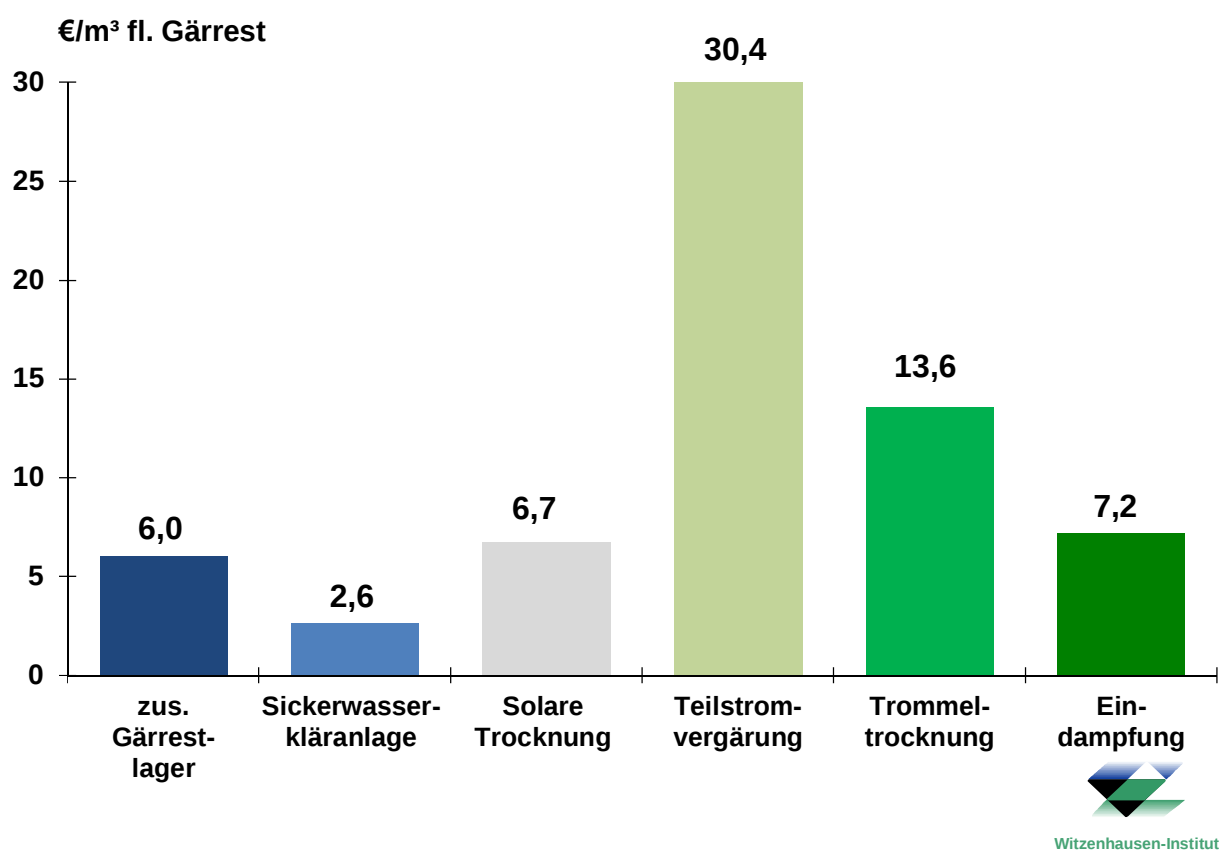


Abb. 40: Schätzung der spezifischen Kapitalkosten

5.2.2 Betriebs-/Entsorgungskosten

Die Aufwendungen für den Betrieb sind auf Basis von Projekterfahrungen abgeschätzt und z. T. durch übliche prozentuale Aufschläge ergänzt worden. Eine Zusammenstellung enthält Tab. 11.

Die Strombezugskosten werden mit derzeit 14,90 Ct/kWh eingestellt (Mitteilung der AWG). Sollten sich die Stromkosten im Fremdbezug künftig erhöhen (z.B. durch EEG-Umlage § 61 (1) i.V.m. (3) EEG, kann der Strombedarf ggf. günstiger durch die Eigenstromnutzung gedeckt werden.

Die erforderliche Betriebswärme wird aus der Eigenerzeugung als Abwärme kostenfrei bereitgestellt. Ebenso werden für holzige Grünabfälle zur Wärmeerzeugung (Variante 4) keine Beschaffungskosten eingestellt.

Es werden mittlere spezifische Lohnkosten von 48.000 €/a je operativem Mitarbeiter (Anlagenbetrieb, Vermarktung; inkl. Arbeitgeberanteile) angesetzt.

Bei der Schätzung der Aufwendungen für Reparatur/Wartung/Unterhalt (RWU) wird je nach Umfang der technischen Einrichtungen differenziert. Die Einschätzung erfolgt als Prozentanteil an den Investkosten. Je nach dem zu erwartenden Verschleiß und der Reparaturanfälligkeit kommen Ansätze zwischen 1 % und 4 % vom Invest zum Tragen.

Tab. 11: Auflistung der wesentlichen Ansätze zur Abschätzung der Betriebs- und Entsorgungskosten

BETRIEBSKOSTEN	
Strom	Bezugskosten 14,90 ct/kWh
Wärme	Kostenfreier Bezug
Personalkosten (Ansatz je Mitarbeiter)	48.000 €/MA inkl. AG-Anteile
RWU	Schätzung: prozentuale Ansätze vom Invest (variantenspezifisch)
Sonstige Betriebsstoffe	Schätzung: prozentuale Ansätze vom Invest (variantenspezifisch)
Flockungshilfsmittel	Bezugskosten 1.200 Euro/Mg 25 %
Grüngutbrennstoff	Kostenfreier Bezug
Säure	Bezugskosten 300 €/m ³ 76 %
Versicherungen	0,50 % vom Invest
Aufschlag für "Unvorhersehbare Kosten" (5 %)	
ENTSORGUNGSKOSTEN (frei Anlage)	
Kondensat zur kommunalen Kläranlage	6 €/Mg (Ansatz vorbehaltlich einer Verifizierung im Praxistest)
Abwasser (Fugat) zur Sickerwasseraufbereitungsanlage	21 €/Mg
Vermarktung Flüssigdünger	8 €/Mg
Vermarktung von zusätzlich erzeugtem Kompost	3 €/Mg
Vermarktung Dekanterkuchen	0 €/Mg
Vermarktung ASL (Ammoniumsulfatlösung)	3 €/Mg
Asche	25 €/Mg

Bei den sonstigen Betriebsstoffen liegen die Ansätze zwischen 0,5 % und 2,0 % vom Invest. Zusätzlich werden bei einzelnen Varianten Flockungshilfsmittel zur Dekantierung sowie Schwefelsäure zur Abluftbehandlung benötigt.

Darüber hinaus sind bei den Betriebskosten 5 % für unvorhersehbare Aufwendungen (UVG) beaufschlagt.

Weiterhin sind Kosten für die Entsorgung bzw. Vermarktung anfallender Reststoffe bzw. Endprodukte enthalten.

Die erwarteten Betriebs- und Entsorgungskosten sind Tab. 12 und Abb. 41 zu entnehmen. Die Angaben beziehen sich auf die Behandlung und Entsorgung der gesamten anfallenden Menge von jährlich 19.000 m³ flüssigem Gärrest.

Das heißt: Bei allen Varianten sind definitionsgemäß jährlich 8.400 m³ flüssiger Gärrest zu vermarkten (bei 8 €/m³ 67.000 €/a). Die Definition ergibt sich aus der optimierten rechtskonformen (Berücksichtigung der ausbringungsfreien Zeiten) Nutzung der vorhandenen Gärrestlagerkapazitäten. Diese Kosten sind in den Darstellungen enthalten.

Die Betriebskosten liegen bei den Varianten zwischen 53.000 €/a und 592.000 €/a. Die zusätzlichen Entsorgungs-/Vermarktungsaufwendungen bewegen sich zwischen 72.000 €/a und 216.000 €/a.

Bei Variante 0 (zus. Gärrestlager) beläuft sich die Summe auf 205.000 €/a, entsprechend 11 €/m³ flüssigem Gärrest (günstigste Variante). Die Vermarktung des flüssigen Gärrests ist erwartungsgemäß die entscheidende Kostenposition.

Bei Variante 1 (Sickerwasserkläranlage) resultieren 324.000 €/a, entsprechend 17 €/m³ flüssigem Gärrest. Die Dekantierung erfolgt unter Zugabe von Flockungshilfsmittel, auf die etwa 16 % der Gesamtkosten entfallen. Weiterhin sind die Kosten bestimmt durch die Entsorgung des Abwassers (46 %).

Die Variante 2 (Solartrocknung) liegt mit 216.000 €/a, entsprechend 11 €/m³ flüssigem Gärrest auf ähnlich niedrigem Niveau wie Variante 0. Größte Positionen sind hier der Strombedarf (24 %), die Personalkosten (11 %) und der Säurebedarf (14 %).

Die Variante 3 (Teilstromvergärung) weist mit 676.000 €/a, entsprechend 36 €/m³ flüssigem Gärrest, die höchsten Kosten auf. Wie schon bei den Investkosten ersichtlich, schlägt sich hier das grundsätzlich veränderte Betriebskonzept nieder. Bedingt durch das modifizierte Rottekonzept und die damit verbundenen Aufwendungen im Bereich des Zu- und Abluftsystems sind die Stromkosten mit 37 % die entscheidende Position. Eine Rolle spielen weiterhin der RWU (16 %) und die Personalkosten (14 %).

Ebenfalls hohe Kosten zeigt die Variante 4 (Trommeltrocknung) mit 321.000 €/a, entsprechend 17 €/m³ flüssigem Gärrest. Wie bei Variante 3 sind auch hier die Stromkosten (19 %), der RWU (13 %) und die Personalkosten (23 %) die bedeutendsten Einflussfaktoren.

Bei Variante 5 (Eindampfung) ergeben sich 265.000 €/a, entsprechend 14 €/m³ flüssigem Gärrest. Eine dominierende Kostenposition lässt sich nicht identifizieren. Merkbare Aufwendungen entstehen für Strom, Personal, RWU, Säureeinkauf und die Entsorgung von Kondensat.

