



Witzenhausen-Institut

Schlussbericht

Optimierte Verwertung von
Siebresten aus Biogutvergärungs-
und -kompostierungsanlagen (Sieb-OPTI)

Schlussbericht

Optimierte Verwertung von Siebresten aus Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen (Sieb-OPTI)

Förderkennzeichen: 03KB140

Projektlaufzeit: 01.07.2018 bis 31.12.2020

Zahlungsempfänger:

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH

Werner-Eisenberg-Weg 1

37213 Witzenhausen

Telefon: 05542 9380-0

E-Mail: info@witzenhausen-institut.de



Autoren: Sebastian Gallery, Axel Hüttner, Thomas Turk, Lennart Warning, Dr. Felix Richter

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Energetische
Biomassenutzung



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03KB140 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Witzenhausen, 28.06.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	16
2	Einleitung	19
2.1	Hintergrund und Zielsetzung des Vorhabens	19
2.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	20
2.3	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens.....	22
2.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	24
2.5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	25
2.6	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	26
2.7	Veröffentlichungen.....	26
3	Ist-Stand-Analyse der Entsorgung/Verwertung von Biogut-Siebresten	27
4	Analyse geeigneter Verwertungswege	33
4.1	Allgemein	33
4.2	Heizwerterhöhung und Aschegehalt.....	35
4.3	Stör- und Fremdstoffe	36
4.4	Korngröße.....	37
4.5	Optimierung der Siebrestqualität durch verschiedene Siebschnitte	37
4.6	Methodik der Analysen von Siebresten und Kompost	38
4.7	Ergebnisse der Siebüberlauf- und Kompostanalysen	40
4.7.1	Anlage A	40
4.7.2	Anlage B	47
4.7.3	Anlage C	55
4.7.4	Anlage D	62
4.7.5	Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse	69
5	Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen	80
5.1	Rechtliche Grundlagen für die Einstufung der Materialien als Brennstoff	80
5.2	Beschreibung der Proben im Überblick	80
5.3	Einstufung nach Biomasseverordnung.....	82
5.4	Einstufung nach Altholzverordnung.....	83
5.5	Einstufung nach RAL-GZ 724 (Sekundärbrennstoff)	83
5.6	Vergleich mit Vorgaben der 44. BImSchV	83

5.7	Klassifikation der Proben gemäß DIN EN ISO 17225-1 und DIN EN ISO 17225-9	84
5.8	Allgemeine Einstufung der Siebüberlauf-Materialien als Brennstoff	84
5.9	Ausblick	84
5.10	Ergänzung der Bewertung	85
6	Optimierung der Siebrestaufbereitung in der Praxis.....	86
6.1	Verfahren zur Siebrestaufbereitung	89
6.1.1	Siebung.....	90
6.1.2	Schwerstoffabscheidung	93
6.1.3	Ballistikseparator (Paddelsichter).....	95
6.1.4	Metallabscheider	96
6.1.5	Windsichtung	98
6.1.6	Sensorbasierte Trennsysteme	101
6.1.7	Trocknung.....	103
6.1.8	Zerkleinerung	103
6.2	Zusammenfassung	104
6.3	Praxisversuche zur Siebrestaufbereitung	105
6.3.1	Methodik	105
6.3.2	Siebüberlauf-Aufbereitung mit NIR-Technik	105
6.3.3	Siebüberlauf-Aufbereitung mit Windsichter und Steinfaller	109
7	Ökonomische Bewertung der Siebrestaufbereitung	115
7.1	Ziele der Aufbereitung.....	115
7.2	Behandlungskonzept	116
7.3	Investitions- und Betriebskosten	118
7.3.1	Investitionskostenschätzung	118
7.3.2	Betriebskostenschätzung	119
7.3.3	Siebrestverwertung- bzw. -entsorgung.....	120
8	Beurteilung der Klima- und Ressourcenrelevanz.....	122
8.1	Potenziale zur Kompost- und Energieerzeugung sowie zur Treibhausgasersparnis.....	122
8.2	Betrachtung unterschiedlicher Szenarien der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung.....	123
9	Empfehlungen für die Praxis	127

9.1	Fremdstoffausschleusung bei der Biogutbehandlung.....	128
9.1.1	Vor der biologischen Behandlung.....	128
9.1.2	Während der biologischen Behandlung.....	131
9.1.3	Nach der biologischen Behandlung.....	133
9.2	Optimierungsoptionen.....	134
9.2.1	Erweiterte Konfektionierung durch Fremdstoffentfrachtung der Siebreste bei 1-fach-Siebung	134
9.2.2	Erweiterte Konfektionierung durch Störstoffentfrachtung der Mittelkornfraktion bei Mehrfachsiebung.....	135
9.3	Fazit.....	136
10	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	137

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Anfall von Siebresten bezogen auf den Anlageninput im Jahr 2017/2018	23
Abb. 2:	Entsorgungskosten für Siebreste im Jahr 2017/2018	24
Abb. 3:	Anteil der Anlagen gruppiert nach Jahresdurchsatz	27
Abb. 4:	Anteil der zu entsorgenden Siebreste bezogen auf den Anlageninput.....	28
Abb. 5:	Verwertungs-/Entsorgungswege der anfallenden Siebreste	28
Abb. 6:	Kosten der Entsorgung/Verwertung der Siebreste (netto, ohne Transport) ...	29
Abb. 7:	Veränderung der absoluten Kosten der Verwertung/Entsorgung der Siebreste innerhalb der letzten fünf Jahre	29
Abb. 8:	Rückgeführter Anteil der Siebüberläufe bezogen auf den Gesamtsiebüberlauf (links), Rückführung von Siebüberläufen in den Prozess (rechts),.....	30
Abb. 9:	Wassergehalte der erzeugten Kompostprodukte, aufsteigend sortiert.....	31
Abb. 10:	Eingesetzte Technik zur Grobaufbereitung des angelieferten Bioguts.....	31
Abb. 11:	Konfektionierung des Rohkomposts.....	32
Abb. 12:	Aufbereitungstechnik für Siebüberläufe aus der Kompostkonfektionierung ...	32
Abb. 13:	Trocknungstunnel (links), Belüftungsmodul (rechts) (Quelle: Abfallwirtschaft Vechta)	36
Abb. 14:	Aufbau zur händischen Sortieranalyse von Siebüberläufen	39
Abb. 15:	Blockfließbild der Kompostierungsanlage A	41
Abb. 16:	Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage A.....	42
Abb. 17:	Korngrößenverteilungen des Siebüberlaufs > 15 mm, Anlage A	42
Abb. 18:	Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A	43
Abb. 19:	Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A	43
Abb. 20:	Fremdstoffgehalte (40–60 mm) im bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A	44
Abb. 21:	Fremdstoffgehalte (15–40 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A	44
Abb. 22:	Fremdstoffgehalte (gesamt > 15 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A	45
Abb. 23:	Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebüberlaufs (> 15 mm), Anlage A	45
Abb. 24:	Brenn- und Heizwerte des Siebüberlaufs (> 15 mm), Anlage A.....	46
Abb. 25:	Fließbild Anlage B.....	48
Abb. 26:	Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage B.....	49
Abb. 27:	Korngrößenverteilungen des Siebüberlaufs, Anlage B	49

Abb. 28:	Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B	50
Abb. 29:	Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B	50
Abb. 30:	Fremdstoffgehalte (40–60 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B	51
Abb. 31:	Fremdstoffgehalte (20–40 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B	51
Abb. 32:	Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B	52
Abb. 33:	Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebüberlaufs 25–100 mm, Anlage B.....	52
Abb. 34:	Brenn- und Heizwerte des Siebüberlaufs 25–100 mm, Anlage B	53
Abb. 35:	Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebrest > 100 mm bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B.....	54
Abb. 36:	Fließbild Anlage C.....	55
Abb. 37:	Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage C.....	56
Abb. 38:	Korngrößenverteilungen des Siebüberlaufs > 20 mm, Anlage C	57
Abb. 39:	Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C	57
Abb. 40:	Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C	58
Abb. 41:	Fremdstoffgehalte (40–60 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C	58
Abb. 42:	Fremdstoffgehalte (20–40 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C	59
Abb. 43:	Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebüberlauf > 20 mm bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C (Mittelwerte aus je drei Durchgängen).....	59
Abb. 44:	Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebüberlaufs > 20 mm, Anlage C.....	60
Abb. 45:	Brenn- und Heizwerte des Siebüberlaufs > 20 mm, Anlage C.....	60
Abb. 46:	Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebüberlauf > 80 mm aus Voraufbereitung, bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C	62
Abb. 47:	Fließbild Anlage D.....	63
Abb. 48:	Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage D.....	64
Abb. 49:	Korngrößenverteilungen des Siebrests 15–70 mm, Anlage D	64
Abb. 50:	Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebrest, bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D	65
Abb. 51:	Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D	65

Abb. 52:	Fremdstoffgehalt (40–60 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D	66
Abb. 53:	Fremdstoffgehalte (15–40 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D	66
Abb. 54:	Fremdstoffgehalte (gesamt > 15 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D	67
Abb. 55:	Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebrests 15–70 mm, Anlage D.....	67
Abb. 56:	Brenn- und Heizwerte des Siebrests 15–70 mm, Anlage D.....	68
Abb. 57:	Fremdstoffgehalt in den Siebresten der untersuchten Anlagen	70
Abb. 58:	Anteil der Fremdstofffraktionen in den Siebresten der untersuchten Anlagen	71
Abb. 59:	Anteil der einzelnen Fremdstoffe in den Siebresten der untersuchten Anlagen (ohne PPK und Mineralik)	71
Abb. 60:	Folienkunststoffanteil in den verschiedenen Siebfraktionen der Sortieranalyse für die untersuchten Anlagen.....	72
Abb. 61:	Glasanteil in den verschiedenen Siebfraktionen der Sortieranalyse für die untersuchten Anlagen	73
Abb. 62:	Mineralikanteil in den verschiedenen Siebfraktionen der Sortieranalyse für die untersuchten Anlagen	73
Abb. 63:	Fremdstoffgehalt > 1mm in den Kompostproben der untersuchten Anlagen (rote Linie Grenzwert von 0,5 % TM).....	75
Abb. 64:	Fremdstoffgehalt > 1 mm der Fraktionen Folien-, Hartkunststoff, Glas und Metall in den Kompostproben der untersuchten Anlagen	75
Abb. 65:	Flächensummenindex in den Kompostproben der untersuchten Anlagen (rote Linie Grenzwert von 15 cm ² /l)	76
Abb. 66:	Mittlere Korngrößenverteilung der Siebreste in den untersuchten Anlagen ...	76
Abb. 67:	Feinkornanteil in den Siebresten in Abhängigkeit von dem Trockensubstanzgehalt des Aufgabeguts (berechnet aus den Untersuchungsergebnissen für Kompost und Siebreste).....	77
Abb. 68:	Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil (Sieblochgröße < 3,15 mm) der Siebreste der untersuchten Anlagen	78
Abb. 69:	Brenn- und Heizwert der Siebüberläufe der untersuchten Anlagen	79
Abb. 70:	Gegenüberstellung der Heizwerte der untersuchten Anlagen und von Laub- und Nadelholz in Abhängigkeit vom Wassergehalt.....	79
Abb. 71:	Siebwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Aufgabematerials (Quelle: Pretz und Feil, 2017)	90
Abb. 72:	Mögliche Sieblochformen von Siebtrommeln	91
Abb. 73:	Schematische Darstellung des Sternsiefs (modifiziert nach Mack Maschinenteknik GmbH).....	92
Abb. 74:	Funktionsprinzip des Spannwellensiefs.....	93

Abb. 75:	Funktionsprinzip des Rollabscheiders	94
Abb. 76:	Schematische Darstellung eines hydraulischen Dichteseparators.....	95
Abb. 77:	Funktionsschema eines Ballistikseparators mit drei Fraktionen.....	96
Abb. 78:	Prinzipielle Funktionsweise eines Überbandmagnetabscheiders	97
Abb. 79:	Funktionsprinzip des Bandrollenmagnetabscheiders	97
Abb. 80:	Funktionsprinzip des Wirbelstromabscheiders (eigene Darstellung)	98
Abb. 81:	Funktionsprinzip des Querstrom-Windsichters	99
Abb. 82:	Druck-Saugkombination.....	100
Abb. 83:	Funktionsprinzip einer Folienabsaugung an einer Förderbandübergabe	100
Abb. 84:	Sensorbasiertes automatisches Sortiersystem (Quelle: Tomra Sorting Solutions).....	101
Abb. 85:	Funktionsprinzip sensorbasiertes Klauben	102
Abb. 86:	Fließbild der Aufbereitungsstrecke für Siebüberlauf > 70 mm	106
Abb. 87:	Durchschnittliche Separation des Aufgabematerials durch das NIR-Gerät..	107
Abb. 88:	Gegenüberstellung der Zusammensetzung des Aufgabematerials aus den unterschiedlichen Analysezeitpunkten	107
Abb. 89:	Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Aufgabematerial und der gereinigten Fraktion in Abhängigkeit des Analysetermins	108
Abb. 90:	Zusammenstellung der spezifischen Abscheidegrade nach Fraktionen und Analysezeitpunkt.....	109
Abb. 91:	Abscheidegrad der Folienkunststoffe nach Größe.....	109
Abb. 92:	„Windbreeze“ (ENVITAL GmbH): Kombination aus Windsichter und Schwerstoffabscheider.....	110
Abb. 93:	Fließbild Biogutbehandlung und Siebrestauffbereitung am Versuchsstandort	111
Abb. 94:	Separation des Aufgabegut durch den Fe-Metallabscheider und „Windbreeze“	111
Abb. 95:	Zusammensetzung des Aufgabematerials und der gereinigten Fraktion nach Durchgang 1	112
Abb. 96:	Abscheidegrad einzelner Fraktionen durch den „Windbreeze“	113
Abb. 97:	Fraktionsabscheidegrad einzelner Materialien durch den „Windbreeze“	113
Abb. 98:	Gegenüberstellung der Zusammensetzungen der gereinigten Fraktionen aus Durchlauf 1 und Durchlauf 2.....	114
Abb. 99:	Inputmaterial für ökonomische Bewertung (Mittelwerte aus Siebrestanalysen)	116
Abb. 100:	Approximative Massenbilanz einer modelhaften Aufbereitungslinie zur Fremdstoffentfrachtung	117
Abb. 101:	Gegenüberstellung der abgeschätzten Zusammensetzung von Input und Output einer Aufbereitungslinie für die Behandlung der Siebreste	117

Abb. 102: Vorgesehene überdachte Fläche zur Siebrestlagerung und -aufbereitung ..	118
Abb. 103: Relativer Unterschied der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme sowie der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) in sechs Szenarien der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung (Trend 2021 = 100).....	126
Abb. 104: Anlieferung von Biogut in der Praxis	128
Abb. 105: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit 1-fach-Siebung und intensiver Siebrestbehandlung	134
Abb. 106: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Mehrfachsiebung und intensiver Siebrestbehandlung	135

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zeitplan zum Ablauf des Forschungsvorhabens.....	20
Tab. 2:	Vergleich der Verwertungsmöglichkeiten für Siebreste (Biogut).....	33
Tab. 3:	Maßnahmen zur Einhaltung von Qualitätsanforderungen für die thermische Verwertung	35
Tab. 4:	Analyseergebnisse Kompost < 15 mm, Anlage A.....	47
Tab. 5:	Analyseergebnisse Rohkompost < 25 mm, Anlage B.....	54
Tab. 6:	Analysenergebnisse Kompost < 20 mm, Anlage C	61
Tab. 7:	Analysenergebnisse Kompost < 15 mm, Anlage D	68
Tab. 8:	Zusammenstellung der verfahrensspezifischen Merkmale der untersuchten Anlagen	69
Tab. 9:	Zusammenstellung Jahreszeugnisse der BGK-Prüfungen	74
Tab. 10:	Mittelwerte und Spannen der Analysenergebnisse der Untersuchung von Siebüberlaufmaterialien im Vergleich mit Grenzwerten der ISO TS 17225-9, BiomasseV, AltholzV und RAL-GZ 724	81
Tab. 11:	Trennmerkmal bei der Windsichtung (Quelle: VenitOelde GmbH).....	98
Tab. 12:	Sensor und Detektionsmethode nach Störstoffen (Quelle: Pretz und Feil, 2017)	102
Tab. 13:	Investitionskostenschätzung	119
Tab. 14:	Betriebskostenschätzung	119
Tab. 15:	Verwertungs- bzw. Entsorgungskostenschätzung	120
Tab. 16:	Spezifische Behandlungskosten der 3 Varianten unter Berücksichtigung der Betriebs- sowie Entsorgungs- und Verwertungskosten	121
Tab. 17:	Aggregierte gerundete Berechnungsparameter für die Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme sowie für die Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) bei unterschiedlichen Stoffströmen pro Mg Siebrest, Siebrest-Feinkorn oder Siebrest-Überkorn	123

Abkürzungsverzeichnis

A:	Jahr
AltholzV:	Altholzverordnung
ASA:	Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e. V.
BAW:	biologisch abbaubare Werkstoffe
BDE:	Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V.
BGK:	Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.
BMU:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BiomasseV:	Biomasseverordnung
BlmSchV:	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BioAbfV:	Bioabfallverordnung
BMH(K)W:	Biomasseheiz(kraft)werk
Cd:	Cadmium
Co:	Cobalt
Cr:	Chrom
Cu:	Kupfer
DBFZ:	Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
DDT:	Dichlordiphenyltrichlorethan
DT:	Erweichungstemperatur
DüMV:	Düngemittelverordnung
DüV	Düngeverordnung
EEG:	Erneuerbare-Energien-Gesetz
F&E:	Forschung und Entwicklung
Fe:	Eisen
FM:	Frischmasse
Gew.-%:	Gewichtsprozent
KEA fossil:	Kumulierter Energieaufwand fossiler Energieträger

kJ:	Kilojoule
KrWG:	Kreislaufwirtschaftsgesetz
MBA:	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
Mg:	Megagramm (Tonne)
MJ:	Megajoule
MVA:	Müllverbrennungsanlage
NE:	Nicht-Eisen
NIR:	Nahinfrarot
NuK:	Nahrungs- und Küchenabfälle
örE:	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
PAK:	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB:	Polychlorierte Biphenyle
PCP:	Pentachlorphenol
PPK:	Papier, Pappe, Kartonage
RAL:	Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen (gegründet 1925, bis heute Namensgeber der Gütesicherung)
RAL-GZ:	RAL-Gütezeichen
THG:	Treibhausgase
TM:	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
UBA:	Umweltbundesamt
PPK:	Papier, Pappe, Kartonagen

1 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund steigender Qualitätsanforderungen für Komposte aus Biogut und den damit verbundenen steigenden Mengen an fremdstoffbelasteten Siebresten bei gleichzeitig steigenden Kosten für die Entsorgung dieser Siebreste verfolgte das Forschungsvorhaben Sieb-OPTI im Sinne des Klima- und Ressourcenschutzes, d. h. der Erzeugung hochwertiger Komposte und biogener Brennstoffe aus aufbereiteten Siebresten, folgende Ziele:

- Ermittlung des **Ist-Stands der Entsorgung/Verwertung von Biogut-Siebresten** in Deutschland, auch im Hinblick auf die Klimaschutz- und Ressourcenrelevanz
- Analyse **vorhandener Verwertungswege für Biogut-Siebreste** in der Praxis
- Analyse und Dokumentation der **rechtlichen Rahmenbedingungen** für die Verwertung von Biogut-Siebresten in Deutschland
- **Optimierung der Aufbereitung von Biogut-Siebresten** in der Praxis
- Modellhafte Kostenberechnung und **ökonomische Bewertung** der Aufbereitung von Biogut-Siebresten
- Beurteilung der **Klima- und Ressourcenrelevanz** einer Aufbereitung von Biogut-Siebresten in Deutschland
- **Empfehlungen für die Praxis** zur Optimierung der Aufbereitung und Verwertung von Biogut-Siebresten

Ist-Stand-Analyse der Entsorgung/Verwertung von Biogut-Siebresten

Im Rahmen einer Umfrage bei 275 Betreibern von Kompostierungs- und Vergärungsanlagen für Biogut, die einen Rücklauf der versendeten Fragebogen von ca. 25 % erzielte, wurde ermittelt, dass bei mehr als der Hälfte der Anlagen mindestens 10 %, bei einem Sechstel der Anlagen sogar mehr als 20 % des Anlageninputs als Siebreste zu entsorgen sind. Der Hauptentsorgungsweg für diese Siebreste ist die Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA), gefolgt von der Verwertung in einem Biomasseheiz(kraft)werk (BMH(K)W), während ein geringerer Anteil auch in den Behandlungsprozess rückgeführt wird. Die Entsorgungskosten liegen beim überwiegenden Teil der Anlagen zwischen 40 und 120 €/Mg und sind innerhalb der letzten fünf Jahre bei zwei Drittel der Anlagen um mindestens 50 %, bei einem Viertel der Anlagen sogar um mehr als 100 % gestiegen.

Analyse vorhandener Verwertungswege

Neben der Darstellung der in der Praxis etablierten Verwertungswege für Biogut-Siebreste inklusive der spezifisch notwendigen Aufbereitungs- und Logistikschrte wurden Siebreste von zwei Biogutkompostierungs- und zwei Biogutvergärungsanlagen, die jeweils unterschiedliche Verfahren zur Kompost- bzw. Siebrestaufbereitung einsetzen, zu verschiedenen Jahreszeiten analysiert. Die Fremdstoffgehalte in den Siebresten der vier Anlagen unterschieden sich bedingt durch den unterschiedlichen Anlageninput und die unterschiedlichen Behandlungsschritte stark voneinander. Sie lagen zwischen 5 % und 25 %, wobei die höheren Gehalte dort auftraten, wo Siebreste in den Behandlungsprozess rückgeführt wurden (Aufkonzentrierung). Der größte Anteil der Fremdstoffe bestand bei allen vier Anlagen aus Mineralik. Bei den Anlagen, die ohne eine Windsichtung zur Abtrennung von Leichtstoffen arbeiten, waren die Gehalte an Folienkunststoffen erhöht. Hohe Aschegehalte von 20 % bis 45 % bedingen relativ geringe Heizwerte der Siebreste (6–9 MJ/kg FM) im Vergleich mit anderen biogenen Brennstoffen.

Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen

Die Einstufung von Siebresten als Brennstoff wurde anhand der Analyse unterschiedlicher rechtlicher Regelwerke und Normen (Biomasseverordnung (BiomasseV), Altholzverordnung (AltholzV), RAL-Gütezeichen (RAL-GZ) 724, 44. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (44. BImSchV) DIN EN ISO 17225-1, und DIN EN ISO 17225-9) bewertet, da keine Richtlinien existieren, die explizit Qualitätsanforderungen für Siebreste von Bioabfallverwertungsanlagen formulieren. Für eine Einstufung als biogener Brennstoff sind vor allem die hohen Fremdstoffgehalte problematisch. Daneben sollten Siebreste aufgrund hoher Aschegehalte sowie stark unterschiedlicher Wassergehalte einen Mindestheizwert im Frischzustand aufweisen, um als Brennstoffe eingestuft zu werden.

Optimierung der Aufbereitung in der Praxis

Neben der Beschreibung und Bewertung verschiedener Aufbereitungsverfahren für Biogut, Biogut-Kompost sowie Biogut-Siebreste wurden in Praxisversuchen bei Biogutbehandlungsanlagen zwei innovative technische Aufbereitungsverfahren für Siebreste – sensorgestützte Sortiergeräte auf Basis der Hyper Spectral Imaging-Technologie mit Nahinfrarot (NIR) sowie innovative Windsichtung und Steinaustragung – auf ihre Effektivität und Effizienz untersucht. Generell sollte für eine effiziente Fremdstoffentfrachtung die Korngröße eingegrenzt und ein möglichst hoher Gehalt an Trockensubstanz (TS) herbeigeführt werden, so wie es bei Siebresten aus der Kompostkonfektionierung der Fall ist. Das NIR-Verfahren führte zu einer Separation der Siebreste in eine Fremdstofffraktion (30 Gew.-%) und eine gereinigte Fraktion (70 Gew.-%) aus der vor allem Kunststoffe, Glas und Verbundstoffe gut abgeschieden wurden. Das Verfahren mit Windsichter und Steinfaller führte zu einer Aufteilung in eine gereinigte Fraktion (60 Gew.-%), eine Leichtfraktion (29 Gew.-%) und eine Schwerfraktion (11 Gew.-%). Hier wurden vor allem Kunststoffe, Mineralien und Verbundstoffe gut abgeschieden.

Ökonomische Bewertung

Anhand einer auf den zuvor gewonnenen Erkenntnissen basierenden modellhaften Aufbereitungslinie für Biogut-Siebreste mit erneuter Absiebung, Windsichter und Steinfaller wurden Aufbereitungskosten (inklusive Investitions- und Betriebskosten) berechnet und in Verbindung mit den Kosten der Verwertung bzw. Entsorgung in zwei verschiedenen Varianten einer ökonomischen Bewertung im Vergleich zu einer Nullvariante (Siebreste ohne Aufbereitung zu 100 % über MVA entsorgt) unterzogen. Die beiden Aufbereitungsvarianten, einerseits mit Rückführung des aufgereinigten Siebrests in den Behandlungsprozess, andererseits mit Verwertung des aufgereinigten Siebrests in einem BMH(K)W sind ökonomisch vorteilhafter als die Entsorgung über die MVA, wenn keine zusätzlichen Baumaßnahmen notwendig sind. Wenn für die Aufbereitungslinie zusätzlich eine Leichtbauhalle gebaut werden muss, ist die Variante mit Rückführung ökonomisch immer noch deutlich vorteilhafter, während die Variante mit Verwertung im BMH(K)W etwas nachteilhafter wird.

Beurteilung der Klima- und Ressourcenrelevanz

Die in der Praxis etablierten Verwertungswege für Biogut-Siebreste und die in der ökonomischen Bewertung dargestellten Varianten einer optimierten Siebrestaufbereitung wurden hinsichtlich ihrer Relevanz bezüglich der Einsparung von Treibhausgasen (THG), fossilen Energien und Ressourcen (Komposterzeugung) sowie der Erzeugung von Energie (Strom und Wärme) bewertet. Die Siebrestaufbereitungsvariante mit Verwertung des aufbereiteten Siebrests im BMH(K)W ist

sowohl im Bereich der Energieerzeugung (Strom und Wärme), als auch im Bereich der Einsparung von THG und fossilen Energien vorteilhafter als alle anderen Varianten und als die Verwertungswege in der Praxis und kann zu einer jährlichen THG-Einsparung von 0,31 Mio. t CO₂-Äquivalent führen. Für die Ressourcenrelevanz ist zu beachten, dass nur durch eine erneute Aufbereitung von Siebresten ein signifikanter Anteil der darin enthaltenen Organik und Mineralik als Kompost stofflich verwertet werden kann und damit sowohl der Kreislaufwirtschaft als auch dem Klimaschutz Rechnung trägt.

Empfehlungen für die Praxis

Praxisempfehlungen zur Fremdstoffentfrachtung von Biogut müssen nicht nur die in dieser Studie intensiv untersuchte Aufbereitung von Siebresten umfassen, sondern den gesamten Behandlungsprozess von Biogut in einer Kompostierungs- oder Vergärungsanlage, insbesondere vor dem Hintergrund der Novellierung der Bioabfallverordnung (BioAbfV), in der erstmals eine Fremdstoffentfrachtung vor der biologischen Behandlung bei Überschreitung eines Grenzwerts gesetzlich geregelt werden soll. Die in dieser Studie herbeigeführten Empfehlungen umfassen

- den Ausbau der **Öffentlichkeitsarbeit** mit Kontrollen und ggf. Sanktionen, um das Biogut sortenreiner zu erfassen,
- **Aufbereitungsschritte vor der biologischen Behandlung**, die bereits viele Fremdstoffe abtrennen ohne dabei zu viel Organik abzutrennen oder diese durch schonende Zerkleinerung für eine spätere Abtrennung bei der Kompostkonfektionierung in großen Korngrößen hinterlassen,
- **ganzheitliche Behandlungskonzepte**, die gute Kompostierbarkeit und – im Fall von Vergärungsanlagen – nicht maximale Gaserträge zum Ziel haben,
- betriebsinterne Lösungen eines sinnvollen Stoffstrommanagements mit **optionaler Kreisführung** bestimmter Fraktionen,
- ausreichende Rottekapazitäten und **Optimierung der Rahmenbedingungen für die Rotte** durch Struktur- und Organikmaterialien sowie
- eine **schonende Kompostumsetzung** und eine **effiziente Abscheidung von Schwer- und Leichtstoffen**.

2 Einleitung

2.1 Hintergrund und Zielsetzung des Vorhabens

Seit 2015 besteht die im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) verankerte Getrenntsammlungspflicht für überlassungspflichtige Bioabfälle. Hierdurch ist ein Anstieg der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) zu verzeichnen, welche ein Sammelsystem für Bioabfälle, zumeist die Biotonne, anbieten bzw. das Angebot ausweiten. In diesem Zusammenhang ist eine verstärkte Erfassung von Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK), die bis dahin nur zu etwa 20 % über die Biotonne erfasst wurden, zu erkennen und auch vom Gesetzgeber gewünscht.

Mit einer zunehmenden Erfassung von NuK über die Biotonne ist aber auch eine tendenzielle Zunahme der Fremdstoffgehalte im Biogut festzustellen. Ansätze, die diese Zunahme verhindern sollen, wie Informationskampagnen oder Sanktionen, wirken dabei nur bedingt (Nüske, 2016). Gleichzeitig steigen die Qualitätsanforderungen für Komposte sowohl durch die Gesetzgebung (Düngemittelverordnung (DüMV) und Bioabfallverordnung (BioAbfV)) als auch durch die Gütesicherung für Komposte (RAL-GZ der Bundesgütegemeinschaft Kompost).

Der durch die DüMV zulässige Fremdstoffgehalt in Kompost oder Gärrückstandsdünger wurde von dem einst geltenden Grenzwert in zwei Grenzwerte unterteilt. Die Gesamtsumme (Fremdstoffe > 2 mm) bleibt unverändert, allerdings nun aufgeteilt nach nicht abgebauten (weichen) Kunststoffen mit < 0,1 Gew.-% TM und andere Fremdstoffe (Glas, Metall, Hartplastik, Steine, Papier) mit < 0,4 Gew.-% TM.

Aus Auswertungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) geht hervor, dass insbesondere Komposte aus Biogutvergärungsanlagen bereits heute die Grenzwerte mitunter überschreiten. Ursache hierfür ist, dass Biogut teils mit Fremdstoffanteilen von 5 Gew.-% und mehr bei den Verwertungsanlagen angeliefert wird. Dies bedeutet, dass im Behandlungsprozess über 99 % der Fremdstoffe vom Kompostprodukt abgetrennt werden müssen. Nur wenn dies gelingt, kann am Ende ein Kompost erzeugt werden, der weitgehend frei von Fremdstoffen ist und die Anforderungen der Gütesicherung für die stoffliche Nutzung erfüllen kann.

In der Praxis wird, um die Fremdstoffe in hohem Grad vom Kompost abzuscheiden, mit feineren Siebschnitten bei der Kompostkonfektionierung reagiert. Dies führt zu steigenden Mengen an ausgeschleusten Siebüberläufen und damit einhergehend auch zum erhöhten Austrag von organischen Materialien im Siebrest. Die anschließende und meist zwingende Entsorgung der Siebreste in einer MVA, bietet sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht Optimierungspotenzial. Zumal bei der Entsorgung des Siebrests keine stoffliche Nutzung oder optimierte energetische Verwertung durchgeführt wird, welche im Sinne des KrWG aber Vorrang haben sollte.

Alternativ zur Entsorgung der Siebreste in einer MVA, ist die Verwertung in einem BMH(K)W oder die Rückführung als Strukturmaterial in den Kompostierungsprozess möglich. Aufgrund der Fremdstoffbelastung der Siebreste ist sowohl für die Verwertung als auch für die Rückführung aber zwangsläufig eine weitergehende technische Aufbereitung der Siebreste notwendig.

Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich rechtlich und technisch gangbare sowie ökologisch und ökonomisch optimierte Aufbereitungs- und Verwertungswege für Siebreste zu entwickeln, diese zu bewerten und praxistaugliche Empfehlungen zu erarbeiten. Hierfür wurde das Vorhaben Sieb-OPTI initiiert.

Zentrale Ziele von Sieb-OPTI waren hierbei:

- (1) eine umfassende Ist-Stand-Analyse der Entsorgung/Verwertung von Biogut- und Kompost-Siebresten in Deutschland durchzuführen,
- (2) nach ökologischen, technischen und rechtlichen Gesichtspunkten geeignete Verwertungsoptionen für Biogut-Siebreste zu analysieren,
- (3) alternative, innovative Aufbereitungsoptionen zu erproben und diese sowohl
- (4) ökonomisch als auch
- (5) hinsichtlich ihrer Klima- und Ressourcenrelevanz zu bewerten.

Das Forschungsvorhaben Sieb-OPTI wurde im Rahmen des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert und richtet seinen Hauptfokus innerhalb der integrierten stofflich-energetischen Verwertung von Biogut entsprechend der Programmrichtlinien auf die Optimierung des Teilprozesses der Energieerzeugung aus Holzigen Siebüberläufen. Dessen ungeachtet sollte in der Praxis bei der Verwertung von Biogut die Erzeugung qualitativ hochwertiger Komposte als Hauptzweck im Vordergrund stehen, während die Erzeugung von Energie als Nebenzweck eine zusätzliche Aufwertung des Gesamtprozesses darstellt. Damit wird auch der fünfstufigen Abfallhierarchie (§ 6 KrWG) Rechnung getragen, die die stoffliche Verwertung (Recycling) in der Rangfolge der Maßnahmen vor der energetischen Verwertung einordnet.

2.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Bearbeitung des Vorhabens wurde in acht Arbeitspakete gegliedert. Zur Durchführung wurde der nachfolgende Zeitplan (Tab. 1) verfolgt. Die ursprünglich geplante Laufzeit war vom 01.07.2018 bis zum 30.06.2020.

Tab. 1: Zeitplan zum Ablauf des Forschungsvorhabens

Arbeitspakete	2018		2019				2020			Verläng.	
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
AP 1 Projektkoordination und Öffentlichkeitsarbeit											
Akteurskonferenzen		X								X	
AP 2 Ist-Stand-Analyse											
Meilenstein 1: Ist-Stand-Analyse abgeschlossen			X								
AP 3 Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen											
AP 4 Analyse geeigneter Verwertungswege											
Meilenstein 2: Verwertungswege analysiert						X					
AP 5 Optimierung der Aufbereitung in der Praxis											
AP 6 Ökonomische Bewertung											
AP 7 Klima- und Ressourcenrelevanz											
AP 8 Empfehlungen											

Aufgrund der Einschränkungen im Jahr 2020, bedingt durch die Corona-Pandemie, konnte der Zeitplan nicht eingehalten werden. Deshalb wurde die Bearbeitungszeit des Projekts um sechs Monate bis zu 31.12.2020 verlängert. Damit sollte einerseits gewährleistet werden, dass alle

Arbeitspakete, vor allem die Praxisversuche (AP 5), wie geplant, durchgeführt werden konnten und andererseits die Vorstellung der Ergebnisse in einem eigenen Forum auf dem 32. Kasseler Abfall- und Ressourcenforum erfolgen konnte. Letzteres sollte ursprünglich im April 2020 stattfinden, wurde aber infolge der Einschränkungen durch die Corona-Pandemie zunächst auf den Oktober 2020 verschoben. Da auch zu diesem Termin keine Großveranstaltung stattfinden konnte, wurde das 32. Kasseler Abfall- und Ressourcenforum schließlich auf den 5. bis 7. Oktober 2021 verschoben. Dort ist die abschließende Vorstellung der Ergebnisse geplant.

Die acht bearbeiteten Arbeitspakete umfassen folgende Inhalte:

AP 1: Projektkoordination und Öffentlichkeitsarbeit:

Neben der Projektleitung und der Koordination der unterschiedlichen durchzuführenden Arbeiten wurde zu Beginn des Vorhabens eine Konferenz mit Akteurinnen und Akteuren aus den projektrelevanten Bereichen durchgeführt. Ziele dieser Konferenz war die Akzeptanzsteigerung für die Thematik, der Informationstransfer sowie der Diskussionsinput zur Projektplanung einerseits und zur Ergebnisinterpretation andererseits.

AP 2: Ist-Stand-Analyse der Entsorgung/Verwertung von Biogut-Siebresten:

Der Stand der Entsorgung/Verwertung von Biogut-Siebresten wurde zu Beginn des Projekts auf Grundlage einer umfassenden Umfrage der Kompostierungs- und Vergärungsanlagenbetreiber für Biogut in Deutschland ermittelt. Hierbei wurden einerseits die derzeitigen Mengen an Siebresten aus Biogutverwertungsanlagen ermittelt, die bei der Absiebung des frischen Bioguts sowie bei der Konfektionierung des Biogut-Komposts entstehen, andererseits die Faktoren analysiert, die das Aufkommen an Siebresten bestimmen. Darüber hinaus wurden die eingesetzten Aufbereitungstechniken und die einzelnen Stoffströme der Verwertung und Entsorgung der Siebreste abgefragt. Die durch die Umfrage erfassten Daten wurden statistisch ausgewertet und interpretiert.

AP 3: Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen:

Die derzeit in Deutschland verbindlichen rechtlichen Rahmenbedingungen sowie Qualitätsrichtlinien, die für die Verwertung von Biogut-Siebresten entscheidend sind, wie BiomasseV, AltholzV, DüMV, RAL-Güterichtlinien und verschiedene Normen, wurden recherchiert und bewertet.

AP 4: Analyse vorhandener Verwertungswege:

Verschiedene in der Praxis etablierte Verwertungswege inklusive der spezifisch notwendigen Aufbereitungs- und Logistikschritte für Biogut-Siebreste wurden ermittelt. Parallel wurden Sortieranalysen der Siebreste von vier Biogutverwertungsanlagen durchgeführt, welche jeweils unterschiedliche Aufbereitungsverfahren für die Siebreste einsetzen. Die Siebreste wurden hierzu zu verschiedenen Jahreszeiten analysiert und laboranalytisch untersucht.

AP 5: Optimierung der Aufbereitung in der Praxis:

Verschiedene Aufbereitungsverfahren für das Biogut, den Biogut-Kompost sowie Siebreste, die bei der Absiebung von Input- und Outputmaterial anfallen, wurden aufgezeigt, beschrieben und hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten bewertet. Darüber hinaus wurden in Praxisversuchen bei Biogutbehandlungsanlagen innovative technische Aufbereitungsverfahren für Siebreste auf ihre Effektivität und Effizienz untersucht. Im Rahmen der Praxisversuche wurden die folgenden Technologien untersucht:

- Sensorgestützte Sortiergeräte auf Basis der Hyper Spectral Imaging-Technologie (Hersteller: Steinert Elektromagnetbau GmbH, Anlagenbetreiber: Olper Entsorgungszentrum GmbH & Co. KG)

- Innovative Windsichtung und Steinaustragung (Hersteller: verschiedene, Anlagenbetreiber: Humuswerk Main – Spessart GmbH & Co. KG)

AP 6: Ökonomische Bewertung:

Die Kosten für die technische Aufbereitung von Siebresten inklusive anschließender Verwertung bzw. Rückführung wurden modellhaft berechnet. Hierfür wurde für die technische Konditionierung der Siebreste, eine Aufbereitungslinie entworfen, welche die vorhergehend untersuchten innovativen Aufbereitungsaggregate miteinbindet. Kostenansätze für Verwertung bzw. Rückführung der Siebreste und Entsorgung der Fremdstoffe wurde aus der vorgehend durchgeführten Betreiberumfrage abgeleitet. Die Kosten der Aufbereitung wurde für verschiedene Ausführungen (Ausstattung der Aufbereitungslinie, Anlagenkomponenten) und unterschiedliche Verwertungswege der Siebreste berechnet. Zur ökonomischen Bewertung wurden die Kosten für die Aufbereitung und Verwertung der Siebreste, den Kosten für die übliche Entsorgung in der MVA gegenübergestellt.

AP 7: Beurteilung der Klima- und Ressourcenrelevanz:

Die in der Praxis etablierten Verwertungswege und die optimierten Aufbereitungsverfahren für Siebreste wurden hinsichtlich ihrer Relevanz bezüglich der Einsparung von Treibhausgasen (THG), fossilen Energien und Ressourcen (Komposterzeugung) sowie der Erzeugung von Energie (Strom und Wärme) bewertet. Ein Vergleich von sechs unterschiedlichen Szenarien umfasste die aus Umfragen ermittelte Situation in der Praxis 2019 und zwei davon abgeleitete Trends sowie drei Varianten der Entsorgung bzw. Verwertung nach Aufbereitung.

AP 8: Empfehlungen für die Praxis:

Basierend auf den erarbeiteten Erkenntnissen wurden praktische Lösungsansätze sowie differenzierte Empfehlungen zur optimierten Verwertung von Siebresten aus Biogutverwertungsanlagen erarbeitet. Diese differenzierten Empfehlungen sind wichtig, da in der Praxis bei Anlagenbetreibern unterschiedliche Probleme bzw. Anforderungen vorherrschen, wie beispielsweise

- eine bessere Abtrennung von Störstoffen zur Verwendung des Siebrests als Strukturmaterial oder Brennstoff,
- eine Reduzierung der Siebrestmenge durch Erhöhung der Kompostmenge oder
- eine Reduzierung der Fremdstoffgehalte (Kunststoff, Glas oder Steine) im Kompost.

Je nach anlagenspezifischer Anforderung und Beschaffenheit der Siebreste (Stückgröße, Feuchtegehalt, Störstoffmenge und -art) sollen so Empfehlungen zu Aufbereitungsverfahren und den dazu benötigten Aggregaten erarbeitet werden.

2.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

In Deutschland werden in rund 270 Biogutkompostierungsanlagen jährlich ca. 3 Mio. Mg Biogut kompostiert und in rund 90 Bioabfallvergärungsanlagen jährlich ca. 1,5 Mio. Mg Biogut vergoren und anschließend kompostiert. Jede dieser Anlagen führt im Rahmen der Biogutaufbereitung sowie der Kompostkonfektionierung mindestens eine, in der Regel aber mehrere Siebungen durch. Dabei fallen nach Erkenntnissen von Kern et al. (2018) aus Befragungen von Anlagenbetreibern im Projekt „Bio-DYN“ (FKZ 03KB108B) bis zu 30 % des Inputmaterials als Siebrest an (vgl. Abb. 1).

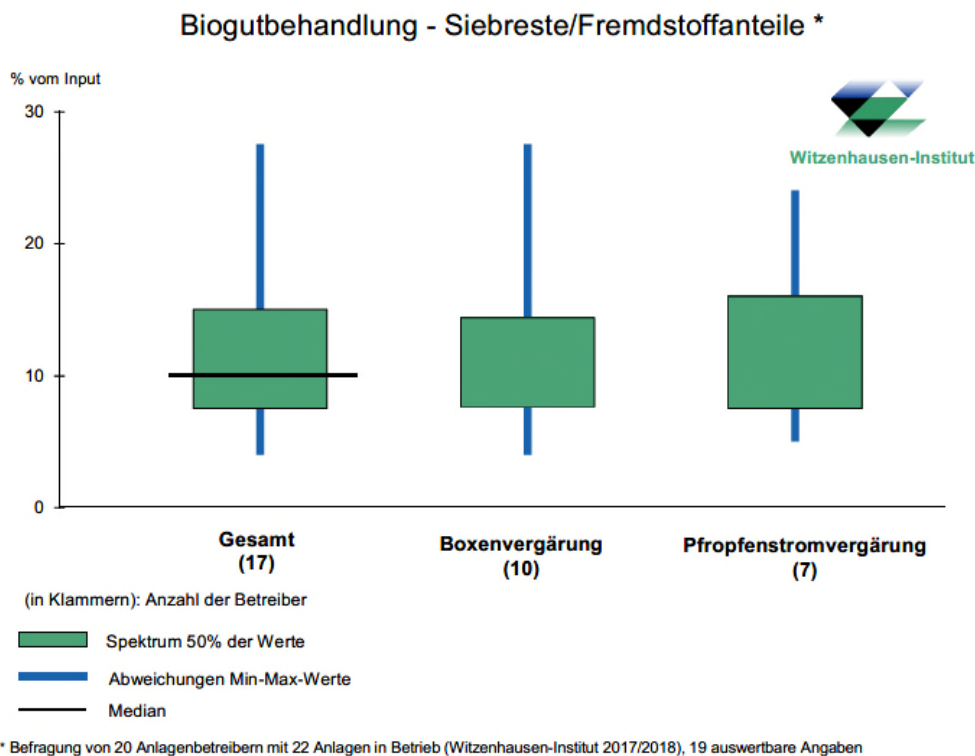


Abb. 1: Anfall von Siebresten bezogen auf den Anlageninput im Jahr 2017/2018

Der Siebrest wird entweder als Strukturmaterial der Kompostierung von Biogut bzw. Biogutgärresten beigemischt oder durch thermische Behandlung verwertet oder entsorgt. Die Rückführung unbehandelter Siebüberläufe wird durch zunehmend hohe Fremdstoffgehalte in Verbindung mit erhöhten Anforderungen an die Kompostqualität erschwert.

Die thermische Behandlung ist ökonomisch und ökologisch unattraktiv, wenn diese aufgrund hoher Fremdstoffgehalte nicht durch Verwertung in einem BMH(K)W, sondern durch Entsorgung in einer MVA durchgeführt wird. Darüber hinaus findet bei der thermischen Entsorgung keine Kaskadennutzung im Sinne des KrWG statt.

Derzeit gibt es in Deutschland weder aktuelle Daten zu den tatsächlichen Wegen der Entsorgung/Verwertung von Siebresten aus Biogutverwertungsanlagen, noch zu den tatsächlich anfallenden Mengen an Siebresten. Auch zur Eignung von Siebresten hinsichtlich ihrer Qualität für eine energetische Verwertung liegen aktuell, keine belastbaren Daten vor.

Aus den Befragungsergebnissen der Bioabfallbehandlungsanlagen im Projekt „Bio-DYN“ (FKZ 03KB108B) wurde von den Betreibern von einer Vervielfachung der Kosten für die Siebrestentsorgung, welche weit über 100 €/Mg (vgl. Abb. 2) betragen können, berichtet. Dies führt zu einer deutlich erhöhten Kostenbelastung bei der Biogutverwertung.

Biogutbehandlung - Entsorgungskosten Siebreste/Fremdstoffanteile *

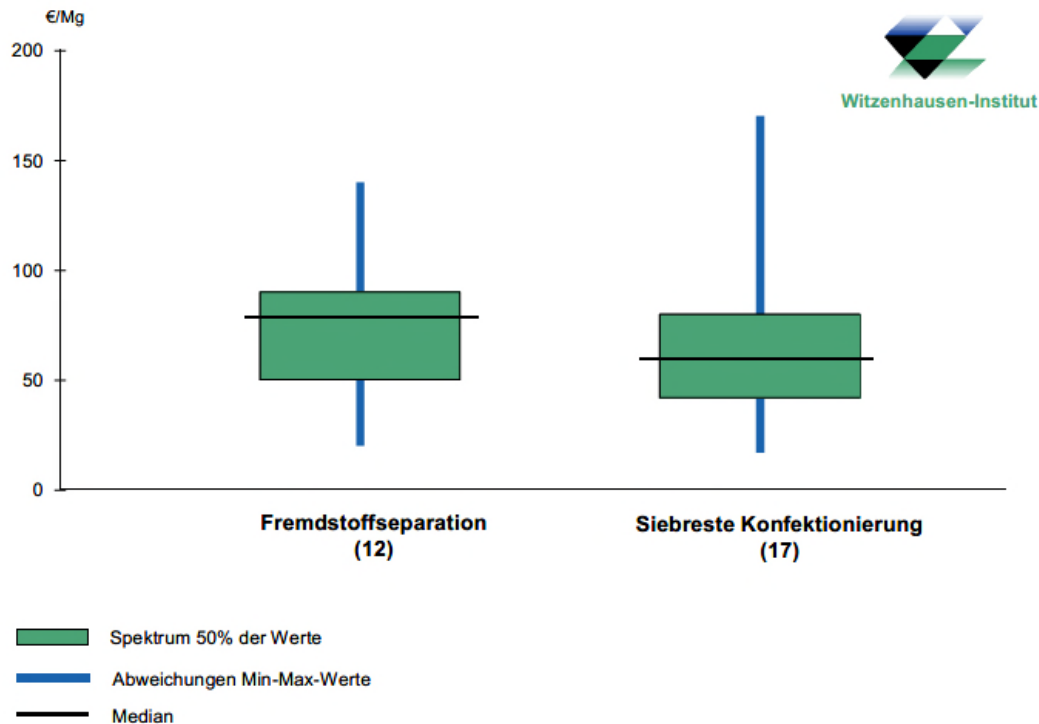


Abb. 2: Entsorgungskosten für Siebreste im Jahr 2017/2018

In einer Betreiberumfrage bei Biogutvergärungsanlagen gaben zudem rund 60 % der Befragten an, dass sie bei steigenden Fremdstoffgehalten die Qualitätsanforderungen an die Kompostherstellung nur mit zusätzlichen Investitionen in Aufbereitungstechniken gewährleisten können (Richter et al., 2016).

Allgemeingültige Konzepte zur technischen Aufbereitung der Siebreste, sodass diese einer Verwertung zugeführt werden können, liegen nicht vor. Hieraus ergibt sich ein dringender Handlungsbedarf.

2.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen der Planung zur inhaltlichen Strukturierung des Vorhabens und des Informationsaustausches während der Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete wurde mit folgenden Stellen zusammengearbeitet:

- Abfallbeseitigungs-GmbH Lippe
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Abfallentsorgung Kreis Kassel
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Abfallwirtschaftsbetrieb des Wetteraukreises
fachlicher Austausch, Praxisanlage
- Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e. V. (ASA)
Teilnahme an Akteurskonferenz

- Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK)
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V. (BDE)
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ)
Teilnahme an Akteurskonferenz, Programmbegleitung „Energetische Biomassenutzung“
- Gesellschaft für BIODERIVATE mbH
fachlicher Austausch, Praxisanlage
- Humuswerk Main-Spessart GmbH & Co. KG
fachlicher Austausch, Praxisanlage
- Komptech Vertriebsgesellschaft Deutschland mbH
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Olper Entsorgungszentrum GmbH & Co. KG
fachlicher Austausch, Praxisanlage
- STEINERT GmbH
Teilnahme an Akteurskonferenz
- TOMRA Sorting GmbH
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Umweltbundesamt (UBA)
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e. V. (VHE)
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU)
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Zentrale Abfallwirtschaft Kaiserslautern
Teilnahme an Akteurskonferenz

2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Mit den steigenden Anforderungen von Kompostprodukten einhergehend, steigen ebenso die Siebüberlaufmengen aus der Kompostabsiebung. Bei einem durchschnittlichen Siebrestanfall von 10 % bezogen auf den Anlageninput, fallen an den Biogutverwertungsanlagen Siebreste in erheblicher Menge an. Der derzeit bevorzugte Verwertungsweg für die Siebreste, die Entsorgung in der MVA, stellt hierbei weder aus ökonomischem noch ökologischem Blickwinkel einen hochwertigen Verwertungsweg dar.