Tab. 12: Schätzung der Betriebs- und Entsorgungskosten

Variante		Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Verfahren		zus. Gärrestlager	Sickerwasser-kläranlage	Solare Trocknung	Teilstrom-vergärung	Trommel-trocknung	Eindampfung
BETRIEBSKOSTEN							
Strombedarf Gesamt	14,90 ct/kWh	7.000 €/a	6.000 €/a	51.000 €/a	253.000 €/a	59.000 €/a	34.000 €/a
Wärmebedarf Gesamt	0,00 ct/kWh	----	----	0 €/a	----	0 €/a	0 €/a
Personalkosten (Ansatz je Mitarbeiter)	48.000 €/MA	10.000 €/a	10.000 €/a	24.000 €/a	96.000 €/a	72.000 €/a	36.000 €/a
RWU	% vom Invest	17.000 €/a	21.000 €/a	16.000 €/a	111.000 €/a	42.000 €/a	36.000 €/a
Sonstige Betriebsstoffe (allgemein)	% vom Invest	8.000 €/a	10.000 €/a	8.000 €/a	37.000 €/a	14.000 €/a	7.000 €/a
Flockungshilfsmittel	1.200 Euro/Mg 25%	----	53.000 €/a	----	----	----	----
Grüngutbrennstoff	0,0 €/ Mg	----	----	----	----	0 €/a	----
Säure	300 €/ m ³ 76%	----	----	30.000 €/a	30.000 €/a	30.000 €/a	27.000 €/a
Versicherungen	0,50% vom Invest	8.000 €/a	3.000 €/a	8.000 €/a	37.000 €/a	14.000 €/a	7.000 €/a
Unvorhersehbares (UVG)	5,0 % vom Betrieb	3.000 €/a	5.000 €/a	7.000 €/a	28.000 €/a	12.000 €/a	7.000 €/a
Summe Betriebskosten		53.000 €/a	108.000 €/a	144.000 €/a	592.000 €/a	243.000 €/a	154.000 €/a
Entsorgungskosten (frei Anlage)							
Abwasser zur komm. Kläranlage	25 €/ Mg	----	----	----	----	----	----
Kondensat zur komm. Kläranlage	6 €/ Mg	----	----	----	----	----	43.000 €/a
Sickerwasser (Aufbereitungsanlage)	21 €/ Mg	----	149.000 €/a	----	----	----	----
Vermarktung Flüssigdünger	8 €/ Mg	152.000 €/a	67.000 €/a	67.000 €/a	67.000 €/a	67.000 €/a	67.000 €/a
Vermarktung v. zusätzl. Kompost	3 €/ Mg	----	----	----	5.000 €/a	----	----
Vermarktung Dekanterkuchen	0 €/ Mg	----	----	0 €/a	----	0 €/a	0 €/a
Vermarktung Ammoniumsulfatlösung	3 €/ Mg	----	----	5.000 €/a	12.000 €/a	6.000 €/a	1.000 €/a
Asche	25 €/ Mg	----	----	----	----	5.000 €/a	----
Summe Entsorgungs-/Vermarktungskosten		152.000 €/a	216.000 €/a	72.000 €/a	84.000 €/a	78.000 €/a	111.000 €/a

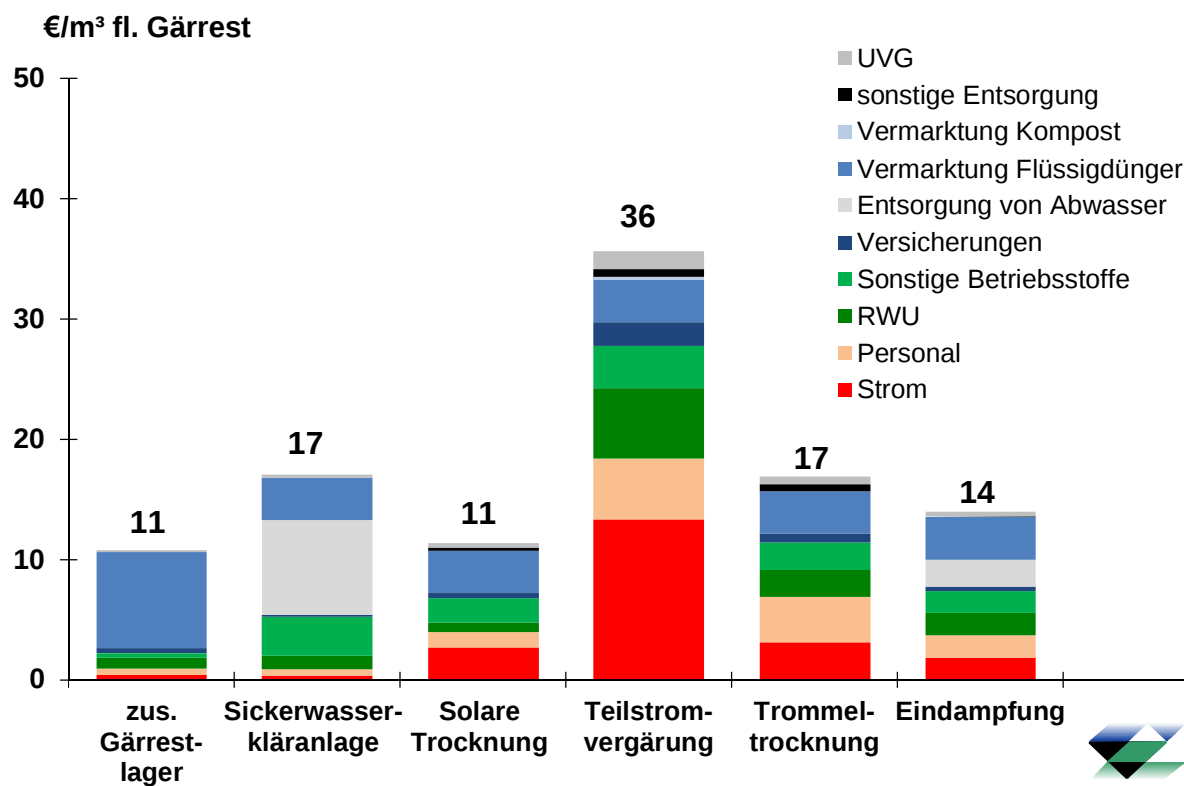


Abb. 41: Schätzung der spezifischen Betriebs- und Entsorgungskosten

5.2.3 Erlöse und Synergien im Anlagenbetrieb

Erlöse ergeben sich lediglich bei einer Betriebsumstellung auf eine Teilstromvergärung. In dieser Variante ist das Anlagenlayout auf die Mitverarbeitung von 10.000 Mg/a externer Bioabfälle ausgelegt. Erlöse ergeben sich durch den Annahmepreis, welcher mit 45 €/Mg eingestellt ist (Tab. 13).

Bei Umstellung auf eine Teilstromvergärung ergeben sich monetär wirksame Vorteile im Bereich der bisherigen Kompostierung. Es sind nur noch zwei Pressen erforderlich, die Belüftung der Rottebuchten entfällt, der Personalaufwand für die bisherige Kompostierung nimmt ebenso ab wie der Treibstoffbedarf (Radlader/Diesel). Darüber hinaus entsteht in der Rottehalle Platz, welcher z.B. für die Kompostlagerung zur Verfügung steht. Demgegenüber resultiert jedoch auch ein Mehraufwand durch die Verarbeitung der externen Biogutmengen (10.000 Mg/a), die insbesondere in der Aufbereitung zu zusätzlichem Verschleiß führen. Einer groben Erstabschätzung zufolge resultiert in Gegenrechnung der genannten Faktoren ein monetärer Vorteil in Höhe von ca. 103.000 €/a.

Tab. 13: Schätzung der Erlöse und monetärer Effekte durch die Verbesserung der Kompostierung

Variante		Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Verfahren		zus. Gärrestlager	Sickerwasserkläranlage	Solare Trocknung	Teilstromvergärung	Trommel-trocknung	Eindampfung
ERLÖSE / SYNERGIEN							
Annahmepreis Bioabfälle extern	45 €/ Mg	----	----	----	-450.000 €/a	----	----
Synergien Verbesserung Kompostierung		----	----	----	-103.000 €/a	----	----
Gesamt Erlöse / Synergien					-553.000 €/a		

5.2.4 Behandlungskosten

Behandlungskosten ergeben sich aus den jährlichen Kapitalkosten und Betriebs-/Entsorgungskosten abzüglich der Erlöse. Sie sind in Tab. 14 und Abb. 42 dargestellt.

Zusammenfassend liegen die spezifischen Behandlungskosten zwischen 17 €/m³ und 37 €/m³ flüssigem Gärrest, bezogen auf die Gesamtmenge von jährlich 19.000 m³.

Günstigste Gesamtkosten ergeben sich dabei bei Variante 0 (zusätzliches Gärrestlager; 17 €/m³) und Variante 2 (Solare Trocknung; 18 €/m³), wobei die Errichtung zusätzlicher Gärrestlagerkapazität einen gewissen Kostenvorteil aufweist.

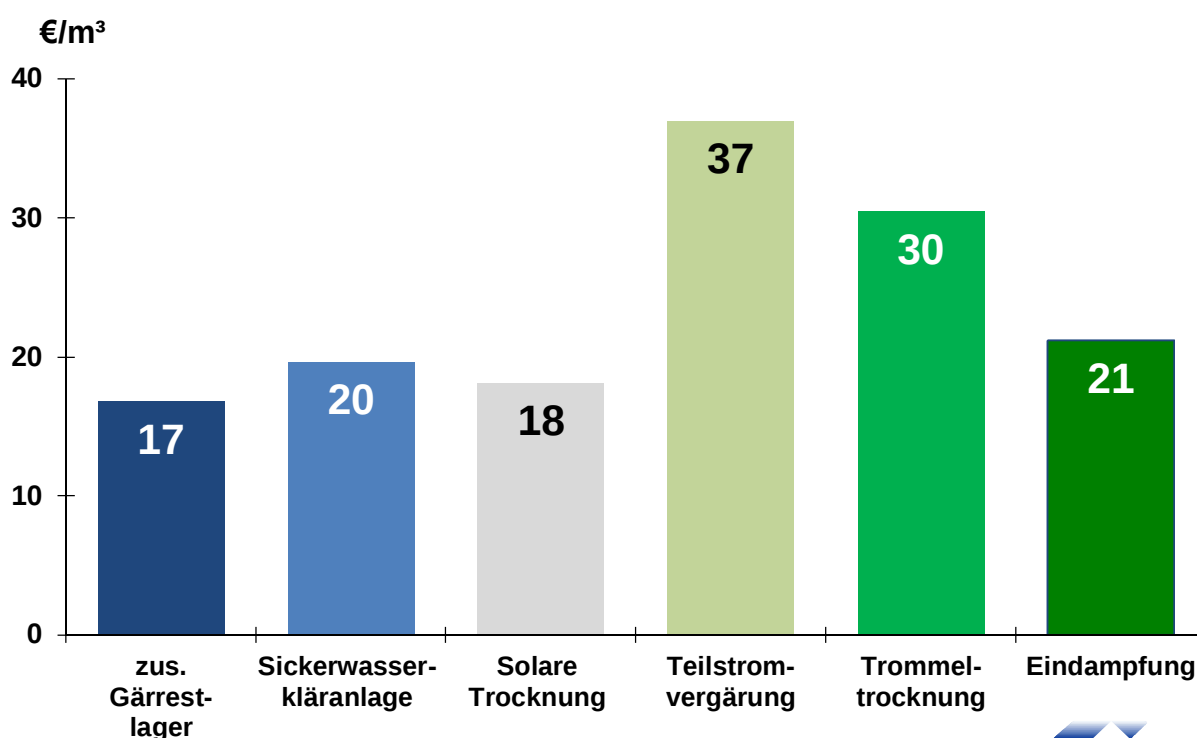
Mit 20 €/m³ liegen die Variante 1 (Sickerwasserkläranlage) und die Variante 5 (Eindampfung; 21 €/m³) nicht weit entfernt.

Aufgrund der geringen Unterschiede werden nachstehend Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt.

Deutlich höhere Kosten weisen die Varianten 4 (Trommeltrocknung; 30 €/m³) und die Teilstromvergärung (Variante 3; 37 €/m³) auf. Bei letzterer können die Erlöse aus der Annahme externen Bioabfalls sowie die Synergieeffekte die mit der Betriebsumstellung verbundenen Mehrkosten nicht kompensieren (siehe vergleichend Abb. 42).

Tab. 14: Schätzung der Behandlungskosten für 19.000 m³ flüssigen Gärrest

Variante	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Verfahren	zus. Gärrestlager	Sickerwasserkläranlage	Solare Trocknung	Teilstromvergärung	Trommel-trocknung	Eindampfung
E Behandlungskosten (Kosten-Erlöse)						
Kapitalkosten	114.000 €/a	50.000 €/a	128.000 €/a	578.000 €/a	258.000 €/a	137.000 €/a
Betriebskosten	53.000 €/a	108.000 €/a	144.000 €/a	592.000 €/a	243.000 €/a	154.000 €/a
Entsorgung/Vermarktung	152.000 €/a	216.000 €/a	72.000 €/a	84.000 €/a	78.000 €/a	111.000 €/a
Erlöse (Einnahmen Bioabfall extern)				-450.000 €/a		
Synergien Verbesserung Kompostierung				-103.000 €/a		
Behandlung netto (Bezug 19.000 m³/a fl. Gärrest)	319.000 €/a	374.000 €/a	344.000 €/a	701.000 €/a	579.000 €/a	402.000 €/a
	17 €/m³	20 €/m³	18 €/m³	37 €/m³	30 €/m³	21 €/m³



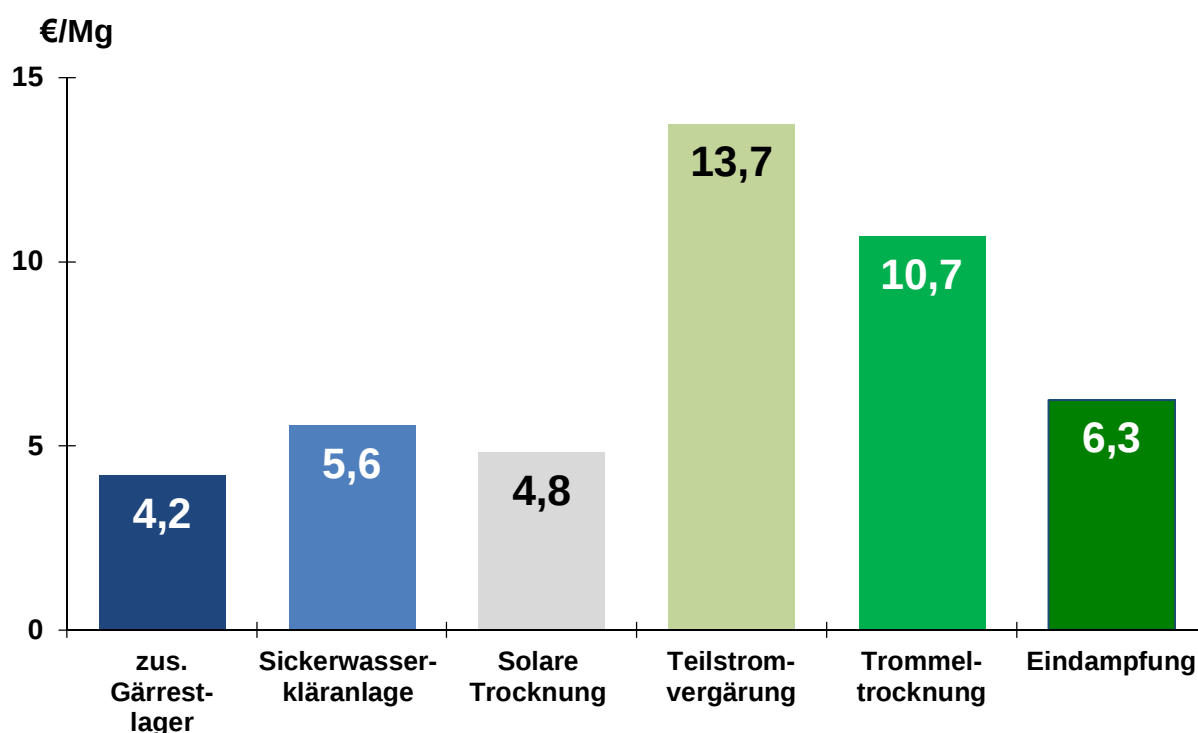
Bezugsgröße: Verwertung von 19.000 m³ flüssigem Gärrest
(davon 8.400 m³ landwirtschaftlich, davon 10.600 m³ variantenspezifisch)

Abb. 42: Schätzung der spezifischen Behandlungskosten inkl. der kostenmindernden Einflüsse

Nachstehend wird die Auswirkung der erweiterten Gärrestbehandlung auf die Gesamtbehandlungskosten von 40.000 Mg/a Bioabfall (Bio- und Grüngut) untersucht. Dazu sind von voranste-hend ermittelten Kosten, die sich auf die Gesamtmenge flüssigen Gärrests (19.000 m³/a) bezie-hen, die bei allen Varianten identischen Kosten für die Vermarktung von 8.400 m³/a (Nutzung der bestehenden Gärrestlager) anfallenden Kosten abzuziehen. Daraus ergeben sich reale Mehrkosten zwischen 167.000 €/a und 549.000 €/a (Tab. 15). Dies entspricht spezifischen Mehrkosten bezogen auf die gesamte Durchsatzmenge für den Anlagenbetrieb in Höhe von minimal 4,2 €/Mg und maximal 13,7 €/Mg (Abb. 43).

Tab. 15: Steigerung der Behandlungskosten bezogen auf den Gesamtinput von 40.000 Mg/a der Gesamtbehandlungskosten

Variante	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Verfahren	zus. Gärrestlager	Sickerwasserkläranlage	Solare Trocknung	Teilstromvergärung	Trommel-trocknung	Eindampfung
E Behandlungskosten (Kosten-Erlöse)						
Status Quo	derzeit werden für die Verwertung von 19.000 m³ flüssigem Gärrest ca. 152.000 €/a aufgewandt (Verwertungspreis 8 €/m³)					
Behandlung netto NEU (Bezug 19.000 m³/a fl. Gärrest)	319.000 €/a	374.000 €/a	344.000 €/a	701.000 €/a	579.000 €/a	402.000 €/a
Steigerung der Behandlungskosten netto (Bezug Input 40.000 Mg/a)	167.000 €/a	222.000 €/a	192.000 €/a	549.000 €/a	427.000 €/a	250.000 €/a
	4,2 €/ Mg	5,6 €/ Mg	4,8 €/ Mg	13,7 €/ Mg	10,7 €/ Mg	6,3 €/ Mg



Bezugsgröße: Anlagendurchsatzleistung 40.000 Mg/a

Abb. 43: Steigerung der Behandlungskosten bezogen auf den Gesamtinput von 40.000 Mg/a der Gesamtbehandlungskosten

5.3 Sensitivitätsbetrachtungen

Aufgrund der z.T. geringen Unterschiede zwischen den Varianten werden nachstehend Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt. Die Hypothese lautet dabei, dass die getroffene Festlegung auf bestimmte Ansätze für einzelne relevante Betriebsaufgaben / Kostenpositionen die Gesamtbehandlungskosten entscheidend mitbestimmt. Ziel der Sensitivitätsbetrachtungen ist die Abschätzung der Auswirkungen bei Variation einiger ausgewählter Kostenansätze.

5.3.1 Verwertungspreis für Flüssigdünger

Die Vermarktung von Flüssigdünger ist mit den derzeitigen entstehenden Kosten in Höhe von 8 €/m³ eingestellt. Nachstehend wird der Vermarktungspreis variiert.

Das Ergebnis ist in Abb. 44 dargestellt. Die Verlaufslinien stellen die Veränderung der spezifischen Behandlungskosten ausgehend von einem Verwertungspreis für Flüssigdünger von 2 €/m³ bis zu einem Preis von 14 €/m³ dar.

Da in allen Varianten die Kosten für die Vermarktung von 8.400 m³ flüssigem Gärrest enthalten sind, sind auch für alle Varianten Kostenveränderungen zu beobachten.

Das Ergebnis:

- Der Wirtschaftlichkeitsvorteil der Variante 0 (zusätzliche Gärrestlager) steigt mit abnehmendem Vermarktungspreis.
- Ab einem Vermarktungspreis von ca. 11 €/m³ werden die Zuführung in eine Sickerwasserkläranlage (Variante 1) und die Solare Trocknung (Variante 2) konkurrenzfähig.

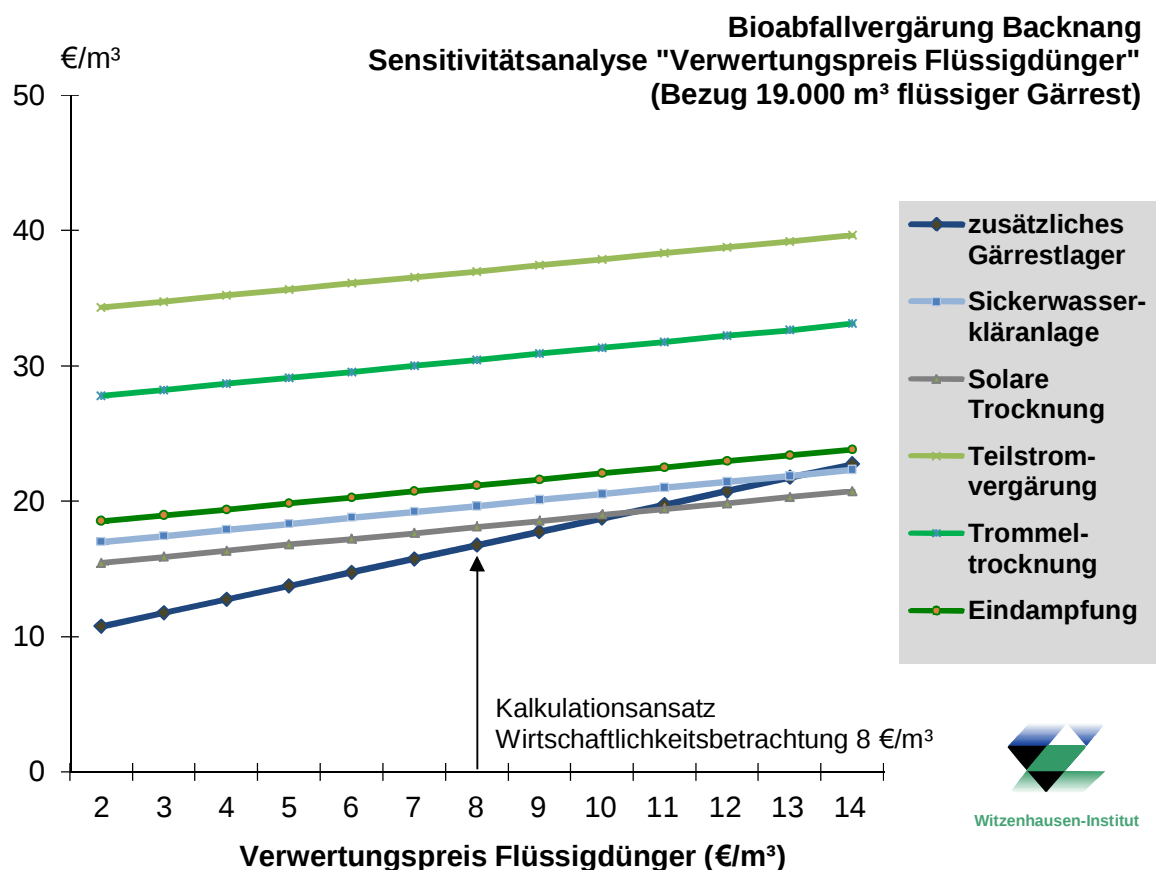


Abb. 44: Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Verwertungspreis für Flüssigdünger