Darüber hinaus ist nach dem geltenden Abfallwirtschaftsgesetz, im Sinne der Abfallhierarchie, eine Verwertung der Entsorgung vorzuziehen. Dieser kann mit den derzeit bevorzugten Entsorgungswegen in der MVA nicht nachgekommen werden.

Während die Verunreinigung des Bioabfalls, trotz Aufklärungsarbeit und Kontrollen der vorgelagerten Akteurinnen und Akteure (Bioabfallerzeuger), nicht zu vermeiden ist, obliegt es den nachgelagerten Akteurinnen und Akteuren (Anlagenbetreibern) auf entsprechende Entwicklungen zu reagieren.

Durch die zunehmenden Mehrkosten steigt der Druck auf die Anlagenbetreiber, wirtschaftlich und ökologisch attraktive Alternativen zum bestehenden Entsorgungsmodell zu identifizieren und umzusetzen. Wenn auch mögliche Verwertungswege bekannt sind, so werden diese derzeit nur von wenigen Anlagenbetreibern in Anspruch genommen. Zu Beginn des Vorhabens waren nur wenig Informationen zur Beschaffenheit der Siebüberläufe, der möglichen technischen Anlagen zur Konditionierung der Siebreste und der Anforderungen alternativer Verwertungswege bekannt.

Das Forschungsvorhaben Sieb-OPTI schließt diese Informationslücken und stellt neben den Ergebnissen diverser Analysen auch Lösungsansätze zu beschriebenen Problematiken bereit. Somit kann ein wichtiger Beitrag zur ökonomisch und ökologisch hochwertigen Verwertung geleistet werden.

2.6 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Den Autoren sind aktuell keine anderen Forschungseinrichtungen bekannt, welche die optimierte Aufbereitung und Verwertung von Siebresten aus der Biogut- und Kompostbehandlung wissenschaftlich untersuchen.

2.7 Veröffentlichungen

Neben der Veröffentlichung der Ergebnisse in dem vorliegenden Schlussbericht erfolgten Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, auf Informationsportalen und in Konferenzbänden:

Warning, L. (2018a): Qualität von Siebüberläufen aus Kompostierungsanlagen und Verwertungsoptionen. In: Kern, M., Raussen, T. (Hrsg.): Neue Perspektiven für die Bioabfallwirtschaft. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. S. 95–109.

Warning, L. (2018b): Qualität von Siebüberläufen aus Kompostierungsanlagen und Verwertungsoptionen. Müll und Abfall 12/2018, S. 633–639.

3 Ist-Stand-Analyse der Entsorgung/Verwertung von Biogut-Siebresten

Zu Beginn des Projekts wurde, um die Ausgangssituation der Aufbereitung und Entsorgung bzw. Verwertung von Biogut-Siebresten in Deutschland einordnen zu können, eine umfassende Umfrage bei Betreibern von Kompostierungs- und Vergärungsanlagen für Biogut durchgeführt. Hierfür wurde 275 Anlagenbetreiber kontaktiert und per Fragebogen Daten abgefragt. Zentrale Inhalte der Abfrage waren:

- Art der Biogutbehandlung
- Jahresdurchsatz und Zusammensetzung
- Siebrestmenge aus Biogut- und Kompostaufbereitung
- Ver-/Entsorgung und Rückführung der Siebreste
- Kosten der Siebrestverwertung/-entsorgung
- Eigenschaften des Kompostprodukts
- Technische Behandlung von Siebresten aus der Biogut- und Kompostbehandlung

Von den 275 kontaktierten Anlagen konnte ein Rücklauf von etwa 25 % erzielt werden. In der nachfolgenden Auswertung werden nur die Anlagen betrachtet, von welchen im Rahmen der Abfrage, Daten erfasst werden konnten.

Knapp 40 % der Anlagen sind Biogutvergärungsanlagen mit anschließender Kompostierung, während etwa 60 % reine Kompostierungsanlagen sind. Der Gesamtjahresdurchsatz der Anlagen liegt bei rund 1,9 Mio. Mg. Abb. 3 stellt eine Verteilung der Anlagen gruppiert nach Jahresdurchsatz dar. Mehr als die Hälfte der Anlagen hat einen Jahresdurchsatz bis 30.000 Mg/a, während rund 35 % mehr als 30.000 Mg/a durchsetzen.

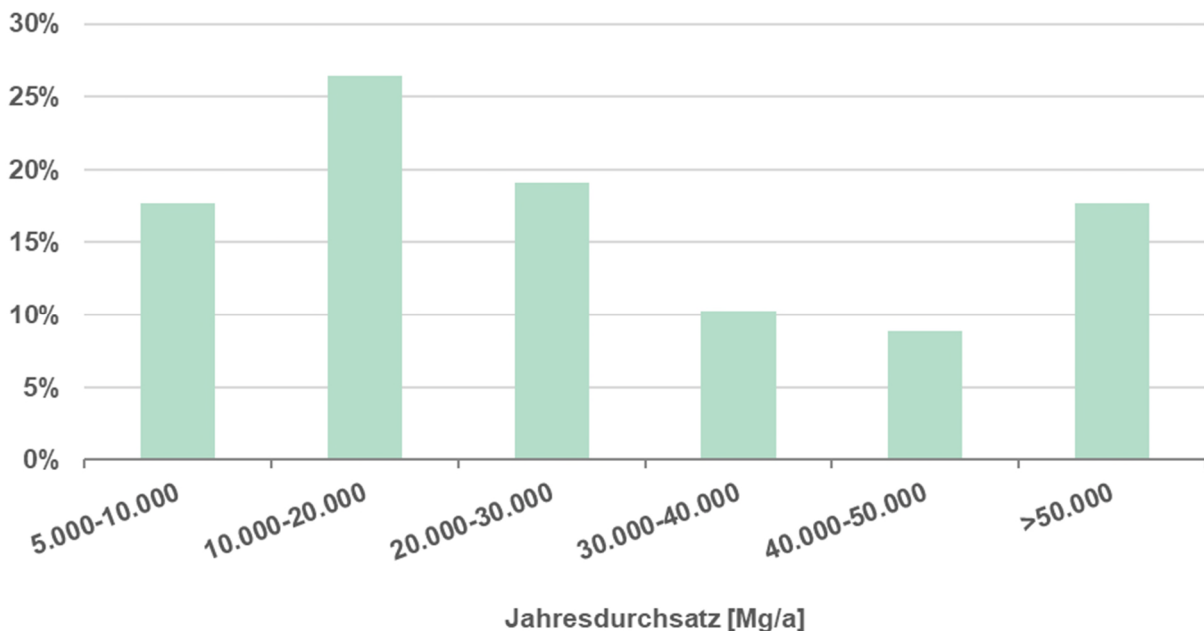


Abb. 3: Anteil der Anlagen gruppiert nach Jahresdurchsatz

Abb. 4 zeigt den Anteil der zu entsorgenden Siebreste bezogen auf den Anlageninput. Über die Hälfte der Anlagenbetreiber gab einen Anteil von mindestens 10 % bis zu über 20 % Siebreste zur Entsorgung an. Bei etwa 43 % der Anlagen liegt der Anteil unterhalb von 10 %.

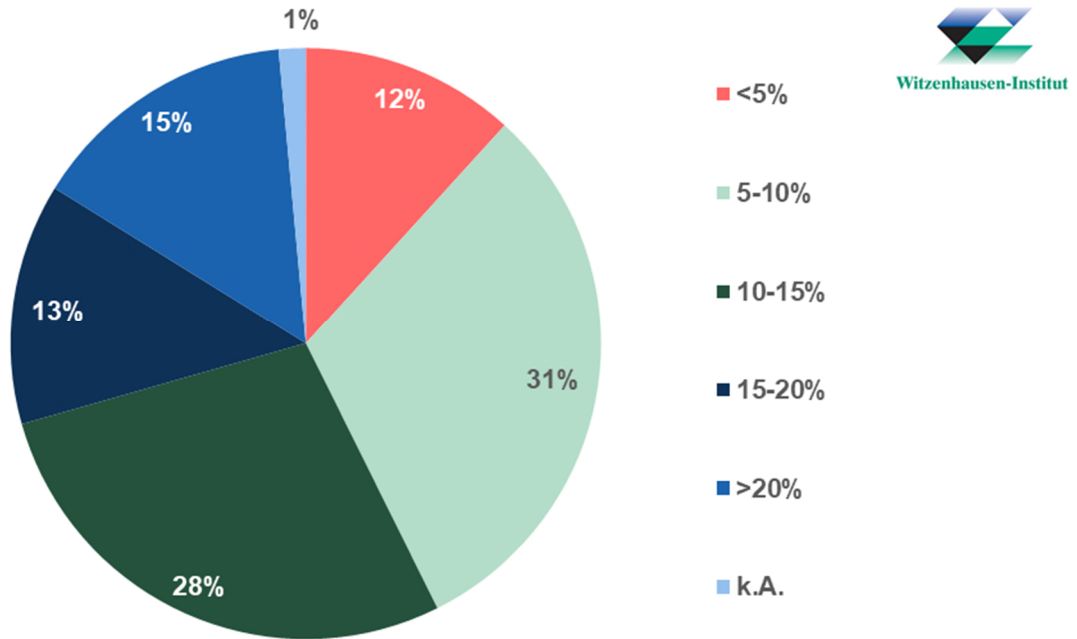


Abb. 4: Anteil der zu entsorgenden Siebreeste bezogen auf den Anlageninput

Zur Entsorgung der Siebreeste wird von den Anlagenbetreibern oftmals mehr als ein Entsorgungsweg genutzt. So werden, wie in Abb. 5 zu sehen, bei 60 % der Anlagen die Siebreeste zu Teilen oder komplett in der MVA entsorgt. Bei ca. 50 % der Anlagen wird zusätzlich oder komplett die energetische Verwertung im BMH(K)W durchgeführt. Knapp 20 % der Anlagenbetreiber gaben an, die Siebreeste an externe Verwertungsanlagen abzugeben. Bei den sonstigen Wegen wurden die mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) und die Verbrennung im Ersatzbrennstoffkraftwerk angegeben.

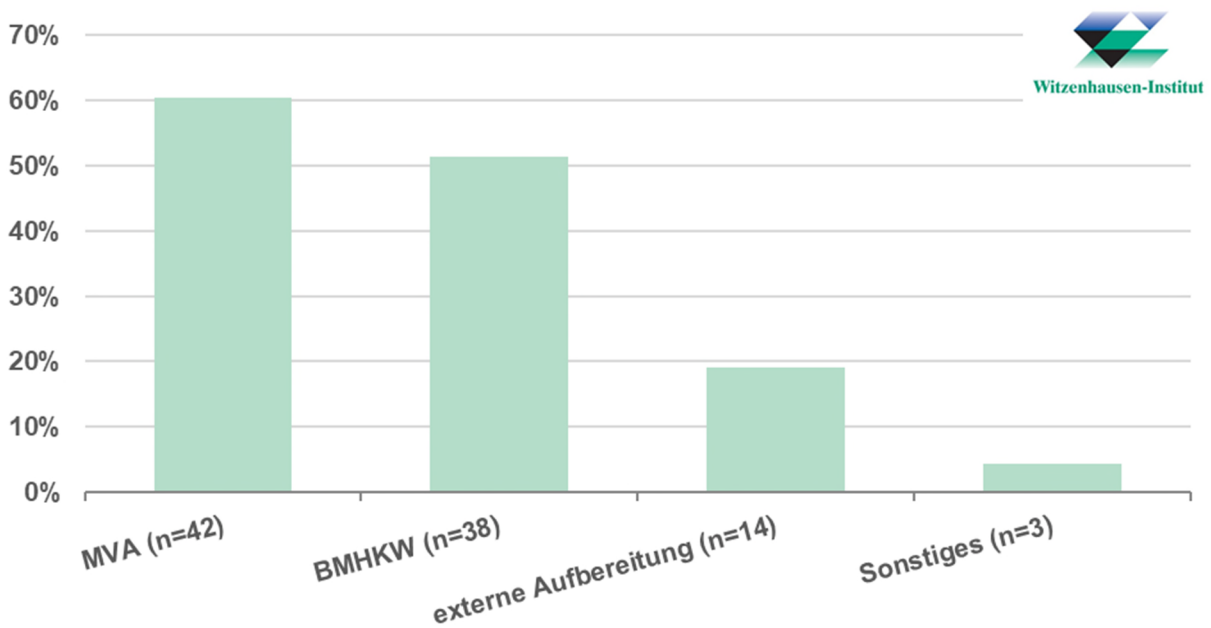


Abb. 5: Verwertungs-/Entsorgungswege der anfallenden Siebreeste

Die Kosten, die für die Verwertung und Entsorgung der Siebreeste anfallen, bewegen sich bei dem überwiegenden Teil der Anlagen zwischen 40 €/Mg und 120 €/Mg (Abb. 6). Zu sehen ist, dass die Verwertung in BMH(K)W tendenziell günstiger ist als die Entsorgung in der MVA.

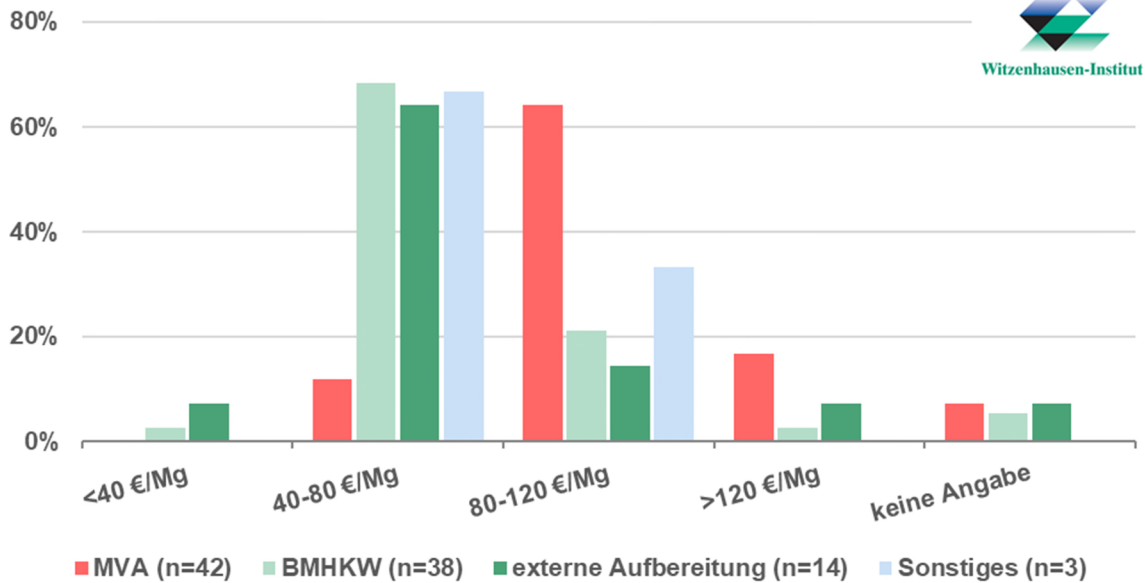


Abb. 6: Kosten der Entsorgung/Verwertung der Siebreste (netto, ohne Transport)

In Abb. 7 sind die Angaben der Betreiber zur Kostenentwicklung für die Verwertung/Entsorgung der Siebreste innerhalb der letzten fünf Jahre dargestellt. So sind diese bei 40 % der befragten Anlagenbetreiber zwischen 50 % und 100 % gestiegen, während sie sich bei 26 % der Anlagen mehr als verdoppelt haben.

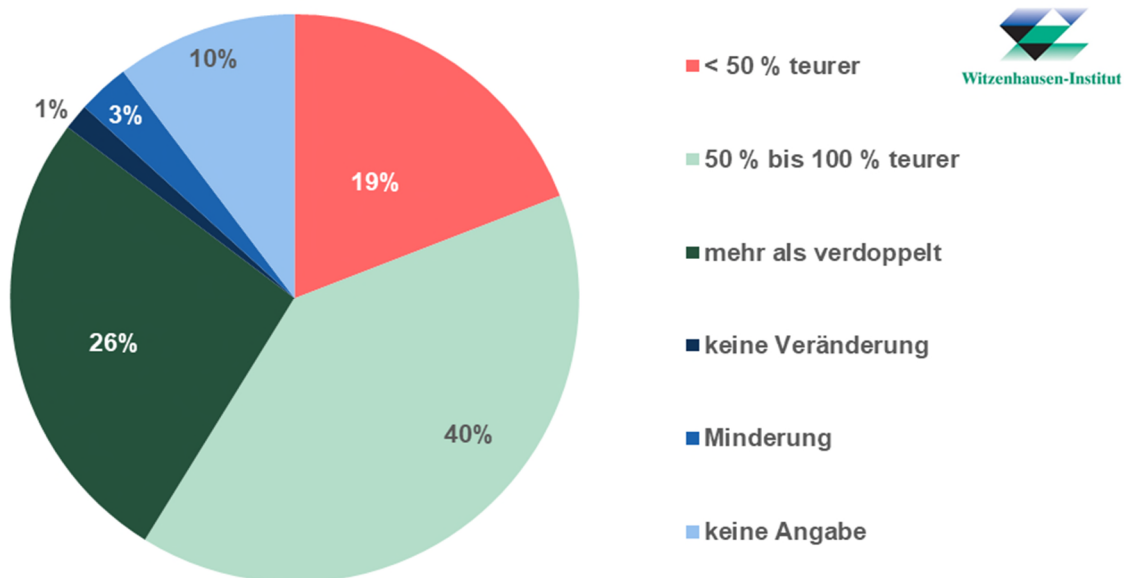


Abb. 7: Veränderung der absoluten Kosten der Verwertung/Entsorgung der Siebreste innerhalb der letzten fünf Jahre

Siebüberläufe können, sofern sie nicht zu stark mit Fremdstoffen belastet sind, in den Kompostierungsprozess rückgeführt werden. In 26 % der Anlagen werden die Siebüberläufe kontinuierlich in den Prozess rückgeführt (Abb. 5). Im Mittel beträgt bei diesen der Anteil des rückgeführten Siebüberlaufs bezogen auf den gesamten anfallenden Siebüberlauf 48 % (Abb. 8). 57 % der Anlagenbetreiber führen eine Rückführung von Siebüberläufen durch, während 15 % zumindest zeitweise anfallende Siebüberläufe rückführen. Bei Letzteren liegt der im Mittel zurückgeführte Anteil bezogen auf den Gesamtsiebüberlauf bei 10 %.

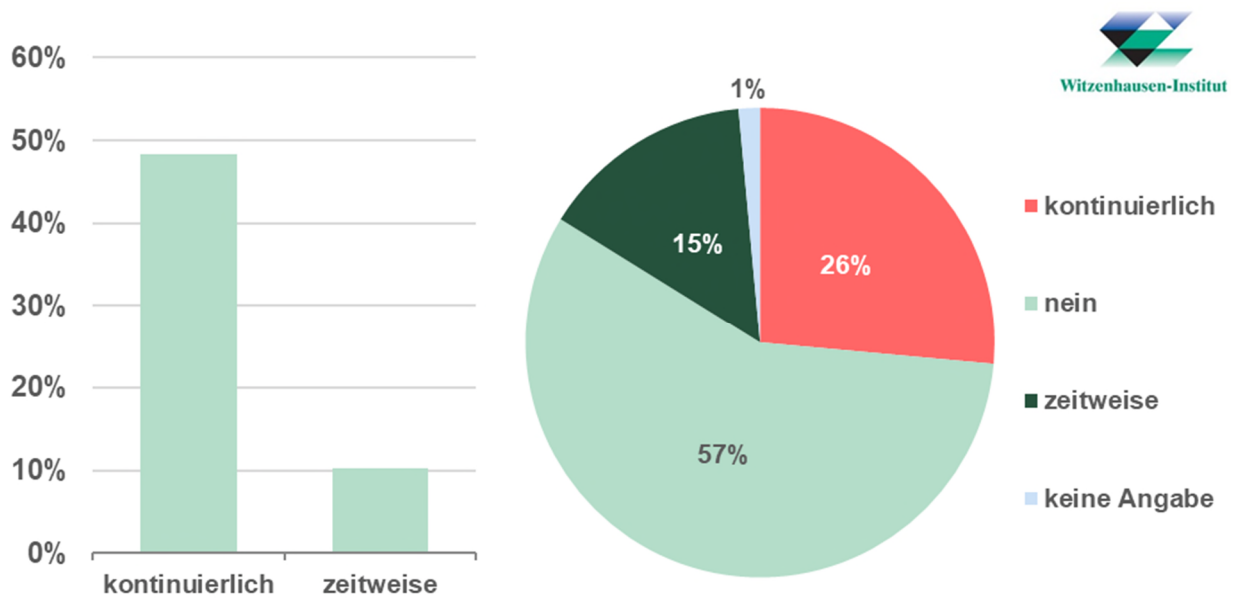
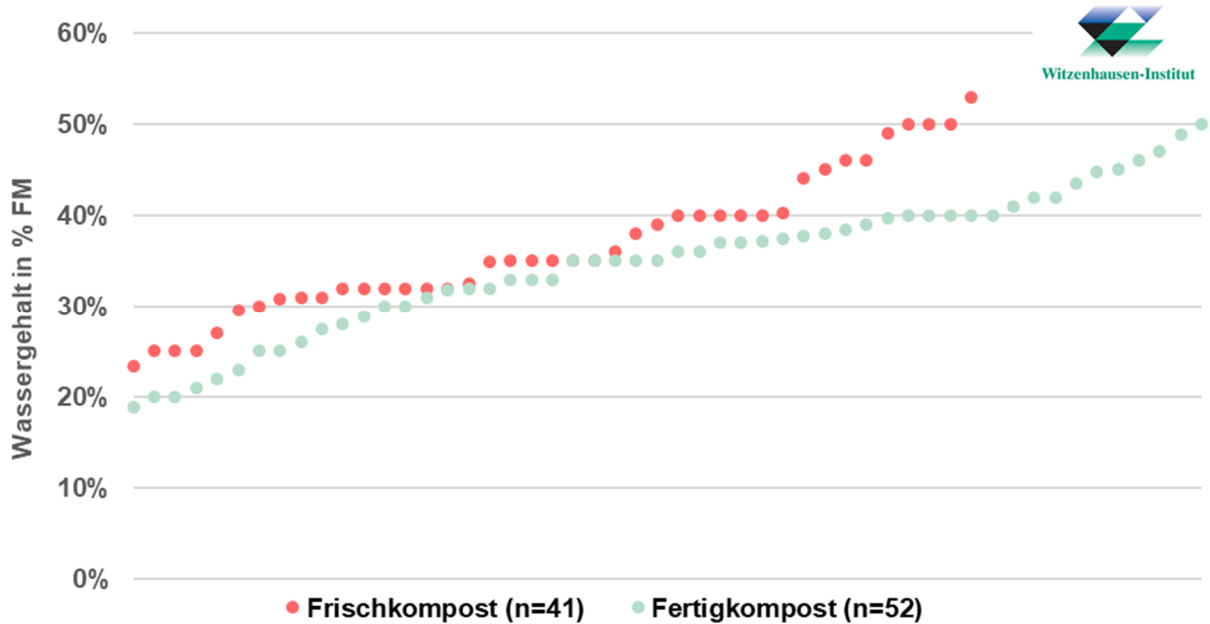


Abb. 8: Rückgeföhrter Anteil der Sieböberläufe bezogen auf den Gesamtsieböberlauf (links), Rückföhrung von Sieböberläufen in den Prozess (rechts),

Bei der Absiebung des Rohkomposts ist der Wassergehalt des Materials von entscheidender Bedeutung. Die befragten Anlagenbetreiber wurden daher gebeten, den mittleren Wassergehalt der erzeugten Kompostprodukte, Frisch- und/oder Fertigkompost, anzugeben. Die Ergebnisse sind in Abb. 9 aufsteigend abgebildet. Es zeigen sich sowohl beim Frisch- als auch bei den Fertigkomposten erhebliche Spannweiten in den Wassergehalten, rund 23–53 % für die Frischkomposte beziehungsweise rund 20–50 % für die Fertigkomposte. Vom Wassergehalt des erzeugten Komposts lässt sich nur bedingt auf den Wassergehalt des eingesetzten Bioguts schließen. Dieser wird maßgeblich vom Rotteprozess beeinflusst. Ein hoher Wassergehalt im Kompost deutet allerdings auf einen ebenfalls hohen Wassergehalt im Rohkompost hin. Als Richtwert für eine optimale Absiebung wird ein Wassergehalt von 40 % angeführt.

Somit lässt sich schlussfolgern, dass an einigen Anlagen, welche einen Wassergehalt von über 40 % im Kompost vorweisen, die Absiebung des Rohkompost womöglich nicht optimal betrieben wird. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass neben dem Wassergehalt weitere Faktoren die Absiebung beeinflussen.



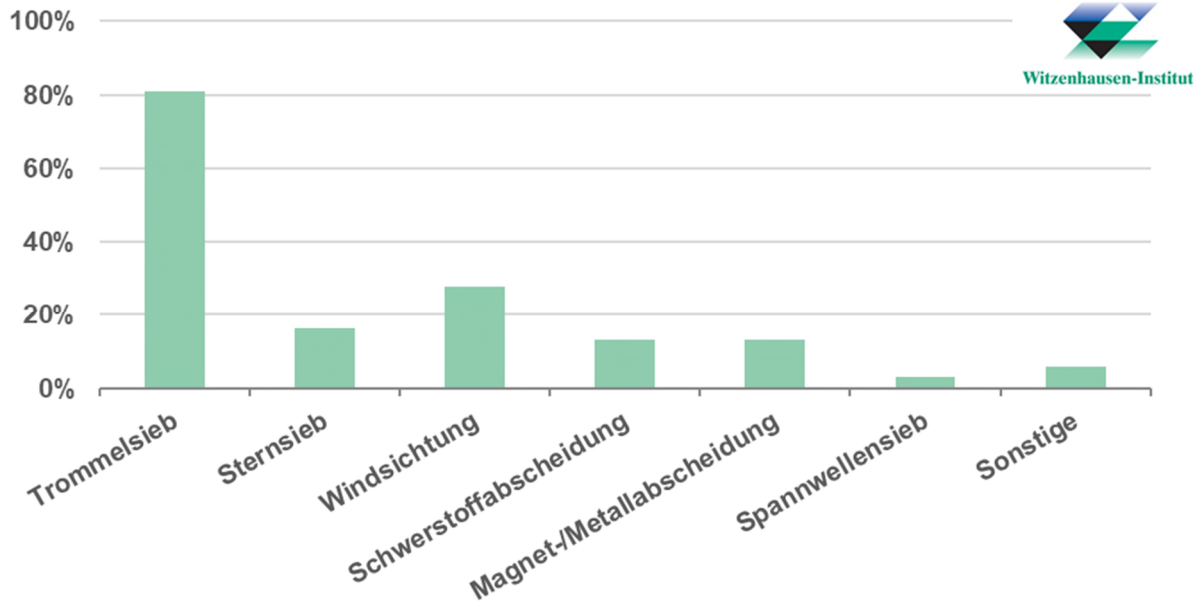


Abb. 11: Konfektionierung des Rohkomposts

Um anfallende Siebüberläufe aus der Kompostkonfektionierung in den Kompostierungsprozess rückführen zu können, kann eine Aufbereitung erforderlich bzw. von Vorteil sein. Zudem werden Siebüberläufe aufbereitet, um deren Masse zu reduzieren oder sie für die Anforderungen einer energetischen Verwertung zu konfektionieren. 57 % der Betreiber gaben an, dass sie keine Aufbereitung der Siebüberläufe durchführen (Abb. 12). Für ein weiteres Absieben der Siebüberläufe verwenden 31 % Trommelsiebe, 7 % hingegen Sternsiebe.

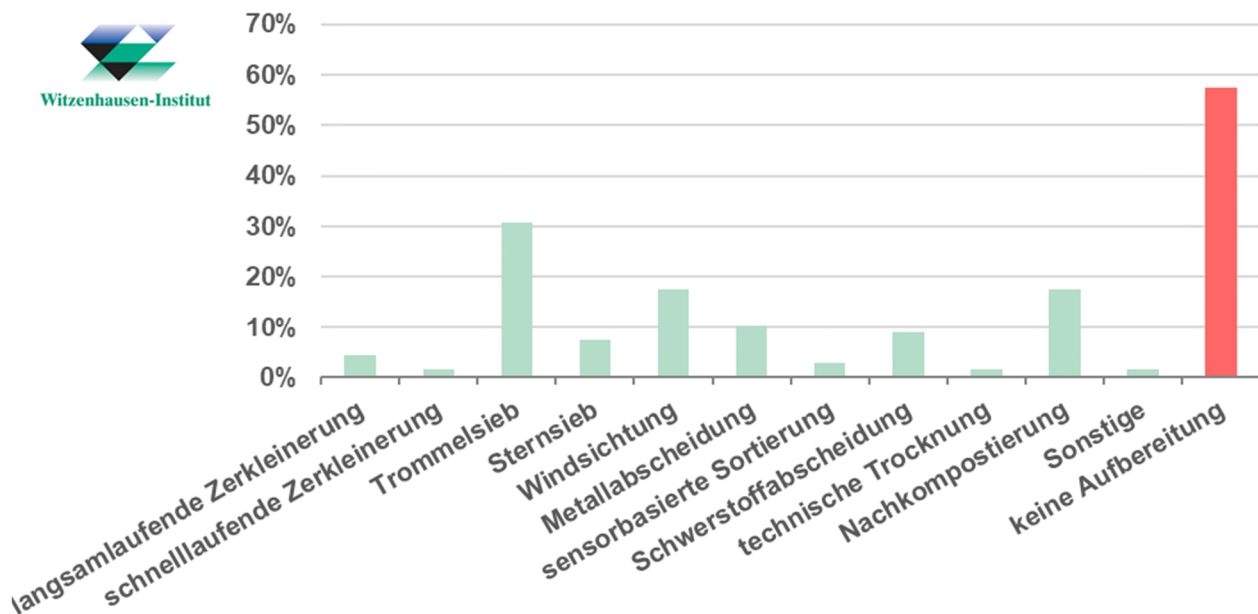


Abb. 12: Aufbereitungstechnik für Siebüberläufe aus der Kompostkonfektionierung

4 Analyse geeigneter Verwertungswege

4.1 Allgemein

Die bei der stofflichen Verwertung von Biogut bzw. der Produktion von Kompost entstehenden Siebreste werden je nach Qualität (z. B. Fremdstoffanteil, Wassergehalt, Heizwert etc.) auf den verschiedenen Behandlungsanlagen sehr unterschiedlich verwertet und/oder entsorgt. Der Siebüberlauf in einer Biogutbehandlungsanlage ist im Wesentlichen ein Gemisch aus holzreicher Biomasse, Kunststoffen, Glas, Mineralik, Metallen und einer organischen sowie mineralischen Feinfraktion. Die Zusammensetzung und damit die Qualität und Quantität ist stark abhängig vom Inputmaterial, der Aufbereitungs- und Behandlungstechnik sowie der Rotte und Konfektionierung, was in den folgenden Kapiteln ausführlich betrachtet wird.

Je nach Qualität und Quantität werden daher auch anlagen- und materialspezifisch unterschiedliche Verwertungs- oder Entsorgungswege in Anspruch genommen. Bedingt durch die zunehmend steigenden Entsorgungskosten für Siebreste, z. B. über eine MVA (siehe Umfrage), sind die Betreiber vermehrt bemüht die Siebreste als Strukturmaterial wieder in den Behandlungsprozess rückzuführen oder kostengünstiger im BMH(K)W energetisch zu verwerten. Die Vor- und Nachteile sowie auch Hemmnisse sind in Tab. 2 aufgeführt.

Tab. 2: Vergleich der Verwertungsmöglichkeiten für Siebreste (Biogut)

Verwertungsweg	Vorteil	Nachteil
MVA	<ul style="list-style-type: none"> • fremdstofftolerant • geringe Qualitätsansprüche 	<ul style="list-style-type: none"> • kostenintensiv
Rückführung in Behandlungsprozess	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig • autarke Lösung • stoffliche Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. schlechtere Kompostqualität • ggf. Aufbereitung erforderlich • ggf. größere Rottekapazität
BMH(K)W	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig • bessere Energiebilanz (Ökologie) • mehr Wettbewerb 	<ul style="list-style-type: none"> • geringere Fremdstofftoleranz • hohe Qualitätsanforderung • Aufwand für Aufbereitung

Der internen Verwertung durch Wiedereinbringung in den Behandlungsprozess sind qualitätsbedingt deutliche Grenzen gesetzt. Nicht nur die zunehmenden Anforderungen an die Produktqualität (BioAbfV, DüMV, etc.) beschränken die Rückführung fremdstoffentfrachteter Siebreste, sondern oft auch die fehlende Anlagenkapazität oder Flächeninanspruchnahme für eine ggf. notwendige Aufbereitung. Auch verfahrenstechnisch ist die Fremdstoffentfrachtung von Siebresten in der Praxis oft aufwendig, komplex oder noch in der Entwicklung. Das Problem wird von vielen Betreibern erkannt und verstärkt angegangen, z. B. durch Schaffung von mehr Behandlungsfläche

und/oder den Einsatz von mehr Aufbereitungstechnik, wie Ergebnisse aus Umfragen im Projekt Bio-Dyn (FKZ: 03KB108) belegen.

Jede Aufbereitung der Siebreste hat jedoch einen spezifischen Wirkungsgrad. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis sollte dabei für den Betreiber betriebswirtschaftlich sinnvoll sein. Letztendlich muss aber immer eine unvermeidbare Menge an Siebresten aus dem Behandlungsprozess ausgeschleust (Fremdstoffsenke!) und einer Nachbehandlung zugeführt werden. Eine stoffliche Verwertung ist aufgrund der zunehmenden Fremdstoffanreicherung dann in der Regel ausgeschlossen, sodass hier nur noch eine thermische Verwertung oder Entsorgung in Frage kommt.

Für eine thermische Verwertung der Siebreste sind allerdings die Anforderungen an die Brennstoffe zu berücksichtigen. Eine Entsorgung über eine MVA ist grundsätzlich zwar immer möglich, aber betriebswirtschaftlich eine zunehmend große Belastung für die Betreiber und entspricht nicht der Kaskadennutzung im Sinne der Kreislaufwirtschaft. Daher sollen im Folgenden die Anforderungen an eine thermische Verwertung, z. B. in entsprechenden BMH(K)W, näher betrachten und bewertet werden.

Die Anforderungen der BMH(K)W können entsprechend der technischen Ausstattung, der genehmigungsseitigen Zulassung und der konkurrierenden Marktlage sehr unterschiedlich sein. In der Regel sind folgende materialspezifische Eigenschaften für einen Holzigen Brennstoff gefordert:

- geringer Anteil Mineralik (Problem: Ascheentsorgung) < 5 Gew.-%
- möglichst frei von Fremdstoffen (Schadstoffe, Zulassung etc.)
- möglichst hoher Holzanteil
- Heizwert > 10.000 kJ/kg Frischmasse (FM)
- Kantenlänge 30–150 mm
- lagerstabil

Diese Eigenschaften sind von den Siebresten aus Biogutbehandlungsanlagen ohne eine weitergehende Aufbereitung nicht einzuhalten. Eine Aufbereitung der Siebreste für diesen Verwertungsweg ist somit unumgänglich. An dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Qualität der Siebreste je nach Anlage und Betriebsweise sehr unterschiedlich sein kann. Schon die unterschiedlich verunreinigten Inputmaterialien, aber auch die Aufbereitungstechnik und der Rotteprozess an sich beeinflussen die Qualität der Siebreste deutlich. In Tab. 3 sind mögliche Behandlungsschritte zusammengefasst, die zur Einhaltung der Qualitätsanforderungen der BMH(K)W umgesetzt werden können.

Tab. 3: Maßnahmen zur Einhaltung von Qualitätsanforderungen für die thermische Verwertung

Parameter	Anforderung	Maßnahmen	Umsetzung
Heizwert	Erhöhung	Reduktion Wassergehalt Abtrennung Feinanteil, Steine	Trocknung Feinabsiebung Steinfalle Rotteoptimierung
Aschegehalt	Reduktion	Abtrennung Feinanteil, Steine	Trocknung Feinabsiebung Steinfalle
Fremd- und Störstoffe	Reduktion	Qualität Biogut steigern Fremdstoffauslese vor/nach Rotteprozess Fremdstoffauslese Siebüberlauf	Absiebung Sortierung Metallabscheider Windsichter NIR-Technik Schwerstoffabscheider
Korngröße	Begrenzung	Reduktion Korngröße	Zerkleinerung Absiebung

4.2 Heizwerterhöhung und Aschegehalt

Die Heizwerterhöhung kann im Wesentlichen durch die Reduktion des Wassergehalts und der nichtbrennbaren Anteile (Mineralik im Feinanteil, Steine etc.) erreicht werden. Der Wassergehalt im Siebrest wird in erster Linie durch den Rotteprozess bestimmt und korrespondiert damit auch mit dem Wassergehalt der Komposte nach der Feinaufbereitung. Hier haben viele Anlagen das Problem, dass z. B. durch eine Rottezeitverkürzung (bzw. Durchsatzerhöhung) oder nicht optimale Rottesteuerung die ideale Materialfeuchte zur Feinaufbereitung (ca. 40 % Wassergehalt) nicht gewährleistet werden kann.

Mit einer Optimierung der Rottesteuerung (z. B. Belüftung) oder einer Rottezeitverlängerung kann hier anlagenseitig Abhilfe geschaffen und gleichzeitig auch die Effektivität der Feinaufbereitung und damit ebenso die Kompostqualität verbessert werden. Ist eine Rottezeitverlängerung nicht umsetzbar, kann der abgetrennte Siebrest auch durch eine Nachrotte oder eine gezielte Trocknung (z. B. durch eine Belüftung, Abb. 13) nachbehandelt werden. Für die genannten Maßnahmen

fehlt allerdings auf den meisten Anlagen der Platz und die entsprechenden Mehrbehandlungskosten müssen natürlich im Verhältnis zur Einsparung bei der Siebrestentsorgung stehen.



Abb. 13: Trocknungstunnel (links), Belüftungsmodul (rechts) (Quelle: Abfallwirtschaft Vechta)

Der Anteil der nichtbrennbaren Bestandteile (Mineralik im Feinanteil, Steine etc.) im Siebrest kann ebenfalls durch eine optimale Rotte und damit einhergehenden Einstellung eines optimalen Wassergehalts für die Feinaufbereitung beeinflusst werden. Je trockener der Rohkompost bei der Feinaufbereitung ist, desto effektiver lässt sich der Feinanteil absieben und verbleibt nicht als Anhaftung in den Siebresten. Darüber hinaus haben sich in der Praxis auch Aggregate zur Steinauslesung (Schwerstoffabtrennung, Ballistikseparator etc.) bewährt, die entweder in die Siebaggregate integriert oder separat nachgeschaltet werden können.

Die Reduzierung der nichtbrennbaren Fraktion ist nicht nur vor dem Hintergrund der Heizwerterhöhung sinnvoll oder erforderlich, sondern auch im Hinblick auf den Aschegehalt. Die Mineralik im Feinanteil, sowie Steine und andere nichtbrennbare Bestandteile verbleiben im Verbrennungsprozess als Asche zur Entsorgung. Da diese Aschen durch die in der Regel vorhandenen Verunreinigungen (z.B. Rückstände von Kunststoffen, Batterien usw.) auch entsprechende Schadstoffgehalte aufweisen (siehe auch Kap. 5), können sie nicht, wie Asche aus der Verbrennung unbelasteter Hölzer, ggf. landwirtschaftlich verwertet sondern müssen deponiert werden.

4.3 Stör- und Fremdstoffe

Der Anteil an Stör- und Fremdstoffen in den Siebresten kann bei der thermischen Verwertung ebenfalls problematisch sein. Was insbesondere Störstoffe sind, bestimmt in der Regel der Betreiber des BMH(K)W und wird beeinflusst von der eingesetzten Technik (Brennstoffzufuhr, Rosttechnik etc.). Die Fremdstoffe sind schadstoffrelevant und beeinflussen daher die Einstufung des Brennstoffs entsprechend der verschiedenen rechtlichen Vorgaben und Normen (siehe auch Kap. 5). Die letztendlich notwendige Abreicherung der Stör- und Fremdstoffe aus den Siebresten ist daher stark von der gewünschten Einstufung der Brennstoffe und der jeweiligen Anforderungen des BMH(K)W abhängig.

Verschiedene Aggregate zur Ausschleusung der Stör- und Fremdstoffe haben sich mittlerweile in der Praxis bewährt und innovative neue Verfahren (z. B. NIR-Technik) werden zunehmend eingesetzt. Um den Rotteprozess und/oder die Kompostqualität nicht negativ zu beeinflussen, sollten

die Stör- und Fremdstoffe bereits vor dem Rotteprozess oder zumindest in der Kompostfeinaufbereitung abgetrennt werden. In der Praxis hingegen werden meist die Störstoffe vor dem biologischen Prozess abgeschieden, während die Fremdstoffe bei der Kompostkonfektionierung abgeschieden werden. Grund hierfür sind die vorteilhaften Bedingungen (höherer TS-Gehalt, geringerer Stoffstrom etc.) bei der Konfektionierung.

Je nach Anlagenkonfiguration ist mit der vorhandenen Technik eine weitergehende Aufbereitung der Siebreste nicht möglich und die Errichtung einer separaten Aufbereitungsstrecke für die Siebreste kann vorteilhaft sein. Die Aufbereitung kann dann an die spezifischen Anforderungen der Verwertungswege angepasst werden.

Alle beschriebenen Qualitätsverbesserungen für eine möglichst hochwertige thermische Verwertung der Siebreste sind auch anwendbar als Qualitätsverbesserung für eine Rückführung der Siebreste in den Rotteprozess.

4.4 Korngröße

Die Korngröße wird durch die vorhandene Technik der jeweiligen für die Verwertung in Frage kommenden BMH(K)W bestimmt und erfordert ggf. noch eine weitere Absiebung und Nachzerkleinerung der Siebreste. Diese Arbeitsgänge werden in der Regel eingebunden in die zuvor beschriebenen Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung.

4.5 Optimierung der Siebrestqualität durch verschiedene Siebschnitte

Im Rahmen eines F&E-Projekts der Veolia-Umweltservice West GmbH wurden durch das Leichtweiß-Institut, Abteilung Abfall- und Ressourcenwirtschaft, der TU-Braunschweig Qualitätsbestimmungen von Siebresten bzw. -überläufen aus zwei Kompostwerken vorgenommen (Fricke et al., 2009). Ziel war auch hier, Qualitätsmerkmale für Siebreste für eine energetische Verwertung zu ermitteln. Folgende Ergebnisse wurden in diesem Projekt erzielt:

- Die untersuchten Siebreste könnten im Sinne von § 2 (1) der BiomasseV als Biomasse eingestuft werden.
- Wegen der Belastung mit halogenorganischen Verbindungen und der damit verbundenen Einstufung in eine Altholzkatgorie > II sowie den hohen Schwermetallgehalten ist bei unaufbereiteten Siebresten nur eine energetische Verwertung in einem BMH(K)W mit einer Genehmigung nach der 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) zulässig.
- Hohe Wasser- und Aschegehalte und ein vergleichsweise geringer Heizwert um 7.000 kJ/kg FM mindern die Qualität als Brennstoff zudem deutlich.
- Bei der Bewertung verschiedener Siebschnitte zeigte sich, dass es sowohl bei den Fremdstoffen als auch bei den Schadstoffen keine besonders stark belastete Siebschnitte gab. Eine Minderung der Fremd- oder Schadstoffe durch eine Abtrennung mittels einem „einfachen“ Siebschnitt war somit nicht gegeben.
- Selbst die Abtrennung des Feinkorns (< 8 mm) mit durchschnittlich 35 Gew.-% Aschegehalt hatte durch den geringen Anteil (ca. 15 Gew.-%) und den Anhaftungen bedingt durch den hohen Wassergehalt keinen entscheidenden Einfluss auf den Aschegehalt der weiteren Siebschnitte.

- Eine Reduktion der Fremdstoffe auf Werte $< 5\%$ durch diverse Konfektionierungsschritte und eine Heizwerterhöhung durch Reduktion des Wasser- und Mineralstoffgehalts ist Voraussetzung für eine hochwertige energetische Verwertung.

Die Umsetzung folgender Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung bei den Siebresten haben in einigen Anlagen zu den nachfolgenden Erfordernissen geführt:

- Umstellung der Betriebsabläufe
- größerer Platzbedarf
- Erweiterung der überdachten Lagerfläche
- „Just in time“-Belieferung des BMH(K)W
- erhöhte Investitionen und Personalaufwand (ggf. Betriebskosten)
- Aufbau eines Qualitätsmanagements

Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung von Siebresten sollten vor einer Umsetzung durch eine Kosten-Nutzen-Analyse geprüft werden. Neben Auswirkungen, die sich aus den Anforderungen der Verwertungswege ergeben, sind ebenfalls die sich aus rechtlichen Vorgaben und Normen ergebenden Auswirkungen/Erfordernisse zu berücksichtigen und dem erreichbaren Nutzen, wie z. B. Reduzierung der derzeit anfallenden Verwertungs- oder Entsorgungskosten für die Siebreste, gegenüberzustellen.

4.6 Methodik der Analysen von Siebresten und Kompost

Im Rahmen des Projekts wurden auf vier Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen Analysen der Siebüberläufe bzw. -reste durchgeführt. Der Fokus der Untersuchungen lag dabei auf den bei der Konfektionierung des Komposts anfallenden Siebresten.

Das Vorgehen bei den Analyseterminen war an allen Praxisanlagen gleich. So wurden an jedem Analysetermin drei Einzelproben analysiert. Die Analysetermine erstreckten sich jeweils auf Frühjahr, Sommer und Winter (Ausnahme Anlage D), um die jahreszeitlichen Schwankungen der Siebüberläufe mit zu erfassen. Die Proben der Siebüberläufe wurden, sofern möglich, direkt aus der laufenden Absiebung entnommen. Zur Analyse wurden drei Einzelproben erzeugt. Hierbei wurden jeweils drei Einzelproben (60 l) zu einer Mischprobe vereint und verjüngt. Ziel der Mischung und Verjüngung war die Erzeugung von repräsentativen Stichproben aus einem heterogenen Material.

Anschließend wurden die Siebreste mit den Siebschnitten 80 mm, 60 mm, 40 mm und 20 mm bzw. 15 mm (kleinster Siebschnitt: Je nach vom Betreiber eingesetztem Siebschnitt zur Kompostkonfektionierung) gesiebt. Hierdurch konnte die Korngrößenverteilung bestimmt werden. Darüber hinaus wurden die Siebüberläufe nach jeder Siebung hinsichtlich der einzelnen Fremdstofffraktionen händisch sortiert und jeweils verwogen (Abb. 14). Hierdurch konnten Anreicherungen von verschiedenen Fremdstofffraktionen in den definierten Kornspektren ermittelt werden. Dieses Vorgehen lässt Rückschlüsse für die Aufbereitung des Siebüberlaufs für verschiedene Verwertungswege zu.



Abb. 14: Aufbau zur händischen Sortieranalyse von Siebüberläufen

Die Sortierfraktionen wurden hierbei in Anlehnung an die DüMV gewählt und wie nachfolgend definiert:

- Mineralik (Steine, mineralische Bauabfälle, Keramik)
- Metalle
- Glas
- Hartkunststoffe
- Folienkunststoffe
- biologisch abbaubare Kunststoffe (BAW)
- Papier Pappe Kartonage (PPK)
- Verbundstoffe
- sonstige Fremdstoffe
- Organik

Der Siebdurchlauf < 15 mm bzw. < 20 mm wurde als Feinkorn definiert und nicht weiter analysiert. Dieses ähnelt in seiner Beschaffenheit den analysierten Komposten, da dieses bei gleichem anlagenspezifischem Siebschnitt wie in der Aufbereitungslinie abgesiebt wurde.

Neben der Analyse der Siebreste durch Sortierung wurden jeweils Proben des Siebrests im Brennstofflabor u. a. hinsichtlich folgender Parameter untersucht:

- Wassergehalt
- Aschegehalt
- Partikelgrößenverteilung
- Fremdstoffe
- Schüttdichte
- Heizwert
- Ascheschmelzverhalten
- Chlorgehalt
- Schwefelgehalt
- Fluorgehalt

- Stickstoffgehalt
- Schwermetall-Gehalte (Pb, Cd, Cr, Co, Cu)
- Arsengehalt
- Quecksilbergehalt
- DDT
- PAK inkl. Benzo[a]pyren
- Lindan
- PCP
- PCB

Zusätzlich zu den anfallenden Siebüberläufen bzw. -resten wurden die erzeugten Komposte beprobt und im Labor hinsichtlich der Parameter

- Fremdstoffgehalt und Flächensummenindex > 1 mm,
- Trockensubstanzgehalt sowie
- organischer Trockensubstanzgehalt

untersucht.

4.7 Ergebnisse der Siebüberlauf- und Kompostanalysen

In der nachfolgenden Auswertung der Analysen werden die drei Einzelproben, welche pro Analysetermin erzeugt wurden, per Mittelwert dargestellt. Die Werte beziehen sich dabei immer auf die Gesamtprobenmasse des analysierten Siebrests und sind in Gewichtsprozent angegeben. Anzumerken ist, dass die Abbildungen mit den Analyseergebnissen zur besseren Erkennbarkeit unterschiedliche Achsenskalierungen aufweisen. Eine rein visuelle Beurteilung ist somit nur bedingt möglich. Da die Einzelproben einen relativ kleinen Probenumfang aufweisen, fallen größere Bestandteile wie größere Steine, große und feuchte PPK-Stücke als Ausreißer besonders schwer ins Gewicht. Zur Einordnung dieser wird in der Auswertung auf Ausreißer, welche nicht typisch für den analysierten Siebüberlauf sind, hingewiesen.

4.7.1 Anlage A

Bei Anlage A handelt es sich um eine Kompostierungsanlage mit offener, überdachter Rotte. Die rund 8.000 Mg Bioabfall werden in Dreiecksmieten kompostiert. Die Konfektionierung des Komposts wird mittels Trommelsieb bei einem Siebschnitt von 15 mm (Abb. 15) durchgeführt. Der Siebrest wird einer Nachkompostierung unterzogen und anschließend erneut abgesiebt. Der dabei anfallende Siebrest wird komplett in der MVA entsorgt. Im Jahr 2018 lag die Menge der zu entsorgenden Siebreste bei rund 800 Mg. Im vorliegenden Projekt wurde der Siebüberlauf > 15 mm der ersten Absiebung analysiert.