5.3.2 Preis der Sickerwasseraufbereitung

Die Aufbereitung von Sickerwasser und Zuführung des gereinigten Abwassers in eine Kläranlage ist mit Kosten in Höhe von 21 €/m³ eingestellt. Nachstehend wird der Entsorgungspreis variiert.

Das Ergebnis ist in Abb. 45 dargestellt. Die Verlaufslinien stellen die Veränderung der spezifischen Behandlungskosten ausgehend von einem Entsorgungspreis von 8 €/m³ bis zu einem Preis von 25 €/m³ dar.

Veränderungen ergeben sich lediglich für die Variante 1 (Zuführung in eine Sickerwasserreinigung).

Das Ergebnis:

- Ab einem Entsorgungspreis für die Sickerwasseraufbereitung unterhalb ca. 13 €/m³ wird die Zuführung in eine Sickerwasserreinigung (Variante 1) konkurrenzfähig.

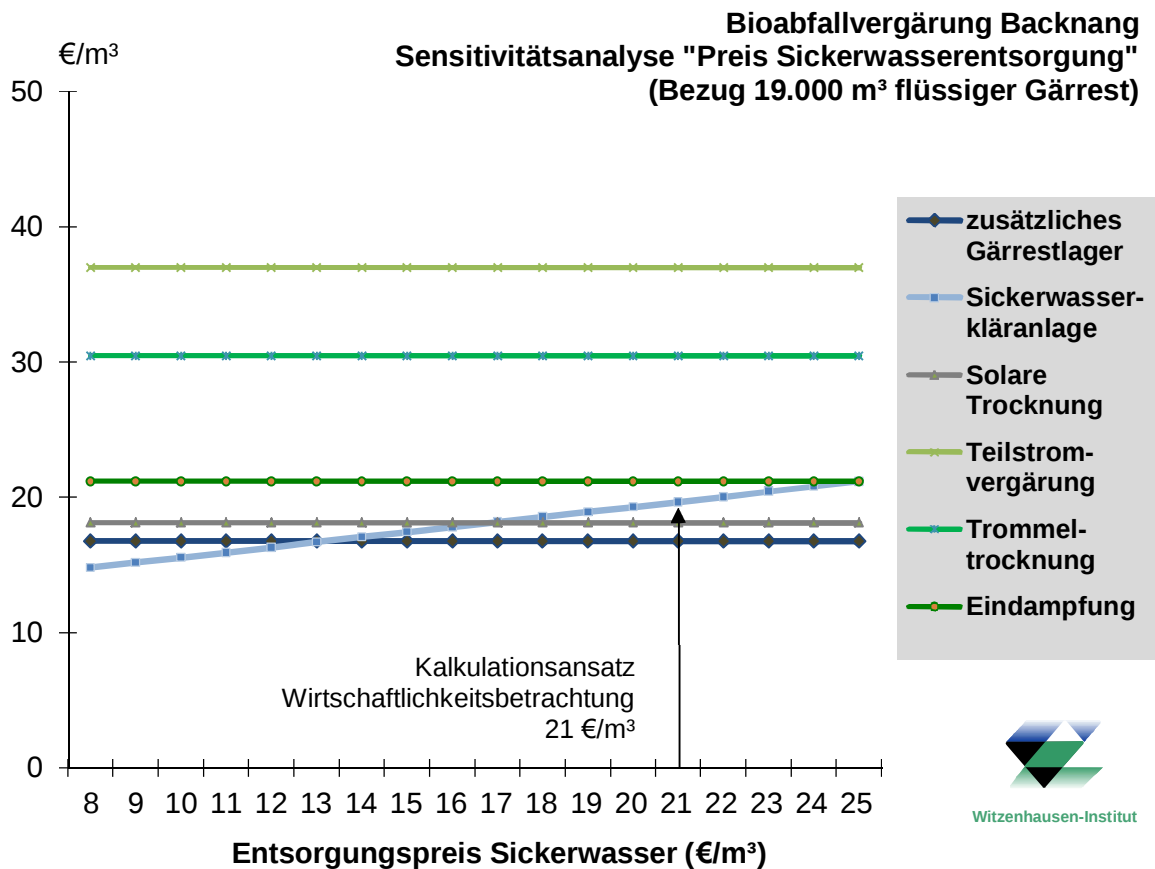


Abb. 45: Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Preis der Sickerwasseraufbereitung

5.3.3 Preis der Kondensatentsorgung

Die Entsorgung des entstehenden Kondensats, welches eine deutlich geringere Belastung als Sickerwasser aufweist, ist mit Kosten in Höhe von 6 €/m³ eingestellt. Nachstehend wird der Entsorgungspreis variiert.

Das Ergebnis ist in Abb. 46 dargestellt. Die Verlaufslinien stellen die Veränderung der spezifischen Behandlungskosten ausgehend von einem Entsorgungspreis von 2 €/m³ bis zu einem Preis von 10 €/m³ dar.

Veränderungen ergeben sich lediglich für die Variante 5 (Eindampfung).

Das Ergebnis:

- Mit abnehmendem Entsorgungspreis nimmt die Konkurrenzfähigkeit der Eindampfung des flüssigen Gärrests zu. Eine Kostenparität wird mit den günstigsten Varianten jedoch nicht erreicht.

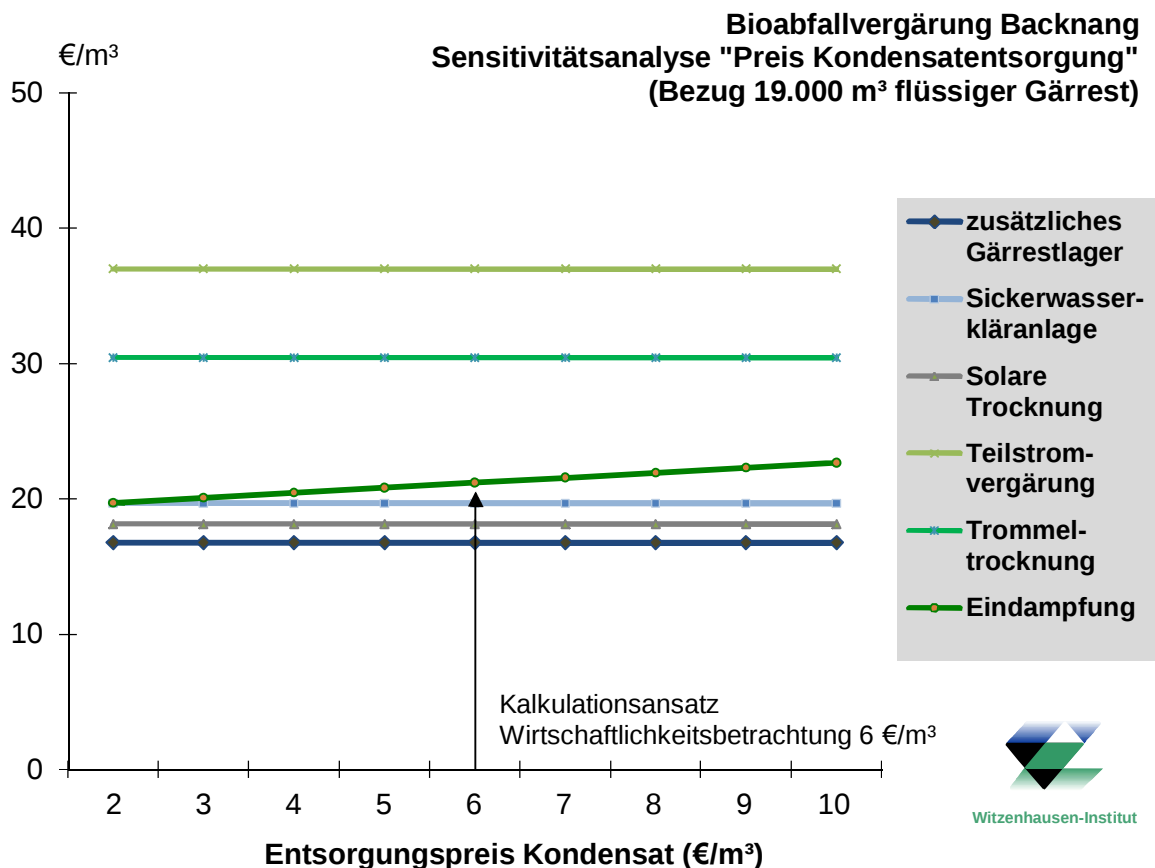


Abb. 46: Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Preis der Kondensatentsorgung

5.3.4 Erlöse für die Mitverarbeitung von externem Biogut

Die Mitverarbeitung von externem Biogut ist mit einem Annahmepreis in Höhe von 45 €/Mg Bioabfall eingestellt. Nachstehend wird der Annahmepreis variiert.

Das Ergebnis ist in Abb. 47 dargestellt. Die Verlaufslinien stellen die Veränderung der spezifischen Behandlungskosten ausgehend von einem Annahmepreis von 30 €/Mg bis zu einem Preis von 70 €/Mg dar.

Veränderungen ergeben sich lediglich für die Variante 3 (Teilstromvergärung), bei der zusätzlich 10.000 Mg/a externe Bioabfälle mitverarbeitet werden können.

Das Ergebnis:

- Auch ein deutlich steigender Annahmepreis führt nicht zur Konkurrenzfähigkeit der Umstellung des Anlagenbetriebs auf die Teilstromvergärung.

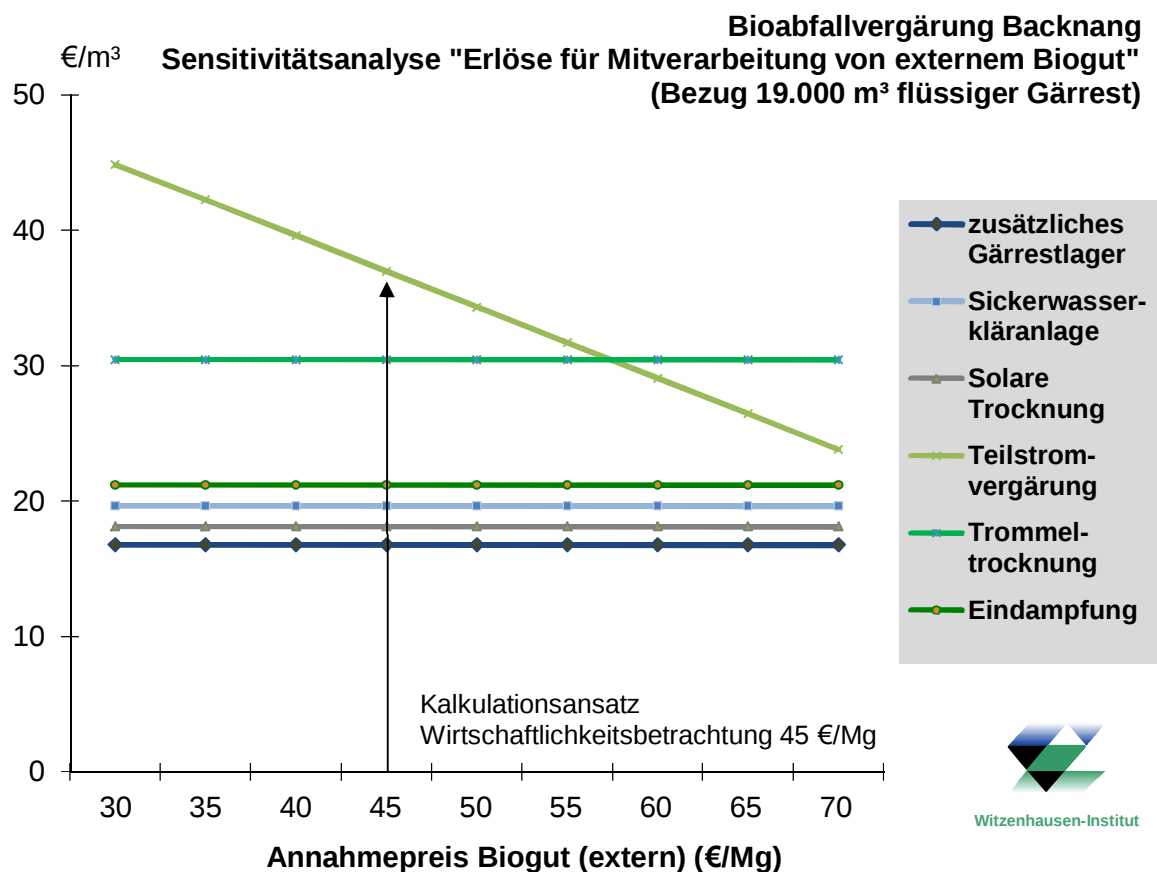


Abb. 47: Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit von den Erlösen für die Mitverarbeitung von externem Biogut

5.3.5 Wärmepreis

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung geht davon aus, dass die erforderliche Betriebswärme aus der Eigenerzeugung als Abwärme kostenfrei bereitgestellt wird. Nachstehend wird der Wärmepreis variiert.

Das Ergebnis ist in Abb. 48 dargestellt. Die Verlaufslinien stellen die Veränderung der spezifischen Behandlungskosten ausgehend von einem Wärmepreis von 0 Ct/kWh bis zu einem Preis von 3 Ct/kWh dar.

Veränderungen ergeben sich für die Variante 2 (Solare Trocknung), die Variante 4 (Trommel-trocknung) und die Variante 5 (Eindampfung).

Das Ergebnis:

- Schon bei einem leicht höheren Wärmepreis verliert die Solare Trocknung sehr schnell ihre Konkurrenzfähigkeit.

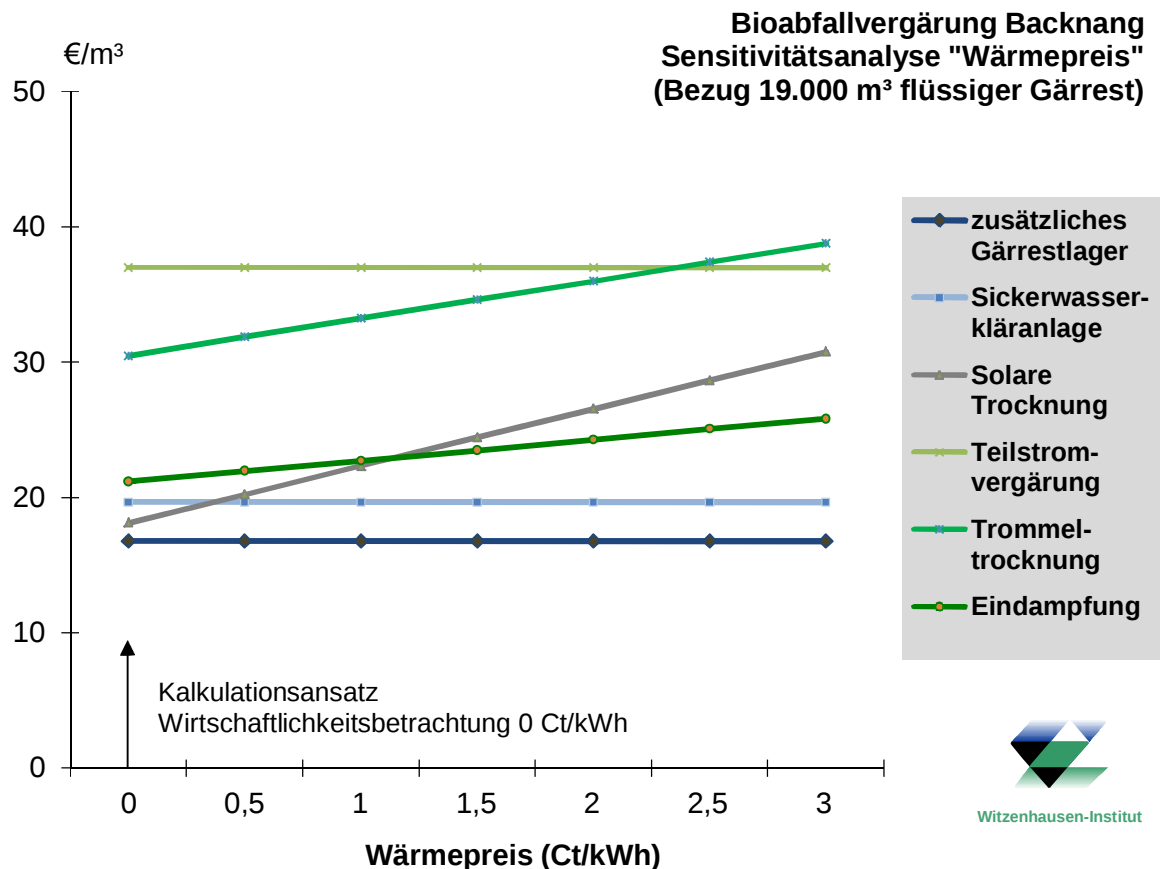


Abb. 48: Sensitivitätsanalyse – Entwicklung der Behandlungskosten in Abhängigkeit vom Wärmepreis

6 Ökologische Betrachtung

Abschließend erfolgt eine ökologische Bewertung der betrachteten Varianten. Da die einzelnen Parameter zum jetzigen Zeitpunkt nicht exakt in Zahlen zu fassen sind, wird diese als qualitative Bewertung durchgeführt. Dazu wurde eine Bewertungsmatrix erstellt, die die wichtigsten Faktoren differenziert beschreibt.

Bei der Variante 3 (Teilstromvergärung) ist zu beachten, dass mit der Erhöhung des Anlagendurchsatzes automatisch höhere Verbräuche bzw. Transportaufwendungen verbunden sind. Diese werden als absolute Größe berücksichtigt und dementsprechend bewertet. Eine Umrechnung auf den erhöhten Anlagendurchsatz, also eine relativierte Betrachtung der spezifischen Aufwendungen, erfolgt nicht. Im Ergebnis der absoluten Betrachtung erscheint die Bewertung für Variante 3 somit schlechter, als sie eigentlich ist.

Folgende Bewertungsfaktoren gehen in die Betrachtung ein:

- **Energiebilanz (Strombedarf)**
In allen Varianten entsteht zusätzlicher Strombedarf, welcher aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen wird.
- **Energiebilanz (Wärmenutzung BHKW-Abwärme)**
In einigen Varianten wird die derzeit ungenutzte BHKW-Abwärme (870 kW_{th}) vollständig oder anteilig als Prozesswärme genutzt.
- **Energiebilanz (Nutzung holziger Brennstoffe)**
Wird Wärme mit einem höheren Temperaturniveau benötigt, wird diese aus der Verbrennung holzigen Grünguts erzeugt. Dabei wird unterstellt, dass diese Mengen derzeit noch nicht energetisch genutzt werden.
- **Ressourceneffizienz / Nährstoffkreislauf und Humusbildner**
Die Rückführung von Nährstoffen und Humusbildnern über flüssige Gärreste, Komposte bzw. den Dekanterkuchen (störstofffrei) ist zentraler Bestandteil eines integrierten ökologischen Gesamtkonzepts der Nutzung biogener Abfälle. Erfolgt die Entsorgung flüssiger Stoffströme (Fugat, Kondensat) über die Kläranlage, gehen im Stoffkreislauf Nährstoffe verloren. Dabei wird unterstellt, dass die Klärschlämme nicht stofflich verwertet werden.
- **Treibstoffbedarf (anlagenintern)**
Zusätzlicher Dieselbedarf entsteht bei der Umstellung auf eine Teilstromvergärung durch einen erhöhten Aufwand an Radladertätigkeiten. Ein mitentscheidender Grund sind hier auch die zusätzlichen externen Biogutmengen.
- **Transportaufwand**
Transportaufwendungen entstehen für die Ausbringung der flüssigen Gärreste, der konzentrierten ASL-Lösungen sowie der Komposte und des Dekanterkuchens in die Landwirtschaft. Vorteile ergeben sich für Verfahren, bei denen im Zuge der Dekantierung ein fester Dünger entsteht (Dekanterkuchen), der gegenüber den flüssigen Dün-

gern weniger Transportaufwand bedingt. Flüssige Reststoffe, die letztlich einer Kläranlage zugeleitet werden, werden mittels Tankwagen transportiert. Für die Variante 3 (Teilstromvergärung) ist zu beachten, dass der zusätzliche Transportaufwand für 10.000 Mg/a Biogut nach Backnang voll gewertet wird.

- Gesamtbewertung der Klimawirksamkeit / Nachhaltigkeit

Abschließend erfolgt eine ökologische Gesamteinordnung der Varianten.