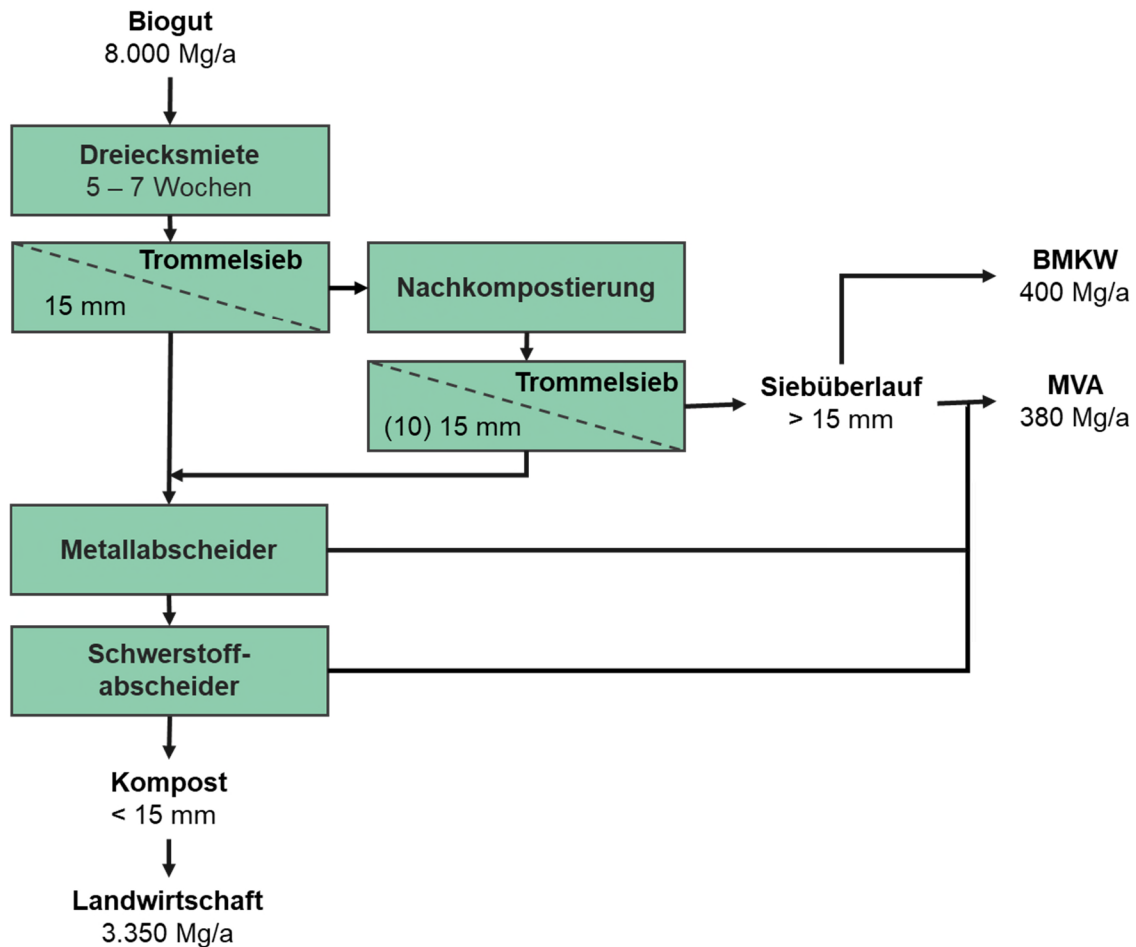


Abb. 15: Blockfließbild der Kompostierungsanlage A

In der nachfolgenden Abb. 16 ist die Zusammensetzung der beprobten Siebüberläufe zu den unterschiedlichen Analyseterminen dargestellt. Der Fremdstoffanteil zeigt mit ca. 11 % an den drei Analyseterminen ein einheitliches Bild, wenn auch die Zusammensetzungen dieser unterschiedlich sind. So ist im März mit 2,5 Gew.-% ein fast dreifach höherer Anteil an sonstigen Materialien gegenüber den folgenden Analyseterminen vorzufinden. Hingegen ist im Juli und Dezember ein bis zu 0,9 Gew.-% höherer Anteil an PPK vorzufinden. Während der Anteil an Feinkorn (48 Gew.-%) und Organik (41 Gew.-%) in Juli und Dezember identisch ist, ist im März mit 50 Gew.-% ein deutlich höherer Anteil an Organik zu verzeichnen. Der Anteil an Feinkorn ist mit 39 Gew.-% deutlich geringer.

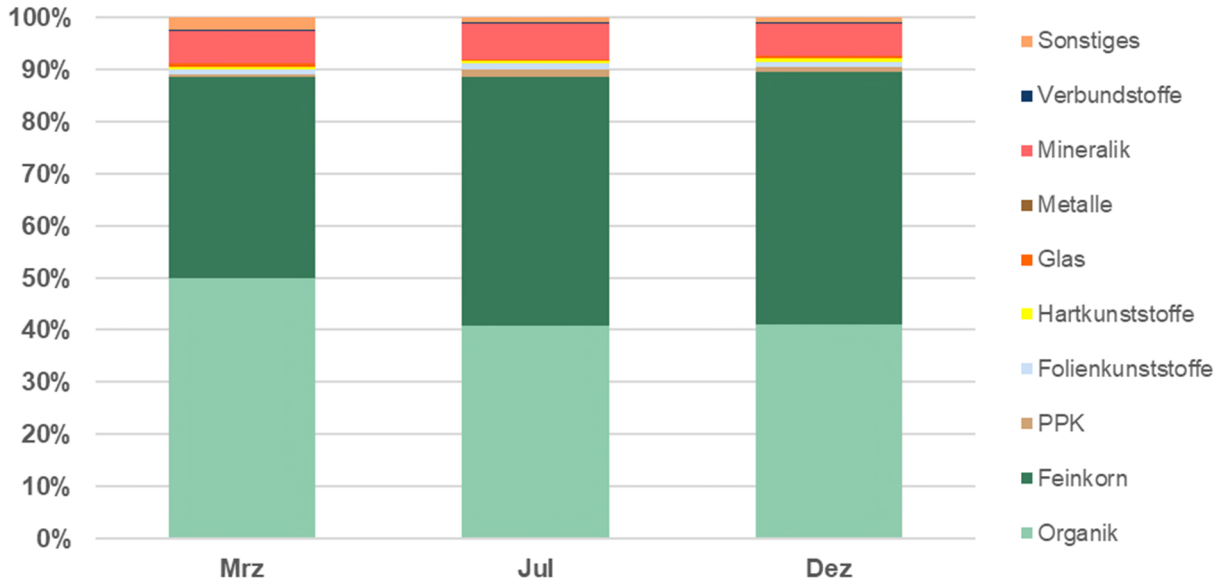


Abb. 16: Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage A

Nachfolgend wird in Abb. 17 die Korngrößenverteilung der Siebreste aufgezeigt. Die mittleren Korngrößenverteilungen der analysierten Siebüberläufe von Anlage A weichen nur geringfügig voneinander ab. Nur im März war der Anteil < 15 mm mit rund 40 Gew.-% um etwa 10 Gew.-% geringer gegenüber den späteren Analyseterminen. Die Siebschnitte > 80 mm und 40–60 mm weisen jeweils einen Anteil von ca. 10 Gew.-% auf. Hingegen stellt der Siebschnitt 60–80 mm mit nur ca. 5 Gew.-% einen geringeren Anteil dar.

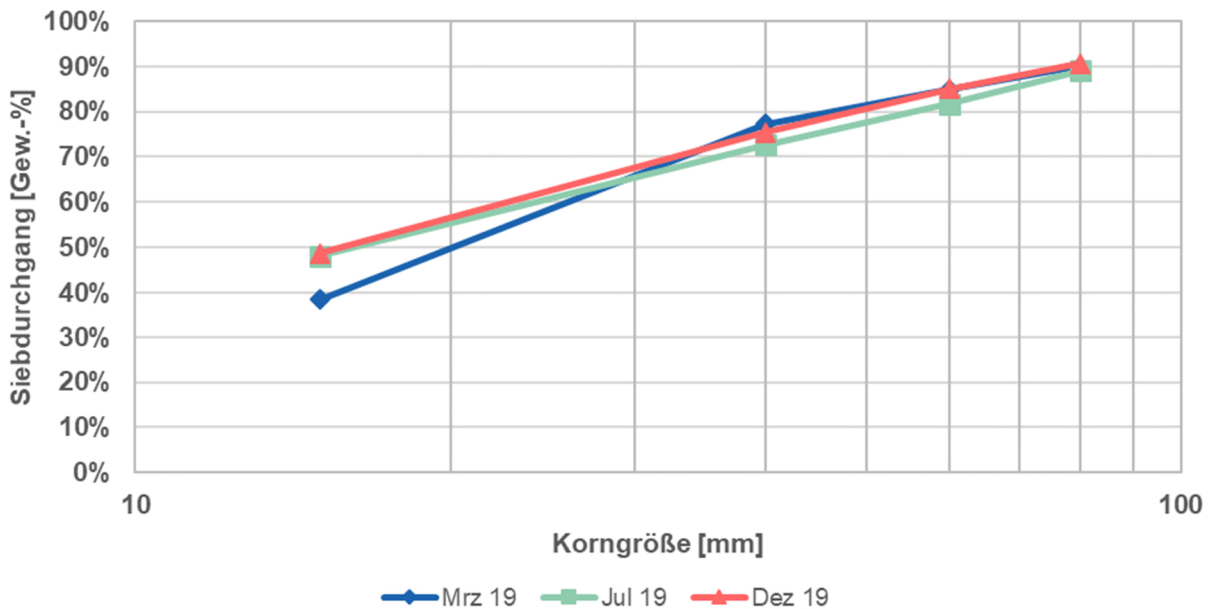


Abb. 17: Korngrößenverteilungen des Siebüberlaufs > 15 mm, Anlage A

In Abb. 18 sind die ermittelten Fremdstoffgehalte im Siebschnitt > 80 mm der Analysetermine im März, Juli und Dezember dargestellt. Eine der größten Fremdstofffraktionen sind Folienkunststoffe, welche an allen Analyseterminen in einer ähnlichen Größenordnung festzustellen waren. Des Weiteren machen sonstige Fremdstoffe, zu denen vor allem Textilien sowie nicht weiter einzuordnende Materialien gezählt wurden, einen signifikanten Anteil der Fremdstoffe im betrachteten Siebschnitt aus. Der im Vergleich zu den anderen Analyseterminen hohe Anteil an Sonstigem

im März ist auf ein Textil in der Einzelprobe rückzuführen. Der große Anteil an PPK im Juli lässt sich auf ein mit Wasser durchnässte Stück Karton rückführen. 0,6 Gew.-% Mineralik im Juli werden durch einen einzelnen Stein verursacht.

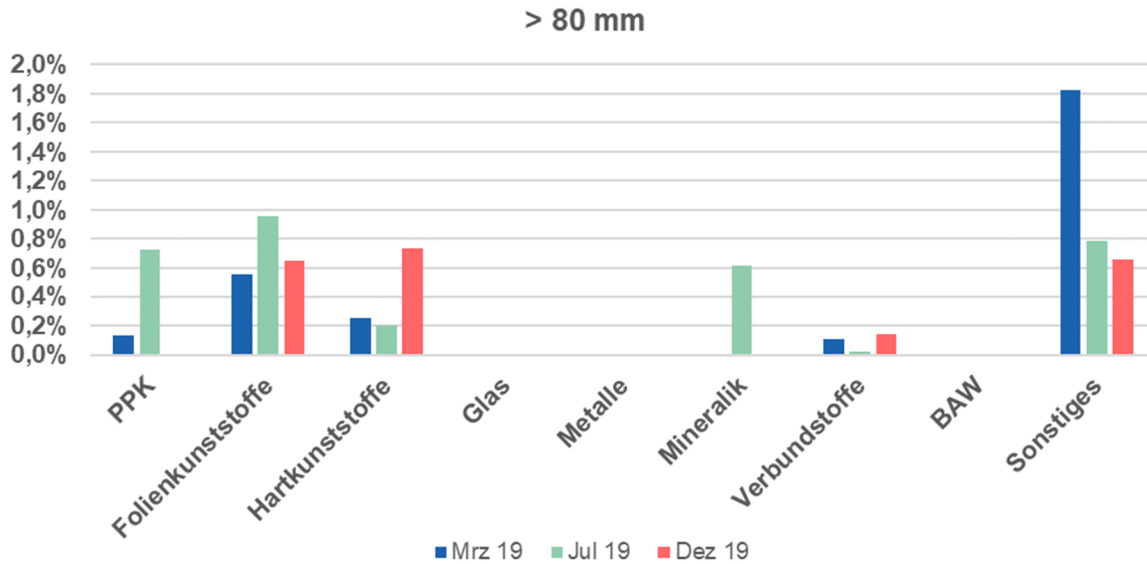


Abb. 18: Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A

Der in Abb. 19 dargestellte Siebschnitt 60–80 mm macht wie bereits beschrieben einen deutlich geringeren Anteil von nur 5 Gew.-% bezogen auf die Gesamtmasse der Einzelprobe aus. Von den untersuchten Fremdstoffen machten im Siebschnitt 60–80 mm die Fraktionen Folienkunststoffe sowie sonstige Fremdstoffe den höchsten Anteil aus. Darüber hinaus sind, spezifisch nach Analyseterminen, signifikante Gewichtsanteile in den Fraktionen PPK und Mineralik zu sehen. Der Ausreißer an PPK im Juli wird durch ein PPK-Stück mit hoher Feuchte verursacht. Der hohe Anteil an Mineralik am gleichen Analysetermin ist wie im nächstgrößeren Siebschnitt auf einen einzelnen Stein zurückzuführen.

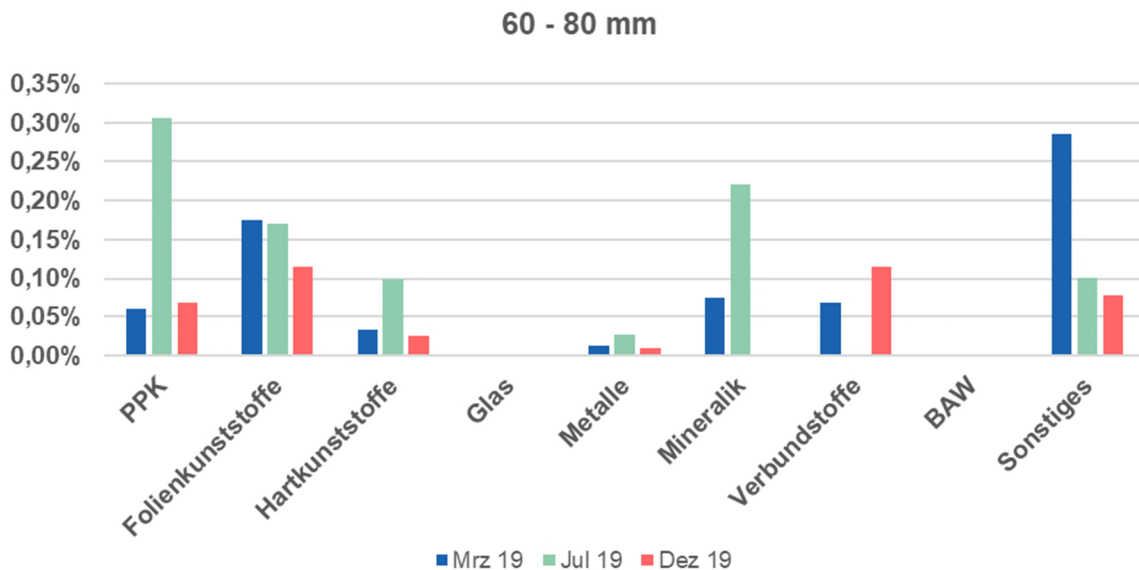


Abb. 19: Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A

Der Anteil des Siebschnitts 40–60 mm liegt mit etwa 10 Gew.-% in ähnlicher Größenordnung wie der Siebschnitt > 80 mm. Im Gegensatz zu den Siebschnitten 60–80 mm und > 80 mm ist hierbei Mineralik die größte Fremdstofffraktion (Abb. 20). Die Mineralikfraktion setzt sich bei allen Analyseterminen aus mehreren Steinen zusammen. Der Anteil der Fremdstoffe PPK, Folienkunststoffe, Hartkunststoffe und Sonstiges ist demgegenüber erheblich geringer.

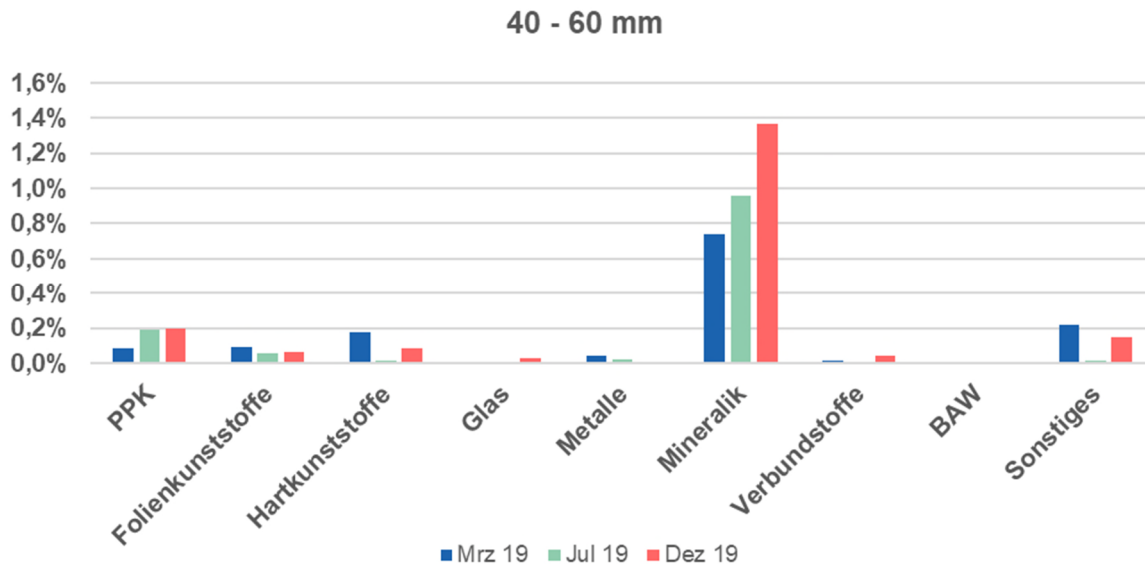


Abb. 20: Fremdstoffgehalte (40–60 mm) im bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A

Ein ähnliches Bild zeigen die Fremdstoffe im Siebschnitt 15–40 mm. Auch hier bildet die Mineralik, mit rund 5 Gew.-%, die größte Fremdstofffraktion (Abb. 21). Der vorgefundene Mineralikanteil ist hierbei bei den Analyseterminen weitgehend konstant. Während in den Siebresten größer 60 mm kein Glas und in dem Siebschnitt 40–60 mm ein geringer Glasanteil festgestellt wurde, wurde im Siebschnitt 15–40 mm mit einem Anteil von 0,2 Gew.-% bis 0,6 Gew.-% ein vergleichsweise großer Glasanteil vorgefunden.

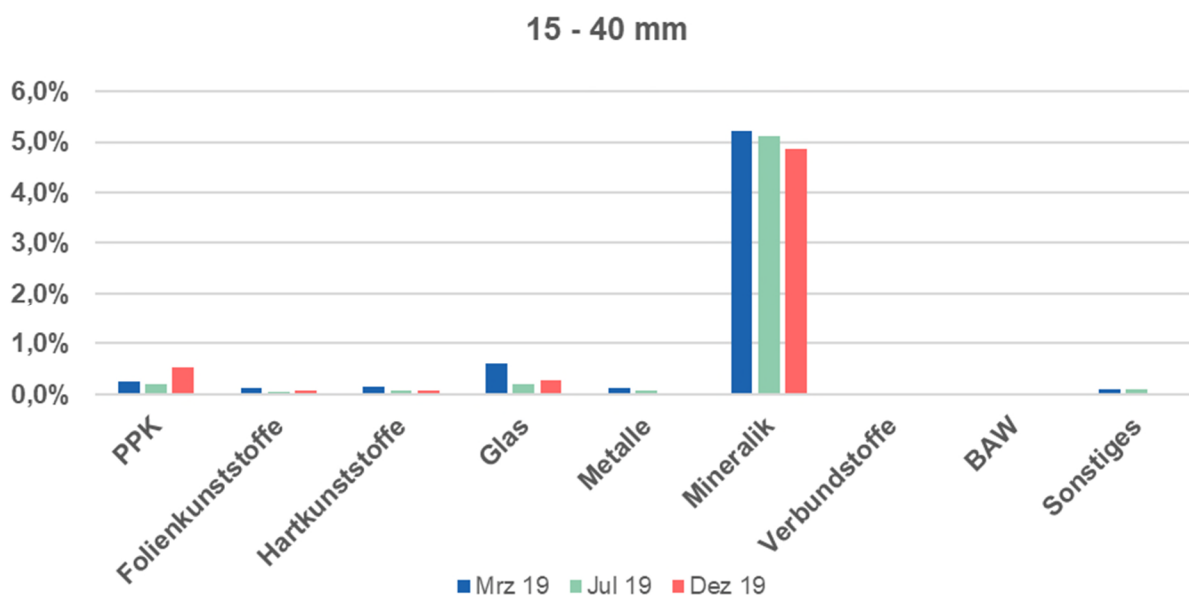


Abb. 21: Fremdstoffgehalte (15–40 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A

In Abb. 22 sind die Fremdstoffgehalte für den gesamten Siebüberlauf > 15 mm, berechnet aus den einzelnen analysierten Siebschnitten, zusammengefasst. Die Folienkunststoffe machen insgesamt rund 1 Gew.-% des Siebüberlaufs aus und zeigen zwischen den Analyseterminen nur geringe Schwankungen. Der Anteil der Fremdstoffe PPK, Hartkunststoffe, Glas, Mineralik und sonstiges zeigen deutlichere Abweichungen zwischen den Analyseterminen. Insgesamt bildet die Mineralikfraktion bei den Fremdstoffen > 15 mm mit im Mittel 6 - 7 Gew.-% den größten Anteil.

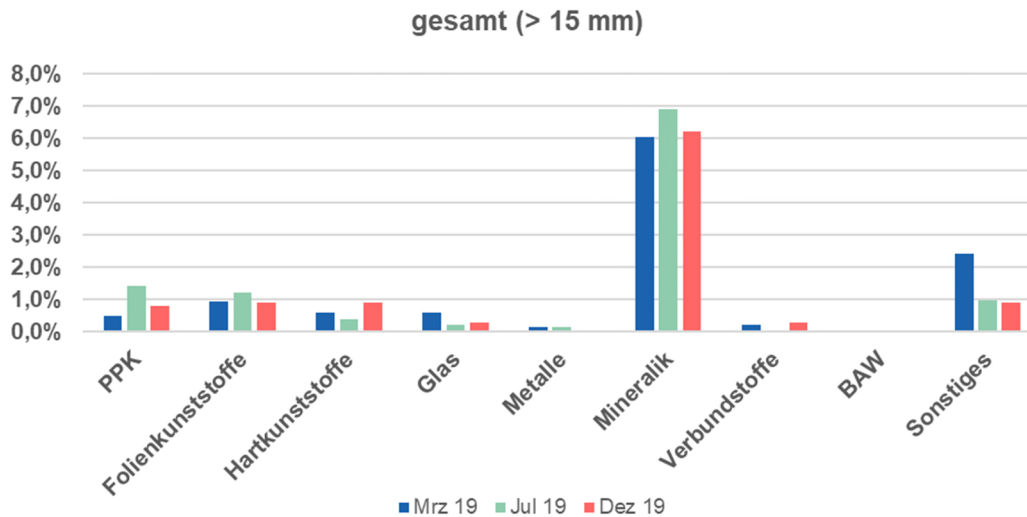


Abb. 22: Fremdstoffgehalte (gesamt > 15 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage A

Nachfolgend sind in Abb. 23 Parameter, welche u. a. auf die Eignung als thermischen Brennstoff schließen lassen, aufgezeigt. Hierbei weist der Siebüberlauf aus dem Dezember mit rund 57 % FM den geringsten Trockensubstanzgehalt im Vergleich zu den weiteren Siebüberläufen an Anlage A auf. Die Siebüberläufe der Beprobungen im März und Juli waren mit einem Trockensubstanzgehalt von über 64 % FM deutlich trockener. Beim Vergleich der Aschegehalte weist der Siebüberlauf aus dem Dezember mit etwa 25 % TM einen erheblich geringeren Wert als die Siebüberläufe aus dem März (ca. 37 % TM) und Juli (ca. 40 % TM) auf. Dieser Umstand lässt vermuten, dass der Siebüberlauf aus dem Dezember einen höheren Anteil an brennbarer Substanz und entsprechend weniger Mineralik im Feinanteil enthält.

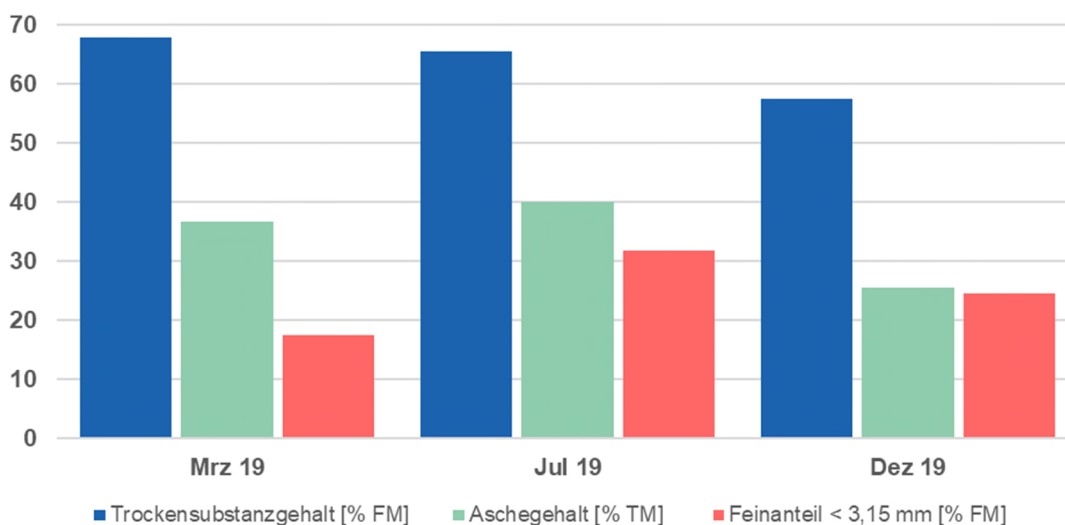


Abb. 23: Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebüberlaufs (> 15 mm), Anlage A

Der Rückschluss von dem niedrigen Aschegehalt auf den höheren Anteil brennbarer Materialien im Dezember wird durch den, im Vergleich zu den anderen Analyseterminen, hohen Brennwert bzw. Heizwert im trockenen Zustand bestätigt (Abb. 24). Der Heizwert des Siebüberlaufs von der Beprobung im Dezember ist mit fast 15 MJ/kg TS im Vergleich zu dem Heizwert der Beprobungen im März und Juli (rund 11 MJ/kg TS) deutlich höher.

Dies gilt ebenfalls für den Brennwert der Siebüberläufe mit 16 MJ/kg TS. Der Heizwert der untersuchten Siebüberläufe unterscheidet sich im Anlieferungszustand nur geringfügig, da der Siebüberlauf aus dem Dezember zwar den höchsten Brenn- und Heizwert, aber gleichzeitig auch den geringsten Trockensubstanzgehalt aufweist.

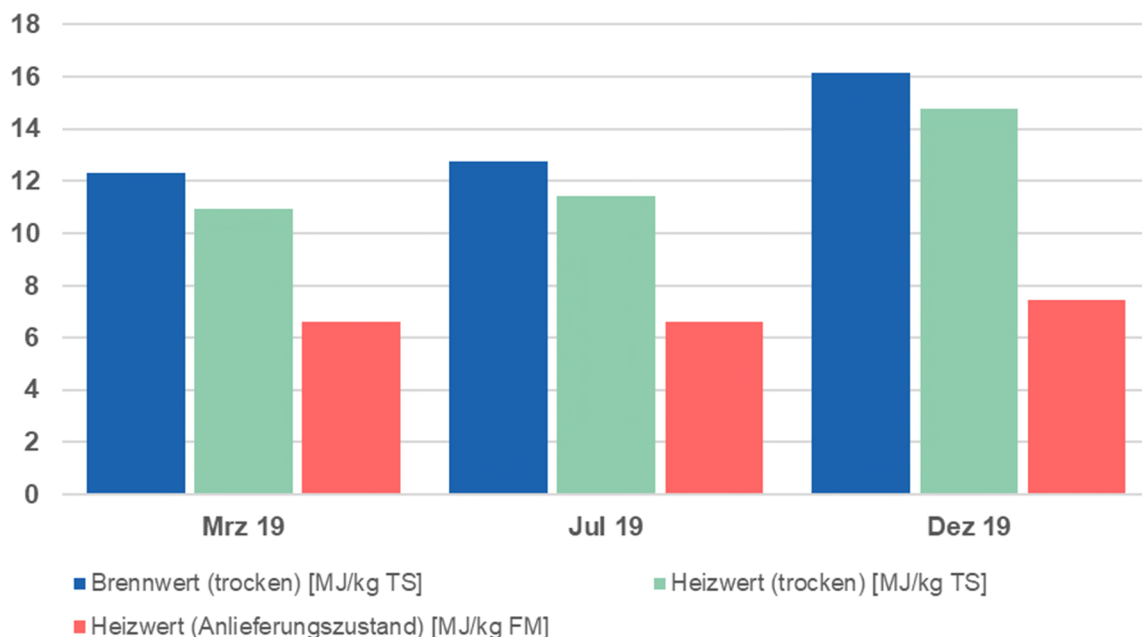


Abb. 24: Brenn- und Heizwerte des Siebüberlaufs (> 15 mm), Anlage A

Parallel zu den Beprobungen der Siebüberläufe wurden Kompostproben während der Absiebung gezogen. In Tab. 4 sind die Ergebnisse der Kompostanalysen der Anlage A zusammenfassend dargestellt. Der Fremdstoffgehalt > 1 mm liegt zwischen ca. 0,1 Gew.-% und 0,2 Gew.-% TS und die gesetzlichen Grenzwerte sowie die Anforderungen der BGK hinsichtlich der Fremdstoffe werden deutlich unterschritten. Der wesentliche Fremdstoffanteil besteht hierbei aus Glas, während von Kunststoffen und Metallen nur geringe Anteile vorgefunden wurden. Die ermittelten Trockensubstanzgehalte korrespondieren in der Tendenz mit den Trockensubstanzgehalten des jeweiligen Siebüberlaufs.

Tab. 4: Analyseergebnisse Kompost < 15 mm, Anlage A

	Mrz 19	Jul 19	Dez 19
Fremdstoffgehalt > 1 mm [Gew.-% TS] gesamt	0,10	0,11	0,19
Glas	0,09	0,11	0,16
Kunststoffe	0,01	< 0,01	0,01
Folienkunststoffe	< 0,01	< 0,01	0,00
Hartkunststoffe	0,01	0,00	0,01
Metall	0,00	0,00	0,02
Flächensummenindex > 1 mm [cm²/l]	5,0	2,0	4,0
Trockensubstanz [% FM]	72,6	67,7	64,2
organische Trockensubstanz [% TM]	43,5	29,2	51,1

4.7.2 Anlage B

In Anlage B werden rund 30.000 Mg Biogut ohne Voraufbereitung in Boxenfermentern vergoren (Abb. 25). Anschließend wird das Gärmaterial in Rotteboxen kompostiert. Die Konfektionierung erfolgt zunächst mit einem Sternsieb bei einem Siebschnitt von 100 mm und 25 mm. Der Kompost wird anschließend aus dem Siebdurchgang < 25 mm mittels Trommelsieb mit einem Siebschnitt von 12 mm erzeugt. Im Jahr 2018 lag die Menge der zu entsorgenden Siebreste insgesamt bei rund 3.000 Mg. Extern aufbereitet bzw. direkt verwertet wurden insgesamt 2.550 Mg.

Im Rahmen der Analyse wurde der Siebüberlauf 25 –100 mm, welcher überwiegend als Strukturmaterial in den Rotteprozess rückgeführt wird, analysiert und in der nachfolgenden Auswertung dargestellt. Der Siebrest > 100 mm, welcher der Verbrennung zugeführt wird, wird an zwei Analyseterminen ebenfalls analysiert und anschließend in einer vereinfachten Auswertung dargestellt.

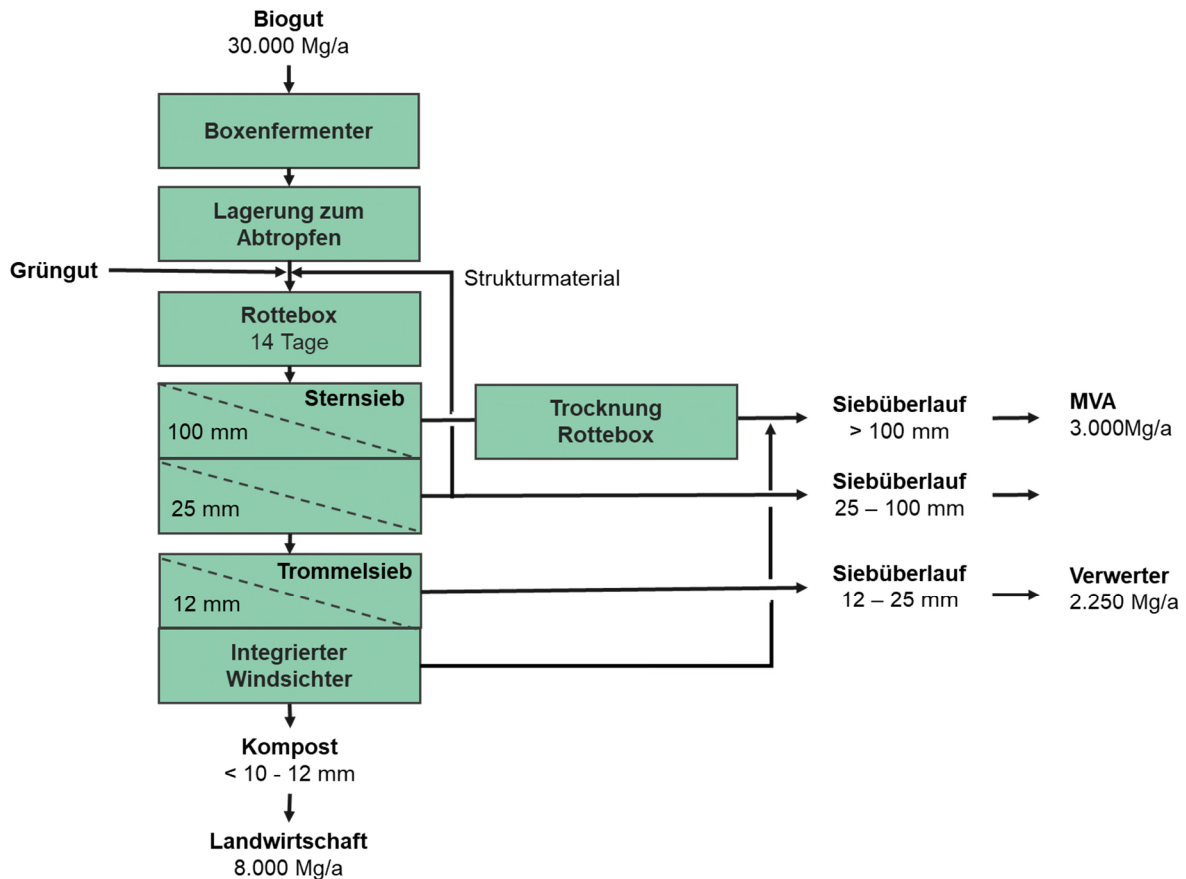


Abb. 25: Fließbild Anlage B

Die Siebanalyse wurde nach in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschriebenem Schema durchgeführt. Die Siebanalyse musste jedoch abweichend zu dem Siebschnitt der Kompostabsiebung bei 25 mm bei einem Siebschnitt 20 mm durchgeführt werden.

In der nachfolgenden Abb. 26 ist die Zusammensetzung der Siebüberläufe an den Analyseterminen dargestellt. Der Fremdstoffanteil liegt hierbei zwischen 25 Gew.-% und 30 Gew.-%. Die Zusammensetzung des Fremdstoffanteils unterliegt hierbei Schwankungen. Im April ist der höchste Anteil PPK zuzuordnen, während in den folgenden Analyseterminen hauptsächlich Mineralik mit bis zu 15 Gew.-% besonders schwer ins Gewicht fällt. Einen ebenso schwankenden Anteil nehmen das Feinkorn und die Organik ein. Während im April und August der Feinkornanteil jeweils 29 Gew.-% beträgt, liegt der Feinkornanteil im November um ca. 10 Gew.-% höher. Augenfällig ist der Organikanteil, der vom Analysetermin im April (48 Gew.-%) hin zum November (37 Gew.-%) stetig gesunken ist.

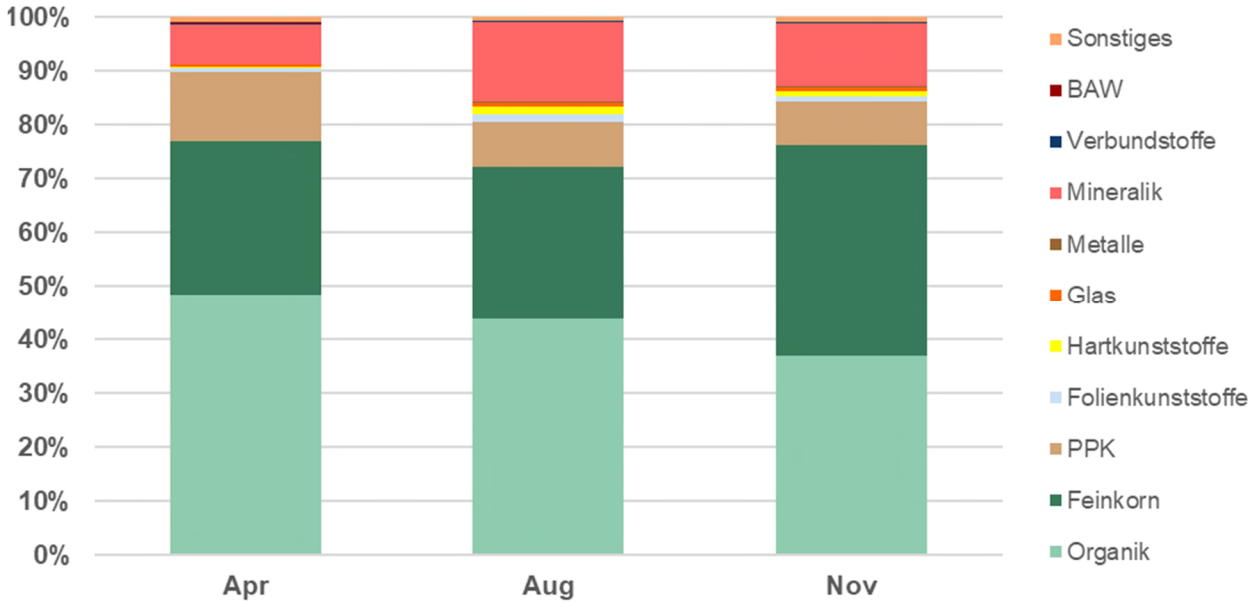


Abb. 26: Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage B

In Abb. 27 sind die Korngrößenverteilungen der untersuchten Siebüberläufe dargestellt. Die Korngrößenverteilungen der Analystermine im April und August weisen im Gegensatz zur Verteilung im Dezember einen nahezu identischen Verlauf auf. Der Feinkornanteil < 20 mm liegt bei jeweils etwa 30 Gew.-%, der Feinkornanteil im Dezember hingegen bei etwa 40 Gew.-%. Der Anteil > 80 mm beträgt an allen Analyseterminen lediglich ca. 5 Gew.-%, obwohl keine Zerkleinerung des Bioguts vorgenommen wird und auch die biologische Behandlung schonend erfolgt. Die größte Fraktion mit einem Anteil von ca. 35 Gew.-% bis 40 Gew.-% ist die Siebfraktion 20–40 mm.

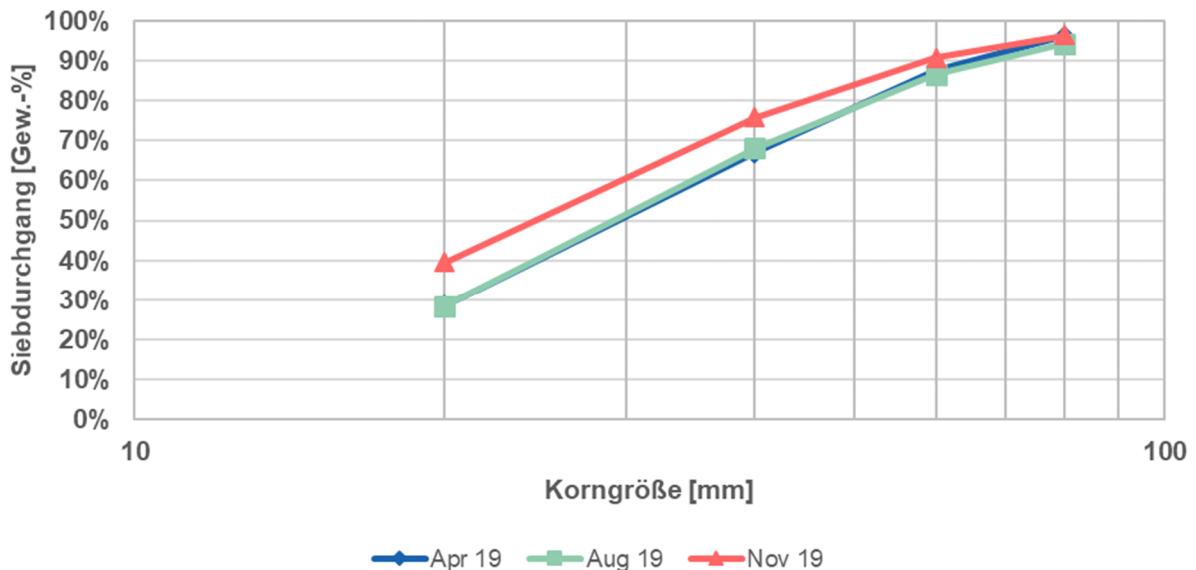


Abb. 27: Korngrößenverteilungen des Siebüberlaufs, Anlage B

Abb. 28 zeigt die Fremdstoffgehalte im Siebschnitt > 80 mm für den Siebüberlauf 25–100 mm. Folienkunststoffe machten neben PPK und Sonstiges den größten Fremdstoffanteil aus. Dabei sind insbesondere bei Folienkunststoffen, PPK und Sonstiges deutliche Unterschiede zwischen den Analyseterminen erkennbar. Der Anteil an Folienkunststoffen war im August mit ca. 0,6 Gew.-% etwa 3-fach höher als zu den anderen Analyseterminen. PPK liegt im März mit 0,9 Gew.-% in fast

doppeltem Umfang gegenüber den anderen Analyseterminen vor. In den nachfolgenden Siebschnitten ist diese Tendenz ebenso zu bemerken. Darüber hinaus war neben sonstigen Fremdstoffen bei der Beprobung im August und November ebenso Hartkunststoffe in signifikanter Masse festzustellen. Glas, Metalle und Mineralik wurden hingegen nicht gefunden.

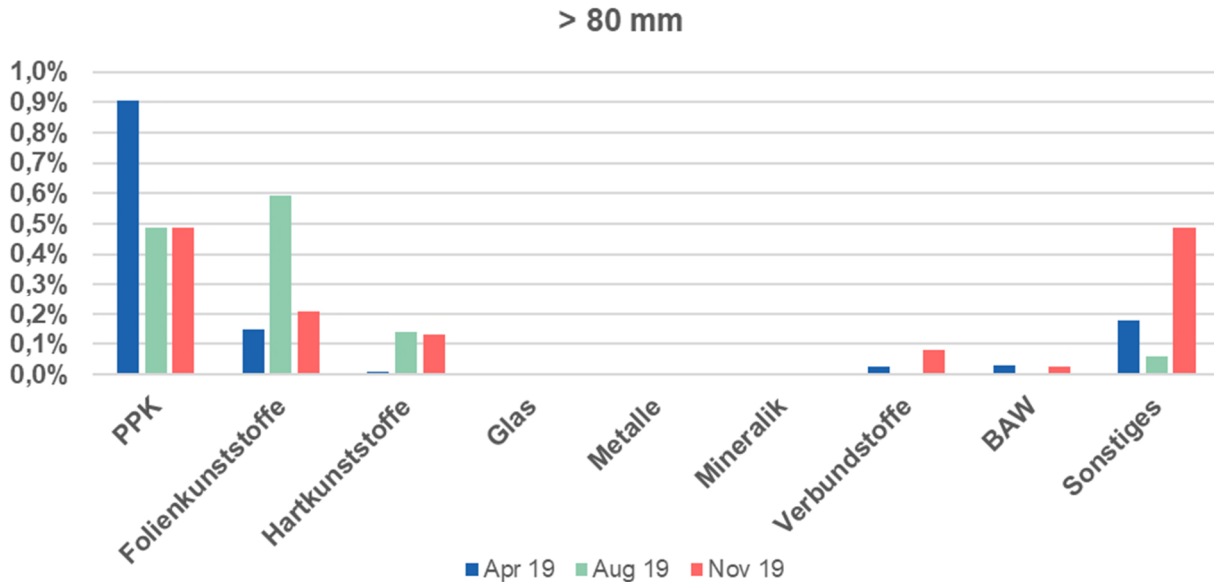


Abb. 28: Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B

Die im Siebschnitt 60–80 mm ermittelten Fremdstoffgehalte des Siebüberlaufs 25–100 mm sind in Abb. 29 dargestellt. In dem Siebschnitt sind alle Fremdstofffraktionen aufzufinden, den größten Fremdstoffanteil mit im Mittel ca. 1,5 Gew.-% bildet hier die PPK-Fraktion. Der höchste Anteil an PPK ist hierbei im April mit 2,5 Gew.-% zu verzeichnen. Im Gegensatz zur Fraktion > 80 mm waren in diesem Siebschnitt auch Glas, Metalle und Mineralik vorzufinden.

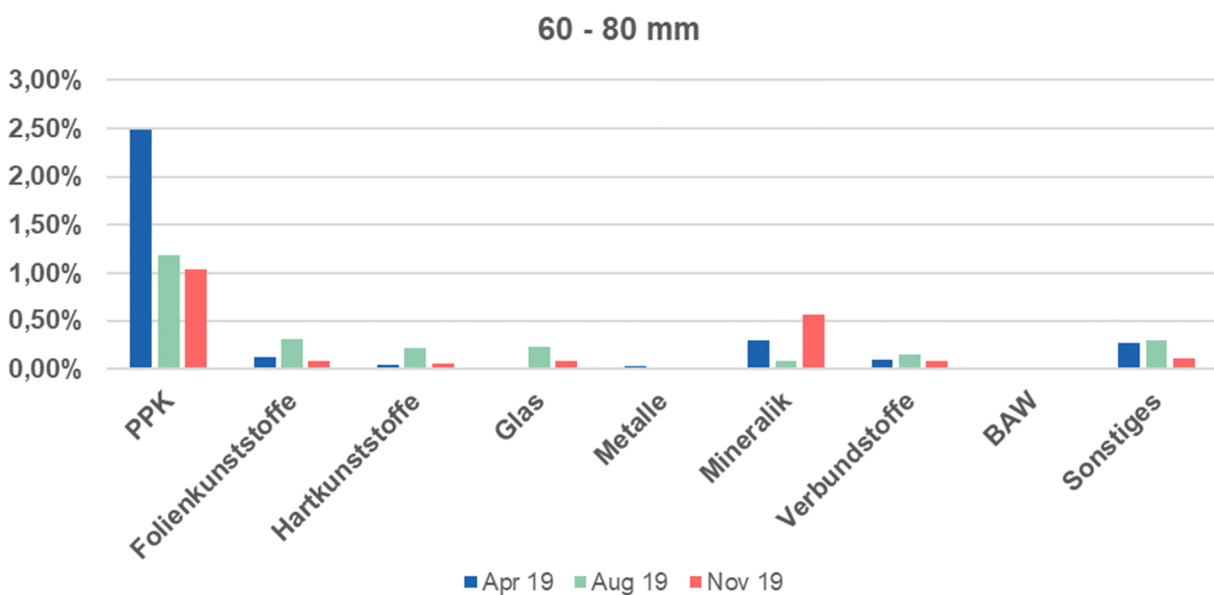


Abb. 29: Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B

In der Siebfraction 40–60 mm machte neben der PPK-Fraktion mit bis zu 5 Gew.-% die Mineralikfraktion den größten Fremdstoffanteil aus (Abb. 30). Bei den weiteren Fremdstoffen waren vor allem Hartkunststoffe auffällig, es wurden jedoch auch Folienkunststoffe, Glas und Metalle vorgefunden.

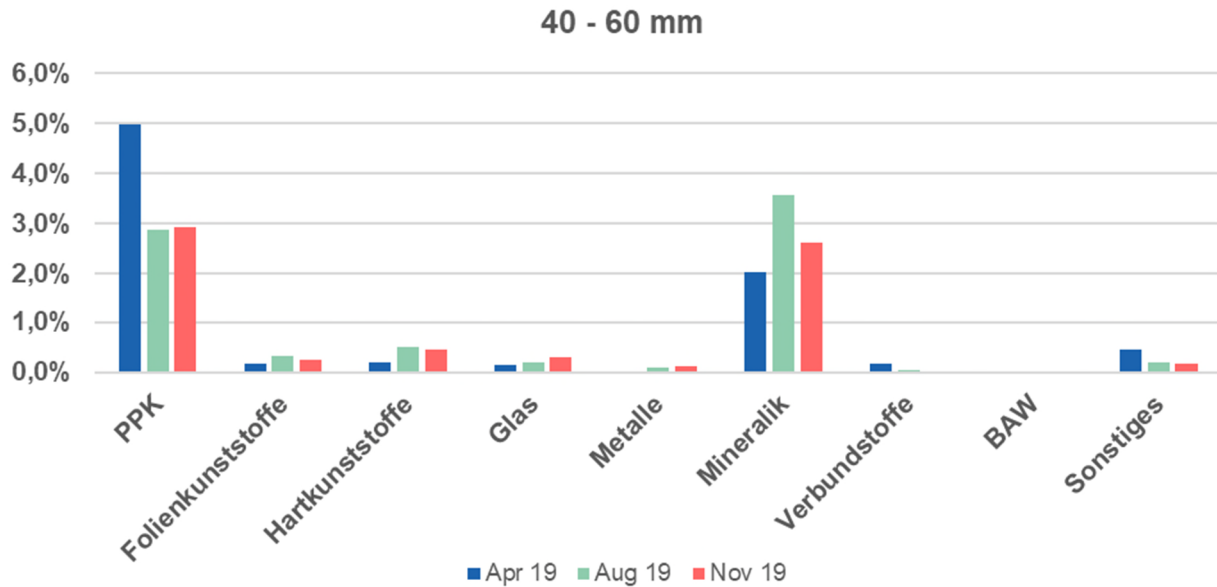


Abb. 30: Fremdstoffgehalte (40–60 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B

Im Siebschnitt 20–40 mm bildet die Mineralikfraktion den größten Anteil an allen Analyseterminen (Abb. 31). Hierbei ist zwischen den Analysen allerdings eine hohe Schwankungsbreite von 5 Gew.-% bis 11 Gew.-% erkennbar. Die PPK-Fraktion stellt mit einem Anteil von 3,5 Gew.-% bis 4,5 Gew.-% die zweitgrößte Fraktion dar. Während Metalle in äußerst geringen Anteilen vorgefunden wurden, konnten Folienkunststoffe, Hartkunststoffe und Glas in signifikanten Größenordnungen festgestellt werden.