Zur qualitativen Bewertung werden folgende Ansätze herangezogen:

- O** Benchmark (definitorisch wird bei den Kriterien für die Variante 0 jeweils eine neutrale Bewertung vergeben „o“)
- +** besser als der Benchmark
- ++** deutlich besser als der Benchmark
- schlechter als der Benchmark
- deutlich schlechter als der Benchmark

Die Ergebnisse sind in Tab. 16 und Tab. 17 zusammenfassend dargestellt. Die getroffene Bewertung wird stichpunktartig erläutert und begründet.

Die Variante 0 (zus. Gärrestlager) stellt definitionsgemäß den Benchmark dar.

Bei Variante 1 (Sickerwasserkläranlage) kommt es zu Nährstoffverlusten in der Kläranlage. Damit stellt sich die Variante als ökologisch nachteilig gegenüber dem Benchmark dar.

Bei Variante 2 (Solartrocknung) steht auf der negativen Seite ein deutlich höherer Strombedarf, auf der Positivseite hingegen wird die derzeit ungenutzte BHKW-Abwärme vollständig als Prozesswärme eingesetzt. Darüber hinaus reduziert sich der Transportaufwand deutlich. Damit stellt sich die Variante als ökologisch vorteilhaft gegenüber dem Benchmark dar.

Bei Variante 3 (Teilstromvergärung) wirkt sich neben zusätzlichen Transportaufwendungen insbesondere ein sehr hoher Strombedarf auf die Gesamtbeurteilung aus. Positiv ist die Erzeugung leicht höherer Kompostmengen. Insgesamt wird die Variante gegenüber dem Benchmark als ökologisch nachteilig eingestuft.

Bei Variante 4 (Trommeltrocknung) steht auf der negativen Seite ein deutlich höherer Strombedarf, auf der Positivseite hingegen wird die derzeit ungenutzte BHKW-Abwärme zu etwa 70 % als Prozesswärme eingesetzt. Des Weiteren wird Grüngutbrennstoff klimafreundlich energetisch verwertet. In der Bilanz stellt sich die Variante als ökologisch vorteilhaft gegenüber dem Benchmark dar.

Bei Variante 5 (Eindampfung) überwiegen ein deutlich höherer Strombedarf sowie die Nährstoffverluste in der Kläranlage die Nutzung von ca. 40 % der derzeit ungenutzten BHKW-Abwärme als Prozesswärme. Damit wird die Variante als ökologisch nachteilig gegenüber dem Benchmark bewertet.

Tab. 16: Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang (Teil 1)

Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang			
	Variante 0	Variante 1	Variante 2
	zus. Gärrestlager	Sickerwasserkläranlage	Solare Trocknung
Energiebilanz (Strombedarf)	0 ca. 44.000 kWh _{el} /a	0 ca. 38.000 kWh _{el} /a	- ca. 340.000 kWh _{el} /a
Energiebilanz (Wärmenutzung BHKW-Abwärme)	0 keine Wärmenutzung	0 keine Wärmenutzung	++ ca. 7,6 Mio. kWh _{th} /a (870 kW _{th})
Energiebilanz (Nutzung holziger Brennstoffe)	0 im Konzept nicht vorgesehen	0 im Konzept nicht vorgesehen	0 im Konzept nicht vorgesehen
Ressourceneffizienz / Nährstoffkreislauf und Humusbildner	0 Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger)	- Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen); Nährstoffverluste Kläranlage	0 Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen, ASL-Lösung)
Treibstoffbedarf (anlagenintern)	0 kein zusätzlicher Bedarf	0 kein zusätzlicher Bedarf	0 kein zusätzlicher Bedarf
Transportaufwand	0 in die Landwirtschaft: ca. 19.000 m³ flüssiger Gärrest	0 in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m³ flüssiger Gärrest + ca. 4.200 Mg/a Dekanterkuchen; ca. 7.100 m³/a zur Sickerwassereinigungsanlage (mit Tankwagen)	+ in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m³ flüssiger Gärrest + ca. 3.600 Mg/a Dekanterkuchen + ca. 1.500 Mg/a ASL-Lösung
Klimawirksamkeit / CO ₂ -Einsparungen / Nachhaltigkeit	0 Benchmark (Bewertung definitionsgemäß = 0)	- Nährstoffverluste Kläranlage	+ zusätzlicher Strombedarf, vollständige Nutzung der BHKW-Abwärme, Transportaufwand deutlich geringer; Nutzung von Sonnenenergie

Legende: 0 » benchmark, ++ deutlich besser, + besser; - schlechter, - - deutlich schlechter als der benchmark

Tab. 17: Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang (Teil 2)

Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang			
	Variante 3	Variante 4	Variante 5
	Teilstromvergärung	Trommeltrocknung	Eindampfung
Energiebilanz (Strombedarf)	- - ca. 1,7 Mio. kWh _e /a (demgegenüber steht eine Einsparung von ca. 130.000 kWh _e /a bei der bisherigen Gärrestbehandlung)	- ca. 398.000 kWh _e /a	- ca. 228.000 kWh _e /a
Energiebilanz (Wärmenutzung BHKW-Abwärme)	0 keine Wärmenutzung	+ + ca. 5,0 Mio. kWh _{th} /a (600 kW _{th})	+ ca. 2,80 Mio. kWh _{th} /a (340 kW _{th})
Energiebilanz (Nutzung holziger Brennstoffe)	0 im Konzept nicht vorgesehen	+ ca. 2.000 Mg/a holziges Grüngut	0 im Konzept nicht vorgesehen
Ressourceneffizienz / Nährstoffkreislauf und Humusbildner	+ Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen, ASL-Lösung); höhere Kompostmenge als zur Zeit	0 Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, ASL-Lösung)	- Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen); Nährstoffverluste Kläranlage
Treibstoffbedarf (anlagenintern)	- zusätzlicher Bedarf, aber auch Einsparungen bei der bisherigen Gärrestbehandlung	0 kein zusätzlicher Bedarf	0 kein zusätzlicher Bedarf
Transportaufwand	- in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m³ flüssiger Gärrest + ca. 3.000 Mg/a Dekanterkuchen + ca. 1.700 Mg/a zusätzlicher Kompost + ca. 4.000 Mg/a ASL-Lösung; ca. 10.000 Mg/a Biogut extern	+ in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m³ flüssiger Gärrest + ca. 2.000 Mg/a ASL-Lösung	0 in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m³ flüssiger Gärrest + ca. 4.200 Mg/a Dekanterkuchen + ca. 400 Mg/a ASL-Lösung; ca. 7.100 m³/a Kondensat zur Kläranlage (mit Tankwagen)
Klimawirksamkeit / CO₂-Einsparungen / Nachhaltigkeit	- zusätzlicher Strombedarf sehr hoch, leicht höhere Kompostmengen, zusätzliche Transportaufwendungen	+ zusätzlicher Strombedarf, Nutzung der BHKW-Abwärme (ca. 70%), Nutzung Grüngutbrennstoff, Transportaufwand deutlich geringer	- zusätzlicher Strombedarf, Nutzung der BHKW-Abwärme (ca. 40%), Nährstoffverluste Kläranlage

Legende: 0 » benchmark, + + deutlich besser, + besser; - schlechter, - - deutlich schlechter als der benchmark

7 Fazit und Empfehlung

- I. Die Erzeugung qualitativ hochwertiger Gärprodukte ist wesentliche Aufgabe der Verwertung kommunaler Bioabfälle. Aufgrund verkürzter Ausbringzeiten in der Landwirtschaft und der Nutzungsbegrenzung auf Ackerflächen infolge der verschärften Anforderungen der Düngerverordnung sind erhebliche **Lagervolumina** zu schaffen. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass von wasserrechtlicher Seite (AWsV) die Schaffung eines **Retentionsraums** bzw. die Umsetzung gleichwertiger Maßnahmen für alle mit flüssigen Gärprodukten gefüllten Behälter gefordert wird. Bestehenden Anlagen soll eine Umsetzungsfrist von fünf Jahren eingeräumt werden.
- II. Da das **Ausbringverbot** für Komposte und Gärprodukte auf Basis von Biogut (AVV 20 03 01) **auf Grünland** fachlich im Vergleich zu anderen zulässigen Stoffströmen nicht nachvollziehbar ist, sollte die anstehende Novellierung der Bioabfallverordnung zu einer Neubewertung führen. Insbesondere die flüssigen Gärreste aus der Biogutvergärung, die aufgrund der Abpressung frei von Störstoffen und grobstückigen Materialien sind, sollten für die Düngung von Grünland und Futterflächen zugelassen werden.

Schwer nachzuvollziehen sind ebenfalls regionale Anforderungen, wie z. B. **QZBW** (Qualitätszeichen Baden-Württemberg gesicherte Qualität und Herkunftsangabe), die den Einsatz von Gärprodukten aus der Bioabfallbehandlung untersagen, während sich gleichzeitig der biologische Landbau für den Einsatz dieser Stoffe öffnet.

Sowohl hinsichtlich der Novellierung der BioAbfV als auch zur Weiterentwicklung des QZBW ist politische Unterstützung für die hier skizzierten Bereiche im Umfeld der Bioabfallverwertung wesentlich.
- III. Die Auswertung der Daten zum Wassergehalt der Komposte aus der Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal zeigte trotz guter Abpressergebnisse ein zu feuchtes Kompostmaterial für eine effiziente Konfektionierung. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, die Effizienz des Kompostierungsprozesses weiter zu verbessern. Maßnahmen zur Optimierung der bestehenden Kompostierung hat die AWG bereits geplant. Deren Wirksamkeit sollte regelmäßig überprüft werden und ggf. weitergehende Maßnahmen ergriffen werden.
- IV. Basierend auf der vorliegenden technischen und wirtschaftlichen Bewertung der **untersuchten Varianten** sind hinsichtlich der flüssigen Gärreste folgende **Schlussfolgerungen** unter den am Standort gegebenen Rahmenbedingungen gerechtfertigt:
 1. Die Zuführung von Brauchwasser zum Fermenter sollte auf das absolute Minimum reduziert werden. Der Einsatz eines Dekanters zur Erzeugung von Fugat aus dem flüssigen Gärrest als Ersatz für Brauchwasser stellt hierzu einen möglichen Ansatz dar. Hierzu sollten weitergehende Untersuchungen erfolgen und bei positiven Ergebnissen die Wirtschaftlichkeit geprüft werden.
 2. Trotz der erforderlichen Investitionen in neue Gärrestlager und der Verwertungskosten für flüssigen Gärrest ist die Schaffung zusätzlichen Lagerraums für die flüssigen Gärreste die wirtschaftlichste Option, die auch aus ökologischer Sicht gut abschneidet.
 3. Die solare Trocknung ist robust, weist aber erheblichen Platz- und Strombedarf auf, ohne klare Vorteile gegenüber einer technischen Trocknung aufzuweisen. Insbesondere die Abluftsituation stellt hinsichtlich der großen Volumina eine Herausforderung dar. Trotz der ökologisch-ökonomischen Konkurrenzfähigkeit kann die solare Trocknung flüssiger

Gärreste - aufgrund der fehlenden großtechnischen Langzeit-Betriebserfahrungen - derzeit nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

4. Mit der Option: „Dekantierung des flüssigen Gärrests und Nutzung eines (geringen) Teils des Fugats anstelle von Brauchwasser sowie Verbringung des überschüssigen Fugats (ggf. nach zweiter Dekantierung mit Flockungshilfsmittel) zur Sickerwasserkläranlage“ steht zumindest eine Option zur Verfügung, die bei erheblicher Verteuerung der landwirtschaftlichen Verwertung flüssiger Gärreste Entsorgungssicherheit ohne allzu deutliche Auswirkungen auf die Behandlungskosten ermöglicht. Basierend auf einer Sensitivitätsbetrachtung wird dieser Benchmark bei Verwertungskosten von ca. 13 €/m³ für flüssigen Gärrest erreicht.

Es wäre ggf. sinnvoll, frühzeitig einen Langzeittest mit einem Dekanter oder Bandfilter durchzuführen, um eine alternative Entsorgung in eine Kläranlage zu verifizieren. Für diesen Fall ist zur Beurteilung der technischen Machbarkeit ein Praxistest zwingend erforderlich.

5. Der Eindampfung kann auf Basis der vorliegenden Daten und Erfahrungen mit anderen Stoffströmen ein interessantes Potenzial zugeschrieben werden. Allerdings liegen keine Praxis- und Langzeiterfahrungen mit flüssigem Gärrest aus Biogut vor. Sofern diese Option weiter verfolgt werden sollte, müssten entsprechende Versuche, mindestens im Technikums-Maßstab, durchgeführt werden.

6. Die thermische Trocknung erwies sich als wirtschaftlich wenig attraktiv. Während sich bei Bandtrocknern das Aufbringen gut belüftbarer Materialien in der Praxis als schwierig erwies, werden bei Trommeltrocknern Staubemissionen und Brandgefahr als technische Nachteile benannt.

7. Eine Teilstromvergärung würde flüssige Gärreste vermeiden und könnte die derzeitigen Schwierigkeiten in der Kompostierung auffangen. Allerdings lässt das zur Verfügung stehende Grundstück nur eine zusätzliche Verwertung von ca. 10.000 Mg/a Biogut zu. In dieser Größenordnung ist die Nachrüstung einer Teilstromvergärung unwirtschaftlich.

- V. Zusammenfassend kann unter den getroffenen Annahmen festgehalten werden, dass die Errichtung eines 3. Gärrestlagers derzeit die beste Option für die AWG ist.

- VI. Für die weitere Zukunft kann eine weitere Verschärfung der Abnahmesituation für flüssigen Gärrest in der Landwirtschaft nicht ausgeschlossen werden. Für diesen Fall konnten mehrere Varianten als realistische Handlungsalternativen für die AWG identifiziert werden.

8 Anhänge

8.1 Literatur

- /1/ Bundesgütegemeinschaft Kompost (2007): Anmerkungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. zur beabsichtigten Novelle der Bioabfallverordnung (BioAbfV). <http://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Recht/BGK-Stellungnahme-BioAbfV2007-Endfassung.pdf>
- /2/ Bux, M. und K. Wasmuth (2015): Solare Trocknung, dezentrale Energiegewinnung und Phosphor-Recycling aus Klärschlamm. Wasser und Abfall 3/2015, S. 15–18.
- /3/ FNR (2009): Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf) Gülzower Fachgespräche Band 30.
- /4/ Kern, M. und T. Raussen (2014): Biogas Atlas 2014/15 – Anlagenhandbuch der Vergärung biogener Abfälle in Deutschland und Europa.
- /5/ Raussen, T. und M. Kern (2010): Gärreste aus der Bioabfallbehandlung: Mengen, Qualitäten, Behandlung und Verbleib. In: K. J. Thomé-Kozmiensky und M. Beckmann: Erneuerbare Energien. Band 4. S. 161–178.
- /6/ Raussen, T., M. Kern, W. Sprick und A. Lootsma (2009): Eckpunkte zur Integration einer Vergärung in Kompostierungsanlagen. In: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung. Stofflich – energetisch IV. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Kassel: Klaus Wiemer, Michael Kern (Hrsg.). S. 468–488.
- /7/ Raussen, T. und A. Lootsma (2008): Am Ende anfangen – die Aufbereitung von Gärresten stellt für große Vergärungsanlagen einen maßgeblichen Verfahrensschritt dar. Müllmagazin (2). S. 14–20.
- /8/ Raussen, T. M. Kern, A. Lootsma, G. Balthasar, M. Blume und W. Sprick (2015): Technische Ansätze zur optimierten Behandlung flüssiger Gärreste – Leitfaden Baden-Württemberg. In: Bioabfallerfassung und -verwertung 2.0. Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.). S. 65–78.
- /9/ Kern, M., T. Raussen, A. Lootsma und G. Balthasar (2015): Leitfaden Gärresteverwertung. In: Bioabfallforum Baden-Württemberg. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft Band 119. Martin Kranert, Andreas Sihler (Herausgeber), S. 78-89.
- /10/ Oechtering, A. (2014): Gärrestmanagement sowie Verwertung fester und flüssiger Gärreste in der Praxis. In: Bioabfallerfassung und Verwertung ab 2015. Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.). S. 167-168.

8.2 Daten aus den Dekanter-Versuchen

Tab. 18: Analyseergebnisse für Fugat (ohne FHM)

Untersuchungsparameter	Einheit	Prüfwert
Trockensubstanz	% FM	6,7
Organische Substanz	% TM	57,0
Gasbildungsrate [GB ₂₁]	Nm ³ /Mg FM	5,6
Ø Methangehalt	Vol.-%	53,2
Gesamtstickstoff (N)	% FM	0,45
Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	% FM	0,21
Phosphat, gesamt (P ₂ O ₅)	% FM	0,13
Kalium, gesamt (K ₂ O)	% FM	0,40
Leitfähigkeit	µS	20.500
Blei	mg/kg TM	40,8
Cadmium	mg/kg TM	0,87
Chrom	mg/kg TM	35,7
Kupfer	mg/kg TM	112
Nickel	mg/kg TM	24,1
Quecksilber	mg/kg TM	0,16
Zink	mg/kg TM	396
AOX	mg/kg FM	5,49
BSB ₅	mg/l FM	209
CSB	mg/l FM	56.000
Abf. Stoffe	mg/l FM	n.b.*

* Probe war trotz hoher Spülleistung nicht filtrierbar

Tab. 19: Analyseergebnisse für Fugat (mit stärkebasiertem FHM)

Untersuchungsparameter	Einheit	Prüfwert
Trockensubstanz	% FM	1,0
Organische Substanz	% TM	52,5
Gasbildungsrate [GB ₂₁]	Nm ³ /Mg FM	1,4
Ø Methangehalt	Vol.-%	38,6
Gesamtstickstoff (N)	% FM	0,13
Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	% FM	0,10
Phosphat, gesamt (P ₂ O ₅)	% FM	0,01
Kalium, gesamt (K ₂ O)	% FM	0,15
Leitfähigkeit	µS	13.600
Blei	mg/kg TM	8,36
Cadmium	mg/kg TM	0,23
Chrom	mg/kg TM	7,03
Kupfer	mg/kg TM	13,0
Nickel	mg/kg TM	17,1
Quecksilber	mg/kg TM	0,09
Zink	mg/kg TM	101
AOX	mg/kg FM	2,85
BSB ₅	mg/l FM	4,63
CSB	mg/ FM	25
Abf. Stoffe	mg/l FM	190

Tab. 20: Analyseergebnisse für Dekanterkuchen (mit stärkebasiertem FHM)

Untersuchungsparameter	Einheit	Prüfwert	Untersuchungsparameter	Einheit	Prüfwert
Hygiene			Physikalische Parameter		
Keimfähige Samen und Pflanzenteile	Pflanzen/l	0,0	Rohdichte (Volumengewicht)	g/l FM	1100
Salmonellen	KBE/g	negativ	Trockensubstanz	% FM	31,7
Pflanzennährstoffe - gesamt			Fremdstoffe >2 mm (gesamt)	% TM	0,00
Gesamtstickstoff (N)	% TM	2,52	davon Glas	% TM	0,00
Phosphat, gesamt (P ₂ O ₅)	% TM	1,05	davon Kunststoff	% TM	0,00
Kalium, gesamt (K ₂ O)	% TM	1,17	davon Metalle	% TM	0,00
Magnesium, gesamt (MgO)	% TM	1,27	Steine >5 mm	% TM	0,00
Schwefel, gesamt (S)	% TM	0,29	Biologische Parameter		
Pflanzennährstoffe - löslich			Rottegrad		4
Stickstoff CaCl ₂ -löslich	mg/l FM	1.452	Organische Säuren	mg/kg FM	670
davon Ammonium (NH ₄ -N)	mg/l FM	1.450	Bonitur (Geruch)		1 (angenehm)
davon Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l FM	2	Chemische Parameter		
Bodenverbesserung			Salzgehalt (Wasserauszug 1:5)	g/l FM	5,17
Organische Substanz	% TM	43,6	pH-Wert (Suspension mit Wasser)		7,80
Basisch wirksame Stoffe (CaO)	% TM	3,99	Nährstoffe		
C/N Verhältnis		10	N gesamt	kg/Mg FM	8,0
Schwermetalle			P ₂ O ₅ gesamt	kg/Mg FM	3,3
Blei	mg/kg TM	29,0	K ₂ O gesamt	kg/Mg FM	3,7
Cadmium	mg/kg TM	0,42	MgO gesamt	kg/Mg FM	4,0
Chrom	mg/kg TM	34,8	bas. wirksame Stoffe (CaO)	kg/Mg FM	12,6
Kupfer	mg/kg TM	60,6	Organische Substanz	kg/Mg FM	138,2
Nickel	mg/kg TM	19,6			
Quecksilber	mg/kg TM	0,1			
Zink	mg/kg TM	202			

Tab. 21: Analyseergebnisse für Fugat (mit synthetischem FHM)

Untersuchungsparameter	Einheit	Prüfwert
Trockensubstanz	% FM	2,1
Organische Substanz	% TM	64,9