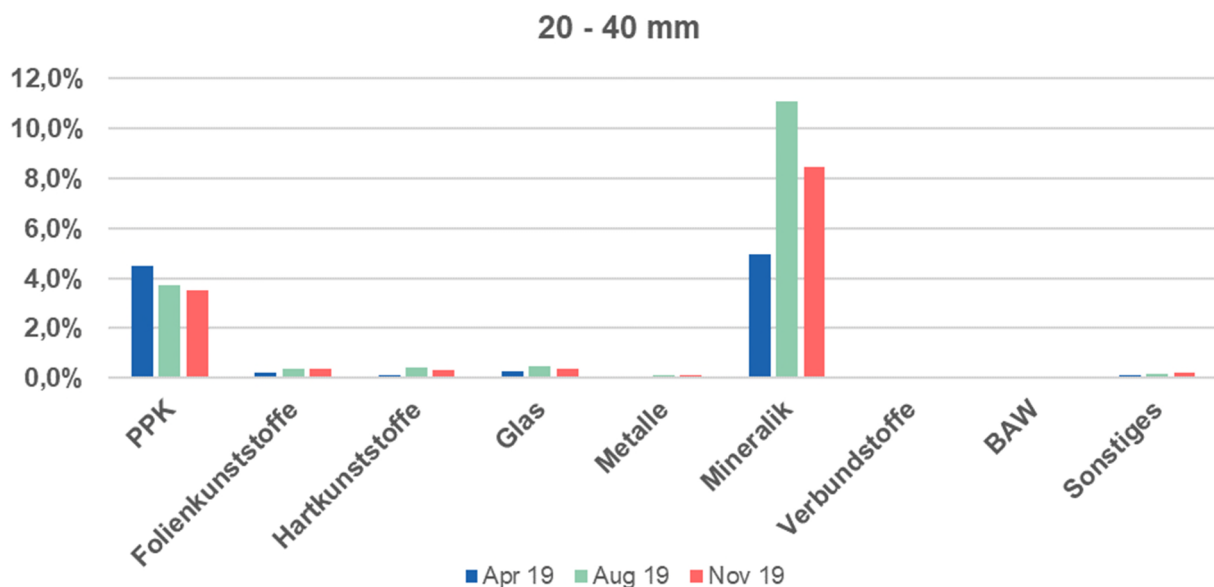


Abb. 31: Fremdstoffgehalte (20–40 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B

In Abb. 32 sind die Gesamtfremdstoffgehalte für die Siebreste dargestellt. Diese weisen an den einzelnen Analyseterminen deutliche Schwankungen auf, jedoch ist erkennbar, dass die PPK- und Mineralikfraktion den größten Fremdstoffanteil bilden. Der hohe PPK-Anteil im Siebüberlauf 25–100 mm lässt sich auf die biologische Behandlung in einer Trockenfermentation sowie die nur zwei Wochen andauernde Rottezeit zurückführen und stellt aufgrund von weiterem Abbau durch die Rückführung des Siebüberlaufs in den Prozess kein Problem dar.

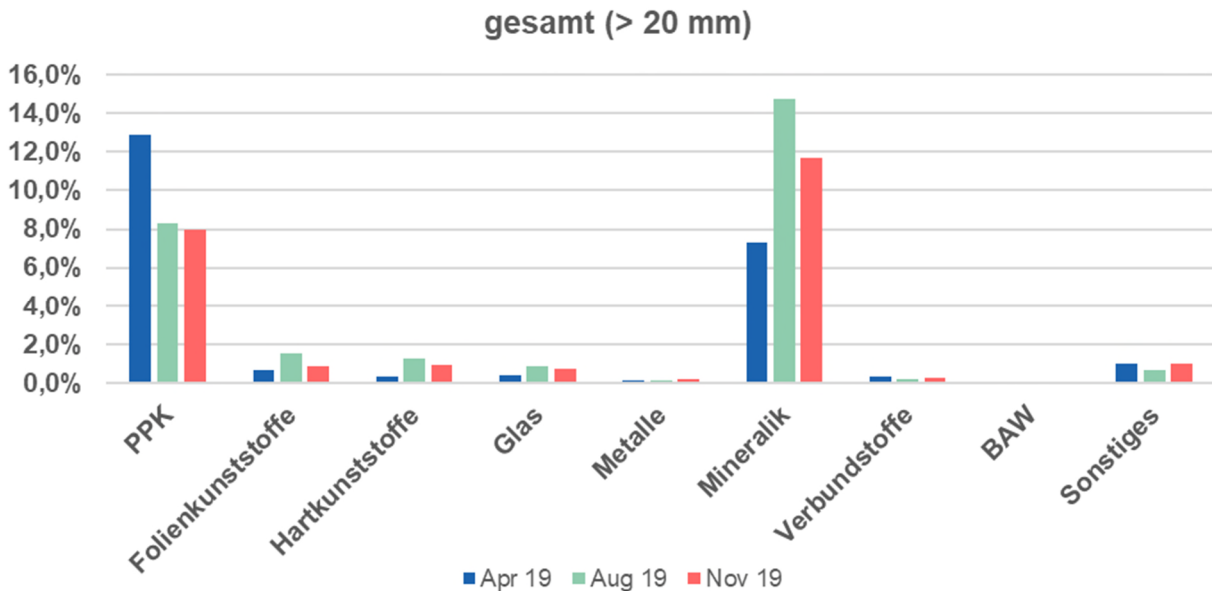


Abb. 32: Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B

Der Trockensubstanzgehalt der untersuchten Siebüberläufe liegt bei den Analyseterminen mit 64 % FM bis 69 % FM im vergleichbaren Bereich (Abb. 33). Es wurde in allen Fällen ein sehr hoher Aschegehalt von rund 45 % TM ermittelt. Der Feinanteil < 3,15 mm der Siebüberläufe vom August und November liegt in einer ähnlichen Größenordnung von ca. 12 bis 14 % und damit deutlich unter dem Feinanteil am Analysetermin im Frühling mit etwa 22 % FM.

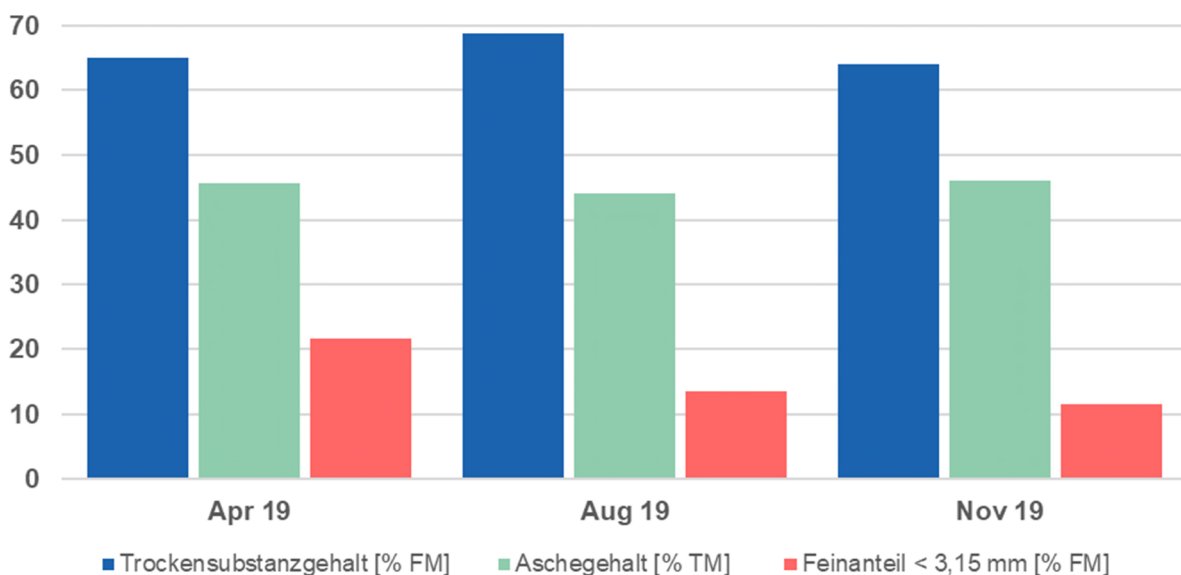


Abb. 33: Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebüberlaufs 25–100 mm, Anlage B

Die nahezu gleich hohen Trockensubstanz- und Aschegehalte der untersuchten Siebüberläufe spiegeln sich auch in vergleichbar hohen Brenn- und Heizwerten wider (Abb. 34). Der Heizwert im trockenen Zustand lag bei den Siebresten um ca. 10 MJ/kg TS und im Anlieferungszustand bei ca. 6 MJ/kg FM.

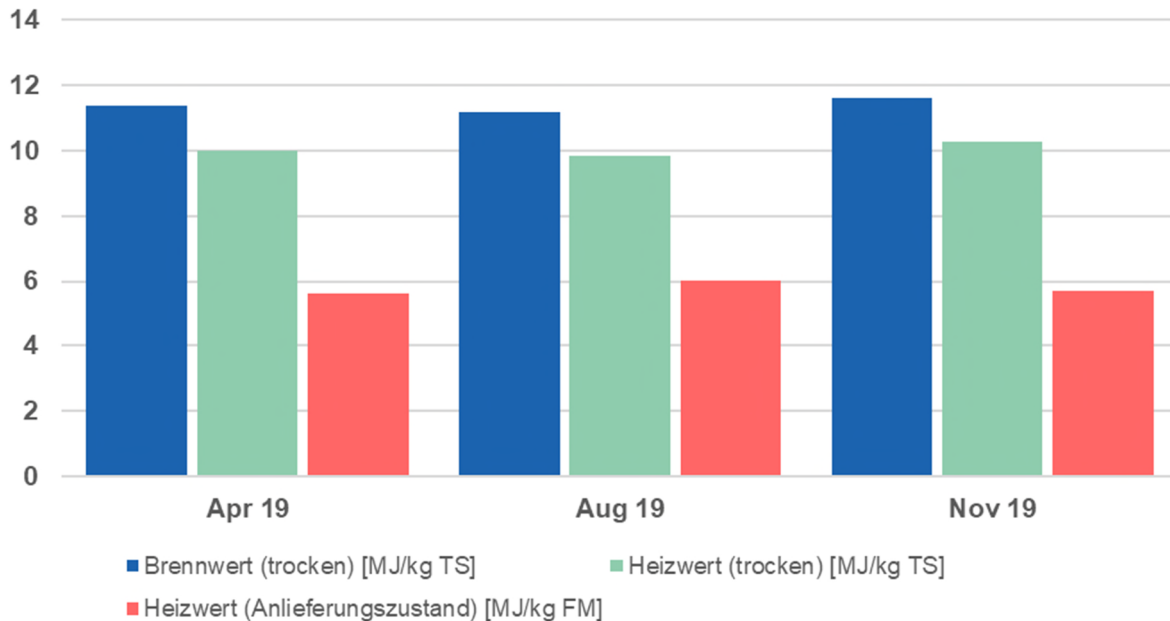


Abb. 34: Brenn- und Heizwerte des Siebüberlaufs 25–100 mm, Anlage B

Die Analysen des Siebdurchgangs < 25 mm der Anlage B ist in Tab. 5 zusammenfassend wiedergegeben. Bei der Beurteilung der Analyseergebnisse ist zu beachten, dass es sich hier um das Ausgangsmaterial für die folgende Kompostabsiebung handelt. Der Kompost wird bei einer Siebung mit einem Siebschnitt von 12 mm erzeugt und das Material 12–25 mm einer anderweitigen Verwertung zugeführt.

Während das Material von den Beprobungsterminen August und November die Grenzwerte für Fremdstoffe und den Flächensummenindex > 1 mm einhalten, wird der Grenzwert für Fremdstoffe in der Probe aus dem April 2019 deutlich überschritten. Auffällig ist hier vor allem der hohe Glas- und Hartkunststoffanteil. Das Material weist mit ca. 60 bis 78 % FM einen hohen Trockensubstanzgehalt auf. Der Trockensubstanzgehalt des Materials aus dem April liegt dabei auch deutlich über dem bestimmten Trockensubstanzgehalt des Siebüberlaufs dieses Analysetermins (Abb. 33). An den anderen Analyseterminen liegen die Trockensubstanzgehalte des Rohkomposts in ähnlichen Bereichen wie die des jeweiligen Siebüberlaufs 25–100 mm. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die untersuchten Siebüberläufe im Vergleich zu den analysierten Kompostproben im Hinblick auf die Fremdstoffgehalte und die weiteren Parameter über die drei Analysetermine wesentlich geringeren Schwankungen unterliegen.

Tab. 5: Analyseergebnisse Rohkompost < 25 mm, Anlage B

	Apr 19	Aug 19	Nov 19
Fremdstoffgehalt > 1 mm [Gew.-% TS]			
gesamt	1,03	0,28	0,16
Glas	0,62	0,02	0,13
Kunststoffe	0,41	0,13	0,02
Folienkunststoffe	0,02	0,06	0,02
Hartkunststoffe	0,39	0,07	0,00
Metall	0,00	0,13	0,01
Flächensummenindex > 1 mm [cm²/l]	13,0	13,0	7,0
Trockensubstanz [% FM]	78,2	72,6	60,9
organische Trockensubstanz [% TM]	57,5	30,5	42,5

An den Analyseterminen im August und November wurde neben dem Siebüberlauf 25–100 mm und dem Kompost < 25 mm auch der Siebrest > 100 mm, der vollständig der Entsorgung zugeführt wird, einer Sortieranalyse unterzogen. Abb. 35 zeigt die Ergebnisse der Analysen mit der Darstellung der ermittelten Gesamtfremdstoffgehalte > 20 mm. Trotz der Absiebung bei einem Siebschnitt von 100 mm waren im Mittel noch 35 Gew.-% der Siebreste kleiner als 80 mm und 20 Gew.-% kleiner 20 mm. Erwartungsgemäß ist der Anteil an groben Fremdstoffen, wie PPK und Folienkunststoffen, hoch, auch wenn der Anteil dieser starken Schwankungen zwischen den Analysezeitpunkten unterliegt. Das Biogut wird nicht zerkleinert und auch die Nachrotte in den Rotte-tunneln führt zu keiner weitergehenden mechanischen Beanspruchung, die zu einer Zerkleinerung der Fremdstoffe führen kann.

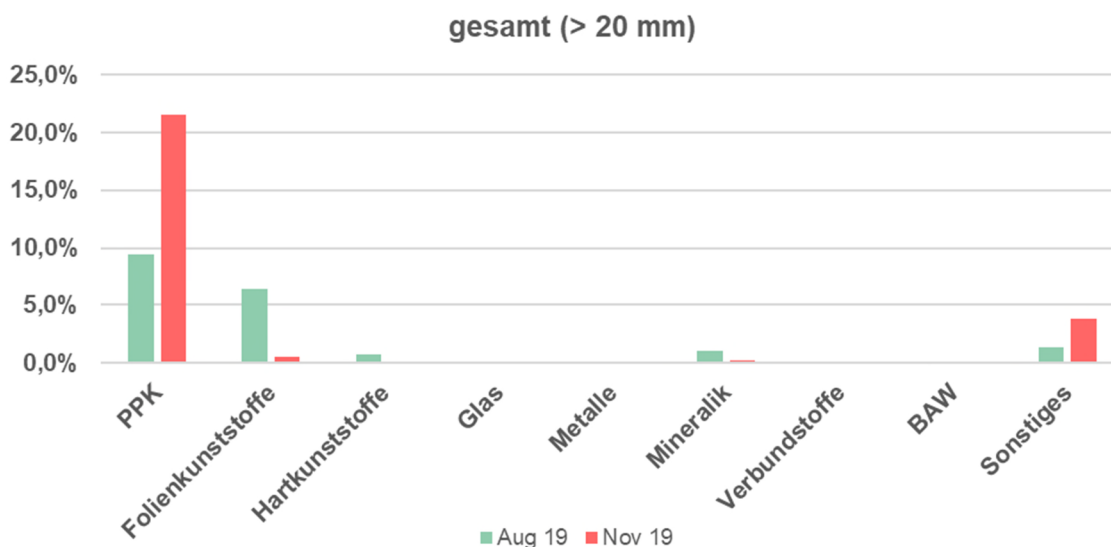


Abb. 35: Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebrest > 100 mm bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage B

4.7.3 Anlage C

In Anlage C werden die jährlich verwerteten 25.000 Mg Biogut zunächst in der Grobaufbereitung zerkleinert, eine Fe-Metallabscheidung durchgeführt und anschließend bei 80 mm abgesiebt (Abb. 36). Der erzeugte Siebüberlauf wird zunächst in Rotteboxen getrocknet und dann in einer MVA entsorgt. Dem Siebdurchgang wird vor der Vergärung in einem Pfropfenstromfermenter Grüngut zugemischt. Nach der Vergärung wird der entwässerte Gärrest zunächst in einer Tunnelrotte kompostiert und im Anschluss zu Dreiecksmieten aufgesetzt und nachgerottet. Die Kompostkonditionierung erfolgt durch die Absiebung in Trommelsieben bei Siebschnitten von 20 mm und 12 mm. Der Kompost wird im Wesentlichen als Fraktion 12 mm bis 20 mm landwirtschaftlich verwertet, nur ein kleiner Teil wird als Fraktion < 12 mm an Privatkunden abgegeben.

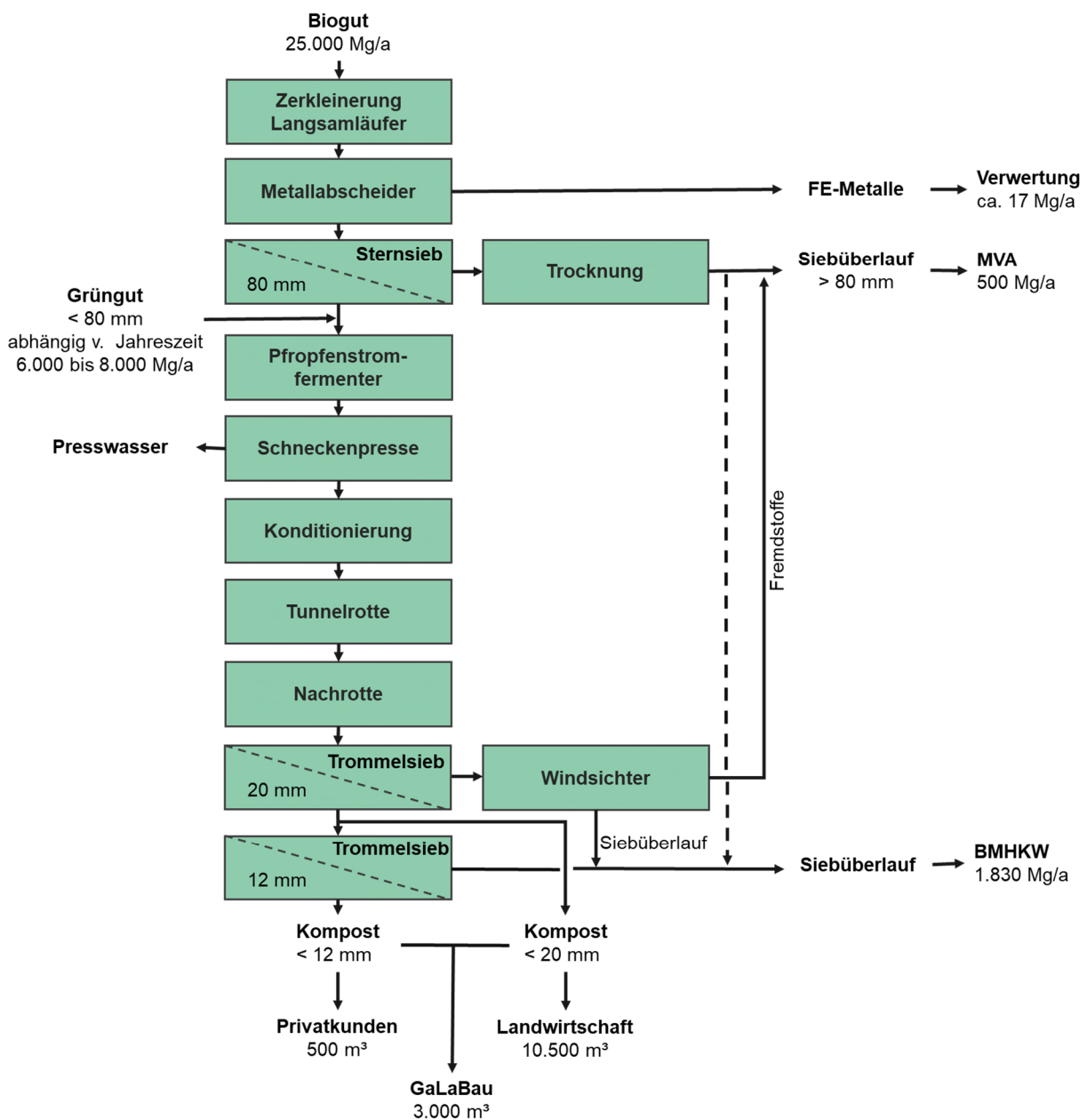


Abb. 36: Fließbild Anlage C

Der Siebüberlauf > 20 mm wird noch einer Windsichtung unterzogen und anschließend einer energetischen Verwertung in einem BMH(K)W zugeführt. Die Menge des zu entsorgenden Siebrests aus der Voraufbereitung des Bioguts betrug im Jahr 2018 rund 500 Mg, während bei der Kompostkonfektionierung ca. 1.800 Mg anfielen, die energetisch verwertet wurden. Im Projekt wurde der Siebrest 20–80 mm aus der Kompostkonfektionierung untersucht. Darüber hinaus wurde eine vereinfachte Analyse des Siebrests (> 80 mm) aus der Voraufbereitung des Bioguts durchgeführt.

In der nachfolgenden Abb. 37 ist die Zusammensetzung der Proben zu den drei Analyseterminen aufgezeigt. Der Anteil an Fremdstoffen beträgt zwischen 5 Gew.-% und 8 Gew.-%. Während im Mai kein PPK vorliegt, ist im August und Dezember ein Anteil von 2,5 Gew.-% zu sehen. Der Mineralikanteil beträgt im Mittel 3 Gew.-%. Während der Anteil an Feinkorn (ca. 30 Gew.-%) und Organik (ca. 63 Gew.-%) im August und Dezember sehr ähnlich ist, ist das Verhältnis im Mai zwischen Feinkorn (49 Gew.-%) und Organik (46 Gew.-%) relativ ausgeglichen.

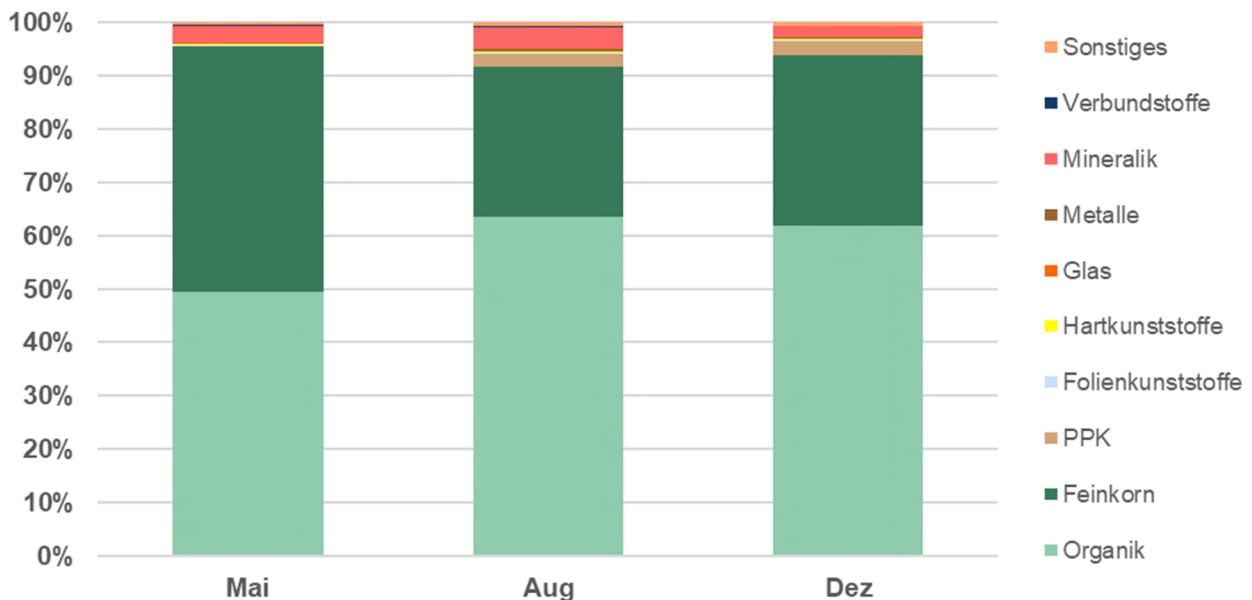


Abb. 37: Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage C

An Anlage C wurde als kleinster Siebschnitt der Siebanalysen entsprechend der Absiebung des Komposts in der Aufbereitungsanlage 20 mm gewählt. In Abb. 38 sind die mittleren Korngrößenverteilungen der untersuchten Siebreste der drei Analysetermine dargestellt. Es zeigt sich, dass die mittlere Korngrößenverteilung der Analyse im Mai deutlich von den Korngrößenverteilungen an den Analysetermin im August und Dezember abweicht. Im Mai wurde demnach ein mittlerer Feinkornanteil < 20 mm von fast 50 Gew.-% festgestellt, während dieser im August und Dezember etwa bei 30 Gew.-% lag. Der Anteil der Fraktion > 80 mm ist an den Analyseterminen im August und Dezember mit ca. 10 Gew.-% nahezu doppelt so groß wie an dem Analysetermin im Mai.

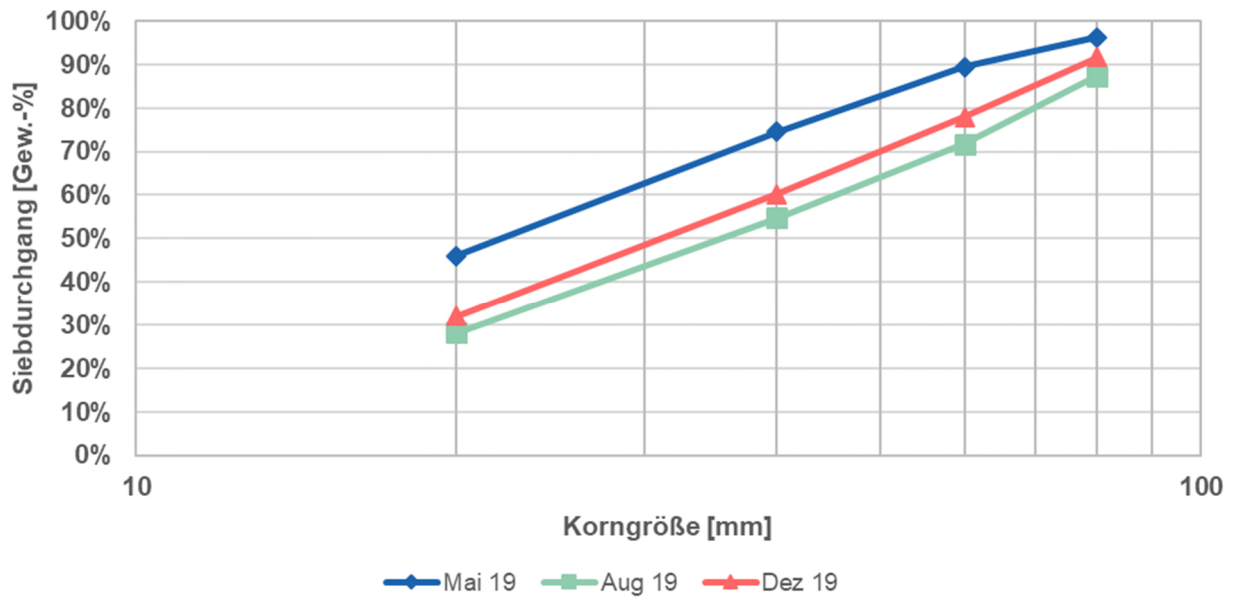


Abb. 38: Korngrößenverteilungen des Siebüberlaufs > 20 mm, Anlage C

Die Fremdstoffgehalte im Siebschnitt > 80 mm für den Siebüberlauf von Mai, August und Dezember sind in Abb. 39 dargestellt. Der Gesamtanteil der Fraktion > 80 mm ist aufgrund der Voraufbereitung und Absiebung des Bioabfalls bei 80 mm sowie der relativ langen Vergärungs- und Rottezeiten und dem Umsetzen mittels mobilem Umsetzer in der Nachrotte erwartungsgemäß klein. Auffällig ist bei der Analyse im August der hohe Mineralikanteil (1,3 Gew.-%) während ansonsten vor allem PPK mit bis zu 0,7 Gew.-%, aber auch Folienkunststoffe und sonstige Fremdstoffe mit signifikanten Anteilen aufzufinden sind. Hartkunststoffe, Glas und Metalle sind hingegen nicht enthalten.

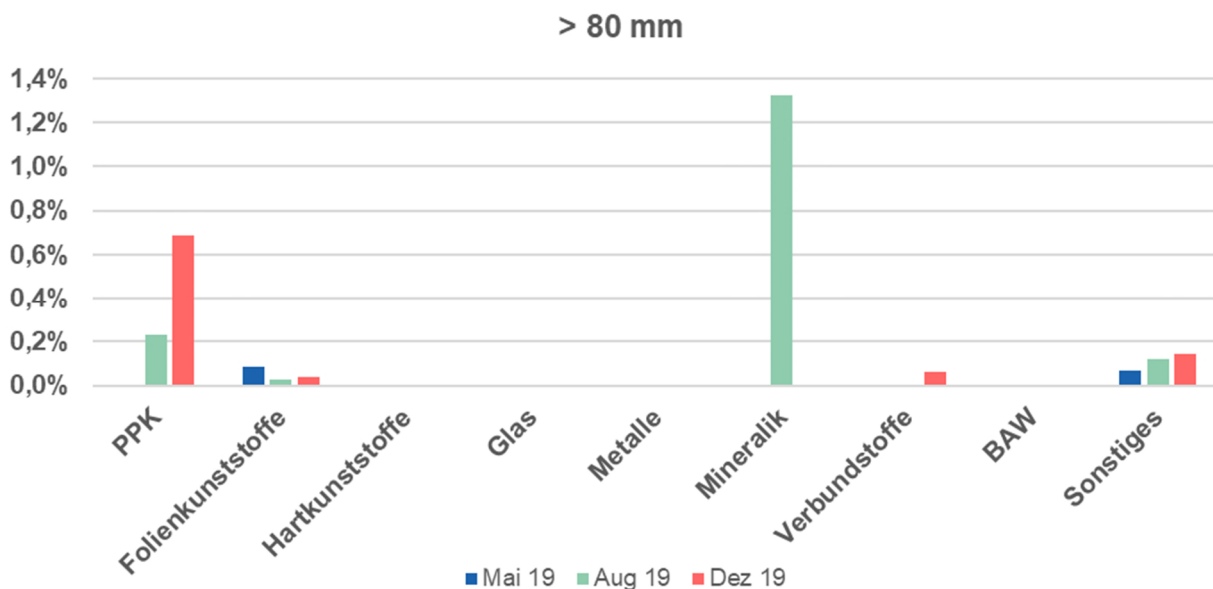


Abb. 39: Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C

Wie in Abb. 40 zu sehen, sind in der Siebfraktion 60–80 mm weitaus mehr Fremdstoffe. Den größten Anteil weist hierbei die PPK-Fraktion auf. Im August beinhaltet die Probe über 0,7 Gew.-%, während im Dezember nur ca. die Hälfte vorzufinden ist. Grund für den hohen Anteil an PPK im August sind feuchte PPK-Stücke. Folien- und Hartkunststoffe fallen mit im Mittel 0,2 Gew.-% in

gleichem Umfang an. Der Ausreißer der Metallfraktion im August ist durch ein einzelnes Metallteil zu begründen. Der Mineralikanteil im Mai wird durch einen einzelnen Stein verursacht. Glas ist in den Proben an keinem Analysetermin enthalten.

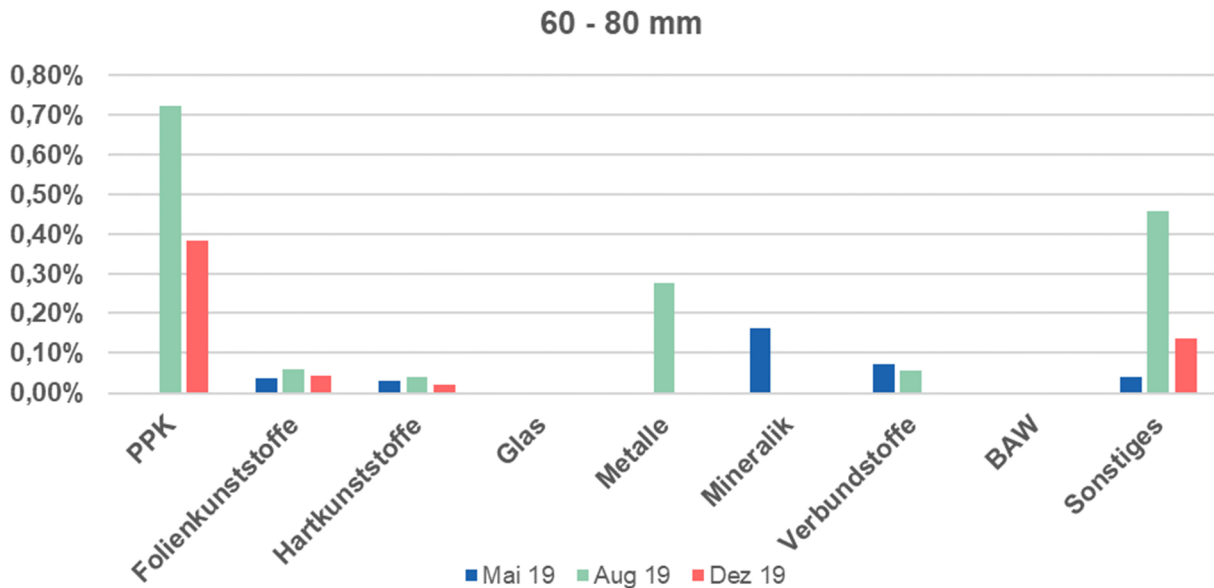


Abb. 40: Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C

Die Siebfraktion 40–60 mm hat, wie in Abb. 38 beschrieben, mit im Mittel ca. 18 Gew.-% einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtmasse als die davor aufgezeigten Siebfraktionen. Den größten Anteil an den Proben weisen mit ca. 0,6 Gew.-% die Fraktionen PPK und Mineralik auf (Abb. 41). Lediglich im Mai ist die Mineralikfraktion nahezu doppelt so groß. Dies ist auf größere Steine in einer Einzelprobe des Analysetermins zurückzuführen. Folien- und Hartkunststoffe fallen in einem ähnlichen Verhältnis wie in der Siebfraktion 60–80 mm an. Glas und Metalle sind in einem relativ kleinen Umfang von bis 0,1 Gew.-% verteilt über die Analysetermine vorhanden.

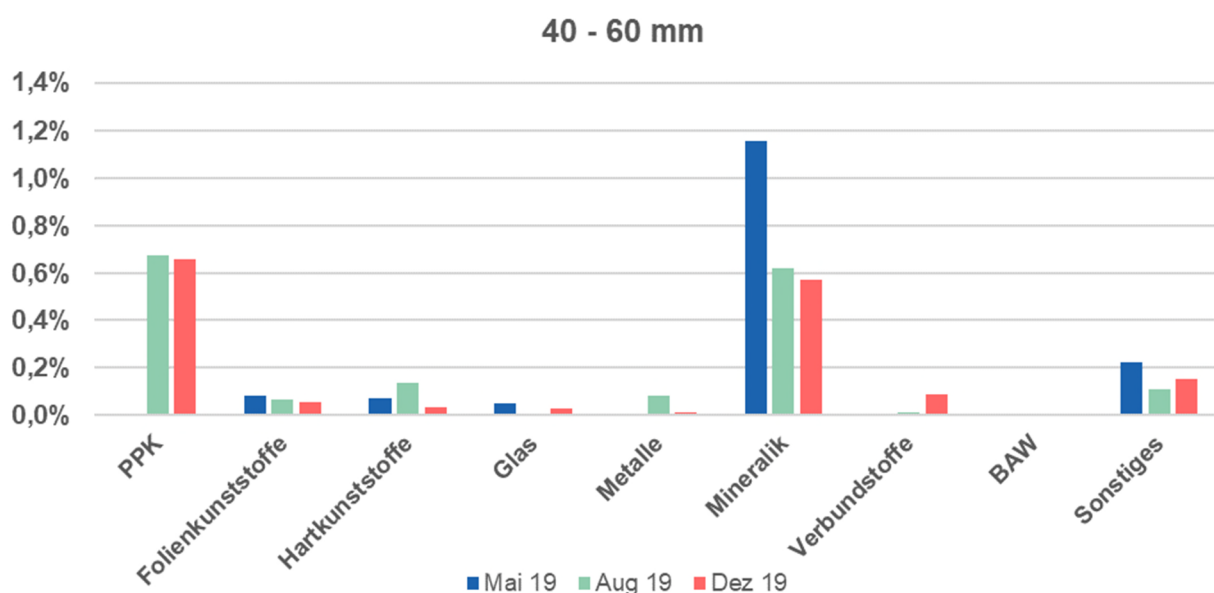


Abb. 41: Fremdstoffgehalte (40–60 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C

In der Siebfraktion 20–40 mm wurden ebenfalls alle Fremdstoffgruppen aufgefunden (Abb. 42). Die Mineralikfraktion lag bei allen Analysentermine in einer etwa gleich hohen Größenordnung mit im Mittel 1,9 Gew.-% vor und ist die größte Fremdstofffraktion. Während die PPK-Fraktion mit Anteilen bis zu 1,1 Gew.-% vorliegt, sind die weiteren Fremdstofffraktion nur mit Anteilen von weniger als 0,1 Gew.-% enthalten.

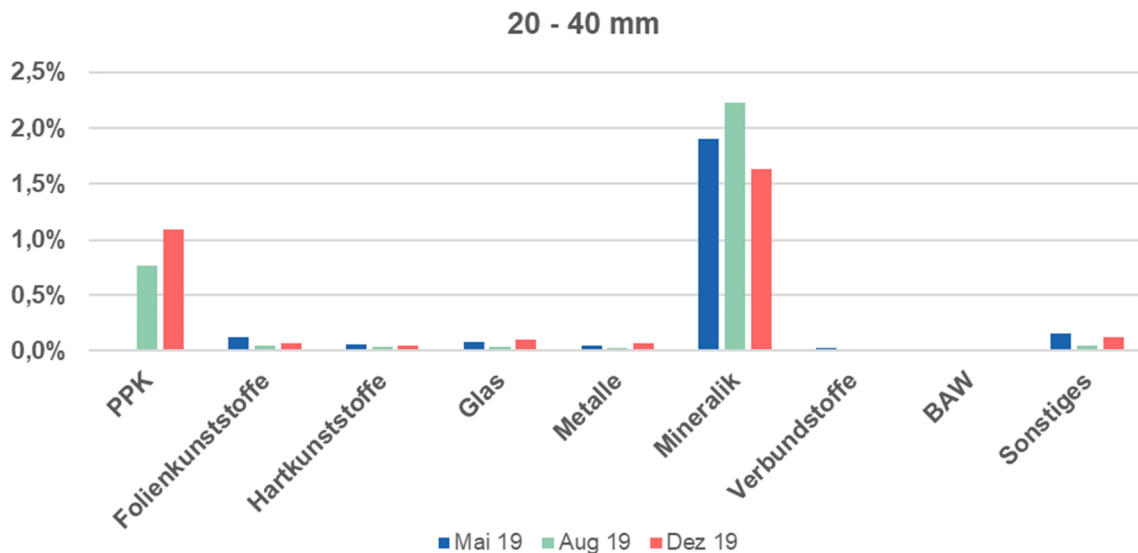


Abb. 42: Fremdstoffgehalte (20–40 mm) im Siebüberlauf bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C

Die Gesamtbetrachtung der aussortierten Fremdstoffe in den Siebresten > 20 mm über die drei Analysentermine zeigt Abb. 43. Der Mineralikanteil schwankt zwischen ca. 2 Gew.-% und 4 Gew.-% und bildet zusammen mit der PPK-Fraktion die Fremdstoffe mit den größten Anteilen. Die Anteile der weiteren Fremdstofffraktionen betragen weniger als ca. 0,5 Gew.-%. Folienkunststoffe machten im Mittel 0,25 Gew.-% bezogen auf die Gesamtmasse der analysierten Siebreste aus. Der mittlere Anteil an Hartkunststoffen liegt mit ca. 0,2 Gew.-% geringfügig darunter. Neben der Mineralik- und PPK-Fraktion sind die größten Fremdstofffraktion mit ca. 0,5 bis 0,7 Gew.-% sonstige Fremdstoffe.

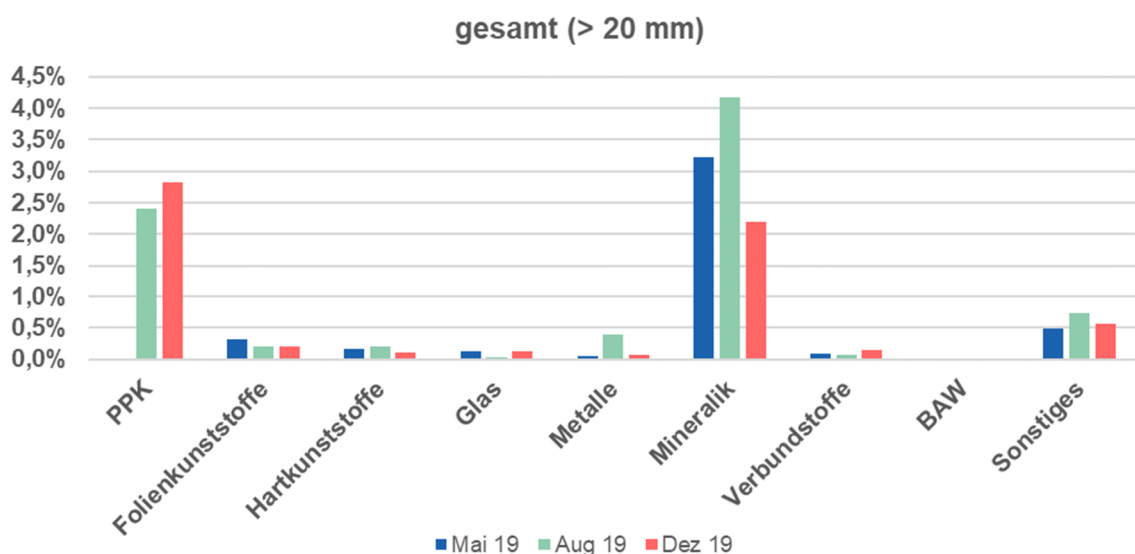


Abb. 43: Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebüberlauf > 20 mm bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C (Mittelwerte aus je drei Durchgängen)

Die Analysen zeigen, dass die Siebreste im Mai und Dezember mit einem Trockensubstanzgehalt von nur ca. 46 % FM bzw. 49 % FM sehr feucht waren (Abb. 44). Dies deutet daraufhin, dass keine optimale Absiebung des Rohkomposts möglich war, was insbesondere der hohe Feinkornanteil < 20 mm der Korngrößenanalysen im Mai zeigt. Der Siebrest aus dem August weist mit 62 % FM den höchsten Trockensubstanzgehalt jedoch auch den geringsten Aschegehalt (ca. 14 % TM) sowie den geringsten Feinkornanteil < 3,15 mm auf. Dies spricht dafür, dass im Vergleich die Absiebung im Sommer effizienter war.

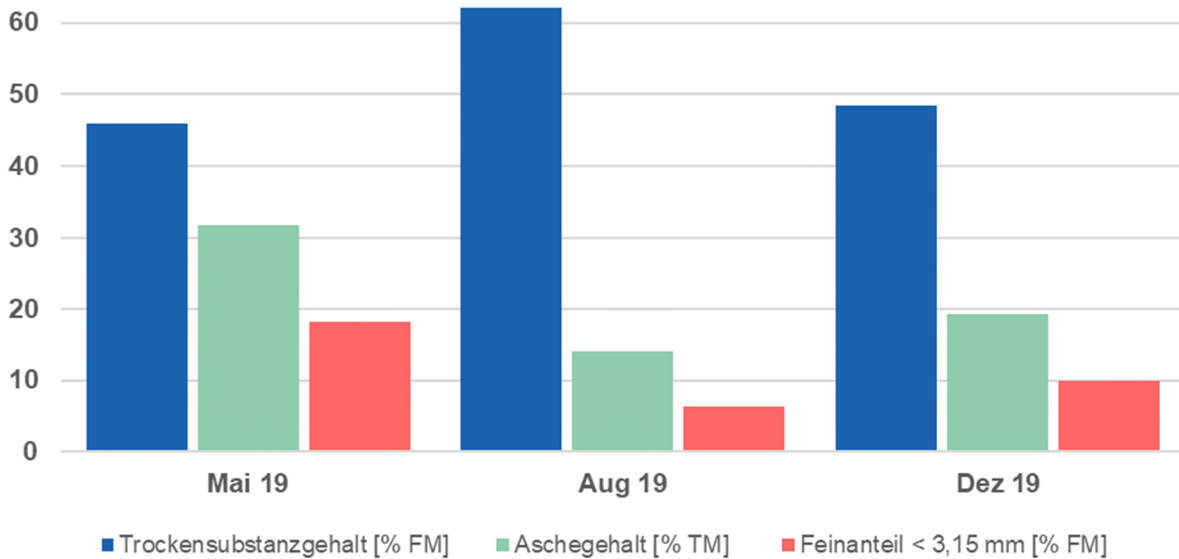


Abb. 44: Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebüberlaufs > 20 mm, Anlage C

Aufgrund des hohen Wassergehalts und des möglicherweise damit einhergehenden hohen Feinkorn- und Aschegehalts weist der Siebrest aus dem Mai mit ca. 13 MJ/kg TS den geringsten Heizwert auf (Abb. 45). Der höchste Heizwert im trockenen Zustand liegt mit rund 16 MJ/kg TS bei dem Siebrest aus dem August vor. Der Heizwert des Siebrests aus dem Dezember lag jedoch nur geringfügig darunter.

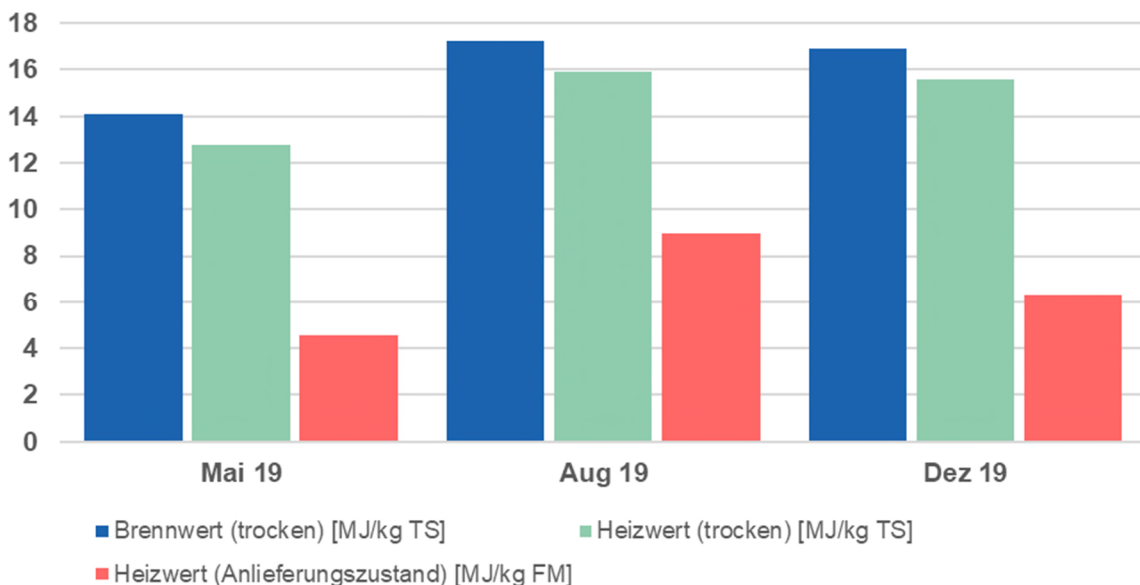


Abb. 45: Brenn- und Heizwerte des Siebüberlaufs > 20 mm, Anlage C

In Tab. 6 sind die Ergebnisse der Kompostanalysen von den drei Analyseterminen aufgeführt. In allen drei Proben wurden Folienkunststoffe und Glas identifiziert. In der Kompostprobe aus dem Dezember war der Fremdstoffgehalt besonders hoch, was auf einen insbesondere hohen Glasanteil zurückzuführen ist. In den Kompostproben aus dem Mai und Dezember trugen auch Metalle wesentlich zum Gesamtfremdstoffgehalt bei. Die Kompostprobe aus dem August weist ebenso wie der Siebrest den höchsten Trockensubstanzgehalt auf. Der Trockensubstanzgehalt des Komposts aus dem Mai und Dezember liegt deutlich darunter.

Tab. 6: Analyseergebnisse Kompost < 20 mm, Anlage C

	Mai 19	Aug 19	Dez 19
Fremdstoffgehalt > 1 mm [Gew.-% TS] gesamt	0,14	0,16	0,50
Glas	0,08	0,14	0,37
Kunststoffe	0,05	0,02	0,06
Folienkunststoffe	0,04	0,01	0,06
Hartkunststoffe	0,01	0,01	0,00
Metall	0,02	0,00	0,07
Flächensummenindex > 1 mm [cm²/l]	6,3	7,0	8,0
Trockensubstanz [% FM]	48,2	58,0	42,3
organische Trockensubstanz [% TM]	48,4	43,3	52,1

Im Dezember wurde neben der Sortieranalyse in der Rohkompost-Aufbereitung auch eine Sortieranalyse des Siebrests aus der Voraufbereitung des Bioguts durchgeführt. Bedingt durch die Vorabsiebung (> 80 mm) ist nur ein relativ kleiner Teil mit Korngröße < 80 mm im Siebrest von ca. 23 Gew.-% festzustellen. Im Siebrest ist ein Anteil mit Korngröße < 20 mm von weniger als 7 Gew.-% vorhanden. Im Siebrest sind unter Betrachtung der gesamten Fremdstoffzusammensetzung vor allem flächige Fremdstoffe wie PPK (15 Gew.-%) und Folienkunststoffe (4,5 Gew.-%) vorzufinden (Abb. 46). Einen signifikanten Anteil macht darüber hinaus nur Sonstiges mit 7,5 Gew.-% aus.

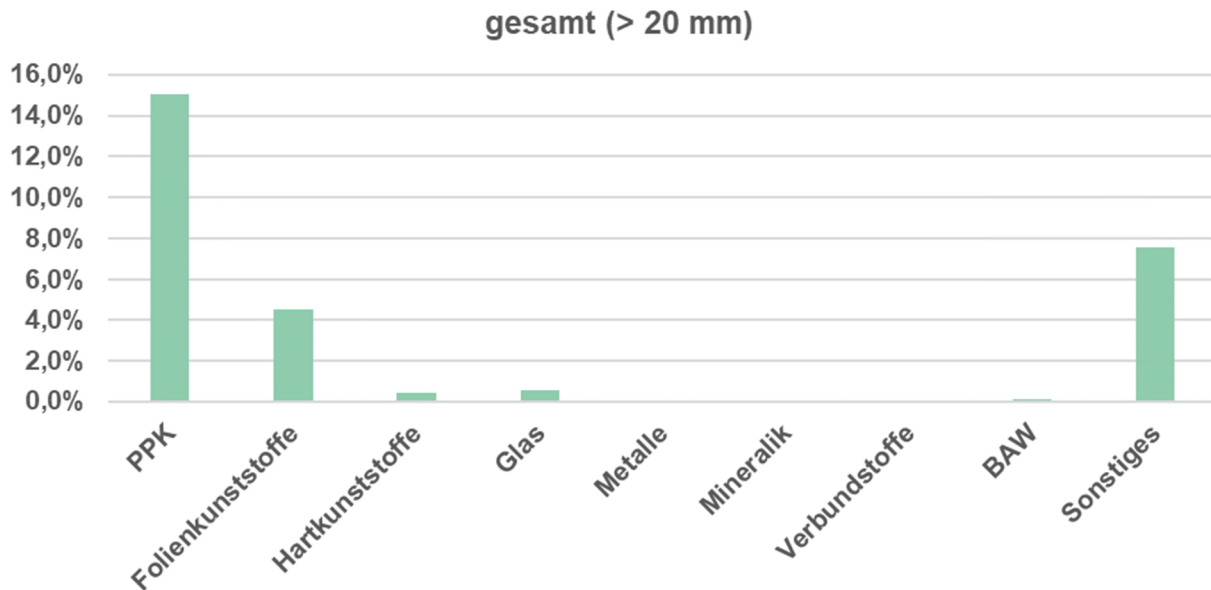


Abb. 46: Fremdstoffgehalte (gesamt > 20 mm) im Siebüberlauf > 80 mm aus Voraufbereitung, bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage C

4.7.4 Anlage D

In Anlage D werden jährlich ca. 50.000 Mg Bioabfall in einer Tunnelrotte verarbeitet (Abb. 47). Zwischen der Intensiv- und Nachrotte findet eine Zerkleinerung des Rottematerials mit einem langsamlaufenden Zerkleinerer statt. Das Kompostmaterial wird nach einer Metallabscheidung mittels Sternsieb bei 70 mm abgesiebt. Der Überlauf wird per Windsichtung, Steinfalle und NIR-Technik aufbereitet und wieder in den Rotteprozess rückgeführt. Der Siebdurchgang gelangt auf ein 15 mm Sternsieb. Die Siebfraction (9.300 Mg/a) wird energetisch im BMH(K)W verwertet. Die Kompostfraction < 15 mm wird nach einer weiteren Abtrennung von Schwerstoffen landwirtschaftlich verwertet. Die Summe aller abgetrennten Fremdstoffe (Metalle, Kunststoffe, Mineralik) beträgt etwa 1.800 Mg/a. Der Fokus bei den durchgeführten Analysen lag auf dem Siebrest 15–70 mm.

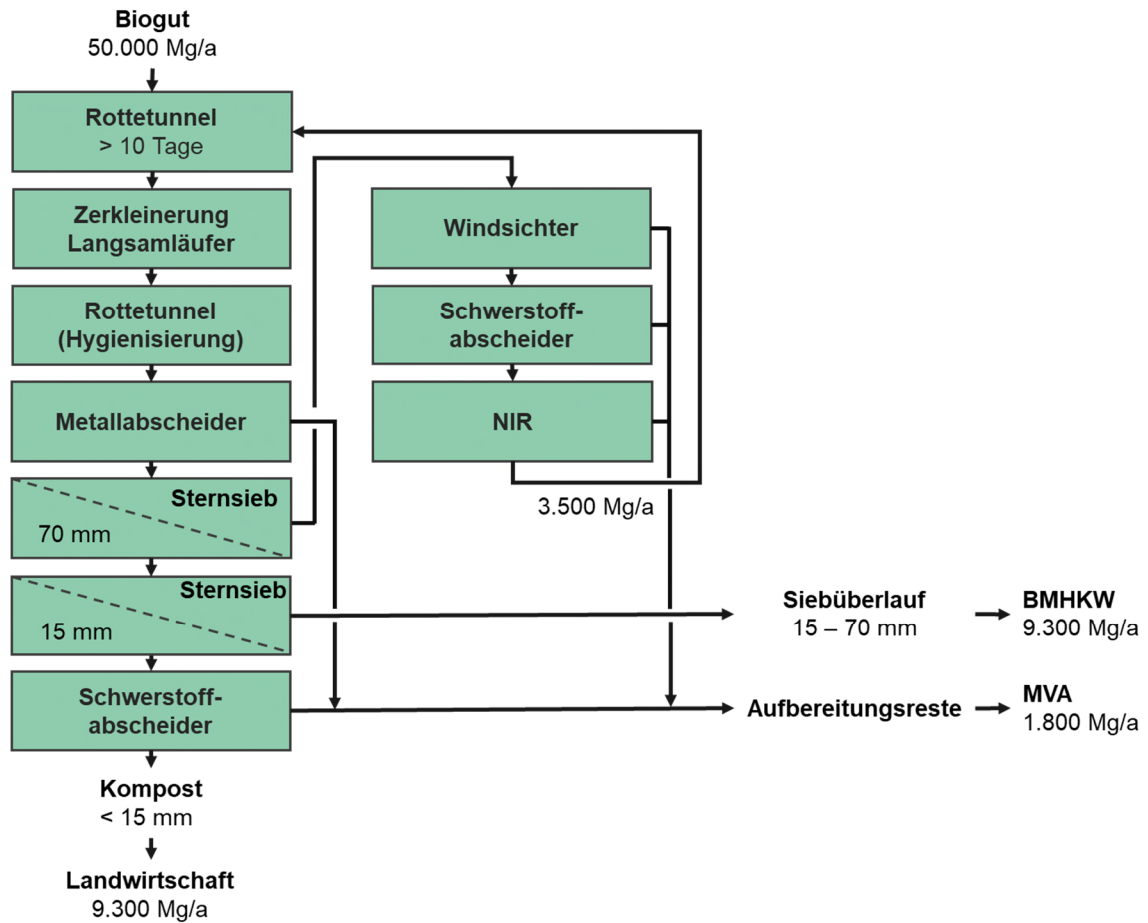


Abb. 47: Fließbild Anlage D

In der nachfolgenden Abb. 48 ist die Zusammensetzung der analysierten Siebüberläufe aufgezeigt. Die Fremdstofffraktionen weisen bei den zwei Analyseterminen, mit Ausnahme der Mineralikfraktion, eine weitestgehend konstante Zusammensetzung auf. Im September beträgt der Anteil der Mineralik 13 Gew.-%, während im Dezember nur 3 Gew.-% zu verzeichnen sind. An beiden Analyseterminen etwa gleich mit ca. 38 Gew.-% liegt Organik vor. Der Anteil der Feinkornfraktion schwankt hingegen. Während im September ca. 43 Gew.-% Feinkorn zu verzeichnen sind, ist der Anteil im Dezember um 10 Gew.-% höher.

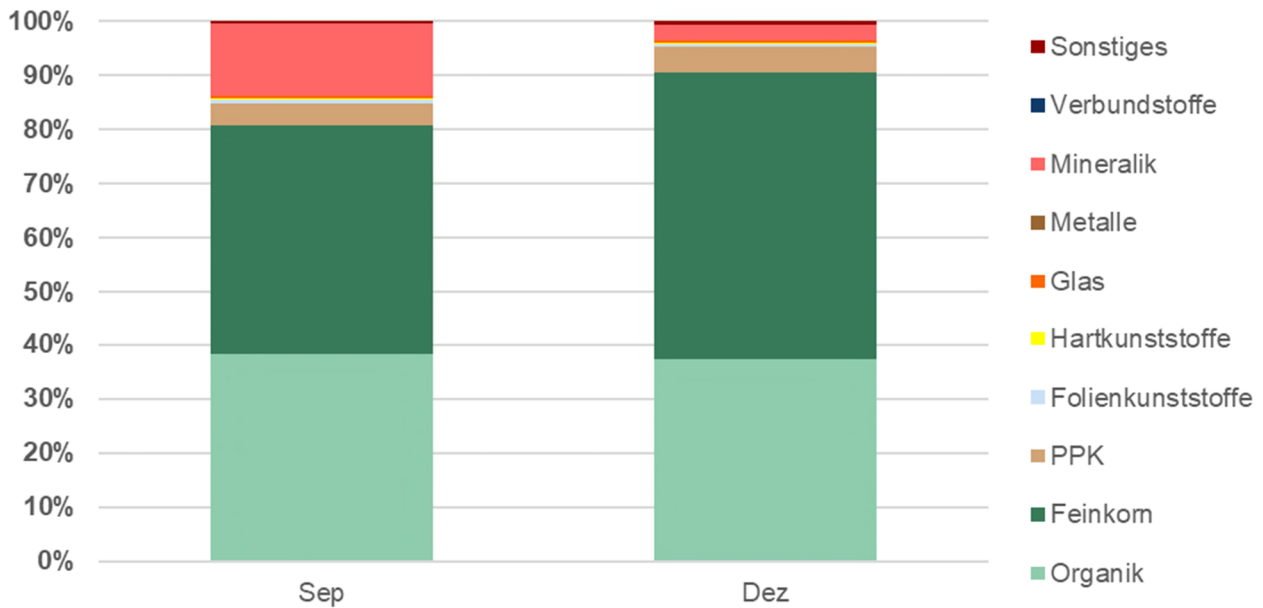


Abb. 48: Zusammensetzung der Proben zu den Analyseterminen, Anlage D

Der kleinste Siebschnitt wurde entsprechend der Absiebung mittels Sternsieb auf der Anlage D für die Analyse bei 15 mm durchgeführt.

Die mittleren Korngrößenverteilungen der Siebreste 15–70 mm liegen für die Analysetermine im September und Dezember relativ nahe beieinander (Abb. 49). Der Anteil der Fraktion > 80 mm ist im Dezember mit weniger als 5 Gew.-% gering. Im September konnte kein Material > 80 mm erfasst werden. Ein weiterer Unterschied zeigt sich beim Feinkornanteil < 15 mm, der im Dezember mit ca. 53 Gew.-% um ca. 10 Gew.-% im Vergleich zum September größer ist.

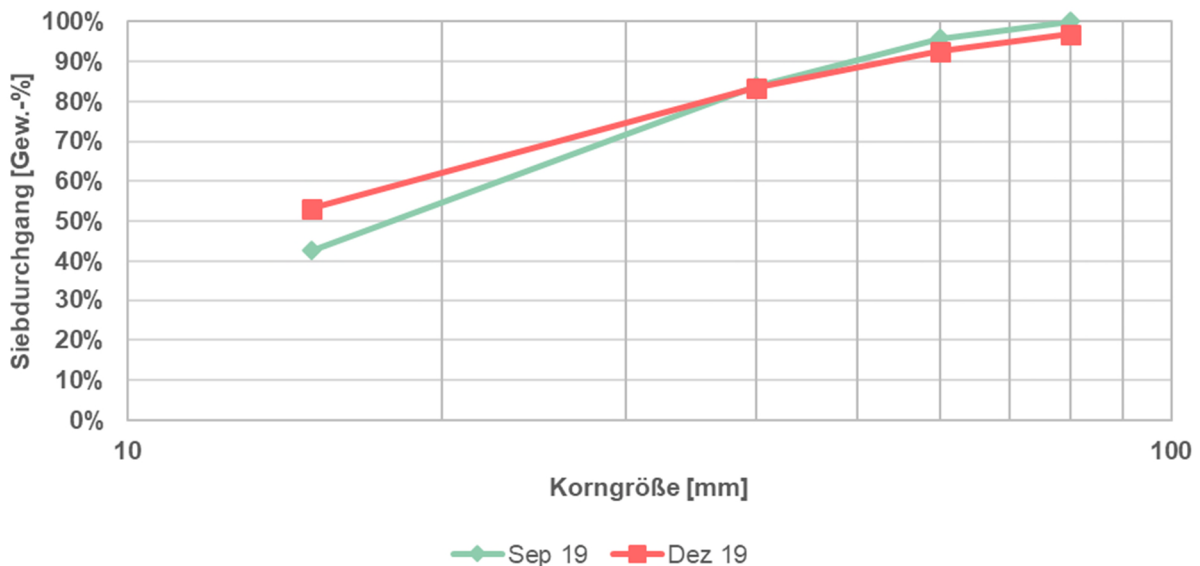


Abb. 49: Korngrößenverteilungen des Siebrests 15–70 mm, Anlage D

Wie in Abb. 50 aufgezeigt, konnte nur im Dezember Material mit Korngröße > 80 mm erfasst werden. Diese Siebfraktion enthält nur einen geringen Fremdstoffanteil. Die Fremdstoffe bestehen aus PPK, Folienkunststoffe und Sonstiges (Abb. 50), welche in ihrer Beschaffenheit flächig bzw. langfaserig sind. Der Gesamtanteil der Fremdstoffe ist mit 0,34 Gew.-% im Vergleich zu den folgenden Siebschnitten gering.

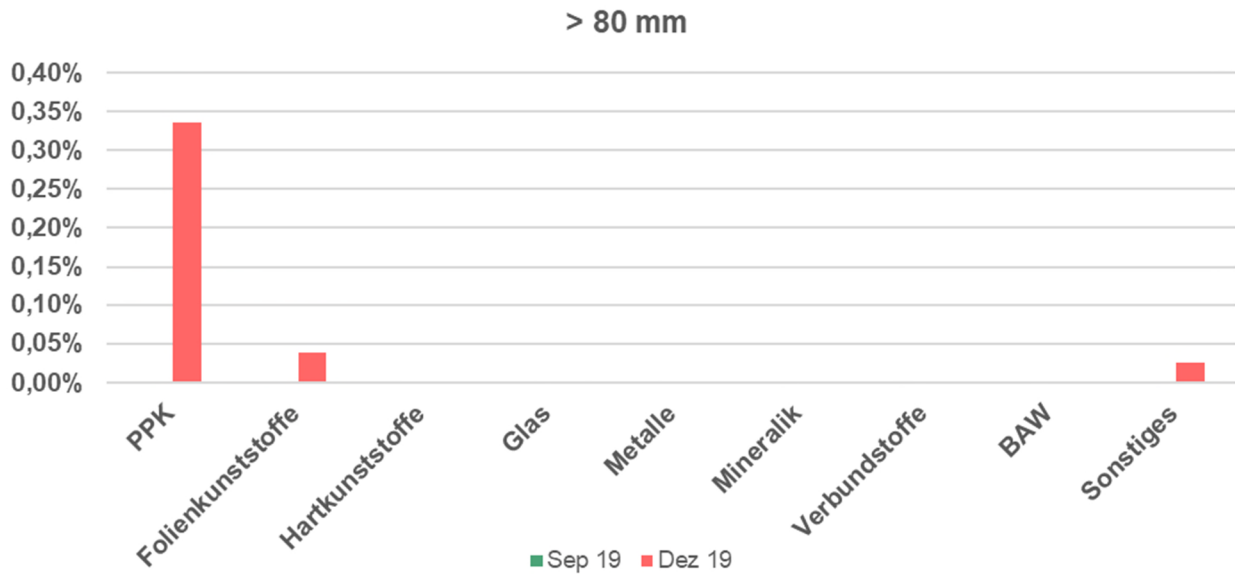


Abb. 50: Fremdstoffgehalte (> 80 mm) im Siebrest, bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D

In der Siebfraktion 60–80 mm waren neben PPK (ca. 0,6 Gew.-%) vor allem Folienkunststoffe und sonstige Fremdstoffe in ähnlich hohen Anteilen aufzufinden (Abb. 51). Zusätzlich konnten noch geringe Anteile an Hartkunststoffen und Glas erfasst werden. In den Siebresten der Anlage D wurden, wie auch die Ergebnisse der weiteren Siebschnitte der Sortieranalyse zeigten, geringe Anteile von BAW-Kunststoffen vorgefunden.

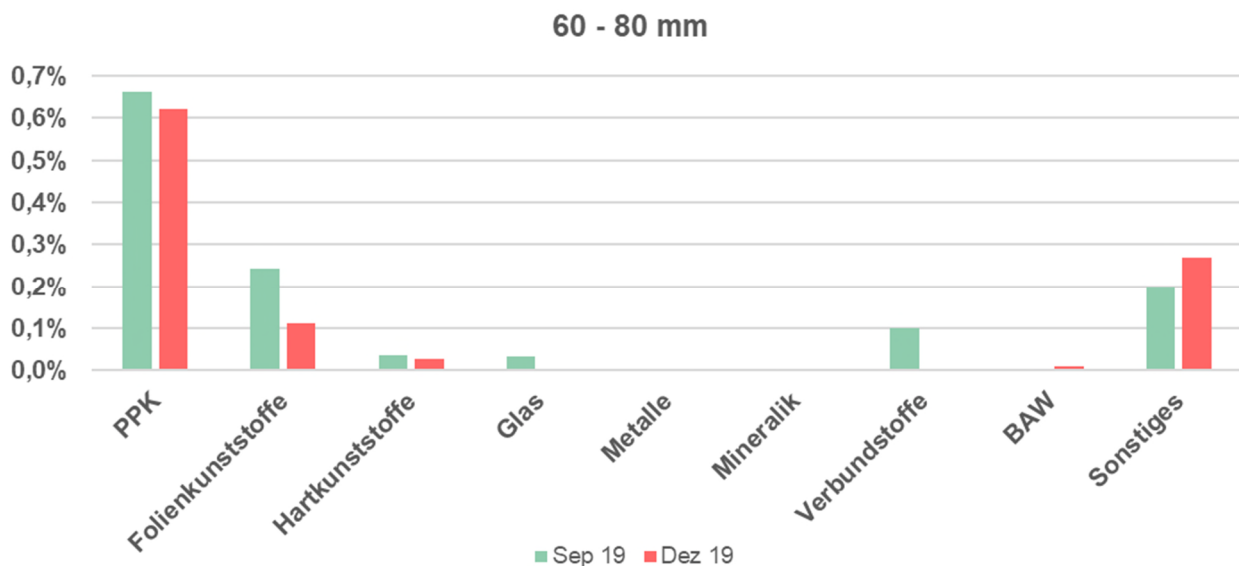


Abb. 51: Fremdstoffgehalte (60–80 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D

Wie in Abb. 52 aufgezeigt, macht im Siebschnitt 40–60 mm die Mineralikfraktion im September mit 1,9 Gew.-% den größten Anteil aus, während bei der zweiten Analyse keine Mineralik vorzufinden ist. PPK ist an beiden Analyseterminen mit einem Anteil von ca. 1,1 Gew.-% vorzufinden. Der Anteil an Folien- und Hartkunststoffen liegt zu beiden Analyseterminen im Mittel bei ca. 0,2 Gew.-%. Glas und Metalle wurden in dieser Siebfraktion hingegen nicht vorgefunden.

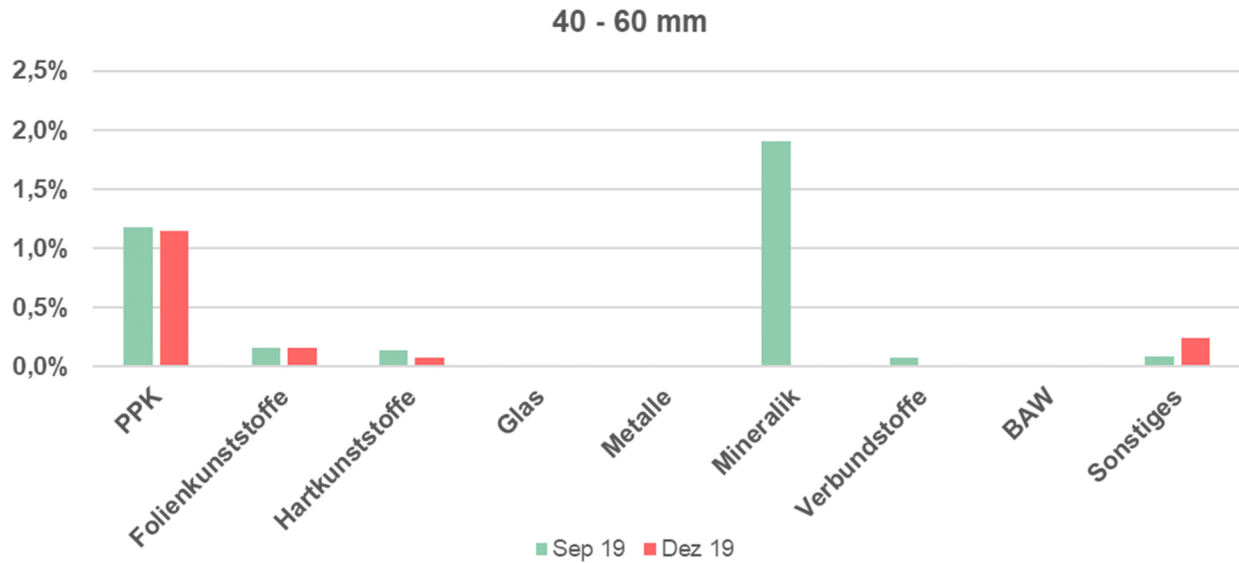


Abb. 52: Fremdstoffgehalt (40–60 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D

Wie in Abb. 49 aufgezeigt, weist die Siebfraktion 15–40 mm mit bis zu 40 Gew.-% im Vergleich zu den anderen Siebfraktionen einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtmasse auf. Auffällig ist vor allem der hohe Mineralikanteil von rund 11 Gew.-% bei der Analyse im September (Abb. 53). Dieser wird durch mehrere Steine verursacht und kann nicht auf einen Ausreißer zurückgeführt werden. Der Mineralikanteil ist beim Analysetermin im Dezember mit 3 Gew.-% wesentlich kleiner. In der Siebfraktion 15–40 mm wurden alle Fremdstoffgruppen vorgefunden, wobei der Glasanteil mit 0,4 Gew.-% und der Anteil an Folienkunststoffen mit etwa 0,2 Gew.-% relevante Anteile ausmachen.

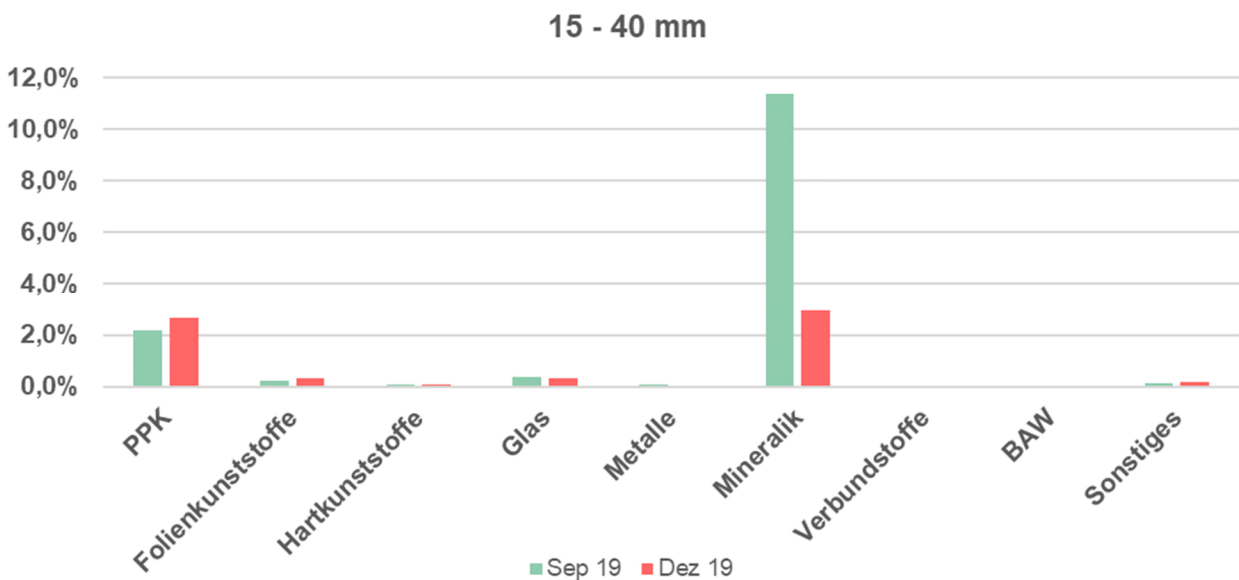


Abb. 53: Fremdstoffgehalte (15–40 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D

Die Fremdstoffanteile für die Siebreste 15–70 mm sind in Abb. 54 dargestellt. Hier wird noch einmal deutlich, dass neben der Mineralik hauptsächlich PPK mit signifikanten Anteilen enthalten ist. Augenfällig ist besonders der hohe Mineralikanteil im September. In den Siebresten sind jedoch auch die weiteren Fremdstoffe, wie Folien-, Hartkunststoffe und Glas, in ebenfalls nicht unerheblichen Anteilen enthalten.

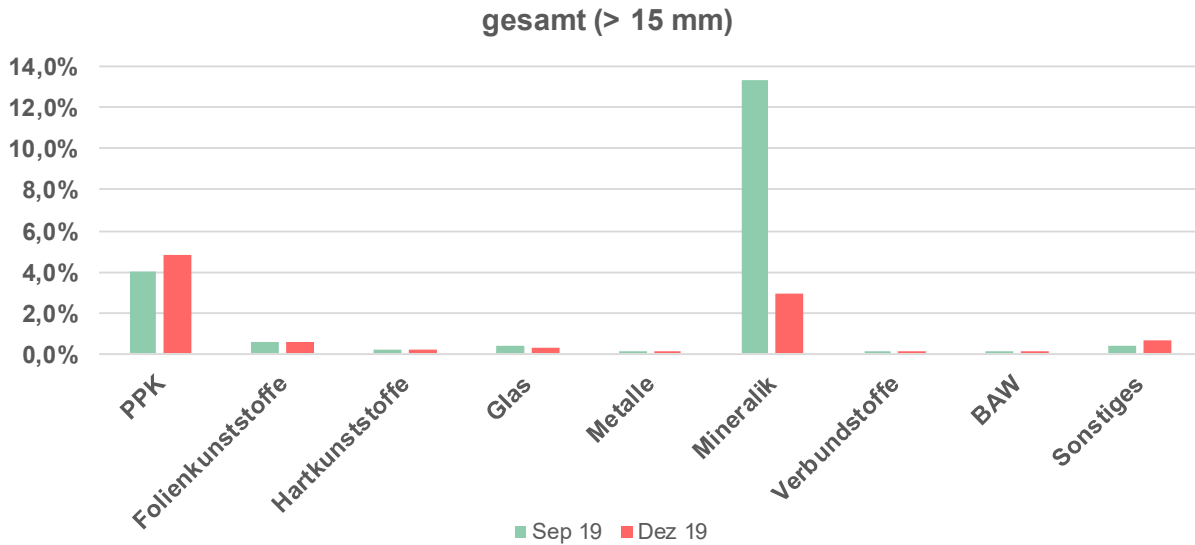


Abb. 54: Fremdstoffgehalte (gesamt > 15 mm) im Siebrest bezogen auf die Gesamtmasse, Anlage D

Der ermittelte Aschegehalt des Siebrests beträgt ca. 36 bis 38 % TM (Abb. 55). Der im Vergleich zum Winter etwas höhere Aschegehalt im Sommer könnte auf den festgestellten höheren Mineralikanteil dieses Siebrests zurückzuführen sein. Der Feinkornanteil < 3,15 mm unterscheidet sich im Gegensatz zum Feinkornanteil < 15 mm (Abb. 49) erheblich. Dies lässt auf einen weitaus höheren Anteil an Feinkorn von 3,15–15 mm schließen.

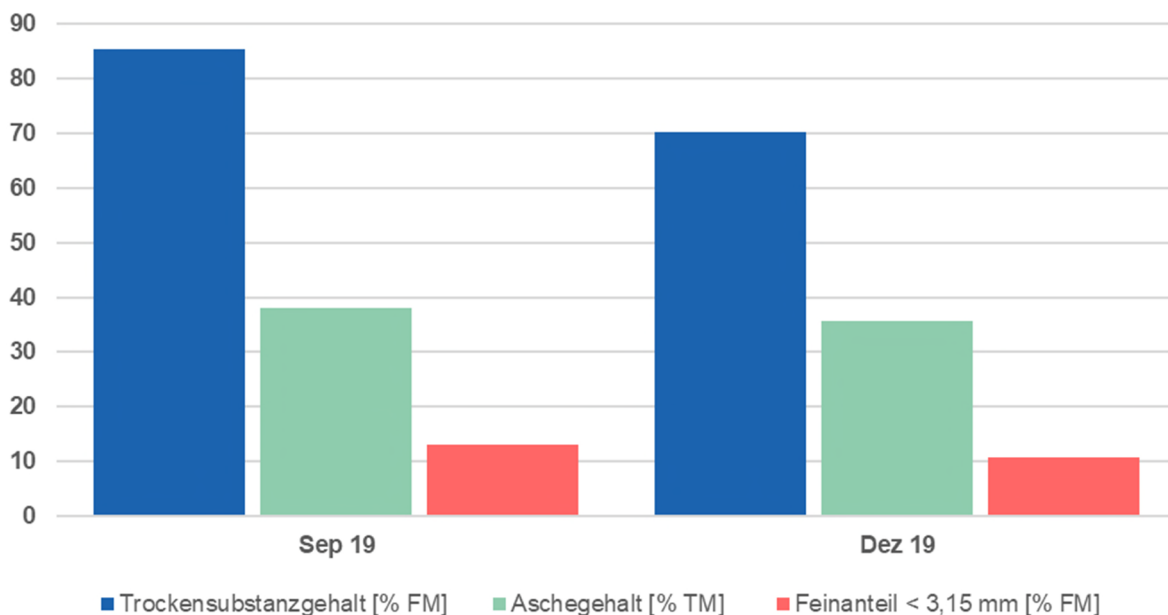


Abb. 55: Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil < 3,15 mm des Siebrests 15–70 mm, Anlage D

Der Heizwert im trockenen Zustand des Siebrests 15–70 mm aus dem Dezember ist geringfügig höher als der Heizwert des Siebrests aus dem September (Abb. 56). Eine Ursache hierfür kann im geringeren Aschegehalt des Siebrests aus dem Dezember liegen. Im Anlieferungszustand hat der Siebrest aus dem September aufgrund des deutlich geringeren Wassergehalts einen höheren Heizwert (10 MJ/kg FM) im Vergleich zu den Siebresten aus dem Dezember (ca. 8 MJ/kg FM). Aufgrund der bereits hohen Trockensubstanzgehalte ist durch eine weitgehende Trocknung des Siebrests nur eine geringe Steigerung des Heizwerts möglich. Die hohen Asche- bzw.

Feinkorngehalte lassen vermuten, dass durch eine weitere Feinabsiebung des Siebrests 15–70 mm eine deutliche Steigerung des Heizwerts zu erreichen ist.

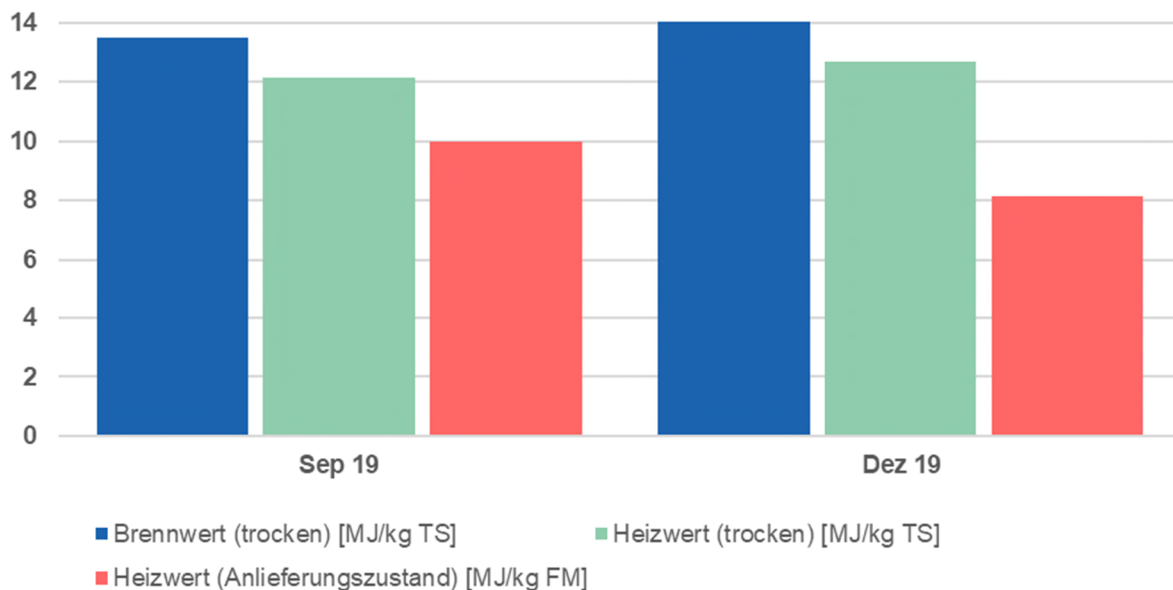


Abb. 56: Brenn- und Heizwerte des Siebrests 15–70 mm, Anlage D

Die Analyse des Komposts < 15 mm ergab zum Analysetermin im September einen äußerst geringen Fremdstoffanteil (Tab. 7), während der Kompost aus dem Dezember mit 0,14 Gew.-% TS einen durchschnittlichen Fremdstoffgehalt aufweist. Der höhere Fremdstoffgehalt des Komposts aus dem Dezember ist im Wesentlichen auf den Glasanteil zurückzuführen. Der geringe Anteil an Folienkunststoffen spiegelt sich ebenfalls im niedrigen Flächensummenindex wider. Die hohen Trockensubstanzgehalte der Komposte sind erwartungsgemäß mit den jeweiligen Werten der zugehörigen Siebreste vergleichbar.

Tab. 7: Analysenergebnisse Kompost < 15 mm, Anlage D

	Sep 19	Dez 19
Fremdstoffgehalt > 1 mm [Gew.-% TS]		
gesamt	0,02	0,15
Glas	0,01	0,14
Kunststoffe	0,01	0,01
Folienkunststoffe	0,01	0,01
Hartkunststoffe	<0,01	<0,01
Metall	0,00	<0,01
Flächensummenindex > 1 mm [cm²/l]	4,0	4,0
Trockensubstanz [% FM]	84,1	76,3
organische Trockensubstanz [% TM]	44,5	57,6

4.7.5 Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse

Die untersuchten Anlagen weisen Durchsatzleistungen von etwa 8.000 Mg/a bis 50.000 Mg/a Biogut auf und unterscheiden sich sowohl in den biologischen Behandlungsverfahren als auch den Verfahrensschritten zur Aufbereitung des Bioguts und der Siebreste vor und nach der biologischen Behandlung. In zwei Anlagen wird das Biogut in einer Kompostierung behandelt, wobei in der Anlage A das Biogut in offenen, unbelüfteten Dreiecksmieten und in der Anlage D in Rotte-tunneln kompostiert wird. Die Anlagen B und C verfügen über eine Vergärungsstufe mit Nachkompostierung, wobei in Anlage B ein diskontinuierliches Trockenverfahren und in Anlage C ein kontinuierliches Trockenverfahren zum Einsatz kommt. Eine Aufbereitung des Bioguts wird bis auf Anlage C nicht vorgenommen. Die Abtrennung der Fremdstoffe erfolgt zumeist bei der Kompostkonditionierung durch eine Klassierung mittels Trommel- oder Flachsieben mit Siebschnitten von 12 bis 15/20 mm. Zusätzlich werden in den Anlagen B und C Schwer- und Leichtstoffe abgetrennt. Die verfahrensspezifischen Merkmale der untersuchten Anlagen sind in der Tabelle Tab. 8 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 8: Zusammenstellung der verfahrensspezifischen Merkmale der untersuchten Anlagen

	Durchsatz [Mg/a]	Kompost [Mg/a]	Siebreste			Aufbereitung					biologische Behandlung		Kompost-konfektionierung				Siebrestbehandlung					
			MVA [Mg/a]	BMHKW [Mg/a]	externe Verwertung	Zerkleinerer	Sackaufreiser	Sieb	Metallabscheider	keine	Umsetzung	Siebtrocknung	Sternsieb	Trommelsieb	Metallabscheider	Steinfälle	Nachkompostierung	Trommelsieb	Trocknung	Windsichter	Steinfälle	NIR-Technik
Anlage A	8.000	3.350	380	400						x	offene, überdachte Rotte	M		x	x	x	x	x				
Anlage B	30.000	8.000	3.000	300	2.250					x	Boxenvergärung und Boxenkompostierung	R	x	x	x			x	x ⁴⁾	x		
Anlage C	23.000	k.A.	500	1.830		x		x ²⁾	x		Pfropfenstromvergärung und Tunnelrotte	M		x					x ⁵⁾	x		
Anlage D	50.000	9.300	1.800	9.300		x ¹⁾					Tunnelrotte	R		x ³⁾		x	x			x	x	x

Legende:
R: Radlader
M: mobiler Umsetzer

- ¹⁾ Zerkleinerung zwischen Intensiv- und Nachrotte
²⁾ Siebung Siebgröße 80 mm
³⁾ Sternsieb mit 15 und 70 mm Korngröße
⁴⁾ optional Trocknung der Siebreste in Rotteboxen
⁵⁾ Trocknung Siebüberlaufs aus Bioabfallaufbereitung

Die Voraufbereitung der Bioabfälle unterscheidet sich bei den Anlagen aufgrund der Verfahrensunterschiede. Die Anlage A mit einer Kompostierung und die Anlage B mit einer diskontinuierlichen Trockenvergärung verzichten auf eine Voraufbereitung des Bioguts. Verfahrensbedingt ist es bei der Anlage mit einer kontinuierlichen Trockenvergärung erforderlich, die Störstoffe, die zu technischen Problemen im Behandlungsprozess führen können, im Vorfeld abzutrennen. Bei allen Anlagen liegt der Schwerpunkt hinsichtlich der Fremdstoffabtrennung jedoch am Prozessende in der Feinaufbereitung der Rohkomposte.

Die Komposte werden auf allen Anlagen in der Regel mit einer Sieblochung von 12 mm bzw. 15 mm abgesiebt. Die Sieblochung ist bei einer landwirtschaftlichen Verwertung der Komposte geringfügig größer. Die Absiebung erfolgt in diesem Fall mit einer Sieblochung von 20 mm. Für die Nachaufbereitung der Komposte werden bei den Anlagen A und D zusätzlich ein Metallabscheider und eine Steinfälle eingesetzt und in Anlage C ein zusätzlich integrierter Windsichter. Bei

der Nachaufbereitung der Siebreste werden hingegen nur bei den Anlagen C und D Windsichter zur Abtrennung der Leichtstoffe eingesetzt, bei der Anlage D zusätzlich noch NIR-Technik und eine Steinfalle.

In Abb. 57 sind die Fremdstoffgehalte in den Siebresten zusammengefasst dargestellt. Die Gehalte der verschiedenen Fremdstofffraktionen zeigen ein anlagenspezifisch sehr unterschiedliches Bild. Eine Analyse der Fremdstoffe im Biogut zur Gegenüberstellung der Fremdstoffe in den Siebresten konnte im Rahmen der Versuche aufwandsbedingt nicht vorgenommen werden. Ein Rückschluss auf den Fremdstoffgehalt im Biogut kann aus der Analyse der Siebreste nicht gezogen werden, da neben der Voraufbereitung auch die biologische Behandlung, sprich Kompostierung und Vergärung, eine Rolle spielt. Bei einem weitgehenden biologischen Abbau und der damit einhergehenden Massenreduzierung kommt es zudem noch zur Aufkonzentrierung der Fremdstoffe in den verschiedenen Fraktionen.

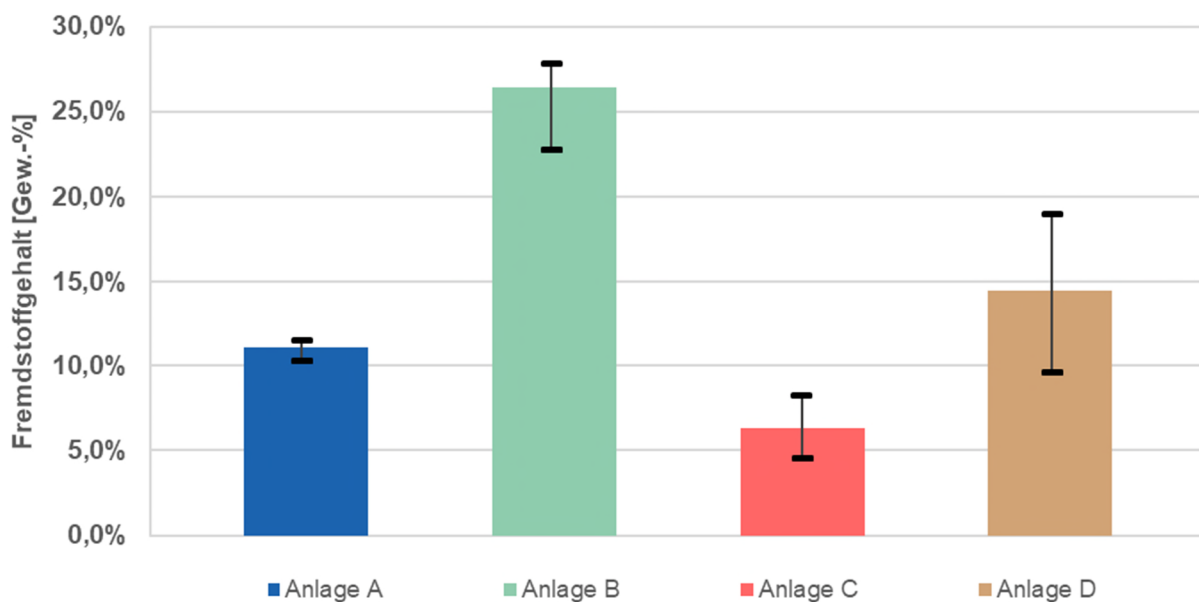


Abb. 57: Fremdstoffgehalt in den Siebresten der untersuchten Anlagen

Augenfällig ist der deutlich höhere Fremdstoffanteil in den Siebresten der Anlage B. In dieser Anlage wird ebenso ein Teilstrom aus der Kompostkonditionierung in die Nachrotte bzw. Rotte zurückgeführt. In der Anlage A und Anlage C werden hingegen keine Siebreste in die Kompostierung zurückgeführt. Der geringe Fremdstoffanteil in den Siebresten der Anlage C ist zudem darauf zurückzuführen, dass ein Teilstrom in der Aufbereitung vor der biologischen Behandlung abgetrennt und in einer MVA entsorgt wird.

Der größte Fremdstoffanteil entfällt auf die Mineralikfraktion. In den Anlagen B und D findet sich in den Siebresten zudem ein vergleichsweise hoher Anteil an Papier, Pappe und Kartonage (Abb. 58). Neben Auswirkungen durch die Rückführung der Siebreste in die Kompostierung und Nachrotte zeigen sich hier auch Effekte der Sammellogistik. Der hohe PPK-Anteil in den Siebresten der Anlage B ist auch auf den Umstand zurückzuführen, dass den angeschlossenen Haushalten angeraten wird, spezielle Papiertüten in die Vorsammelgefäße einzulegen (Vermeidung von Verunreinigungen der Vorsammelgefäße, leichter Transport der Abfälle zu der Bioguttonne).

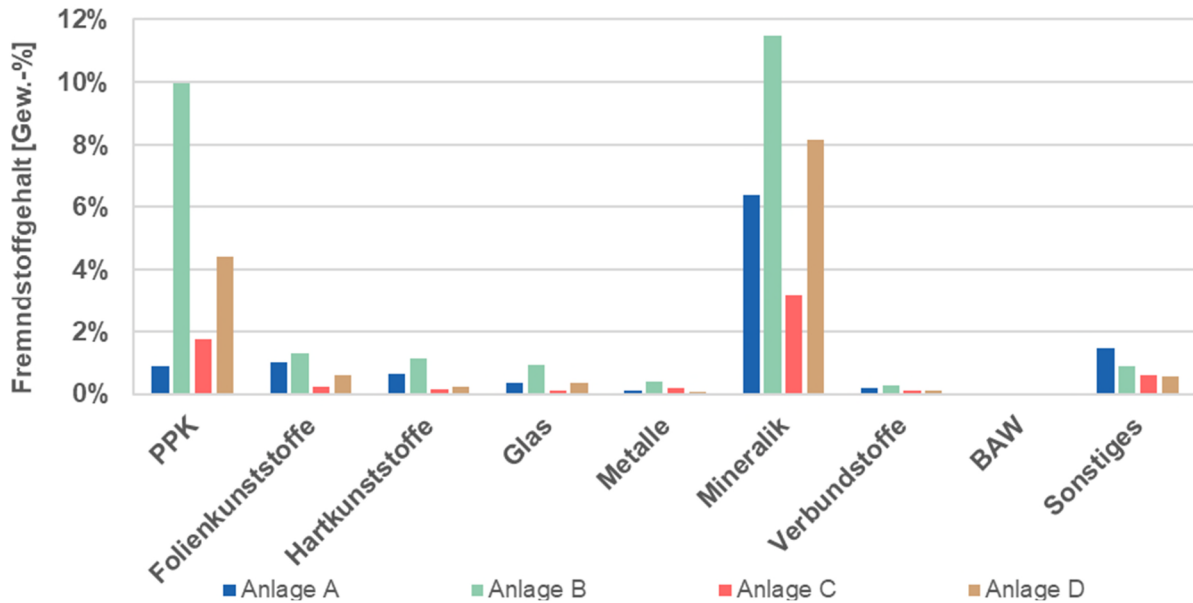


Abb. 58: Anteil der Fremdstofffraktionen in den Siebresten der untersuchten Anlagen

In Abb. 59 sind nochmals die Fremdstoffgehalte dargestellt, jedoch ohne die Sortierfraktionen PPK und Mineralik. Auffällig sind die in den Anlage A und B höheren Anteile an Folien- und Hartkunststoffen. In beiden Anlagen ist kein Verfahrensschritt wie beispielsweise eine Windsichtung zur Abtrennung der Leichtstoffe vorhanden. Ebenso ist erkennbar, dass der Fremdstoffgehalt bei der Anlage B bei allen Sortierfraktionen außer der Fraktion Sonstiges über den Fremdstoffgehalten der anderen Anlagen liegt. Hier zeigen sich vermutlich Effekte der Materialrückführung in die Kompostierung. Bei der Rückführung der Siebreste in den Prozess ist daher die weitergehende Abtrennung von Fremdstoffen zur Unterbindung einer Akkumulation im Prozess ein wichtiger Aspekt.

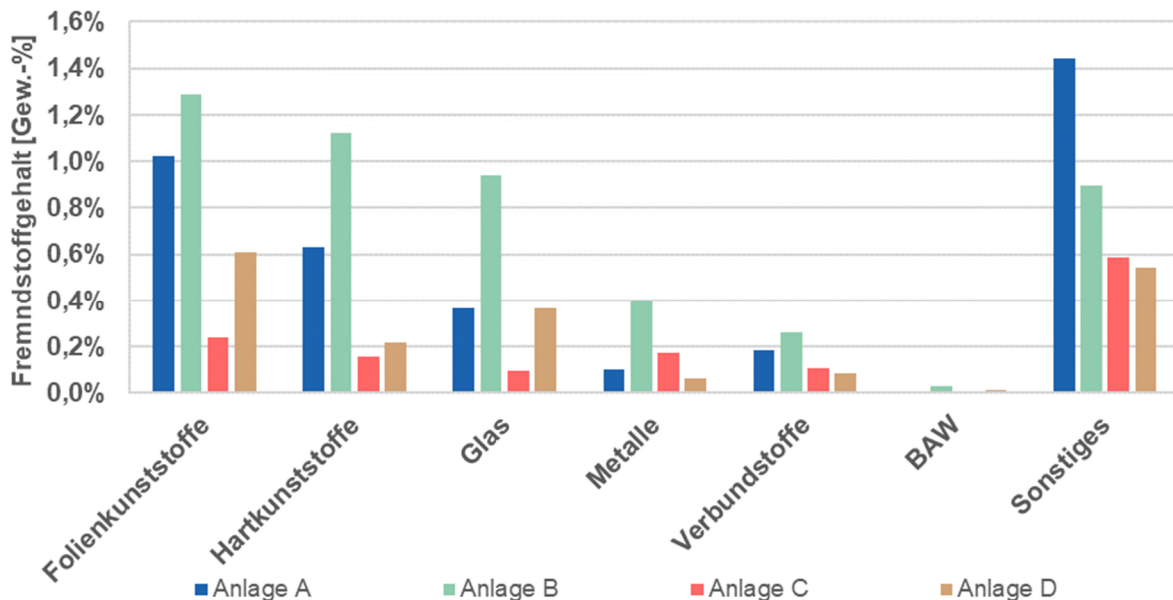


Abb. 59: Anteil der einzelnen Fremdstoffe in den Siebresten der untersuchten Anlagen (ohne PPK und Mineralik)

Im Folgenden wird die Verteilung der Fremdstoffe Folienkunststoffe, Glas und Mineralik in den verschiedenen Fraktionen der Sortieranalyse näher betrachtet. Wie in Abb. 60 erkennbar ist, sind Folienkunststoffe in allen Sortierfraktionen in einem Umfang vorzufinden, der eine stoffliche

Verwertung problematisch erscheinen lässt. In der Anlage A wird das Biogut vor der biologischen Behandlung nicht aufbereitet und auch während der biologischen Behandlung nur wenig mechanisch belastet. Die Folienkunststoffe finden sich daher zu einem erheblichen Anteil in der Fraktion > 80 mm wieder. In der Anlage B wird das Biogut ebenfalls nicht aufbereitet, jedoch führt die Biogutbehandlung zu mechanischen Belastungen und damit einer Zerkleinerung der Folien. Die Folienkunststoffe in der Anlage D sind nahezu gleichmäßig auf alle Siebschnitte verteilt, lediglich in der Fraktion > 80 mm wurden keine Folienkunststoffe vorgefunden.

Vermutlich ist dieser Sachverhalt ebenfalls auf die mechanischen Belastungen während der Behandlung sowie die zusätzliche Zerkleinerung in einem langsamlaufenden Zerkleinerungsaggregat zwischen der Intensiv- und Nachrotte zurückzuführen. Bei der Anlage C werden die Folienkunststoffe hingegen wahrscheinlich bereits durch die Absiebung bei einem Siebschnitt von 80 mm in der Biogutaufbereitung in einem erheblichen Umfang abgetrennt. Es ist davon auszugehen, dass daher der Folienanteil in den Sortierfraktionen gering ist. Auch hier ist die gleichmäßige Verteilung auf die verschiedenen Fraktionen wahrscheinlich auf die mechanische Belastung in dem Behandlungsprozess und der Vorzerkleinerung zurückzuführen.