8.3 Auslegungsdaten für die Stoffströme der untersuchten Varianten

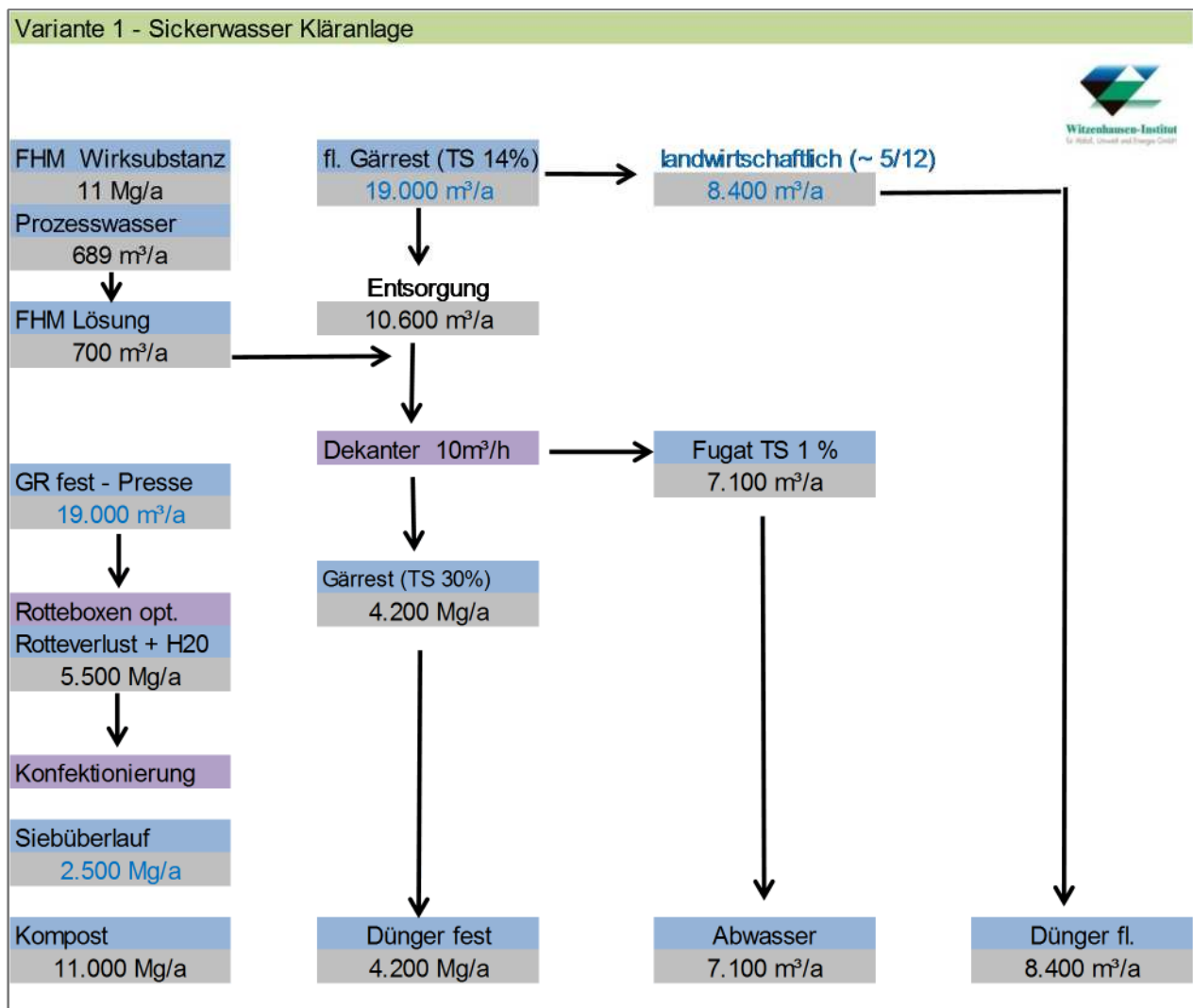


Abb. 49: Stoffstrom zur Variante 1 - Sickerwasserkläranlage



Variante 3 - Teilstromvergärung

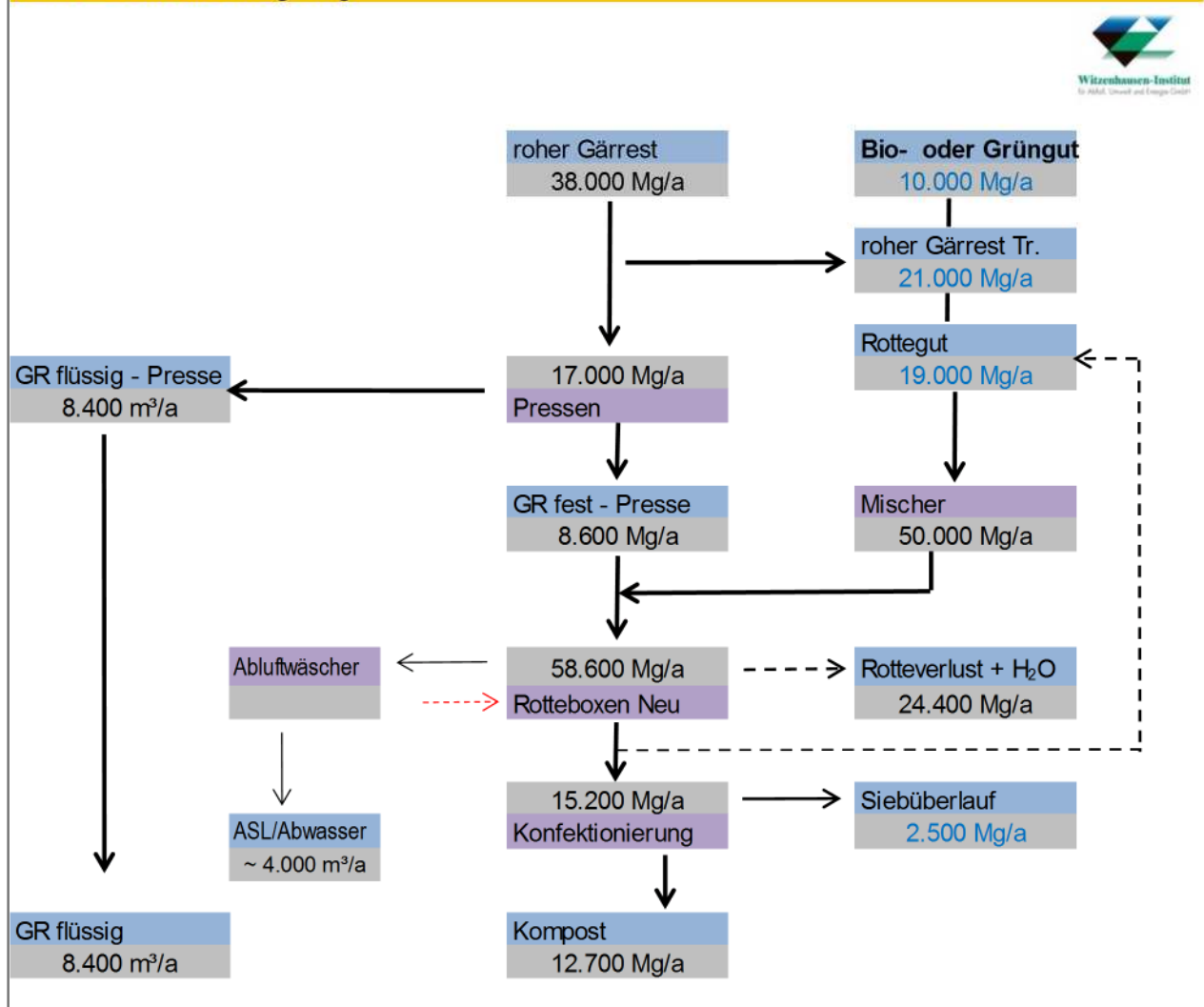


Abb. 51: Stoffstrom zur Variante 3 - Teilstromvergärung



Variante 5 - Eindampfung fl. GR

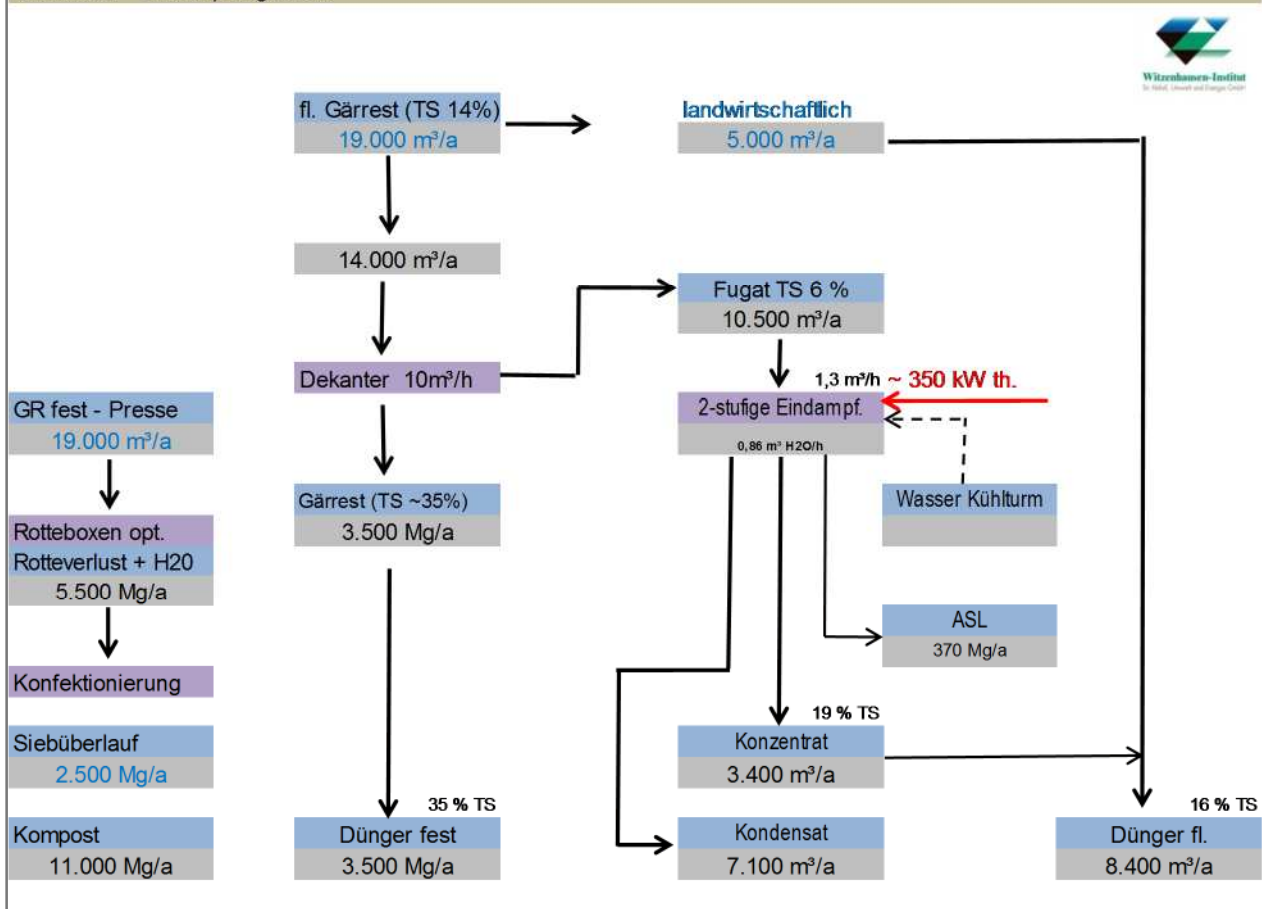


Abb. 53: Stoffstrom zur Variante 5 - Eindampfung