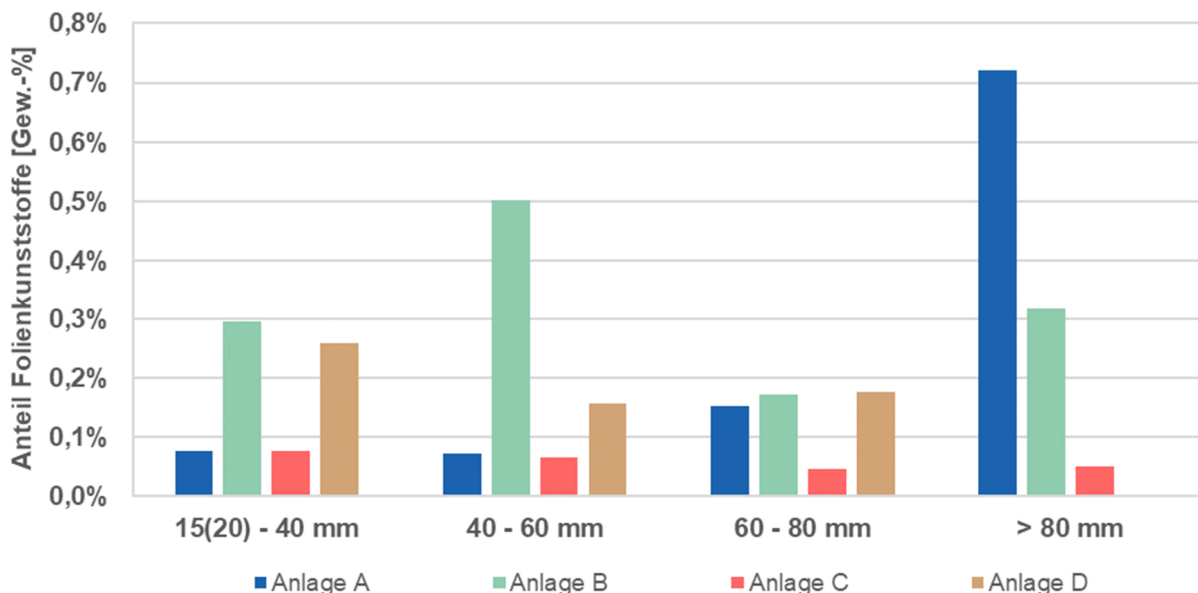


Abb. 60: Folienkunststoffanteil in den verschiedenen Siebfraktionen der Sortieranalyse für die untersuchten Anlagen

Glas findet sich hingegen bei allen Anlagen vorwiegend in der Fraktion von 15–40 mm wieder, wie Abb. 61 zeigt. Eine Ausnahme bildet hier die Anlage B, in der auch in der Fraktion 40–60 mm ein höherer Glasanteil vorgefunden wurde. Die Verfrachtung von Glas in die Fraktion < 40 mm und auch in den Kompost deutet daraufhin, dass Glas auch bei einer vermeintlich schonenden Behandlung zerkleinert wird und für die Verwertung der Produkte und Reststoffe problematisch ist.

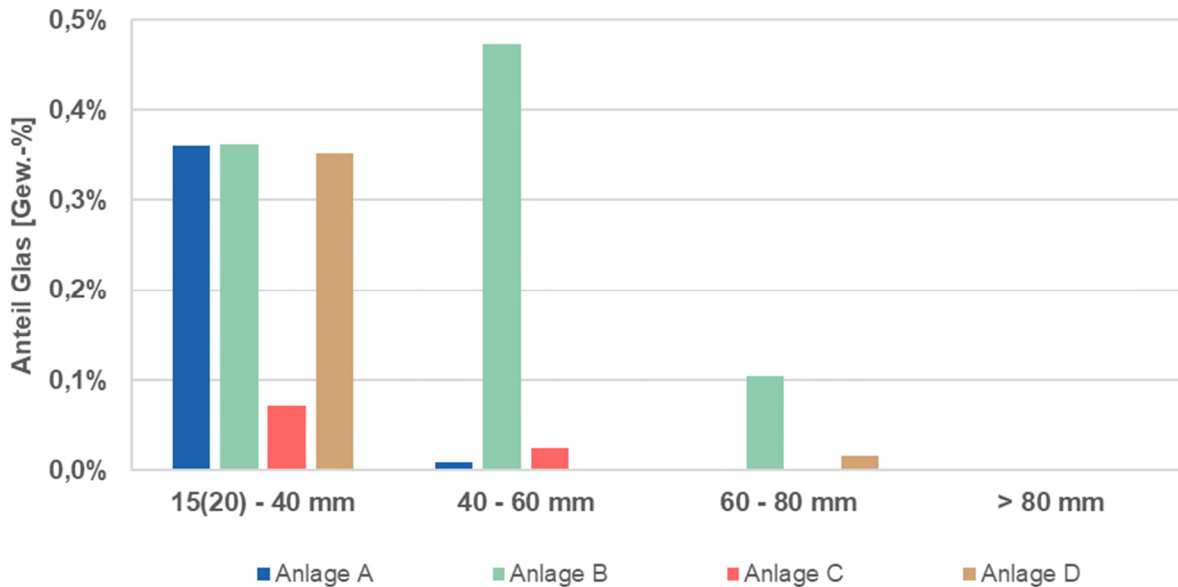


Abb. 61: Glasanteil in den verschiedenen Siebfractionen der Sortieranalyse für die untersuchten Anlagen

Die Verteilung der Mineralik zeigt ein ähnliches Bild wie die Verteilung von Glas, wie aus Abb. 62 ersichtlich ist. Der hohe Mineralikanteil in der Fraktion von 15–60 mm lässt eine direkte stoffliche Verwertung kaum zu, da der Grenzwert für Steine > 10 mm der BioAbfV von 5 Gew.-% bezogen auf die Trockenmasse nicht eingehalten werden kann. Aber auch für die Verwertung dieser Fraktion in einem BMH(K)W ist eine weitergehende Abtrennung der Mineralik in der Regel sinnvoll oder sogar erforderlich.

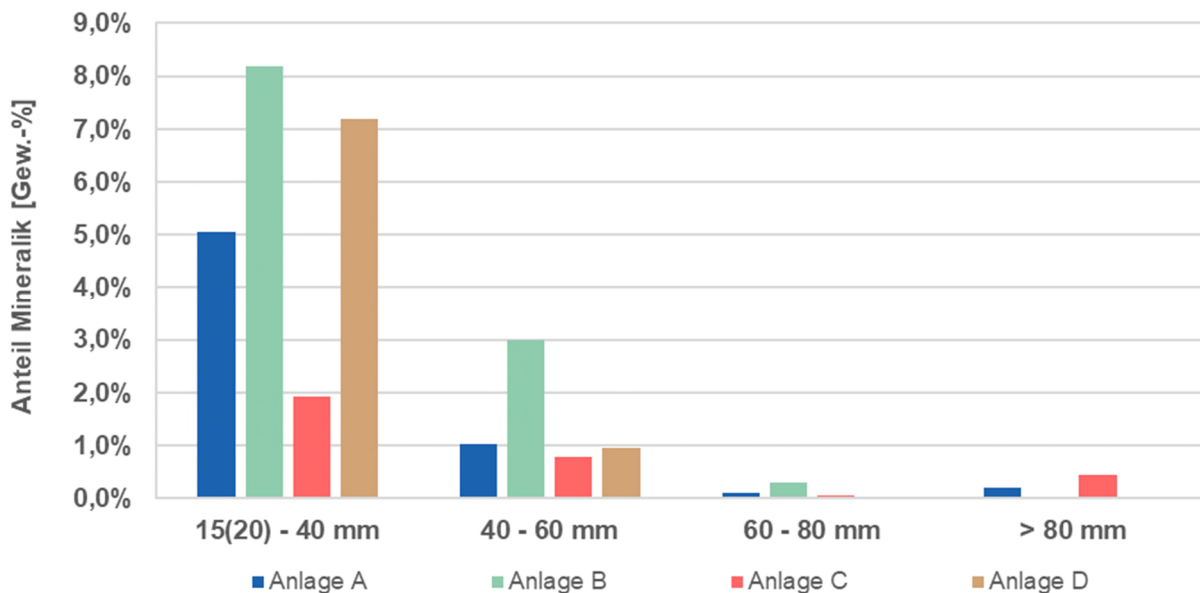


Abb. 62: Mineralikanteil in den verschiedenen Siebfractionen der Sortieranalyse für die untersuchten Anlagen

Die vermarkteten Komposte der Anlagen werden im Rahmen der BGK-Gütesicherung routinemäßig untersucht. In der Tab. 9 sind die Analysenwerte der Jahreszeugnisse der BGK-Prüfungen für das Jahr 2019 (Anlage C: Jahr 2020) dargestellt und den Grenzwerten der für die Verwertung maßgebenden Verordnungen und den Bioland-Anforderungen gegenübergestellt. Die Komposte

unterschreiten die Grenzwerte teils deutlich und können auch, mit Ausnahme der Anlage A, im Ökolandbau eingesetzt werden.

Tab. 9: Zusammenstellung Jahreszeugnisse der BGK-Prüfungen

Parameter	EU- ÖkolandbauVO	BioAbfV / RAL-GZ 251	DüMV ¹⁾	Bioland	Anlage A	Anlage B	Anlage C	Anlage D
Körnung	-	-	-	-	0 - 20 mm	0 - 12 mm	0 - 12 mm	0 - 15 mm
Wassergehalt	-	-	-	-	28,1 % FM	38,4 % FM	45,4 % FM	25,8 % FM
Rottegrad	-	-	-	II, III ³⁾ IV, V	III	III	V	IV
Fremdstoffe gesamt > 2 mm	-	< 0,5 % TM	< 0,5 % TM	< 0,3 % TM	0,12 % TM	0,09 % TM	0,1 % TM	0,07 % TM
davon								
verformbare Kunststoffe	-	-	< 0,1 % TM ²⁾	-	< 0,01 % TM	0,09 % TM	0,01 % TM	< 0,01 % TM
sonstige Fremdstoffe	-	-	< 0,4 % TM	-	0,11 % TM	0,00 % TM	0,085 % TM	0,065 % TM
Flächensummenindex	-	15 cm ² /l	-	10 cm ² /l	3,05 cm ² /l	2,00 cm ² /l	4,00 cm ² /l	6,99 cm ² /l
Steine > 10 mm	-	< 5 % TM	< 5 % TM	< 5 % TM	0,125 % TM	0,00 % TM	0,00 % TM	0 % TM
Schwermetalle								
Blei	45 mg/kg TM	150 mg/kg TM	-	45 mg/kg TM	94,2 mg/kg TM	23,1 mg/kg TM	24,4 mg/kg TM	45,8 mg/kg TM
Cadmium	0,7 mg/kg TM	1,5 mg/kg TM	-	0,7 mg/kg TM	0,74 mg/kg TM	0,36 mg/kg TM	0,29 mg/kg TM	0,66 mg/kg TM
Chrom	70 mg/kg TM	100 mg/kg TM	-	70 mg/kg TM	22,6 mg/kg TM	26,7 mg/kg TM	37,6 mg/kg TM	32,9 mg/kg TM
Chrom (VI)	0 mg/kg TM	-	-	0 mg/kg TM	-	-	-	-
Kupfer	70 mg/kg TM	100 mg/kg TM	< 0,07 % TM	70 mg/kg TM	31,2 mg/kg TM	40,1 mg/kg TM	34,6 mg/kg TM	60,8 mg/kg TM
Nickel	25 mg/kg TM	50 mg/kg TM	-	25 mg/kg TM	13,2 mg/kg TM	13,0 mg/kg TM	25,2 mg/kg TM	24,1 mg/kg TM
Quecksilber	0,4 mg/kg TM	1 mg/kg TM	-	0,4 mg/kg TM	0,11 mg/kg TM	0,09 mg/kg TM	0,08 mg/kg TM	0,11 mg/kg TM
Zink	200 mg/kg TM	400 mg/kg TM	< 0,5 % TM	200 mg/kg TM	198 mg/kg TM	157 mg/kg TM	138 mg/kg TM	216 mg/kg TM

¹⁾ Fremdstoffe > 1 mm

²⁾ sonstige nicht abgebaute Kunststoffe

³⁾ nur mit Hinweis auf Prüfzeugnis: Evtl. höheres Geruchspotenzial

Während der Siebrestuntersuchungen auf den Anlagen wurden ebenfalls Kompostproben genommen und nach den BGK-Güterichtlinien untersucht. Hierbei wurden die in der DüMV vorgeschriebenen Fremdstoffe größer 1 mm analysiert. In den Anlagen B und C wurde nicht das Endprodukt, sondern das Feingut aus dem ersten Aufbereitungsschritt der Kompostkonditionierung untersucht. Im Fall der Anlage B wurde das Material < 25 mm, das einer weitergehenden Aufbereitung unterzogen wird, und im Fall der Anlage C die für die landwirtschaftliche Verwertung vorgesehene Fraktion < 20 mm analysiert. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da die Qualität der Endprodukte bei der BGK-Gütesicherung ermittelt wird und bei diesen Anlagen eine mehrstufige Kompostkonditionierung durchgeführt wird. Dadurch sind die Analysenergebnisse nicht mit den in Tab. 9 dargestellten Ergebnissen bei allen Anlagen vergleichbar und dieser Umstand muss auch bei der Beurteilung der Analysenergebnisse der untersuchten Kompostproben berücksichtigt werden.

In Abb. 63 sind die Fremdstoffgehalte der Kompostproben der vier Anlagen gegenübergestellt. Bei der Anlage A und D wurden Fertigkompost analysiert, sodass die Ergebnisse direkt vergleichbar sind. Die Fremdstoffgehalte liegen deutlich unter dem zulässigen Grenzwert und somit in der Größenordnung der bei der BGK-Gütesicherung ermittelten Fremdstoffgehalte.

Bei den Kompostproben der Anlage C handelt es sich um Kompostmaterial, das landwirtschaftlich verwertet wird. Auch hier wird der Grenzwert für den Fremdstoffgehalt eingehalten, eine Probe lag jedoch nahe am Grenzwert. Der Fremdstoffgehalt des Siebdurchgangs < 25 mm in der Anlage B lässt eine Verwertung nicht zu, da im Mittel der Grenzwert für Fremdstoffe erreicht wird. Die zusätzliche Klassierung bei einem Siebschnitt von 12 mm ist somit für die Vermarktung zwingend erforderlich.

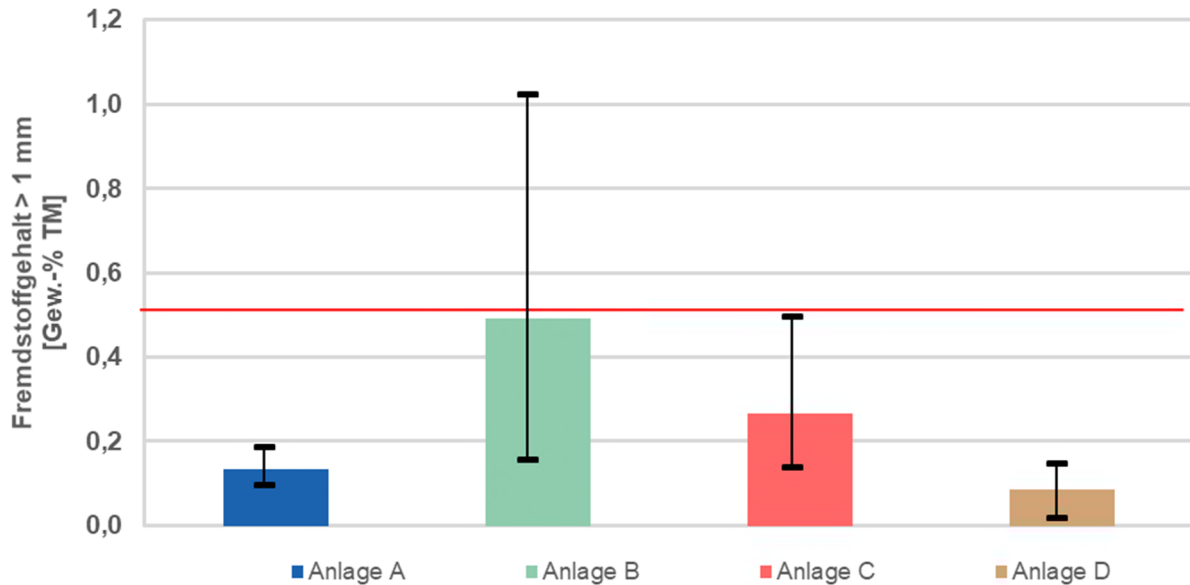


Abb. 63: Fremdstoffgehalt > 1mm in den Kompostproben der untersuchten Anlagen (rote Linie Grenzwert von 0,5 % TM)

In Abb. 64 sind die Anteile der Fremdstoffe Folienkunststoff, Hartkunststoff, Glas und Metall dargestellt. In allen untersuchten Proben stellt Glas den größten Fremdstoffanteil dar. Insbesondere das gröbere Kompostmaterial der Anlage B (Fraktion < 25 mm) und der Anlage D (Fraktion < 20 mm) weisen einen hohen Glasanteil auf. Dagegen liegen die Anteile an Folien- und Hartkunststoff im Mittel unter 0,05 % der Trockenmasse. Lediglich in dem Kompostmaterial der Anlage B wurde auch ein höherer Anteil an Hartkunststoffen vorgefunden.

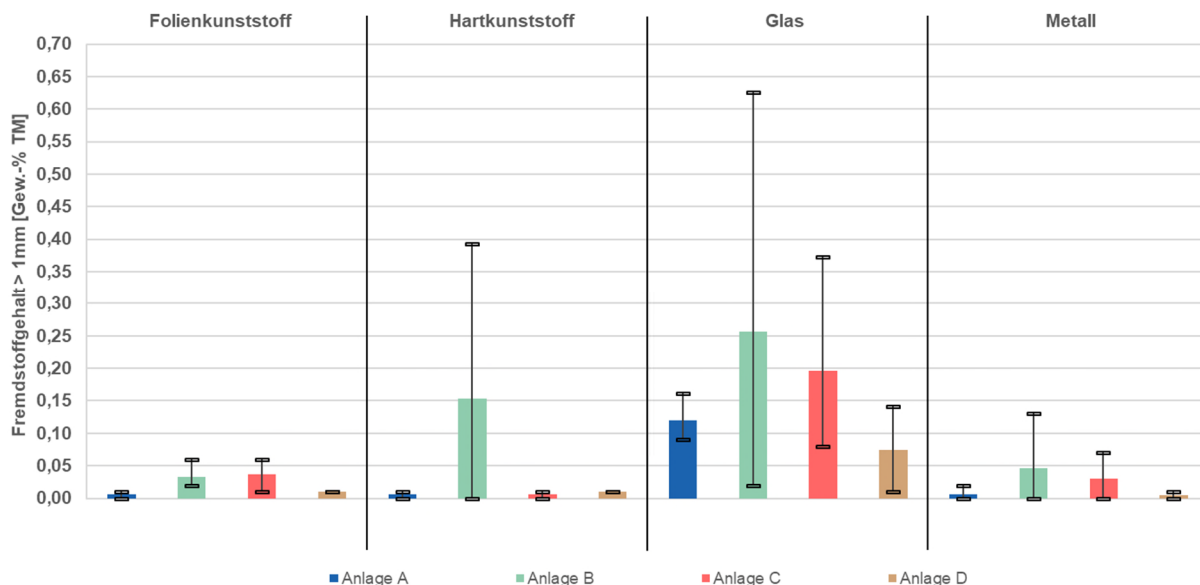


Abb. 64: Fremdstoffgehalt > 1 mm der Fraktionen Folien-, Hartkunststoff, Glas und Metall in den Kompostproben der untersuchten Anlagen

In allen Kompostproben wird ebenfalls der Grenzwert der Gütesicherung für den Flächensummenindex von 15 cm²/l eingehalten (Abb. 65). Der Flächensummenindex im Kompostmaterial der Anlagen B und C liegt höher als bei der Anlage A und der Anlage D, da hier das gröbere Kompostmaterial untersucht wurde, welches anschließend mit einer Sieblochung von 12 mm bzw. 15 mm klassiert wird.

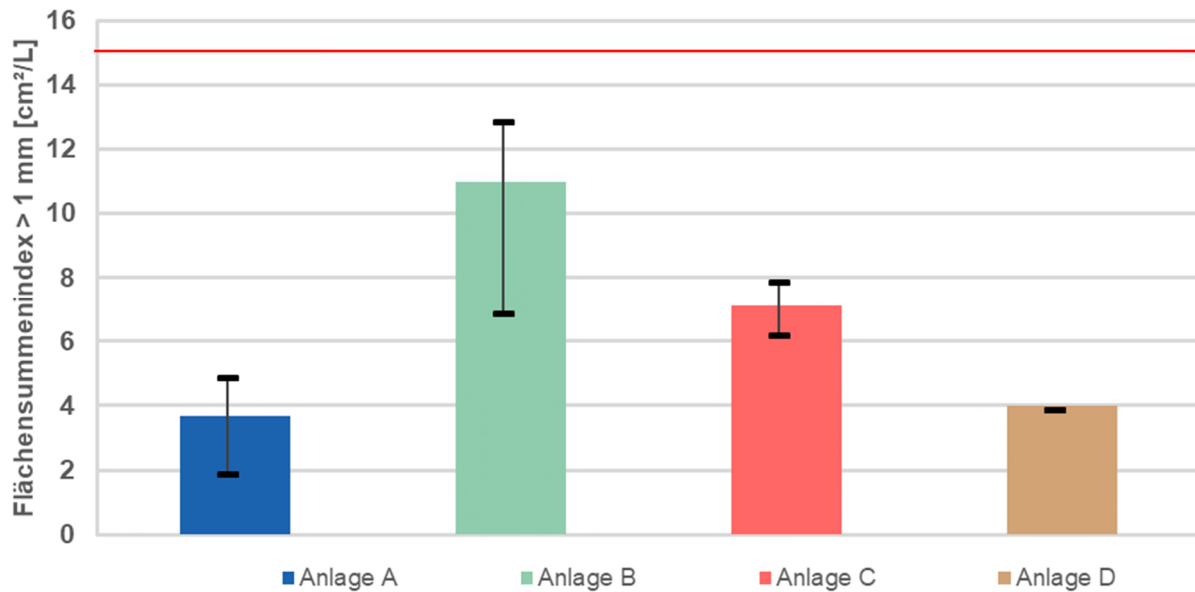


Abb. 65: Flächensummenindex in den Kompostproben der untersuchten Anlagen (rote Linie Grenzwert von 15 cm²/l)

In Abb. 66 sind die Korngrößenverteilungen der Siebreste für die untersuchten Anlagen dargestellt. Der Materialanteil < 80 mm ist bei den Anlagen B und D mit über 95 Gew.-% deutlich höher als bei den Anlagen A und C. Dieser Sachverhalt ist sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass in beiden Anlagen bei der Kompostkonfektionierung eine Überkornfraktion > 70 mm bzw. > 100 mm abgetrennt und entweder in der MVA entsorgt oder in den Prozess zurückgeführt wird. Der Materialanteil > 80 mm liegt in den Anlagen A und C bei etwa 10 Gew.-%. In diesen Anlagen wird auf einen zusätzlichen Aufbereitungsschritt bei der Kompostkonfektionierung verzichtet.

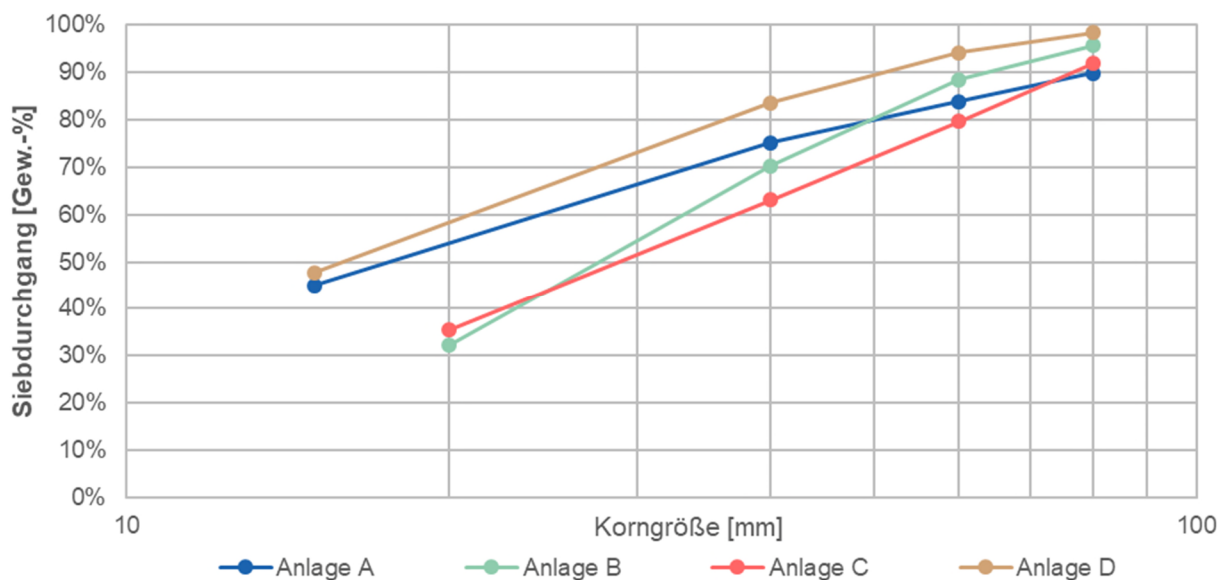


Abb. 66: Mittlere Korngrößenverteilung der Siebreste in den untersuchten Anlagen

Der Feinkornanteil in den Siebresten ist bei den Anlagen B und C, die beide in der biologischen Behandlungsstufe eine Vergärung und eine geschlossene Kompostierung beinhalten, mit im Mittel weniger als ca. 35 Gew.-% erheblich geringer als bei den Anlagen A und D. In diesen Anlagen liegt der Feinkornanteil in den Siebresten im Mittel bei mehr als 45 Gew.-%.

In Abb. 67 ist für die vier untersuchten Anlagen der Feinkornanteil in den Siebresten in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt des Aufgabeguts dargestellt. Der Trockensubstanzgehalt im Aufgabegut wurde hierbei aus den Trockensubstanzgehalten von Kompost und Siebresten und der Massenverteilung in der Kompostkonfektionierung berechnet.

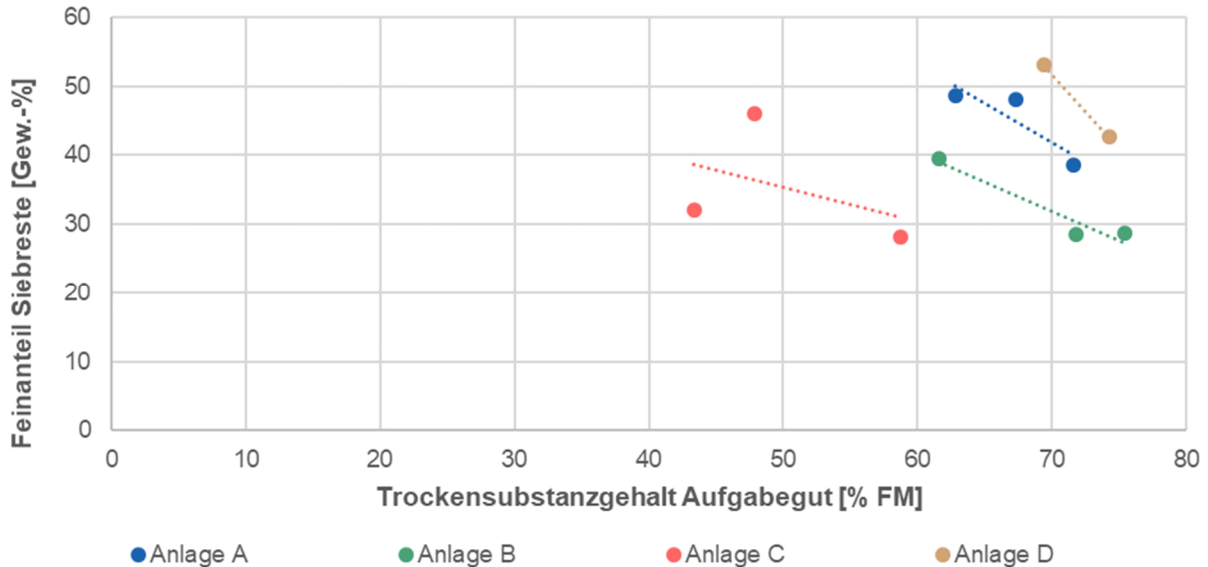


Abb. 67: Feinkornanteil in den Siebresten in Abhängigkeit von dem Trockensubstanzgehalt des Aufgabeguts (berechnet aus den Untersuchungsergebnissen für Kompost und Siebreste)

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass auf den Anlagen nur wenige Untersuchungen im Projektverlauf durchgeführt werden konnten. Die Analyseergebnisse bestätigen die landläufige Auffassung, dass der Feinkornanteil im Siebrest mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt des Aufgabeguts abnimmt. Jedoch ist kein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen Trockensubstanzgehalt im Aufgabegut und dem Feinkornanteil im Siebrest erkennbar, sondern die Anlagen weisen anlagenspezifische Verläufe auf. Neben dem Trockensubstanzgehalt scheinen weitere Einflussgrößen, wie die Auslegung und der Betrieb der Konfektionierungseinheit (z. B. Aggregatleistung, Materialzufuhr, Materialauflockerung usw.) und stoffliche Eigenschaften (z. B. Materialverfäulungen durch Verpilzung usw.), vorzuliegen.

Der Trockensubstanzgehalt der Siebreste liegt bei den Anlagen A, B und C in einem Bereich zwischen ca. 50 bis 70 %, wie Abb. 68 zeigt, und damit in einem Bereich zwischen lufttrockenem und Waldfrischholz. Die Siebreste der Anlage D weisen hingegen einen Trockensubstanzgehalt zwischen etwa 70 bis 85 % auf und liegen damit im Bereich von luftgetrocknetem Holz.

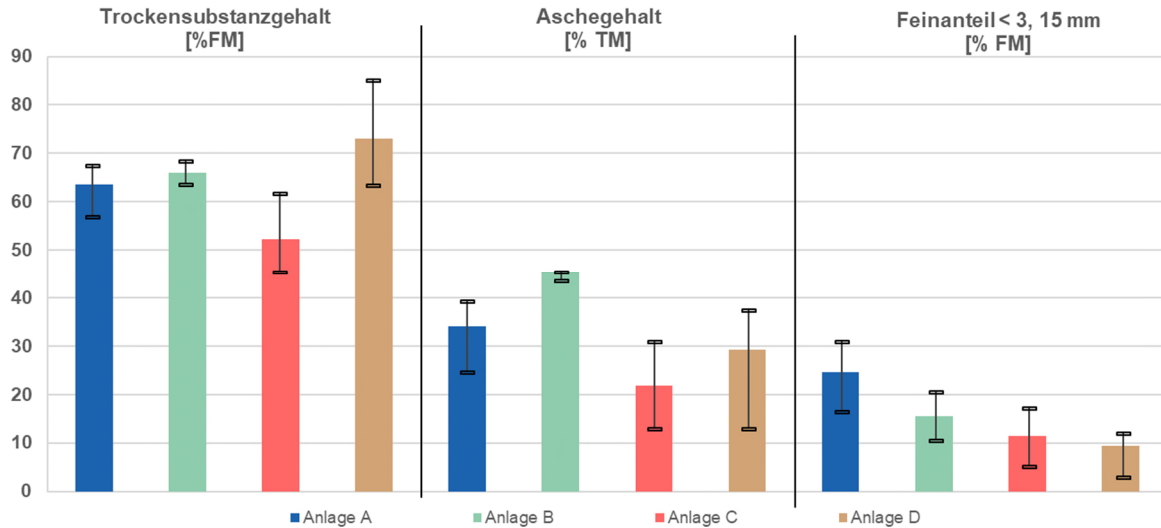


Abb. 68: Trockensubstanz-, Aschegehalte und Feinanteil (Sieblochgröße < 3,15 mm) der Siebreste der untersuchten Anlagen

Der Aschgehalt bewegt sich im Mittel für die Anlagen in einem Bereich zwischen 20 und 45 % und liegt damit deutlich über dem von Fichtenholz (0,4 bis 3 %), Holz aus Kurzumtriebsplantagen (1,6 bis 2,2 %) und Landschaftspflegeholz (2,5 bis 10 %) [Quelle: Hartmann/Turowski, FNR, 2012, Infografik].

Die Klassifizierung des Feinanteils mit Sieblochgröße < 3,15 mm der Siebreste bewegt sich vorwiegend im Bereich F 10 bis F 25 (DIN EN ISO 17225). Die Anlagen B, C und D weisen hierbei einen deutlich geringeren Feinanteil als Anlage A auf.

In Abb. 69 sind der Brenn- und Heizwert für die trockenen Siebreste sowie der Heizwert für das Ausgangsmaterial zusammengestellt. Die Brenn- und Heizwerte der trockenen Siebreste liegen bei den Anlagen A, C und D über ca. 14 MJ/kg TS für den Brennwert bzw. über ca. 12 MJ/kg TS für den Heizwert. Der Brenn- und Heizwert der trockenen Siebreste der Anlage B liegt hingegen um etwa 2 MJ/kg TS darunter. Den höchsten Heizwert im Ausgangsmaterial weist der Siebrest der Anlage D auf. Hier kommt zum Tragen, dass die Siebreste dieser Anlage den höchsten Trockensubstanzgehalt aufwiesen, sodass der Effekt der Trocknung hier die geringste Auswirkung hat.

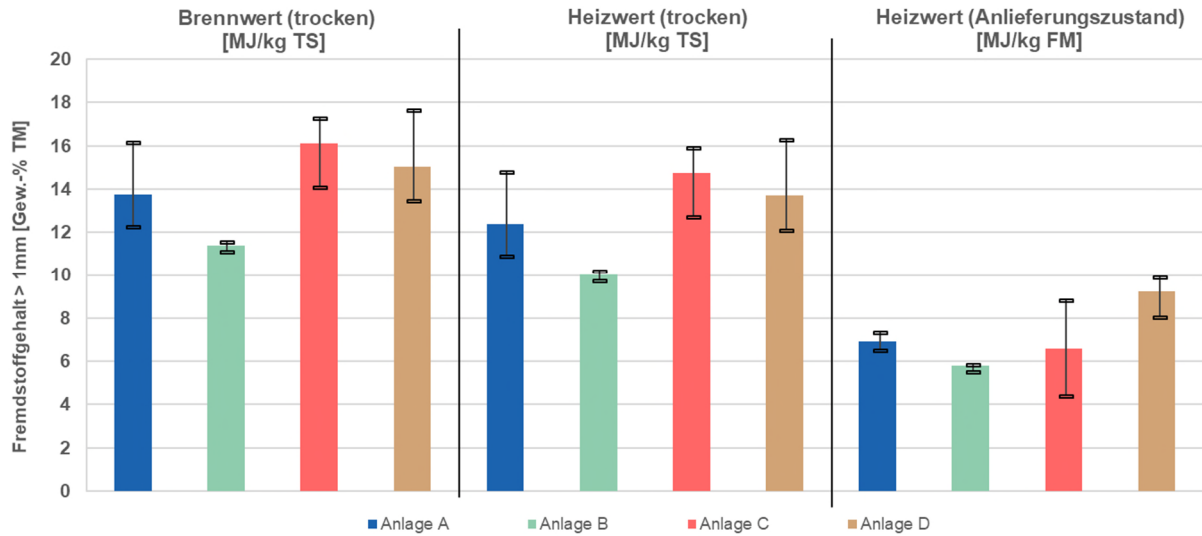


Abb. 69: Brenn- und Heizwert der Siebüberläufe der untersuchten Anlagen

In Abb. 70 sind die Heizwerte der untersuchten Anlagen in Abhängigkeit des Wassergehalts dem Heizwert von Nadel- und Laubholz gegenübergestellt. Die Heizwerte der Siebreste der Anlagen A, C und D sind im Mittel etwa 20 bis 35 % niedriger, während der Heizwert der Siebreste der Anlage B um ca. 50 % niedriger liegt. Es ist zu vermuten, dass der niedrige Heizwert bei der Anlage B daher rührt, dass hier bei der Aufbereitung des Rottematerials ein Stoffstrom > 100 mm und damit auch ein signifikanter holziger Anteil abgetrennt wird.

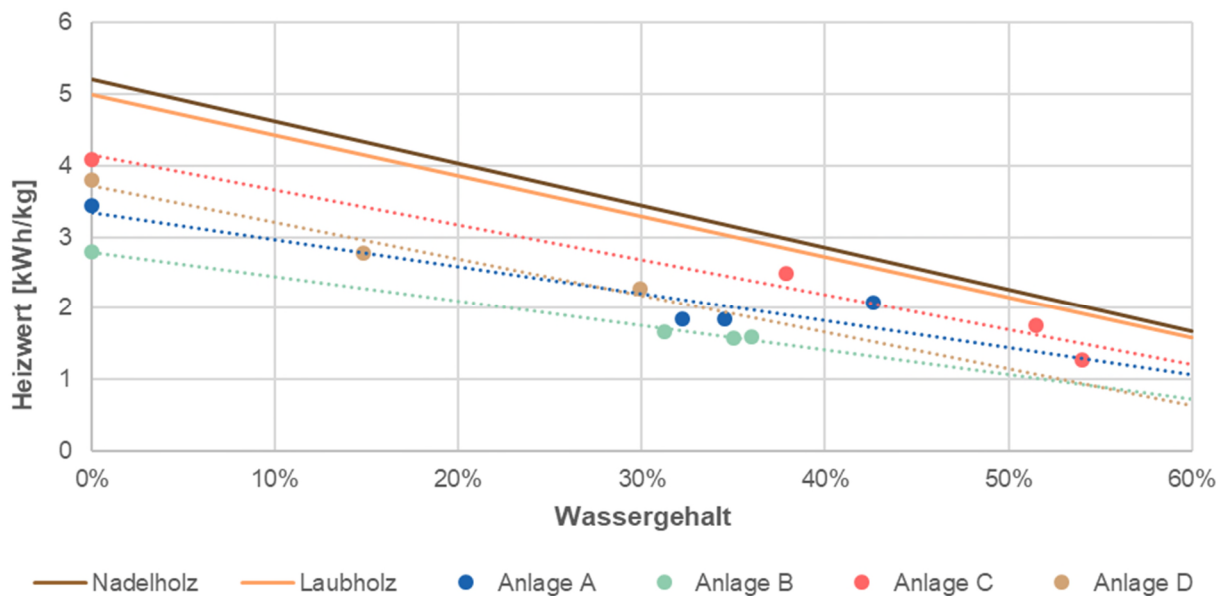


Abb. 70: Gegenüberstellung der Heizwerte der untersuchten Anlagen und von Laub- und Nadelholz in Abhängigkeit vom Wassergehalt

5 Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel wird eine Einordnung der Siebreste aus Biogutbehandlungsanlagen als möglicher Brennstoffe in die gültigen Normungen und Verordnungen vorgenommen. Die verschiedenen Normungen und Verordnungen zur Brennstoffklassifizierung werden vorgestellt und direkt anhand der beprobten Siebreste der vier Praxisanlagen (Kapitel 4.6) eingeordnet und diskutiert. Die Analysen und die Einordnung und Bewertung wurden vom Labor für Brennstoff-, Boden- und Umweltanalytik der HAWK Hildesheim/Holzminden/Göttingen (Standort Göttingen, Fakultät Ressourcenmanagement, Dr. Volker Zelinski) durchgeführt.

5.1 Rechtliche Grundlagen für die Einstufung der Materialien als Brennstoff

Derzeit existieren keine Richtlinien, die explizit Qualitätsanforderungen für Siebreste von Bioabfallverwertungsanlagen formulieren. Dennoch können die Materialien nach verschiedenen Normen bzw. Richtlinien in Bezug auf ihre Eignung als Brennstoff eingestuft werden. Grundsätzlich anwendbar sind folgende Dokumente:

- DIN EN ISO 17225-1:2014-4 Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikation und -klassen – Teil 1. Allgemeine Anforderungen
- ISO TS 17225-9:2020-03 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 9: Graded hog fuel and wood chips for industrial use
- BiomasseV, vom 21.06.2001, zuletzt geändert am 13.10.2016
- AltholzV vom 15.08.2002, zuletzt geändert am 29.03.2017
- Güterrichtlinie RAL GZ-724, Jan. 2012 (Sekundärbrennstoffe)

5.2 Beschreibung der Proben im Überblick

In Tab. 10 werden die Eigenschaften der analysierten Siebüberlaufmaterialien zusammenfassend dargestellt.

Tab. 10: Mittelwerte und Spannen der Analyseergebnisse der Untersuchung von Siebüberlaufmaterialien im Vergleich mit Grenzwerten der ISO TS 17225-9, BiomasseV, AltholzV und RAL-GZ 724

Parameter [Einheit]	Mittelwert	Spanne (Min/max. Wert)	Grenzwerte			
			ISO TS 17225-9 Klasse I4	Bio-masseV/ BioAbfV	Alt-holzV ¹⁾	RAL-GZ 724 (Sekundär-brennstoffe) ²⁾
Wassergehalt [Gew.-%]	37	14,8 - 54,0 ³⁾	60	-	-	⁶⁾
Aschegehalt [Gew.-% TS]	32,6	14,1 - 46,1 ⁴⁾	7	-	-	⁶⁾
Heizwert (im Anlieferungszustand) [MJ/kg FM]	6,8	5,65 - 10,0	-	-	-	⁶⁾
Partikelgrößenverteilung	P45	P31 bis P200	P16 - PL30+ ⁵⁾	-	-	-
Feinanteil (< 3,15 mm) [Gew.-%]	16,8	4,1 - 31,7	-	-	-	-
Schüttdichte [kg/m ³]	201	122 - 295	⁶⁾	-	-	-
Fremd-/Störstoffe [Gew.-%]	12,1	5,3 - 31,3	⁶⁾	0,5 ⁷⁾	-	-
Fremd-/Störstoffe, nicht brennbar [Gew.-%]	8,8	1,9 - 20,6	-	-	-	-
Fremd-/Störstoffe, brennbar [Gew.-%]	3,3	1,2 - 10,7	-	-	-	-
Ascheschmelzverhalten (DT) [°C]	1170	1120 - 1190	⁶⁾	-	-	-
Stickstoff [Gew.-% TS]	1,35	1,1 - 1,7	1,5	-	-	⁶⁾
Chlor [Gew.-% TS]	0,50	0,35 - 0,68	0,1	-	0,06	-
Fluor [Gew.-% TS]	0,007	0,005 - 0,01	-	-	0,01	-
Schwefel [Gew.-% TS]	0,28	0,17 - 0,43	0,1	-	-	-
Arsen [mg/kg TS]	5,0	4,4 - 5,7	4	-	2	0,81
Blei [mg/kg TS]	31	13,2 - 65,7	30	150	30	25
Cadmium [mg/kg TS]	0,52	0,19 - 1,10	2	1,5	2	0,56
Chrom [mg/kg TS]	23	13 - 31	30	100	30	16
Kupfer [mg/kg TS]	25	20 - 32	50	100	20	⁶⁾
Quecksilber [mg/kg TS]	< 0,05	< 0,05 - 0,06	0,1	1	0,4	0,075
Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (16 EPA-PAK) [mg/kg TS]	5,2	< 0,1 - 13	-	-	-	-
Holzschutzmittel (DDT, Lindan) [mg/kg TS]	< 0,01	< 0,01	-	-	-	-
Holzschutzmittel (PCP) [mg/kg TS]	< 0,1	< 0,1	-	-	3	-
Polychlorierte Biphenyle (PCB, WHO-TE 2005) [mg/kg TS]	1,25	1 - 2	-	-	5	-

1) Grenzwerte für Holzhackschnitzel zur Herstellung von Holzwerkstoffen (Stoffliche Verwertung)

2) Angegeben sind die „80. Perzentil“-Werte. Die Median-Werte liegen um den Faktor 1,9–2,6 niedriger. Die Grenzwerte sind anzuwenden auf Analysewerte aus 10 Proben (7 aus Eigenüberwachung, 3 aus Fremdüberwachung). Außerdem sind Grenzwerte für Antimon, Kobalt, Mangan,

Nickel, Thallium, Vanadium und Zinn festgelegt, die bei den vorliegenden Siebüberlaufproben nicht untersucht wurden.

- 3) 31,2–42,6 % Anlage A und Anlage B, 37,9–54 % für Anlage C und 14,8–36,1 % für Anlage D.
- 4) Für Anlage B: Alle Werte > 44 %.
- 5) Die Partikelgrößenklassen P100 bis P300 der DIN EN ISO 17225-1, nach der die Klassifizierung vorgenommen wurden, wurde für die ISO TS 17225-9 geändert. Die neuen Klassen bis PL10 bis PL30+ decken diesen Bereich der alten Größenklassen vollständig ab.
- 6) Der Wert ist anzugeben. Bei Fremdstoffen bezieht sich die Angabe auf alle Stoffe mit einer Dichte von > 1 g/cm³.
- 7) Nach BioAbfV dürfen folgende Grenzwerte für Steine und Fremdstoffe nicht überschritten werden: 0,5 Gew.-% an Fremdstoffen (insbesondere Glas, Kunststoff, Metall, mit einem Siebdurchgang ≥ 2 mm), bezogen auf die Trockenmasse des aufzubringenden Materials. 0,5 Gew.-% Steine (mit einem Siebdurchgang von mehr als 10 mm), bezogen auf die Trockenmasse des aufzubringenden Materials.

5.3 Einstufung nach Biomasseverordnung

Nach § 2 BiomasseV gehört zu den anerkannten Biomassen (Auszug):

2. aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen hergestellte Energieträger, deren sämtliche Bestandteile und Zwischenprodukte aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 (Pflanzen und Pflanzenbestandteile) erzeugt wurden,
4. Bioabfälle im Sinne von § 2 Nr. 1 der BioAbfV

Nach BioAbfV § 2, N1. 1 sind Bioabfälle:

1. Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder aus Pilzmaterialien zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können, einschließlich Abfälle zur Verwertung mit hohem organischen Anteil tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder an Pilzmaterialien; zu den Bioabfällen gehören insbesondere die in Anhang 1 Nummer 1 in Spalte 1 genannten, in Spalte 2 weiter konkretisierten und durch die ergänzenden Bestimmungen in Spalte 3 näher gekennzeichneten Abfälle; ...“

Darin enthalten sind nach Anhang 1: Biologisch abbaubare Abfälle (20 02 01)

Die untersuchten Siebfraktionen können im Sinne der BiomasseV § 2(2) als Biomassen eingestuft werden. Allerdings ist der teilweise hohe Anteil an Störstoffen problematisch. Wenn man die Definition nach § 2(4) mit einbezieht, ist vor allem der nicht biologisch abbaubare Anteil problematisch. Schwer vermeidbar sind in diesem Zusammenhang Steine, als vollständig fremd einzustufen sind Kunststoffe und Verbundstoffe, die weder originäre Bestandteile dieser Biomasse sind noch biologisch abbaubar.

Die in der BioAbfV angegebenen Grenzwerte für Schwermetalle für die Ausbringung von Bioabfällen auf landwirtschaftlichen Flächen werden in allen untersuchten Materialien unterschritten. Fremdstoffe wurden ab einer Partikelgröße von 3,15 mm entsprechend den Vorgaben der DIN EN IOS 17225-1 für biogene Festbrennstoffe bestimmt. Zusätzlich wurde nach den Kategorien Steine/Glas, magnetische Metalle, nicht magnetische Metalle, Kunststoffe, Verbundstoffe, Papier und Textilien unterschieden. Die Anteile an Steinen und Glas überschreiten die Vorgabe der BioAbfV mit Werten von 1,9 % bis 20,6 % in allen Fällen, teilweise sehr deutlich.

Da die BioAbfV aber zwischen Steinen und Glas unterscheidet und gegenüber der Analyse abweichende Grenzen für die Partikelgröße setzt, sind die Werte nicht unmittelbar vergleichbar. Auch in der Kategorie der Fremdstoffe nach BioAbfV wird der Grenzwert häufig überschritten. Hier sind ebenfalls die abweichenden Grenzen für die Partikelgrößen für die Erfassung der Fremdstoffe zu beachten.

5.4 Einstufung nach Altholzverordnung

Die Siebüberlaufmaterialien sind in keiner Kategorie der AltholzV als solche aufgelistet. Grundsätzlich kann das Material der Kategorie I zugeordnet werden, da keine der explizit genannten Schadstoffkategorien, die eine Höherstufung zur Folge haben, zutrifft. „Sonstiges Altholz“, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Kategorien A I bis A III zuzuordnen ist, ist als A IV einzustufen. Da keine Schadstoffgrenzwerte für die energetische Verwertung angegeben werden, können nur diejenigen für die stoffliche Verwertung von Holzhackschnitzeln nach AltholzV herangezogen werden.

Alternativ müssten Grenzwerte für Brennstoffinhaltsstoffe der jeweiligen Emissionsschutzrichtlinien herangezogen werden. Dabei kommen je nach Anlagengröße bzw. Schadstoffbelastung die 44. BImSchV oder die 17. BImSchV in Frage. Nach AltholzV sind Störstoffe vor der energetischen Verwertung auszusortieren. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit die gefundenen Fremdstoffe als Störstoffe einzustufen sind. Der Aschegehalt wird in der Regel bei Brennstoffen hingenommen und der größte Teil der Fremdstoffe besteht aus Steinen und teilweise Glas sowie brennbaren Materialien. Lediglich ein kleiner Teil von max. 0,4 % war Metall. Steine und Glas könnten ihrem Verhalten nach bis zu einer als Störstoff relevanten Partikelgröße dem Aschegehalt anstatt den Störstoffen zugerechnet werden. Bezüglich der von der AltholzV genannten Grenzwerte für Holzhackschnitzel zur Verwertung in Holzwerkstoffen, sind Überschreitungen bei den untersuchten Materialien festzustellen gewesen.

Der Grenzwert für den Arsengehalt und Kupfergehalt wurde bei allen untersuchten Proben erreicht oder überschritten, bei einzelnen Proben wurden auch die Werte für Chlor, Blei und Chrom überschritten. Für die einzigen in Bezug auf die energetische Verwertung genannten Schadstoffe Quecksilber und Polychlorierte Biphenyle lagen alle Analysenwerte deutlich unterhalb der für die stoffliche Verwertung angegebenen Grenzwerte.

5.5 Einstufung nach RAL-GZ 724 (Sekundärbrennstoff)

Die untersuchten Materialien überschreiten die in der RAL-GZ 724 zur Einstufung als zertifizierter Sekundärbrennstoff angegebenen Grenzwerte für Arsen in allen Proben deutlich und für Blei, Cadmium und Chrom bei einem erheblichen Teil der Proben. Die für halogenierte Holzschutzmittel und polychlorierte Biphenyle angegebenen Grenzwerte werden deutlich unterschritten. Aufgrund der Überschreitungen verschiedener Grenzwerte für Schwermetalle ist eine Einstufung als zertifizierter Sekundärbrennstoff nicht möglich.

5.6 Vergleich mit Vorgaben der 44. BImSchV

Ob die untersuchten Materialien nach 44. BImSchV als „feste Biobrennstoffe“ einzustufen sind, hängt von der Beurteilung der Schwermetallgehalte ab. Grenzwerte für die Brennstoffe werden

nicht angegeben, es heißt lediglich, dass zu „festen Biobrennstoffen“ zuzurechnen sind: „Holzabfälle mit Ausnahme von Holzabfällen, die infolge einer Behandlung mit Holzschutzmitteln oder infolge einer Beschichtung halogenorganische Verbindungen oder Schwermetalle enthalten können“. Relevante Mengen halogenorganischer Verbindungen waren in den untersuchten Materialien nicht enthalten.

5.7 Klassifikation der Proben gemäß DIN EN ISO 17225-1 und DIN EN ISO 17225-9

Nach DIN EN ISO 17225-1 können die Eigenschaften der untersuchten Brennstoffe angegeben werden. Diese Klassifikation wurde in dem Analysenbericht vorgenommen. Außerdem wurde versucht, eine Einstufung in eine der Qualitätsklassen nach ISO TS 17225-9 vorzunehmen. Nach der Herkunft des Materials kommt nur die Klasse I4 (Definierte und undefinierte Mischungen) in Frage. Eine Zuordnung der Materialien zu dieser Klasse ist nicht möglich, da in allen Fällen mehr als ein Grenzwert überschritten wurde. Überschreitungen traten für alle Proben auf bei den Parametern Aschegehalt, Chlorgehalt, Schwefelgehalt, Arsengehalt, in Einzelfällen beim Stickstoffgehalt, Bleigehalt und Chromgehalt. Nach der Normenreihe DIN EN ISO 17225 sind die Brennstoffe also charakterisierbar, lassen sich aber nicht nach ISO TS 17225-9 einer Qualitätsklasse zuordnen.

5.8 Allgemeine Einstufung der Siebüberlauf-Materialien als Brennstoff

Für die Eignung als Brennstoff, unabhängig von einer rechtlichen Einordnung, sind bei den untersuchten Materialien die Parameter Aschegehalt, Gehalt an nicht brennbaren Fremdstoffen sowie der Chlorgehalt am kritischsten. Der hohe Chlorgehalt kann Korrosionsprobleme und erhöhte HCl-Emissionen verursachen. Diese können aber mit geeigneten technischen Maßnahmen oder durch Brennstoffzusätze, wie z. B. Kalk vermindert werden. Die hohen Gehalte an Asche und nicht brennbaren Fremdstoffen (im Mittel 43 % der Trockenmasse) beeinträchtigen die Wirtschaftlichkeit der Nutzung als Brennstoff erheblich, da sie einen hohen Entsorgungsaufwand verursachen und den brennbaren Anteil des Materials beschränken.

Allerdings ist die Spanne der nicht brennbaren Anteile mit 21,2 % bis 60,0 % sehr groß, sodass offensichtlich prozessabhängig ein deutliches Optimierungspotenzial besteht. Ein weiteres Problem ist der relativ hohe Gehalt an Schwermetallen, der bei verschiedenen Einstufungen zu Grenzwertüberschreitungen führt. Hier ist eine Reduktion der Gehalte zu erwarten, wenn der Aschegehalt signifikant gesenkt wird. Der Ascheschmelzpunkt, der bei stark verunreinigten Brennstoffen ein kritischer Parameter sein kann, liegt mit DT-Werten zwischen 1120 und 1190 °C in einem Bereich, wie er auch für Waldrestholz auftreten kann und deutlich oberhalb von kritischeren Werten, wie sie z. B. für Stroh auftreten.

5.9 Ausblick

Für die Unterscheidung, ob das Material als Brennstoff eingestuft werden kann oder ob es sich um eine Form der Entsorgung handelt, sollte neben der Beurteilung der Schadstoffgehalte auch ein Effizienzkriterium verwendet werden. Aufgrund hoher und stark unterschiedlicher Wasser-, Asche- und Fremdstoffgehalte in den untersuchten Materialien würde sich für die Einstufung am

ehosten ein Mindest-Heizwert (bezogen auf die Originalsubstanz) eignen, da dieser alle Minderungsfaktoren beinhaltet.

5.10 Ergänzung der Bewertung

Neben dem Vorschlag für eine Klassifizierung des Brennstoffs „Siebreste“ über den Heizwert sind natürlich weiterhin die einschlägigen Vorgaben der Normungen und die individuellen Genehmigungsvorgaben des BMH(K)W zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist noch unklar, welcher Abfallschlüsselnummer der Siebrest vor und gegebenenfalls auch nach der Aufbereitung zugeordnet werden kann und/oder eine neue Abfallschlüsselnummer sinnvoll oder sogar notwendig ist. Gerade im Hinblick auf eine zentrale Aufbereitung von Siebresten in einer separaten Anlage ist eine notwendige Voraussetzung, dass die Siebreste definiert werden können und die Produkte aus der Aufbereitung gegebenenfalls auch wieder als Produkte, wie z. B. Kompost (beispielsweise aus der abgesiebten Feinfraktion nach der Trocknung), deklariert werden können.

6 Optimierung der Siebrestaufbereitung in der Praxis

In der Abfallhierarchie des KrWG wird der Wiederverwendung, dem Recycling und der Verwertung der Vermeidung Vorrang eingeräumt. Die Beseitigung von Abfällen ist demnach nur dann vorzunehmen, wenn die anderen Wege nicht beschritten werden können. Somit ist die stoffliche Verwertung der in Biogutvergärungsanlagen erzeugten Produkte ein wesentliches Ziel für Anlagenplanung und -betrieb. Basis für die stoffliche Verwertung ist die hohe Qualität der erzeugten Produkte. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Gehalt an Fremdstoffen, wie Kunststoff, Glas und Mineralik. Gesteigerte Brisanz erhält dieses Thema vor allem aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen und den damit einhergehenden verschärften Anforderungen an Kompostprodukte.

Der Fremdstoffanteil in den Endprodukten entsteht bereits ganz am Anfang der Verwertungskette, nämlich durch die entsprechenden Fehlwürfe bei der häuslichen Erfassung des Bioguts. Wesentlicher Bestandteil einer Strategie zur Fremdstoffreduktion ist demzufolge die Intensivierung der Abfallberatung und Aufklärung der Bürgerinnen und Bürger. Ohne eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit, Anreize und Kontrolle ist eine hinreichende Inputqualität für die stoffliche Nutzung des Bioguts nicht zu erreichen.

Weitere Elemente der Fremdstoffreduktion sind technische Verfahren, die eine Ausschleusung der verbleibenden Fremdstoffe im Kompostprodukt ermöglichen. In der Praxis kommt es dabei immer wieder zu einer unzureichenden Fremdstoffabscheidung, was viele Betreiber dazu zwingt, weitere organisatorische und technische Maßnahmen vorzunehmen.

Durch die erhöhten Anforderungen an Komposte, bedingt durch die geforderten geringen Fremdstoffbelastungen, gewinnt somit die Voraufbereitung des Bioguts, der biologische Prozess und die Kompostkonfektionierung zunehmend an Bedeutung. Die Anlagenbetreiber reagieren auf die Problematik oft nur mit der Verringerung der Trenngröße bei der Siebklassierung. Ergebnis ist hierbei zwar eine ausreichende Fremdstoffentfrachtung der Komposte, damit einhergehend steigt allerdings auch der Anteil an Siebüberlauf, welcher unter hohen Kosten, entsorgt wird. Zum Zwecke einer optimalen Fremdstoffentfrachtung im Kompost und der Nutzbarmachung der Organik im Siebüberlauf, bedarf es einer eingehenden Betrachtung aller Behandlungsschritte sowie neuer technischer Verfahrensstufen und angepasster Konzepte zur Aufbereitung.

Fremdstoffe können an verschiedenen Stellen des Verfahrensprozesses abgetrennt werden. Dabei unterschieden werden nachfolgend Fremdstoffe, welche das Behandlungsverfahren nicht beeinflussen, aber vom Kompostprodukt abgeschieden werden sollten und Störstoffe, die diejenigen Fremdstoffe sind, welche zu Problemen in der biologischen Behandlung führen und bereits vor dieser im Biogut abgetrennt werden sollten.

Bei Abtrennung von Fremdstoffen vor dem biologischen Prozess durch Siebung entstehen meist hohe Mengen an mit Organik angereicherten Siebüberläufen, welche ungünstige Ausgangsbedingungen zur weiteren technischen Aufbereitung vorweisen. Resultierend aus diesem Sachverhalt erscheint es als sinnvoll, nur Störstoffe vor dem Behandlungsprozess abzuscheiden, während die Fremdstoffe diesen durchlaufen und bei der Kompostkonfektionierung abgeschieden werden. Bei Abtrennung der Fremdstoffe bei der Kompostkonfektionierung werden die Fremdstoffe im Siebüberlauf angereichert. Hierbei entsteht ein nicht unerheblich großer Stoffstrom, mit heterogener Zusammensetzung aus Organik und Fremdstoffen. Zur weiteren Verwertung der organischen Bestandteile müssen die Fremdstoffe durch technische Aufbereitung abgeschieden werden. Für das erfolgreiche Abscheiden sollten die Fremdstoffe in möglichst unzerkleinerter Form vorliegen.

Folglich sind die einzelnen Verfahrensschritte der Biogutbehandlung möglichst materialschonend durchzuführen. Nachfolgend werden die praxisüblichen Schritte der Biogutbehandlung und deren Wirkung auf die Fremdstoffentfrachtung erläutert. Hierbei liegt besonderes Augenmerk auf der verfahrensbedingten Zerkleinerung der Fremdstoffe.

Voraufbereitung des Bioguts

Ob Störstoffe vor oder Fremdstoffe nach der technischen Behandlung abgetrennt werden, ist vom Behandlungsverfahren abhängig zu machen. Bei der Kompostierung und Tunnelvergärung muss verfahrensbedingt keine Vorabscheidung von Störstoffen aus dem Biogut durchgeführt werden. In der Praxis wird allerdings häufig eine Zerkleinerung eingesetzt, um Gebinde zu öffnen und die Organik dem biologischen Prozess zugänglich zu machen.

In Anlagen mit Pfropfenstromverfahren muss aufgrund von technischen Anforderungen die Korngröße des Inputmaterials eingegrenzt werden. Hierfür werden nach der in Kapitel 3 beschriebenen Umfrage überwiegend langsamlaufende Zerkleinerungsaggregate in Verbindung mit einer Siebstufe eingesetzt. Verwendet werden hierbei hohe Siebschnitte (60–100 mm) zur Eingrenzung der Korngröße bzw. Anreicherung von Störstoffen im Siebüberlauf und geringe Siebschnitte (ca. 10 mm) zur Abscheidung von Feinmaterialien (z. B. Mineralik), welche sich im Reaktor absetzen können. Darüber hinaus werden meist Fe-Metalle aus dem Biogut abgeschieden.

Bei vergleichsweise wenigen Anlagen wird die Biogutbehandlung per Nassvergärung durchgeführt. Bei diesem Verfahren werden die Fremdstoffe bereits komplett aus dem Inputmaterial abgeschieden. Hierbei wird das Inputmaterial meist zerkleinert und nachfolgend einem Pulper aufgegeben. Im Pulper und weiteren Aufbereitungsaggregaten werden nicht vergärbare Materialien abgeschieden.

Bei der Störstoffabscheidung im Biogut entstehen meist große Mengen an mit Organik angereicherten Fremdstoffen, welche kostenintensiv in der MVA entsorgt oder zur Rückführung aufwendig aufbereitet werden müssen. Durch die Vorzerkleinerung werden ebenso Fremdstoffe zerkleinert, wodurch eine Fremdstoffentfrachtung bei der Kompostkonfektionierung bzw. aus dem Siebüberlauf erschwert wird.

Biologische Behandlung

Die biologische Behandlung des Bioguts wird durch Vergärung oder Kompostierung durchgeführt. Je nach eingesetztem Verfahren werden die Fremdstoffe im Prozess zerkleinert.

Durch die Vergärung wird der Fremdstoffgehalt und dessen Beschaffenheit unwesentlich beeinflusst. Lediglich durch die Massenreduktion der Organik kann von einer relativen Erhöhung des Anteils der Fremdstoffe gesprochen werden. Nach dem biologischen Prozess in Pfropfenstromfermentern wird der Gärrest je nach Verwertungsweg in eine flüssige und eine feste, mit Fremdstoffen angereicherte, Fraktion mittels Abpressung separiert. Durch den Abpressvorgang wird eine Zerkleinerung der Fremdstoffe bewirkt. Bei der Vergärung in Garagenfermentern wird keine wesentliche mechanische Wirkung auf die Fremdstoffe ausgeübt. Unabhängig vom Verfahren werden die festen Gärreste meist einer Kompostierung unterzogen.

Durch die Kompostierung von Biogut und Gärrest wird dieser für die Konfektionierung konditioniert. Maßgeblich für die erfolgreiche Fremdstoffentfrachtung bei der Kompostkonfektionierung ist der TS-Gehalt des Aufgabeguts. Durch einen geeigneten TS-Gehalt kann eine ausreichende Trennschärfe bei der Siebung erreicht und ein hoher organischer Feinanteil, bedingt durch

Agglomeration, im Siebüberlauf verhindert werden. Darüber hinaus wird durch den Feuchtegrad des Komposts die spätere technische Aufbereitung des Siebüberlaufs beeinflusst.

Auswirkung auf die Beschaffenheit der Fremdstoffe im Kompost kann die Wahl des Umsetzaggats haben. Während durch das Umsetzen von Kompost mittels Radlader nur geringe mechanische Auswirkungen auf die Fremdstoffe zu erwarten sind, führt der Einsatz des Mietenumsetzers mitunter zur Zerkleinerung der Fremdstoffe. Die Zerkleinerungswirkung wird hierbei neben der Bauform und der Drehzahl des Rotors ebenso durch die Anzahl der Umsetzvorgänge hervorgerufen.

Der wesentliche Prozessschritt der Fremdstoffabscheidung aus Kompost ist die Kompostkonfektionierung. Bei dieser sollen in einem ersten Schritt durch Siebung, die Fremdstoffe vom organischen Feinanteil (Kompostprodukt) abgetrennt werden. Abhängig vom Verwertungsweg des erzeugten Kompostprodukts müssen verschiedene Grenzwerte der Fremdstoffbelastung eingehalten werden. Die Einhaltung der Grenzwerte wird praxisüblich durch Anpassung der Siebschnitte und Anreicherung der Fremdstoffe im Siebüberlauf gelöst. Die Siebung findet hierbei meist in Trommelsieben statt. Charakteristisch für Trommelsiebe können diese eine Zerkleinerung von Materialien, wie Glas, hervorrufen. Neben der Stoffstromtrennung durch Siebung können weitere Aggregate zur Entfrachtung der Fremdstoffe aus dem Kompost, wie Windsichter, Metall- und Schwerstoffabscheider, eingesetzt werden (siehe Kap.9).

Behandlung der Siebreste

Der Siebrest aus der Kompostkonfektionierung ist ein heterogenes Gemisch aus Organik, Mineralik, Hart- und Folienkunststoffen, PPK und Metallen. Im Ausgangszustand kann dieser nur in der MVA entsorgt werden. Aus wirtschaftlicher Sicht und im Sinne der Kaskadennutzung ist dies allerdings nur wenig sinnvoll. Da im Siebrest, wie in Kapitel 4.1 ausführlich beschrieben, ein großer Teil an Organik ungenutzt entsorgt werden würde, ist es sinnvoll, diesen von den Fremdstoffen weitgehend zu separieren und einer Verwertung zuzuführen. Hierfür sind die nachfolgenden Verwertungswege üblich:

- Verwertung im BMH(K)W
- Rückführung in den biologischen Prozess

Zur Verwertung des Siebüberlaufs im BMH(K)W sind die Grenzwerte, welche in Kapitel 5 aufgeführt sind, einzuhalten. Bei der Rückführung in den biologischen Prozess kann das organische Material je nach Korngröße als Strukturmaterial in der Rotte eingesetzt werden. Zum einen kann der Anlagenbetreiber hierdurch auf jahreszeitenunabhängiges Strukturmaterial zurückgreifen, zum anderen kann das substituierte Grüngut der kostengünstigeren Grüngutverwertung zugeführt werden. Voraussetzung für eine Rückführung ist die Fremdstoffentfrachtung aus dem Siebüberlauf, da sonst eine Aufkonzentration der Fremdstoffe im biologischen Prozess verursacht werden würde.

Unabhängig vom angestrebten Verwertungsweg sollten die Fremdstoffe aus dem Siebüberlauf abgeschieden werden, um die kostenintensive Entsorgung in der MVA zu umgehen. Hierfür werden technische Aufbereitungsaggregate eingesetzt. Im nachfolgenden Kapitel 6.1 werden die mögliche Aufbereitungsverfahren aufgezeigt.

6.1 Verfahren zur Siebrestaufbereitung

Die Abtrennung der Fremdstoffe in der Siebrestaufbereitung erfolgt in der Regel durch Klassieren und Sortieren. Während bei der Klassierung die Abtrennung der Stör- und Fremdstoffe durch die Eingrenzung bzw. Anreicherung in bestimmten Größenklassen oder die Erzeugung von Größenklassen ohne Stör- und Fremdstoffe erreicht wird, werden die Fremdstoffe bei einer Sortierung anhand von stofflichen Eigenschaften bzw. Partikelmerkmalen, wie geometrische Merkmale (Oberfläche, Volumen), Masse, Sinkgeschwindigkeit und Feldstörungen (Störung elektrischer, magnetischer Felder oder Wellenbereiche), entnommen.

Zu den mechanischen Trennverfahren der Klassierung zählen

- Windsichten durch Relativbewegung im Strömungsmittel (Schwerkraft) und
- Sieben durch Formabhängigkeit,

während die mechanischen Trennverfahren der Sortierung

- Luftsetzen durch instationäre Beschleunigungskräfte im Strömungsmittel,
- Windsichten durch Fliehkräfte im Strömungsmittel,
- Plansichten durch Siebbewegung und Strömung,
- Auslesetische, Herde durch Beschleunigungskräfte und Reibungskräfte,
- elektrostatisches Scheiden durch elektrische Kräfte und
- Magnetscheiden durch magnetische Kräfte

umfassen. Bei der Abtrennung von Fremd- und Störstoffen aus Abfällen werden seit geraumer Zeit auch auf der Spektroskopie, Induktion und VIS-Kamera basierende Verfahren angewandt, bei denen die Erkennung und spätere Auslese der Fremdstoffe auf einer Veränderung des Spektrums elektromagnetischer Wellen, wie Nah-Infrarot-, Röntgen- und Laserstrahlung, beruht.

Die Güte der Abtrennung der Stör- und Fremdstoffe wird hierbei von diversen Einflussgrößen bestimmt. Bei Bioabfällen handelt es sich um eine grobdisperse Phase, in der die Partikeleigenschaften vom Partikelvolumen abhängen und das Partikelverhalten durch Schwer- und Trägheitskräfte bestimmt wird. Für eine erfolgreiche Abtrennung der Fremdstoffe sind gleichbleibend konstante Bedingungen vorteilhaft. Eine gleichmäßige Materialaufgabe zur Vermeidung von zufälligen Einflüssen, wie beispielsweise Kollisionen zwischen den Partikeln, ist anzustreben. Des Weiteren sollten die Abfälle dosiert und dispergiert werden. Diese Zielsetzung wird mit abnehmender Teilgröße schwieriger, da hier die Agglomerationsneigung wächst, während die Homogenität und Schwebefähigkeit abnehmen.

Nachfolgend werden Technologien aufgezeigt, welche unter Anwendung der beschriebenen Trennverfahren zur Fremdstoffentfrachtung der Siebreste eingesetzt werden, sowie Techniken zur Verbesserung der Effizienz der Fremdstoffabtrennung, wie Zerkleinerung und Trocknung. Die beschriebenen Technologien dienen hierbei zur Separation des Siebrests in verschiedene Stoffströme, wie z. B. Organik, Kunststoff, Glas, Mineralik usw. Ziel ist es, durch den Einsatz von technischen Einzelaggregaten oder durch die Kombination von Aggregaten den Siebrest soweit von Fremdstoffen aufzureinigen, dass der organische Anteil in den Prozess rückgeführt oder die Grenzwerte zur energetischen Verwertung im BMH(K)W eingehalten werden können. Erläutert werden hierbei am Markt verfügbare Technologien, welche laut Umfrage in Kapitel 3 auch bereits von den Anlagenbetreibern zur Behandlung von Siebresten eingesetzt werden.

6.1.1 Siebung

Die Siebklassierung ist ein in der Abfallwirtschaft fest verankertes, seit vielen Jahren bewährtes, Verfahren der Fremdstoffentfrachtung aus Biogut, Kompost und Siebrest aus der Kompostkonfektionierung. Laut Umfrageergebnisse in Kapitel 3 ist die Siebung das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Fremdstoffentfrachtung aus Siebresten der Kompostkonfektionierung.

Während bei anderen Sortierverfahren zur Fremdstoffabtrennung gezielt stoffspezifische Eigenschaften genutzt werden, so wird bei der Siebung der eingesetzte Stoffstrom nur nach geometrischen Abmessungen klassiert. Die Korngröße des Siebdurchlaufs wird hierbei durch die Sieblochweite bestimmt. Durch die Absiebung soll eine Anreicherung einer Stoffgruppe in einer der erzeugten Stoffströme erreicht werden. Einer ausreichenden Abtrennung von Fremdstoffen durch Siebung kann hierbei eine prozessbedingte Vorzerkleinerung des Materials entgegenstehen. Durch die reduzierte der Partikelgröße der Fremdstoffe wird die Abtrennung erschwert.

Maßgeblich beeinflusst wird der Erfolg der Absiebung durch den Wassergehalt des Materials. Bei bestimmten Wassergehalten, wird erfahrungsgemäß der Feinanteil im Überkorn höher, da Anhaftungen im Überkorn und Agglomerate entstehen. Weitere Faktoren sind hierbei das eingesetzte Siebverfahren bzw. Art- und Konzentration der Fremdstoffe im Ausgangsmaterial. Insbesondere an Kunststoffen können Anhaftungen von Organik mit hohem Wassergehalt in nicht unerheblicher Menge vorhanden sein. Wie in der nachfolgenden Abb. 71 grafisch dargestellt ist eine besonders effiziente Siebung im Bereich der Nasssiebung oder der Trockensiebung zu erreichen.

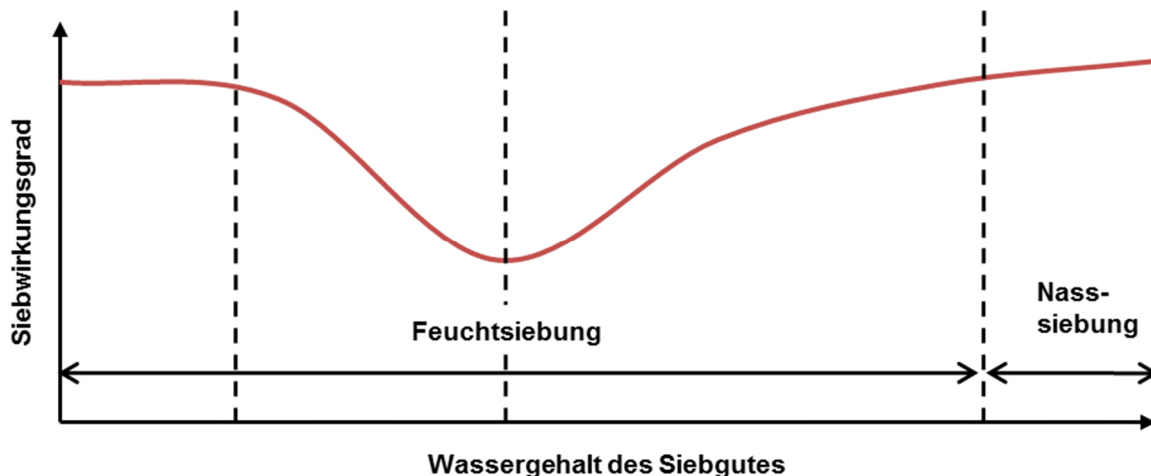


Abb. 71: Siebwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Aufgabematerials (Quelle: Pretz und Feil, 2017)

Für einen effizienten Trennprozess mittels Siebung kann es somit sinnvoll sein den Siebüberlauf, welcher bereits weitaus trockener als das Biogut ist, nach der Kompostkonfektionierung weiter zu trocknen bzw. einer Nachkompostierung zu unterziehen und erneut abzusieben. Dies ermöglicht eine weitergehende Abtrennung von anhaftender Organik. Weitere verfahrensspezifische Einflussfaktoren auf die Siebung stellen Verweilzeit im Sieb und die nutzbare Siebfläche der Aggregate dar.

Trommelsieb

Das Trommelsieb wird als bevorzugtes Aufbereitungsaggregat von Siebresten genutzt. Dies bestätigen die an der Umfrage beteiligten Anlagenbetreiber. So unterziehen 31 % der Anlagenbetreiber, welche eine Aufbereitung der Siebreste aus der Kompostkonfektionierung durchführen, diesen einer Siebung im Trommelsieb.

Beim Trommelsieb durchläuft das Aufgabegut die um die eigene Achse rotierende Siebtrommel und wird somit in eine permanent rollende Bewegung versetzt. Die Trommel ist hierbei leicht abschüssig geneigt, sodass grobe Bestandteile des Aufgabeguts entlang der abschüssigen Trommelachse gefördert und schlussendlich ausgetragen werden. Feinere Bestandteile hingegen werden aufgrund ihrer Korngröße abgeseibt. Die Korngröße des Siebdurchlaufs ist von der Maschenweite der Siebtrommel abhängig. Insbesondere bei Trommelsieben besteht die Gefahr des Verklebens der Sieblöcher. Daher werden Trommelsiebe mit Reinigungsbürste ausgestattet.

Am Markt verfügbar sind Siebtrommeln mit unterschiedlicher Perforierung. Die gebräuchlichsten Perforierungen sind in der nachfolgenden Abb. 72 dargestellt. Die verschiedenen Lochungen weisen hierbei formbedingt Vor- und Nachteile auf. Bei der Quadratlochung ist gegenüber der Rundlochung die aktive Siebfläche größer. Bei dieser Sieblochgeometrie kann allerdings mitunter grobes Material in den Siebdurchlauf gelangen, da die Diagonale der Quadratlochung den Durchgang größerer Aufgabematerialien erlaubt. Die Hexagon-Lochung vereint die Vorteile von Rund- und Quadratlochung.

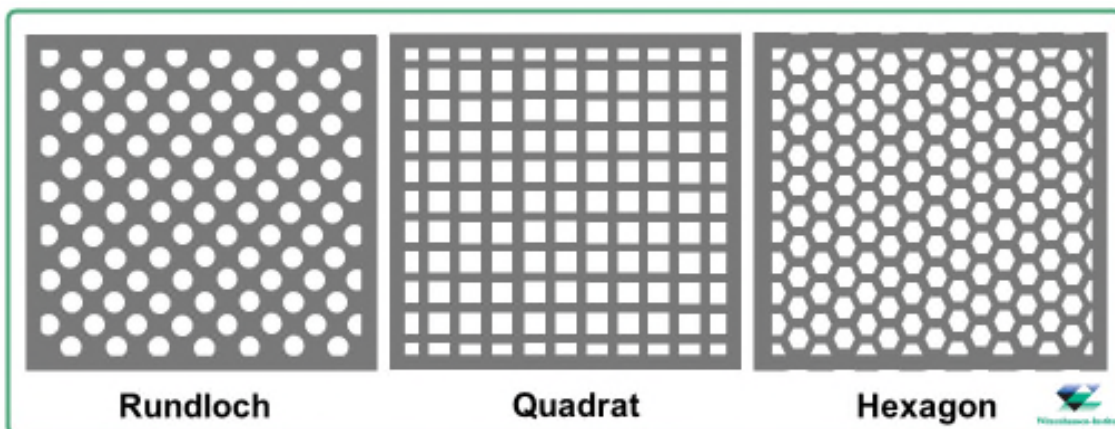


Abb. 72: Mögliche Sieblochformen von Siebtrommeln

Problematisch kann die Siebung von feuchten Aufgabematerialien bei kleinen Sieblochdurchmessern der Siebtrommeln sein. Die rollende Bewegung des Aufgabematerials kann zu Agglomeration und somit zu Kornvergrößerung führen. Darüber hinaus ist die Verklebung der Sieblochung möglich. Ein erhöhter Feinkornanteil im Überkorn ist die Folge. Weitere maßgebliche Einflussfaktoren auf den Sieberfolg, sind die Aufenthaltsdauer des Materials im Sieb, die Menge des aufgegebenen Materials und die Siebfläche, welche durch den Durchmesser und Länge der Siebtrommel beeinflusst werden.

Bewegte Roste

Bei bewegten Rosten besteht der Siebrost aus angetriebenen Wellen die quer zu Förderrichtung des Siebes angeordnet sind. Auf den Wellen befinden sich die Rostscheiben, die in definierten Abständen zueinander auf den Wellen angebracht sind. Durch die Rotationsbewegung der Rostscheiben wird das Aufgabegut in Rotationsrichtung auf dem Siebdeck gefördert. Das Siebüberkorn wird hierbei, wie in Abb. 73 schematisch dargestellt, von Rostscheibe zu Rostscheibe

getragen, während das Unterkorn an den Rostscheiben vorbei herabfällt. Die Trenngröße wird durch den Abstand der Rostscheiben zueinander definiert. Das Überkorn wird am Ende des Siebdecks abgeworfen.

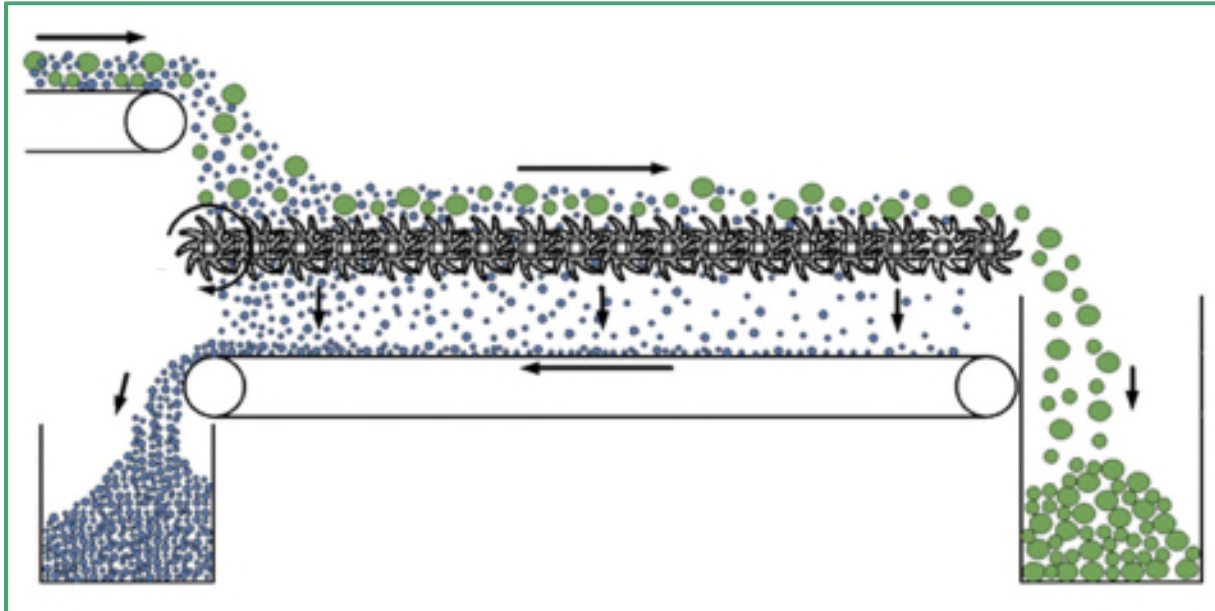


Abb. 73: Schematische Darstellung des Sternsiefs (modifiziert nach Mack Maschinentechnik GmbH)

Die Rostscheiben können bei bewegten Rosten in unterschiedlichen geometrischen Ausführungen gefertigt werden. Diese sind in Abhängigkeit vom Aufgabegut zu verwenden und beeinflussen das Siebergebnis. Im Bereich der Siebrestaufbereitung werden vor allem Sternscheiben eingesetzt. Des Weiteren wird das Siebergebnis von der Fördergeschwindigkeit beeinflusst. Diese resultiert aus Neigung des Siebdecks und Rotationsgeschwindigkeit der Scheiben. Je schneller diese ist, desto weniger Grobkornanteil findet sich im Siebdurchlauf wieder.

Bewegte Roste eignen sich besonders für feuchte Aufgabematerialien, welche zu Agglomeration neigen. Einen weiteren Vorteil weist diese Siebtechnik bei der Abtrennung von zweidimensionalen Kunststoffen auf. Diese werden auf den Rostscheiben weitergetragen und im Siebüberlauf angereichert. Ein zu großer Anteil an flächigen Materialien im Aufgabegut kann die Absiebung der Feinfraktion behindern, ein höherer Feinanteil im Grobkorn ist die Folge. Zu Problemen bei der Absiebung können ebenfalls lange wickelbare Aufgabematerialien führen. Diese können sich um die Rostwellen wickeln und das Trennergebnis beeinflussen bzw. einen hohen Reinigungsaufwand verursachen.

Spannwellensieb

Spannwellensiebe sind mit nacheinander angeordneten, gelochten, elastischen aus Kunststoff gefertigten Siebmatten ausgestattet. Die Trenngröße wird hierbei durch den Durchmesser der Lochung in den Siebmatten vorgegeben. Die Sieblochung ist vorwiegend in Quadratform, mit Sieblochgrößen bis 100 mm ausgeführt. Die Siebmatten werden, wie in Abb. 74 zu sehen, alternierend gedehnt und entspannt. Hierdurch entsteht eine wellenartige Bewegung der Siebmatten. Die Vorschubrichtung wird durch Neigung des Siebdecks erzeugt.

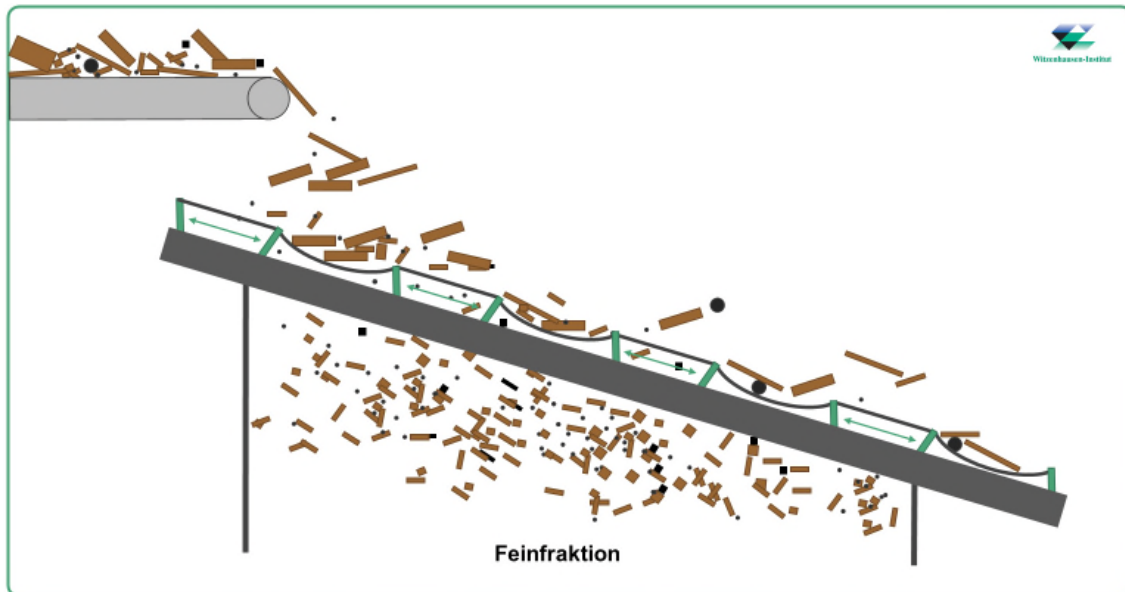


Abb. 74: Funktionsprinzip des Spannwellensiebs

Beim Spannen der Siebmatten aus der muldenartig gebogenen Ausgangsform, wird das Aufgabegut stark beschleunigt. Das Aufgabegut wird dabei in ein stetiges Aufspringen auf den Siebmatten versetzt. Dieser „Trampolineffekt“ bewirkt eine Auflockerung des Aufgabeguts und wirkt Entstehung von Agglomeraten entgegen. Durch das abwechselnde Entspannen und das starke Dehnen der Siebmatten wird eine Selbstreinigung der Sieblöcher von Verklebungen hervorgerufen.

6.1.2 Schwerstoffabscheidung

Schwerstoffabscheider werden eingesetzt, um vom Aufgabegut Materialien mit charakteristischen Eigenschaften, wie hohe Dichte und geometriebedingte kleine Auflagefläche, abzureichern. Die Schwerstoffabtrennung aus dem Siebüberlauf wird hierbei nach Kapitel 3 an ca. 10 % der Anlagen, die an der Umfrage teilgenommen haben, durchgeführt.

Rollabscheider

Auf vergleichsweise einfache Weise kann die Schwerstoffabtrennung durch ein steil aufgestelltes Förderband, einen sogenannten Rollabscheider, durchgeführt werden. Der Siebrest wird, wie in der nachfolgenden Abb. 75 schematisch dargestellt, auf das Förderband aufgegeben. Hierbei rollen Körper, wie beispielsweise Steine und sonstige runde Materialien, welche aufgrund von einer kleinen Auflagefläche eine geringe Haftreibung vorweisen, entgegen der Förderrichtung und fallen am Förderbandende herab. Zwei- und dreidimensionale Körper, wie bspw. organische Teile, mit höherer Haftreibung, werden mit dem Band nach oben gefördert.

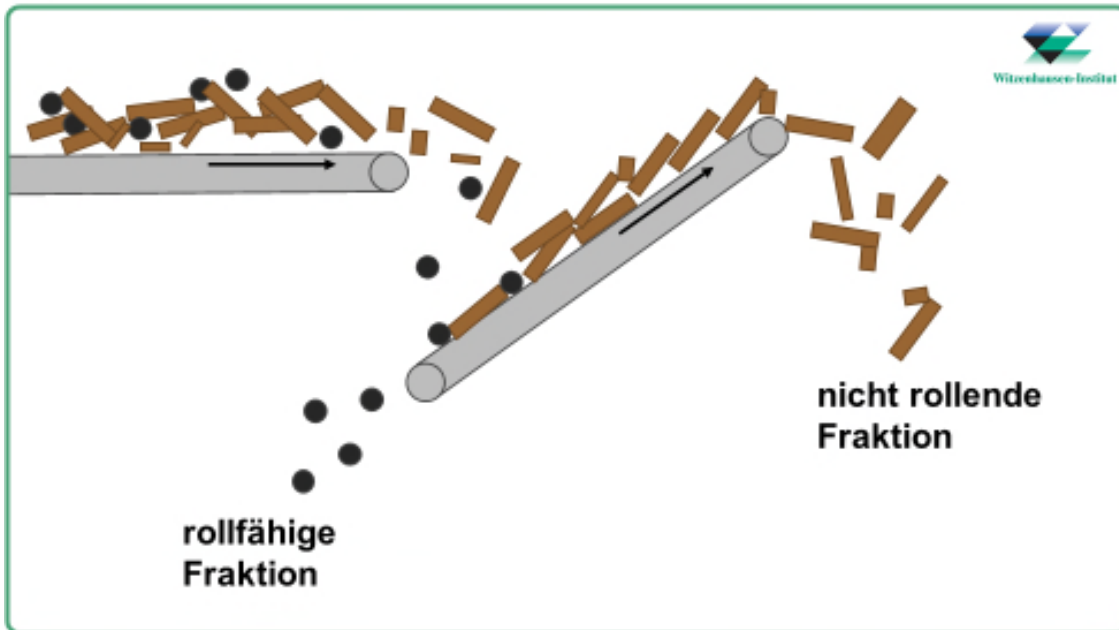


Abb. 75: Funktionsprinzip des Rollabscheiders

Charakteristisch für den Rollabscheider ist keine sortenreine Abtrennung der Ströme. Durch Ähnlichkeiten in der geometrischen Beschaffenheit werden neben Materialien mit hoher Dichte auch Knochen und Organik (bspw. Kastanien, Eicheln, Zapfen) in die rollfähige Fraktion abgeschieden. Dies macht sich insbesondere dann bemerkbar, wenn jahreszeitenbedingt viele runde, harte Früchte, wie bspw. Kastanien oder Zapfen, mit in die rollfähige Schwerfraktion abgetrennt werden. Mit der kostenintensiven Entsorgung des abgeschiedenen Materials in der MVA ist, bedingt durch den hohen Verunreinigungsgrad, zu rechnen.

Hydraulischer Dichteseparator

Durch hydraulische Dichteseparation wird eine Trennung von schwimmfähigen und sinkenden Materialien vorgenommen. Die Trennung erfolgt hier aufgrund der Dichte, eine spezifische Trennung nach Material kann hierbei nicht vorgenommen werden. Wie in Abb. 76 dargestellt, wird das Aufgabegut in die Wasservorlage eingegeben. Die Wasservorlage ist in horizontaler Richtung durchströmt. Am Ende des durchströmten Wasserbades befindet sich ein Austragsystem. Schwimmfähige Materialien werden durch die Strömung an der Wasseroberfläche zu einem Förderband befördert und mit diesem ausgetragen. Abgesunkene Materialien werden bspw. mit einer Förderschnecke ausgetragen. Die Trennschärfe kann durch Integration eines Aufströmers im Wasserbecken erhöht werden. Hierdurch sinken nur Stoffe ab, deren spezifische Sinkgeschwindigkeit höher als die vom Aufströmer erzeugte Strömungsgeschwindigkeit ist.

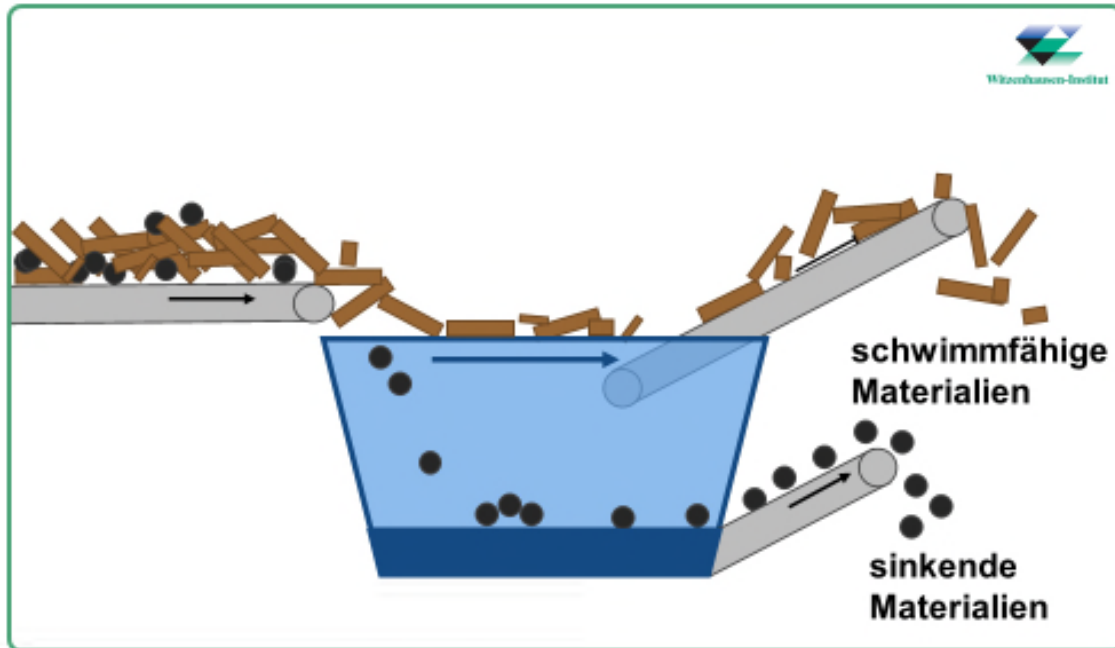


Abb. 76: Schematische Darstellung eines hydraulischen Dichteseparators

In der Wasservorlage wird der anhaftende Feinanteil abgewaschen und verbleibt im Wasser. Hierdurch muss das Prozesswasser in Abhängigkeit der Feinanteilbelastung ausgetauscht oder gereinigt werden. Beachtet werden sollte hierbei die Auswirkung der Trennstufe auf die Wasserbilanz der Gesamtanlage.

Das Aufgabegut wird in der Wasservorlage befeuchtet. Dieser Umstand ist gerade im Hinblick auf die weitergehenden Verwertungswege zu berücksichtigen. Während die Nutzung des Materials als Strukturmaterial denkbar ist, ist eine energetische Verwertung bspw. in einem BMH(K)W nicht ohne eine weitergehende Behandlung explizit der Trocknung möglich.

6.1.3 Ballistikseparator (Paddelsichter)

Im Ballistikseparator kann das Aufgabegut, je nach Bauweise, in bis zu drei Fraktionen getrennt werden. Die Fraktionen sind hierbei in rollend-kubische und in flach-weiche Materialien getrennt. Darüber hinaus ist durch Lochung der Paddel die Absiebung einer Feinfraktion möglich.

Dies wird technisch durch nebeneinander angeordnete, geneigte Paddel umgesetzt, die eine oszillierende Bewegung ausführen. Zueinander versetzt erreichen die Paddel abwechselnd deren minimale bzw. maximale Position. Durch die so erzeugte gerichtete Schwingung wird das Aufgabematerial in eine permanente Bewegung versetzt. Bedingt durch die Neigung und Schwingung der Paddel werden rollfähige Geometrien nach unten gefördert, während flach-weiche, Geometrien, wie bspw. Folien, nach oben gefördert werden. Zusätzlich kann, wie in Abb. 77 dargestellt, durch perforierte Paddel das Feinmaterial aus dem Aufgabegut abgetrennt werden.

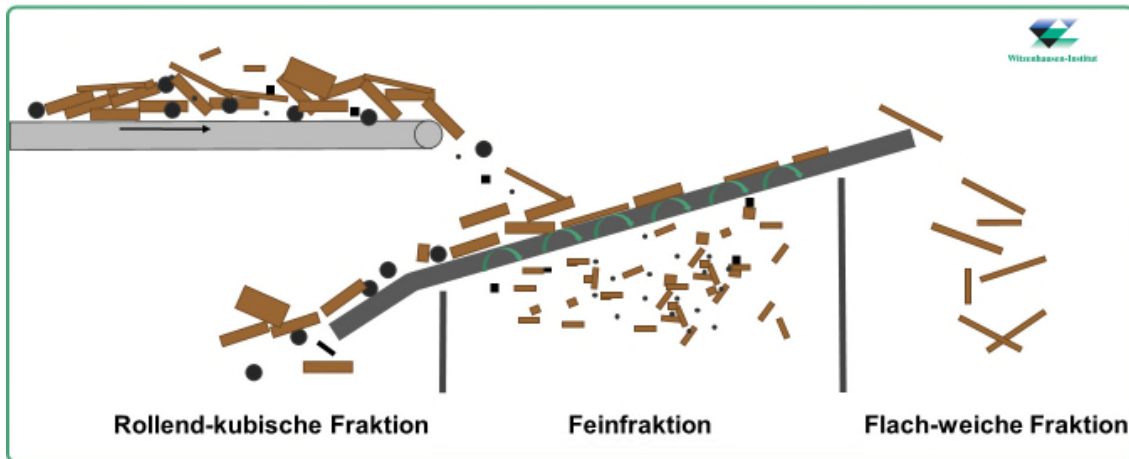


Abb. 77: Funktionsschema eines Ballistikseparators mit drei Fraktionen

Durch die Anpassung der Neigung und der Schwingung der Paddel kann die Trennschärfe eingestellt und auf schwankend zusammengesetzte Aufgabematerialien reagiert werden. Bei zusätzlicher Absiebung einer Feinfraktion wird die Korngröße des Unterkorns durch die Lochgröße der perforierten Paddel bestimmt.

6.1.4 Metallabscheider

Metallabscheider dienen zur Separation von Fe- und NE-Metallen aus dem Aufgabegut. 10 % der Anlagen, die an der Umfrage teilgenommen haben (Kapitel 3), unterziehen die Siebreste aus der Kompostaufbereitung einer Metallabscheidung. Hingegen führen 40 % der Betreiber bereits bei der Biogutaufbereitung eine Metallabscheidung durch.

Im Folgenden wird die Funktionsweise der Aggregate zur Abscheidung von Eisen- und Nichteisenmetallen beschrieben.

Magnetabscheider

Zur Abtrennung von FE- Materialien werden Magnetabscheider verwendet. Das dazu erforderliche Magnetfeld wird durch Permanent- oder Elektromagnete erzeugt. Technisch werden diese in den folgenden Bauformen zur Siebrestaufbereitung eingesetzt:

- Aushebemagnet
- Überbandmagnetabscheider
- Bandrollenmagnetabscheider

Aushebemagneten sind über dem geförderten Aufgabematerial platzierte Magneten, welche Fe-Metalle separieren. Diese müssen manuell gereinigt werden und eignen sich somit für geringe Fe-Metallströme. Überbandmagnetabscheider sind hingegen selbstreinigend und eignen sich besonders für hohe Materialströme. Wie in Abb. 78 dargestellt, ist ein Magnet von einem Gurtförderband umbaut. Fe-Metalle werden vom Magneten entgegen der Schwerkraft aus dem Aufgabegut entfernt und vom Gurtförderband über einen Abwurf gefördert. Da sich der Magnet nicht über die volle Länge des Bandes erstreckt, werden die magnetisierten Materialien aus dem Magnetfeld geführt und gesondert abgeworfen.

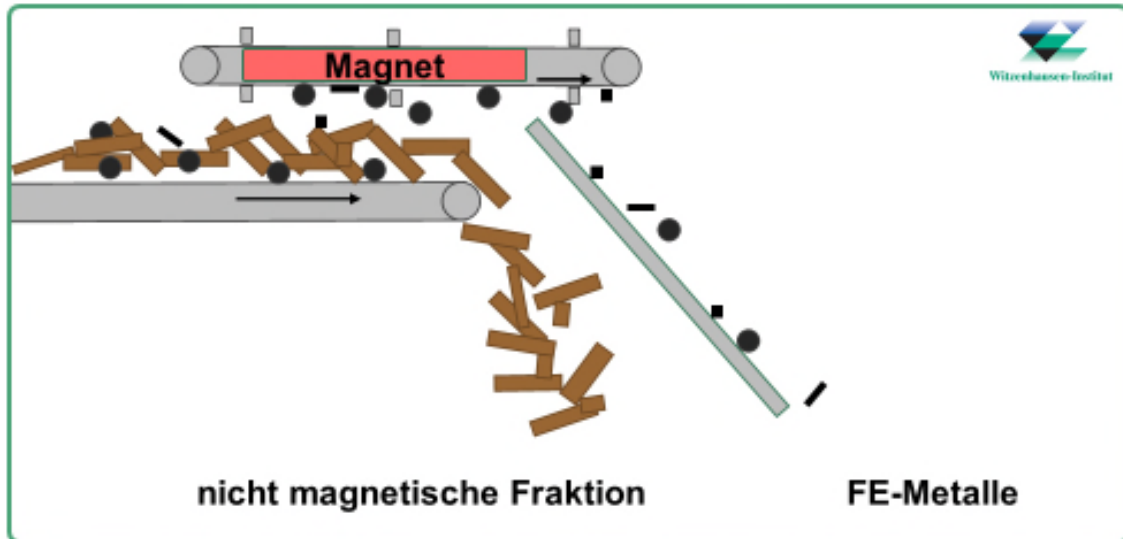


Abb. 78: Prinzipielle Funktionsweise eines Überbandmagnetabscheiders

Der Abtrenngrad des Aushebe- und Überbandmagnets wird vom Abstand des Magnetabscheiders zum geförderten Aufgabegute und der Vereinzelung des Materials auf dem Förderband beeinflusst.

Anders als der aufgezeigte Überbandmagnetabscheider, ist der Bandrollenmagnetabscheider im Förderband integriert. Dieser ist, wie in Abb. 79 zu sehen, in der Kopftrummel des Förderbands angebracht. Während das nicht magnetisierbare Aufgabegut abgeworfen wird, werden die Fe-Metalle über die Kopftrummel hinaus auf die Unterseite des Förderbandes weitergeführt. Nach überschreiten des Magnetfeldes fallen diese herab und sind somit vom restlichen Materialstrom separiert.

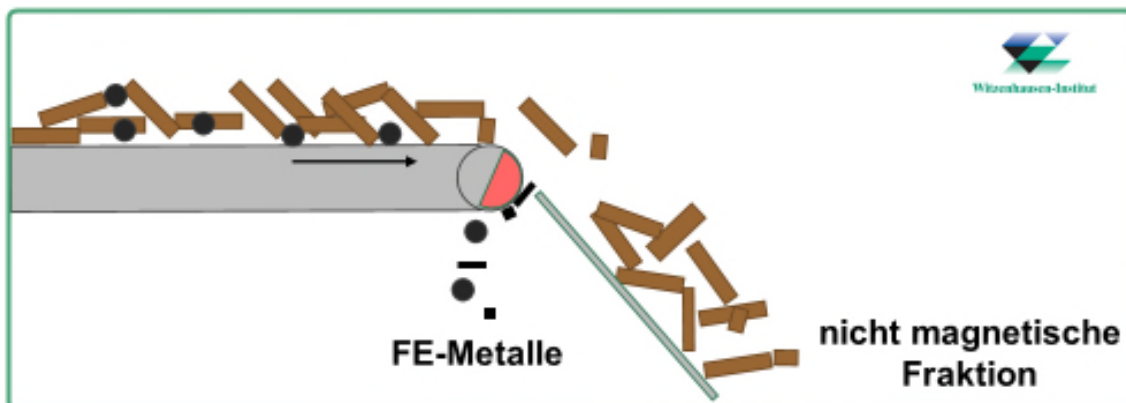


Abb. 79: Funktionsprinzip des Bandrollenmagnetabscheiders

Für einen hohen Wirkungsgrad sollten das Aufgabematerial stark vereinzelnd werden. Durch Materialüberlagerung können nicht magnetische Materialien mit ausgetragen werden oder das Ausheben von Fe-Metallen kann verhindert werden. Fe-Metalle mit einem ungünstigen Verhältnis von Oberfläche zu Masse, wie bspw. Kugeln, können unter Umständen nicht abgetrennt werden.

Wirbelstromabscheider

Durch den Wirbelstromabscheider können NE-Metalle aus dem Aufgabegut durch induzierte Wirbelströme abgetrennt werden. Der Wirbelstromabscheider befindet sich in der Kopftrummel

eines Förderbands. Wie in Abb. 80 zu sehen, ist die Poltrommel exzentrisch zur Kopftrommel platziert. Durch die Rotation des Polrades entstehen hochfrequente, magnetische Wechselfelder, die starke Wirbelströme in den leitfähigen NE-Metallen bilden. Die beiden Magnetfelder sind gleich gepolt und stoßen sich ab, wodurch die NE-Metalle aus dem Materialstrom abgelenkt werden. Die Stoffströme/Materialströme können dann separat abgeführt werden.

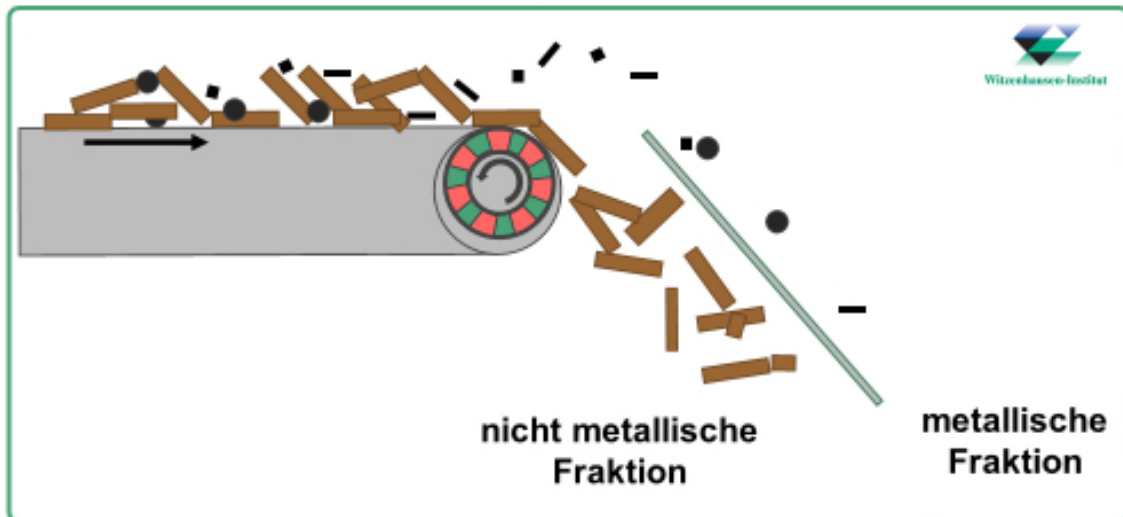


Abb. 80: Funktionsprinzip des Wirbelstromabscheiders (eigene Darstellung)

Durch die Änderung des Abstands der Poltrommel zum Förderband wird die Trennschärfe des Wirbelstromabscheiders beeinflusst. Die Vereinzelung des Materials ist für einen hohen Abscheidegrad von NE-Metallen wichtig.

6.1.5 Windsichtung

Ein weiteres mechanisches Trennverfahren, vor allem zur Abtrennung von zweidimensionalen Kunststoffen, ist die Windsichtung. Hierbei wird durch die spezifischen aerodynamischen Eigenschaften der aufgegebenen Materialien in einem Luftstrom eine Stoffstromseparation durchgeführt. Diese Eigenschaften sind abhängig von Dichte, Korngröße und Kornform des Aufgabematerials. Idealisiert können drei verschiedene Ausgangszustände des Aufgabematerials mit davon abhängigem Trennmerkmal kategorisiert werden:

Tab. 11: Trennmerkmal bei der Windsichtung (Quelle: VenitOelde GmbH)

Eigenschaften des Aufgabematerials	Trennkriterium
Gleiche Dichte und gleiche Kornform	Korngröße
Gleiche Korngröße und gleiche Kornform	Dichte
Gleiche Dichte und gleiche Korngröße	Kornform

Für ein gutes Trennergebnis sollte entsprechend Tab. 11 vor der Windsichtung ein Aufgabematerial mittels Vorbehandlung erzeugt werden, welches näherungsweise eine der beschriebenen Eigenschaften vorweist.

Die Windsichtung kann in verschiedenen technischen Verfahren durchgeführt werden. Bei der Behandlung von Siebresten werden folgenden Windsichter eingesetzt:

- Querstrom-Windsichter
- Folienabsaugung

Im Querstrom-Windsichter wird das Aufgabegut, wie in Abb. 81 dargestellt, von einem Beschleunigungsband in den Sichtraum abgeworfen. Im Sichtraum wird das Aufgabegut quer zur Abwurf-richtung durch einen Luftstrom angeströmt. Materialien mit kleiner Oberfläche und hoher Dichte werden hierbei nur leicht von ihrer Flugkurve abgelenkt, während leichtere Materialien vom Luftstrom stark abgelenkt werden. Der Sichtraum ist hierbei durch ein Trennblech unterteilt, wodurch eine Separation der Leicht- und Schwerfraktion erreicht wird. Je nach Aufgabematerial und abzutrennender Fraktion können entweder der Hauptstrom vom Luftstrom abgelenkt und schwere absinkende Fremdstoffe ausgeschleust oder aber nur die Leichtfraktion vom Hauptstrom abgetrennt werden.

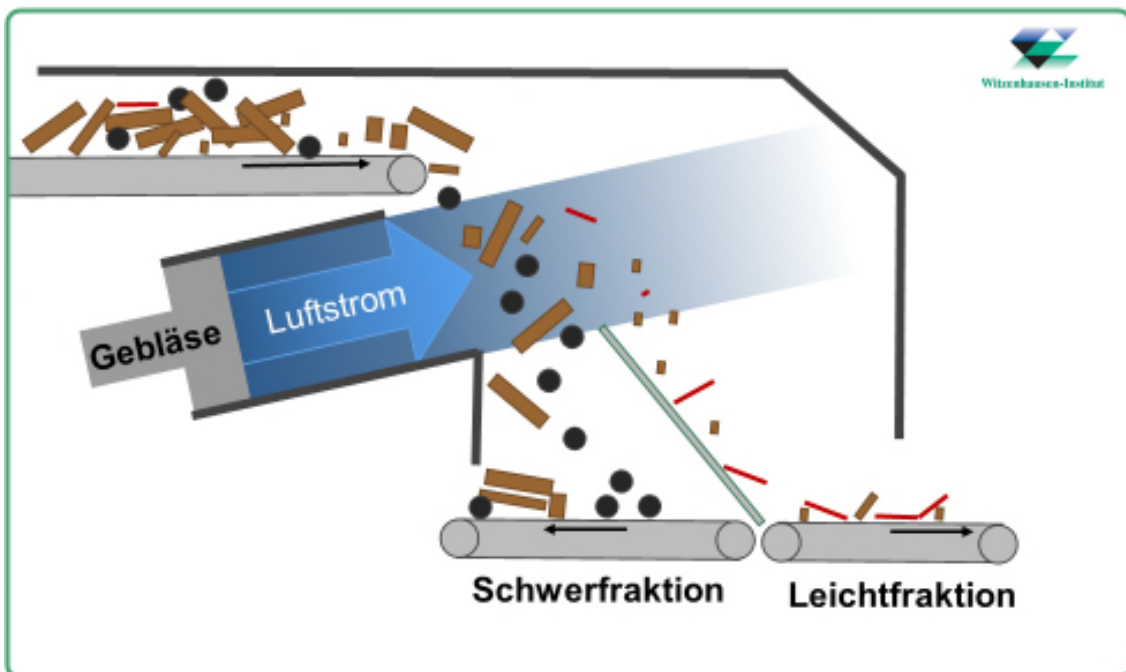


Abb. 81: Funktionsprinzip des Querstrom-Windsichters

Neben Querstrom-Windsichtern, welche den Luftstrom nur über ein Druckgebläse erzeugen, sind ebenso kombinierte Geräte mit Druck- und Sauggebläse, am Markt verfügbar. Hierbei erfolgt, wie in der nachfolgenden Abb. 82 aufgezeigt, eine Trennung des Aufgabematerials in bis zu drei separaten Fraktionen. Die Trennung des Stoffstroms wird hierbei nach dem erläuterten Prinzip per Luftstrom durchgeführt. Darüber hinaus werden per Sauggebläse Materialien mit geringer Dichte, wie Kunststofffolien oder Faseranteile, abgesaugt und in einer separaten Fraktion gesammelt.

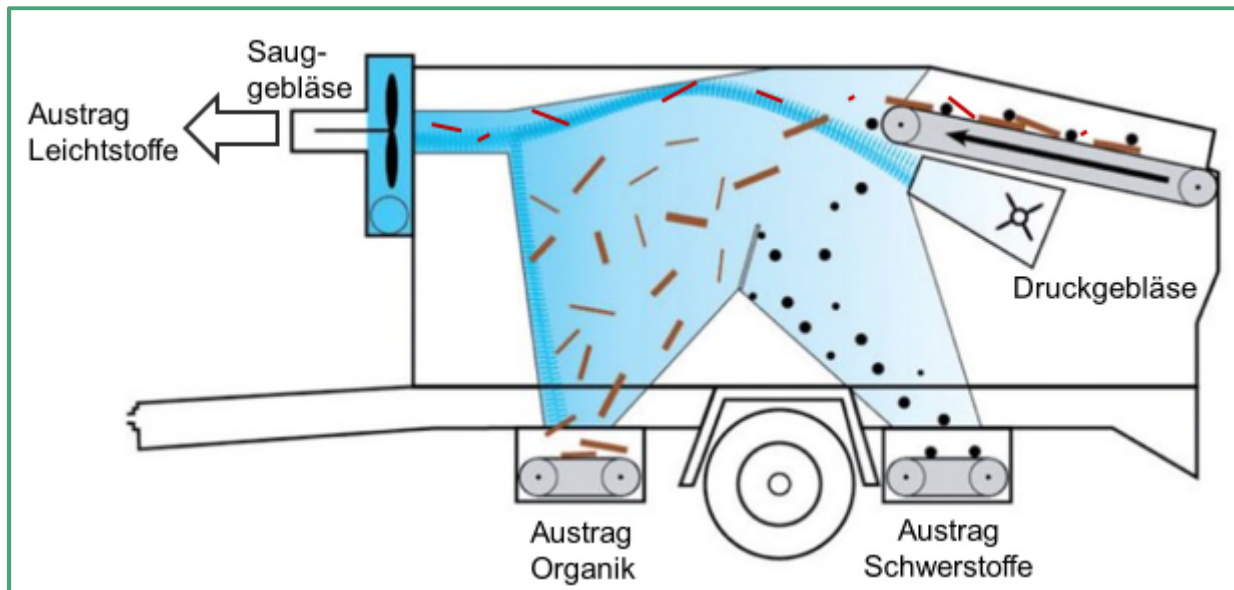


Abb. 82: Druck-Saugkombination

Die Trennschärfe des Querstrom-Windsichters kann über die Flugparabel des Aufgabematerials vom Beschleunigungsband eingestellt werden. Die Einstellungen müssen hierbei auf die sich ändernden Eigenschaften des Aufgabematerials angepasst werden.

Die Fremdstoffabtrennung mittels Windsichtung kann ebenso in vergleichsweise einfacher Bauform durch Absaugung vorgenommen werden. Wie in der nachfolgenden Abb. 83 schematisch dargestellt, wird die Leichtfraktion durch ein Sauggebläse vom Aufgabematerial abgesaugt. Hierfür kann die Folienabsaugung bspw. nachträglich über einer Übergabe an Förderbändern installiert werden.

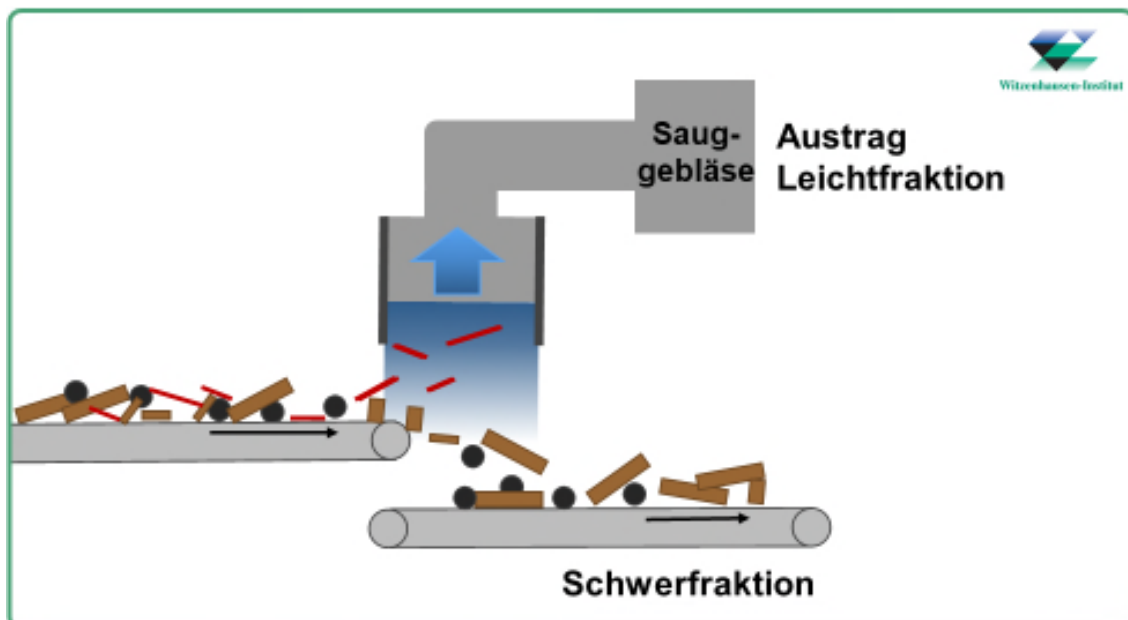


Abb. 83: Funktionsprinzip einer Folienabsaugung an einer Förderbandübergabe

Der technische und ökonomische Aufwand für eine Folienabsaugung ist vergleichsweise gering. Ebenso lässt die kompakte Bauform die nachträgliche Integration in eine bestehende

Aufbereitungsstrecke zu. Aufgrund des vergleichsweise geringen technischen Aufwands ist allerdings im Vergleich zum Querstrom-Windsichter ein niedrigerer Abscheidegrad zu erwarten.

Beim Einsatz von Windsichtern sollte die Korngröße des Materials eingegrenzt werden. Bei großem Kornspektrum kommt es zu einer Überlagerung der in Tab. 11 aufgezeigten Eigenschaften. Eine klare Trennschärfe ist somit nicht mehr zu erreichen. In die Feinfraktion wird dann neben den abzutrennenden zweidimensionalen Kunststoffen ebenso Materialien mit ähnlicher Dichte und Fläche, wie PPK und organische Faserteile, verfrachtet. Dieses Stoffgemisch muss dann kostenintensiv in der MVA entsorgt werden. Darüber hinaus sollte das Aufgabegut vereinzelt und gleichmäßig in den Windsichter aufgegeben werden. Das Aufgabegut selbst sollte einen geeigneten (hohen) TS-Gehalt aufweisen. Zu geringe TS-Gehalte verursachen Materialanhaftungen und Agglomerate. Dies verringert das Trennergebnis.

6.1.6 Sensorbasierte Trennsysteme

Während zuvor beschriebene Trennverfahren das Aufgabegut nach physischen Eigenschaften (Geometrie, Dichte, Magnetisierbarkeit etc.) separiert, ist die materialspezifische Abtrennung von Stoffströmen mit sensorbasierten Trennsystemen möglich. Hierfür werden elektromagnetische Wellen genutzt, um die Materialein zu detektieren. Sensorbasierte Sortiersysteme (Abb. 84) wurden zunächst für die Sortierung von Leichtverpackungen eingesetzt. Später wurden die Sortiersysteme ebenfalls zur Aufbereitung der Kompostfraktion aus Biogutkompostierungs- und -vergärungsanlagen verwendet.

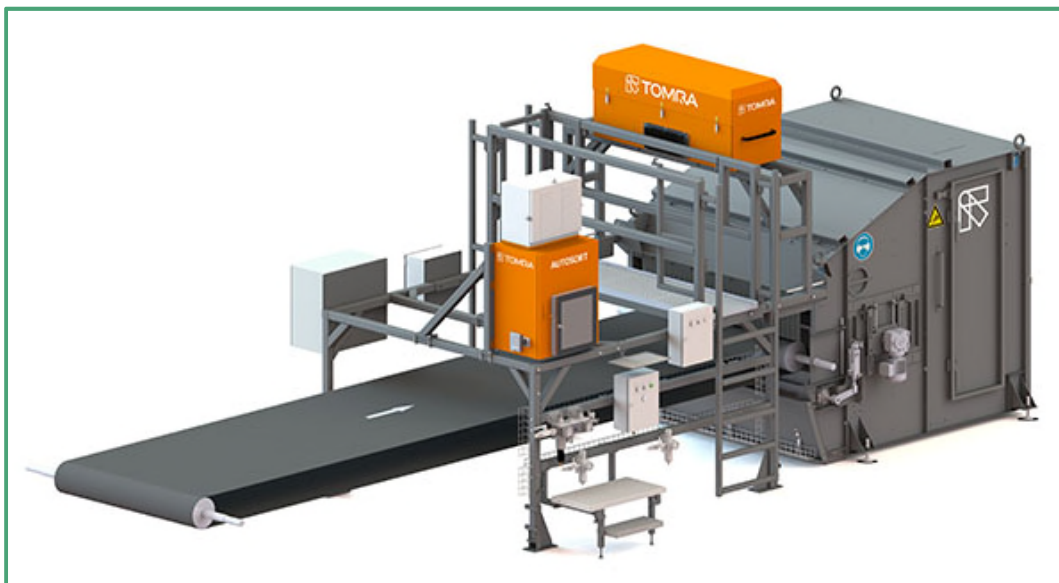


Abb. 84: Sensorbasiertes automatisches Sortiersystem (Quelle: Tomra Sorting Solutions)

Die Sortiersysteme können mit verschiedenen Sensoren wie Nah-Infrarot-Sensoren oder Röntgenkameras ausgerüstet werden, sodass die Detektion von verschiedenen Materialien, wie Kunststofffolien, Hartkunststoffen, Metallen, Steinen, Glas und Mineralien, möglich ist. In der nachfolgenden Tab. 12 sind detektierbare Fremdstoff und Detektionsmethoden dargestellt.

Tab. 12: Sensor und Detektionsmethode nach Störstoffen (Quelle: Pretz und Feil, 2017)

Störstoff	Sensor	Detektionsmethode
Kunststoffe 2D/3D	NIR	Reflexion
Metalle	Induktionssensor	Induktion
Steine, Glas, Mineralien	Röntgendetektion	Transmission
sonstige Störstoffe	VIS-Kamera	Reflexion

Das Aufgabegut wird, wie in Abb. 85 aufgezeigt, durch den Sensor detektiert und Fremdstoffe werden am Ende des Zuführbandes über einen Druckluftimpuls abgelenkt und separat erfasst. Hierbei kann das Aufgabegut durch Positiv- und Negativsortierung getrennt werden. Im Bereich der Kompostaufbereitung wird für gewöhnlich die Negativsortierung angewendet, bei der nur die Fremdstoffe durch den Luftimpuls abgelenkt werden.

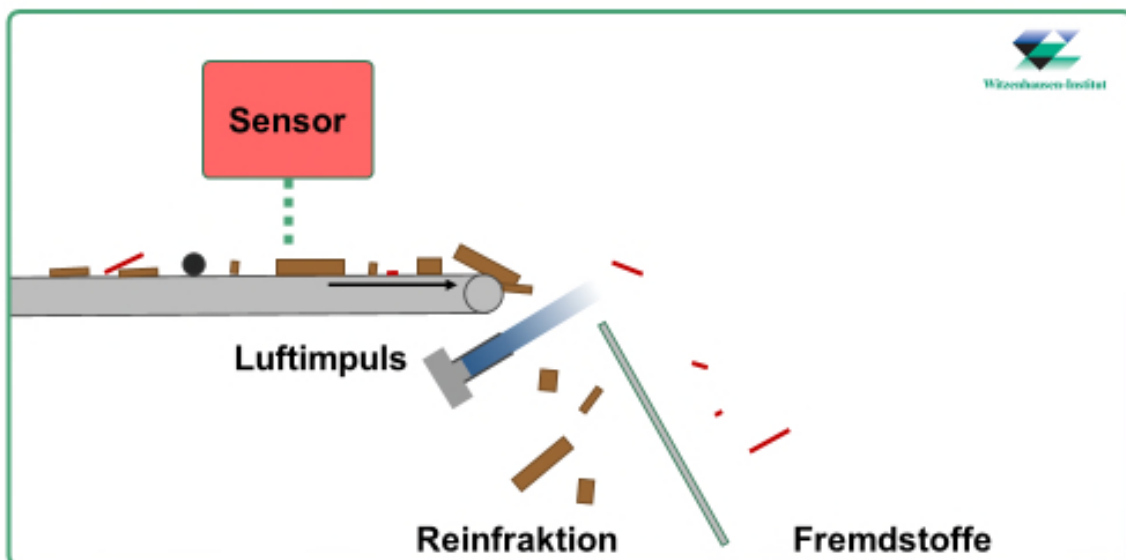


Abb. 85 Funktionsprinzip sensorbasiertes Klauen

Das Prinzip der sensorbasierten Trennsysteme gleicht dem Handklauben. Die kognitive Leistung wird durch den Sensor und die physische Entnahme der Fremdstoffe durch Druckluftimpulse ersetzt. Die Entnahme der gewünschten Objekte kann ebenso durch einen Industrieroboter mit Greiftechnik vorgenommen werden, jedoch ist deren Leistung kaum höher als die manuelle Sortierung.

Zur sortenreinen Abtrennung der gewünschten Objekte und Effizienzsteigerung ist eine technische Vereinzelung des Stoffstroms auf dem Zuführband unabdingbar. Ebenso sind Überlagerungen der einzelnen Materialien zu vermeiden, da ansonsten nicht detektierte Materialien mit ausgeschleust werden können. Ebenso ist der Druckluftimpuls zum Auswerfen der Fremdstoffe so einzustellen, dass nur der detektierte Fremdstoff abgeblasen wird.

Zur sortenreinen Abtrennung der Fremdstoffe und Effizienzsteigerung ist eine technische Vereinzelung des Aufgabeguts auf dem Beschleunigungsband unabdingbar. Eine Überlagerung der einzelnen Materialien oder eine zu geringe Vereinzelung führen dazu, dass nicht nur die auszusortierenden Bestandteile, sondern ebenfalls andere Stoffe abgeschieden werden. Eine besondere

Bedeutung kommt auch der Steuerungstechnik zu, da das Zusammenspiel zwischen Detektion der Fremdstoffe und Druckluftimpuls zum Abscheiden des Fremdstoffes fein abgestimmt sein muss.

Siebreste eignen sich zur Sortierung per sensorbasierten Sortiersystemen im Vergleich zum Biogut gut, da diese durch die biologische Behandlung einen geringeren Feuchtegrad und Volumenstrom, bzw. durch die Kompostabsiebung einen geringeren Feinanteil, vorweisen. Als problematisch erweist sich allerdings insbesondere die geforderte hohe Vereinzelung des Eingangsmaterials, da diese Anforderung durch mögliche Materialeigenschaften (Verpilzung, Agglomerate usw.) beeinflusst wird (Pretz und Feil, 2017). Um eine höhere Trennschärfe zu erzielen, kann die Fördergeschwindigkeit des Beschleunigungsbandes, zu Lasten des Durchsatzes, verringert oder eine starke technische Vereinzelung durchgeführt werden.

Zu einem unbefriedigenden Trennergebnis kann ebenso ein hoher Wassergehalt des Siebüberlaufs führen. Der hohe Feuchtegrad verursacht hierbei Verklumpungen und Materialanhaftungen, welche zu Ungenauigkeiten in der Materialdetektion führen. Ebenfalls sollte für ein besseres Trennergebnis die Korngröße des Aufgabeguts eingegrenzt werden. Hierdurch kann der Druckluftimpuls zum Abtrennen der Fremdstoffe genau eingestellt werden, ansonsten ist ein Abscheiden der Gutfraktion neben dem Fremdstoff möglich. Während andere Sortierverfahren, wie Siebung, zu einer Zerkleinerung des Aufgabematerials führen können, ist die mechanische Wirkung durch die NIR-Technik als gering einzustufen.

6.1.7 Trocknung

Eine Trocknung der Siebreste kann zur effizienten Aufbereitung oder Verwertung bzw. Entsorgung der Siebreste sinnvoll sein. Durch die Erhöhung des TS-Gehalts kann die Entstehung von Agglomeraten verhindert oder der Aufschluss dieser bewirkt werden. Hierdurch wird die Sortierung der Fremdstoffe in bspw. Sieben, Windsichtern und sensorbasierten Systemen gesteigert. Ebenso wird das Transportgewicht für die Verwertung und Entsorgung reduziert. Darüber hinaus können die Eigenschaften für die thermische Verwertung verbessert werden.

Die Trocknung kann hierbei technisch oder biologisch durchgeführt werden. Die technische Trocknung kann in Band- und Trommeltrocknern umgesetzt werden. Hierfür wird Wärmeenergie benötigt, welche aus Abwärme von anderen technischen Prozessen bezogen werden kann. Diesen aufwendigen Trocknungsverfahren steht die Trocknung durch biologischen Prozess gegenüber. Diese kann in einer belüfteten Trocknungshalle oder, wie bei Anlage B in Kapitel 4.7.2 aufgezeigt, in einer Rottebox durchgeführt werden. Ebenso ist eine offene Trocknung in einer Miete möglich.

Während für die biologische Trocknung viel Platz benötigt wird, welcher auf den meisten Anlagen nur sehr begrenzt vorhanden ist, ist diese unter vergleichsweise geringen Kosten durchführbar. Die technische Trocknung von Siebresten ist aufgrund hoher Investitions- und Betriebskosten nur schwer wirtschaftlich umsetzbar.

6.1.8 Zerkleinerung

Die Zerkleinerung der Siebreste wird durchgeführt, wenn diese in den biologischen Prozess rückgeführt werden und dieser dies erfordert. Eingesetzt werden schonende Aufbereitungsaggregate wie langsamlaufende Ein- bis Zwei-Wellen-Zerkleinerer ohne Siebkörbe.

Der Siebrest sollte vor Zerkleinerung und Rückführung einer Aufbereitung (Folienabsaugung, Fe-Abscheidung, Sortierung usw.) unterzogen werden. Dies verhindert die Zerkleinerung der Fremdstoffe, welche in kleinerer Korngröße schwer abgetrennt werden können.

Die Entscheidung für oder gegen die Nachzerkleinerung und Kreislaufführung kann nur anlagenspezifisch getroffen werden. Wie die Umfrage aus Kapitel 3 zeigt, wird die Nachzerkleinerung des Siebüberlaufs, mit 5 % der Anlagen, tendenziell von wenigen Anlagenbetreibern durchgeführt.

6.2 Zusammenfassung

Im Sinne der Abfallhierarchie soll die technische Aufbereitung der Siebreste eine Wiederverwendung als Strukturmaterial oder die energetische Verwertung im BMH(K)W ermöglichen. Der angestrebte Verwertungsweg ist dabei von den spezifischen Anforderungen der Biogutbehandlungsanlage abhängig zu machen und dient als Grundlage zur Planung des Aufbereitungskonzeptes. Die aufgezeigten Verwertungswege können in Verbindung mit der technischen Aufbereitung der Siebreste eine wirtschaftliche Alternative zur Entsorgung in der MVA darstellen.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Siebrestaufbereitung sollte der kleinstmögliche Stoffstrom aufbereitet werden. Aus technischer Perspektive ist für die effiziente Fremdstoffabtrennung die Eingrenzung der Korngröße durchzuführen und ein Stoffstrom mit möglichst hohem TS-Gehalt zu behandeln. Ein Materialstrom, welcher beiden Anforderungen gerecht wird, ist der Siebüberlauf aus der Kompostkonfektionierung.

Folglich sollten je nach Behandlungsverfahren des Bioguts Störstoffe vor dem biologischen Prozess abgetrennt werden, während die Fremdstoffentfrachtung aus dem Siebüberlauf der Kompostkonfektionierung sinnvoll ist. Wenn eine technische Aufbereitung des Bioguts nötig ist, so sollte auf eine materialschonende Aufbereitung (langsamlaufende Zerkleinerung, Sackaufreißer) zurückgegriffen werden. Hierdurch wird eine zu starke Zerkleinerung der Fremdstoffe verhindert. Dies wirkt sich positiv auf die Fremdstoffentfrachtung bei der Kompostkonfektionierung aus.

Die Verjüngung des Stoffstroms bei der Kompostkonfektionierung bewirkt neben der Einengung der Korngröße auch die Anreicherung der Fremdstoffe im Siebüberlauf. Hierdurch wird eine gezielte Entfrachtung dieser mit technischen Verfahren ermöglicht. Der Auswahl der in Kapitel 6.1 aufgezeigten technischen Verfahren zur Siebrestaufbereitung sollte die Analyse der Zusammensetzung des Siebüberlaufs und die spezifischen Anforderungen der angestrebten Verwertung zugrunde gelegt werden.

Neben der Betrachtung der technischen Verfahren zur Ausschleusung von Fremdstoffen aus Siebresten sollten die Verursacher, die Abfallerzeuger, nicht außer Acht gelassen werden. Schlussendlich liegt es in der Hand dieser, Verunreinigungen zu vermeiden und den technischen Aufwand zur Stör- und Fremdstoffentfrachtung in der Prozesskette der Biogutbehandlung gering zu halten. Eine vollständige Abtrennung der eingebrachten Fremdstoffe ist mit technischen Verfahren schlichtweg nicht möglich, da der Wirkungsbereich von physikalischen Trennverfahren begrenzt ist. Seitens der öRE gilt es durch Öffentlichkeitsarbeit die Erzeuger hinsichtlich Fremdstoffen im Biogut zu sensibilisieren. Bei Nichteinhaltung, welche durch Kontrollen und Detektion der Biotonneninhalte festgestellt werden können, sind entsprechende Sanktionen gegenüber den Erzeugern sinnvoll.

6.3 Praxisversuche zur Siebrestaufbereitung

Im Projektverlauf wurden zwei derzeit auf Kompostierungs- und Vergärungsanlagen betriebene Anlagen zur Aufbereitung von Siebresten aus der Kompostkonfektionierung hinsichtlich der Fremdstoffabscheidung untersucht. Hierbei handelte es sich um ein NIR-basiertes Trennsystem und einen Windsichter mit integrierter Steinfalle.

6.3.1 Methodik

Im Rahmen der Untersuchungen wurde eine Siebanalyse mit Fremdstoffbestimmung des Aufgabematerials und der gereinigten Fraktion durchgeführt, bei den Untersuchungen des Windbreeze wurden zusätzlich die Leicht- und Schwerstofffraktion analysiert. Hierfür wurden mehrere Stichproben aus den bewegten Materialströmen entnommen, durchmischt und anschließend zu Mischproben (60 l) verjüngt. Je Materialstrom wurden mindestens zwei Mischproben erzeugt.

Zur Bestimmung der Zusammensetzung wurden die Mischproben mit den Siebschnitten 80 mm, 60 mm, 40 mm und 15 mm gesiebt und die Fremdstoffe in den einzelnen erzeugten Siebfractionen händisch sortiert und jeweils verwogen (Abb. 14).

Die sortierten Stofffraktionen wurden hierbei wie nachfolgend festgelegt:

- Mineralik (Steine, mineralische Bauabfälle, Keramik)
- Metalle
- Glas
- Hartkunststoffe
- Folienkunststoffe
- biologisch abbaubare Kunststoffe (BAW)
- Papier Pappe Kartonage (PPK)
- Verbundstoffe
- sonstige Fremdstoffe
- Organik

Der Siebdurchlauf < 15 mm wurde als Feinkorn definiert und nicht weiter analysiert. Dieses ähnelt in seiner Beschaffenheit den von den Siebresten abgeseibten Komposten.

6.3.2 Siebüberlauf-Aufbereitung mit NIR-Technik

Die Analyse der Fremdstoffabscheidung mit der NIR-Technik fand auf einer Kompostierungsanlage statt. Behandelt wird dort mit dem NIR-Gerät, wie in Abb. 86 aufgezeigt, gerottetes Biogut. Dieses wird mit einem Fe-Metallabscheider behandelt und anschließend mit einem Sternsieb (Siebschnitt 70 mm) in zwei Fraktionen separiert. Der Siebdurchlauf (< 70 mm) wird dabei weiter zu Kompost und einer Fraktion zur Verwertung im BMH(K)W aufbereitet. Der Siebüberlauf (> 70 mm) wird in eine separate Aufbereitungslinie aufgegeben, bei welcher die Organik von den Fremdstoffen separiert werden soll. Die Aufbereitungslinie besteht aus einem Windsichter, einem Schwerstoffabscheider und einem NIR-Gerät. Durch das NIR-Gerät sollen vor allem Folienkunststoffe abgeschieden werden. Nach Durchlaufen der Aufbereitungslinie wird der gereinigte Siebüberlauf vollständig in die Rotte rückgeführt.

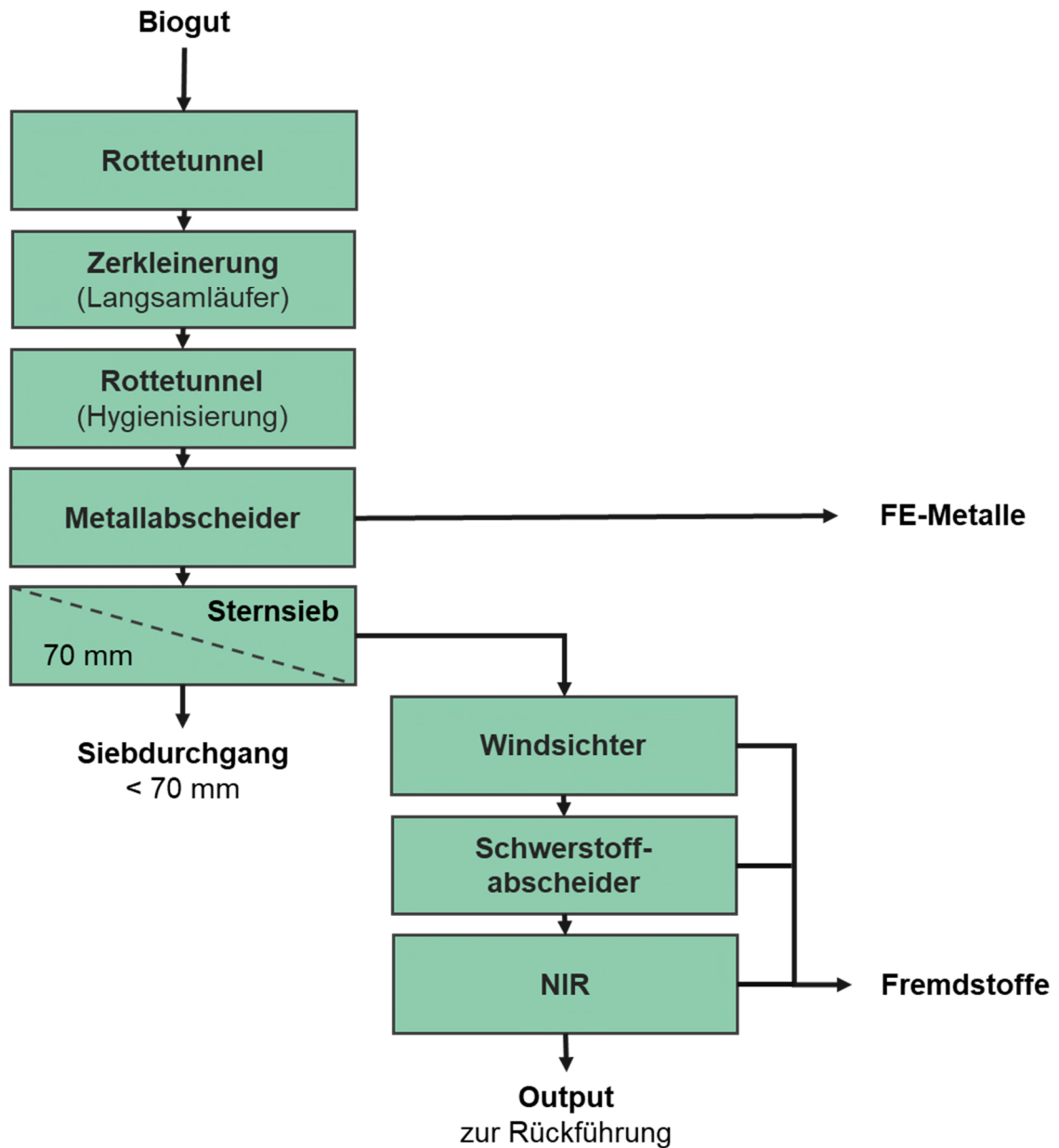


Abb. 86: Fließbild der Aufbereitungsstrecke für Siebüberlauf > 70 mm

Durch die Rückführung des Siebüberlaufs kann auf Grüngut als Strukturmaterial verzichtet und dennoch der energetische Aufwand für die Belüftung der Rotteboxen geringgehalten werden. Die kostenintensive Entsorgung in der MVA wird auf die ausgeschleusten Reststoffe reduziert.

Um den Abscheidegrad von Folienkunststoffen mit dem NIR-Gerät bestimmen zu können, wurde die Zusammensetzung des Inputs und des aufgereinigten Materials, an zwei Analyseterminen (September und Dezember) per Siebanalyse untersucht. Die durchschnittliche Separation des Aufgabematerials durch das NIR-Gerät in Fremdstoffe und gereinigte Fraktion wurde nach erfassten Stoffströmen des Anlagenbetreibers berechnet. Wie im Stoffflussdiagramm (Abb. 87) dargestellt, werden rund 29,5 Gew.-% des Aufgabematerials vom NIR-Gerät als Fremdstoffe abgeschieden.

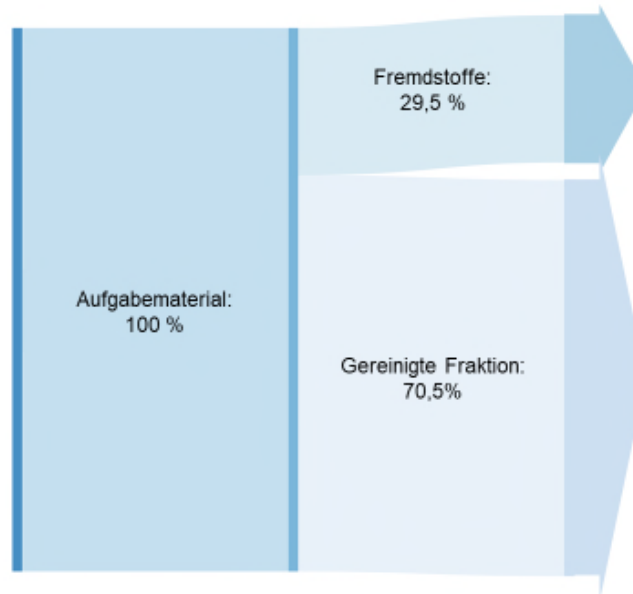


Abb. 87: Durchschnittliche Separation des Aufgabematerials durch das NIR-Gerät

In der nachfolgenden Abb. 88 sind die Zusammensetzungen des Aufgabematerials von September und Dezember aufgezeigt. An beiden Analyseterminen waren im Aufgabegut die zwei höchsten Bestandteile Organik, mit 65 Gew.-% im September und dem deutlichen höheren Anteil von 78 Gew.-% im Dezember. An beiden Analyseterminen war nach der Organik der zweitgrößte Anteil PPK im Aufgabegut. Die Anteile unterscheiden sich zwischen den Analyseterminen aber deutlich, so ist im September mit 14 Gew.-% rund doppelt so viel PPK enthalten wie im Dezember. Der Feinkornanteil lag an beiden Analyseterminen mit bis zu 6 Gew.-% in gleich hohem Anteil vor. Folienkunststoffe waren mit 3 Gew.-% in gleicher Größenordnung enthalten, während die Mineralik in signifikant hohem Unterschied enthalten ist. Hierbei ist im September ein Anteil von 7,5 Gew.-% zu verzeichnen. Im Dezember liegt hingegen ein vergleichsweise geringerer Anteil an Mineralik mit 1,7 Gew.-% vor.

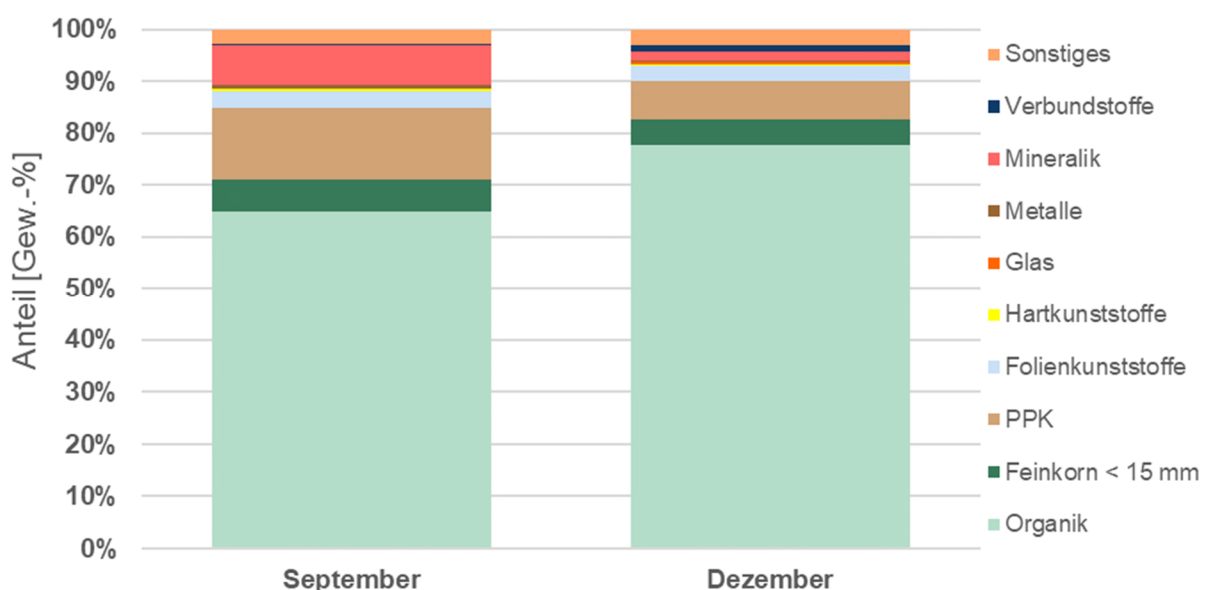


Abb. 88: Gegenüberstellung der Zusammensetzung des Aufgabematerials aus den unterschiedlichen Analysezeitpunkten

In Abb. 89 sind die Zusammensetzungen der Aufgabematerialien, den jeweiligen gereinigten Fraktion der zwei Analysetermine gegenübergestellt. Im September konnte durch das NIR-Gerät eine Anreicherung der Organik um 3 Gew.-% auf 68 Gew.-% und des Feinanteils um 1 Gew.-% auf 7 Gew.-% erreicht werden. Während der Anteil an Mineralik in etwa konstant ist, ist darüber hinaus eine Anreicherung an sonstigen Stoffen festzustellen. Wie zu sehen, ist der Anteil an PPK um ca. 3 Gew.-% und an Folienkunststoffe um ca. 2 Gew.-% geringer. Die geringen Bestandteile an Metallen sind komplett durch das NIR-Gerät abgeschieden.

Im Dezember ist der Anteil an Organik im Aufgabegut und gereinigtem Material konstant. Eine Anreicherung um ca. 1 Gew.-% ist beim Feinkorn festzustellen. Darüber hinaus fällt der deutlich höhere Anteil an Mineralik in der gereinigten Fraktion auf. Hierbei ist eine Anreicherung um ca. 7 Gew.-% auf 8,5 Gew.-% festzustellen. Der hohe Anteil an Mineralik lässt sich durch einen geringfügig höheren Anteil an Steinen, in Verbindung mit der hohen spezifischen Dichte von Mineralik, in der Mischprobe der gereinigten Fraktion begründen. Einen Rückschluss auf die NIR-Technik kann hierdurch nicht getroffen werden. Der Anteil an Folienkunststoffen von 3 Gew.-% im Aufgabegut ist mit 0,1 Gew.-% nahezu komplett abgeschieden. Ebenso ist eine Reduktion der PPK-Fraktion von 7,2 Gew.-% auf 4,3 Gew.-% zu verzeichnen.

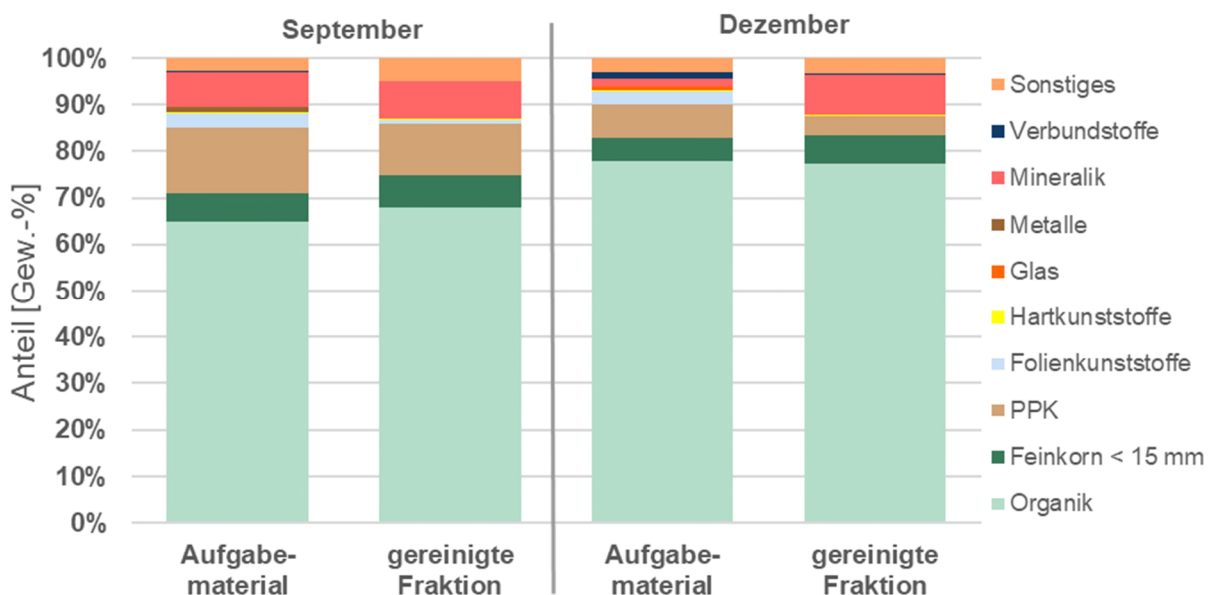


Abb. 89: Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Aufgabematerial und der gereinigten Fraktion in Abhängigkeit des Analysetermins

Um die Abscheidewirkung des NIR-Gerätes beurteilen zu können, sind nachfolgend in Abb. 90 der Abscheidegrad in Abhängigkeit der Materialien dargestellt. Erkennbar ist, dass vor allem Folienkunststoffe im Dezember in hohem Grad abgeschieden wurden. Hierbei wurde im September, mit einem Abscheidegrad von ca. 77 % ein im Vergleich zum Dezember niedrigeres Ergebnis erzielt. Gute Ergebnisse werden bei der Abscheidung von Hartkunststoffen, Glas und Verbundstoffen erzielt. Während PPK nur zwischen ca. 45 % und 58 % abgeschieden wurde. Nicht vom Fe-Abscheider abgeschiedene Metalle wurden vom NIR-Gerät vollständig abgeschieden.

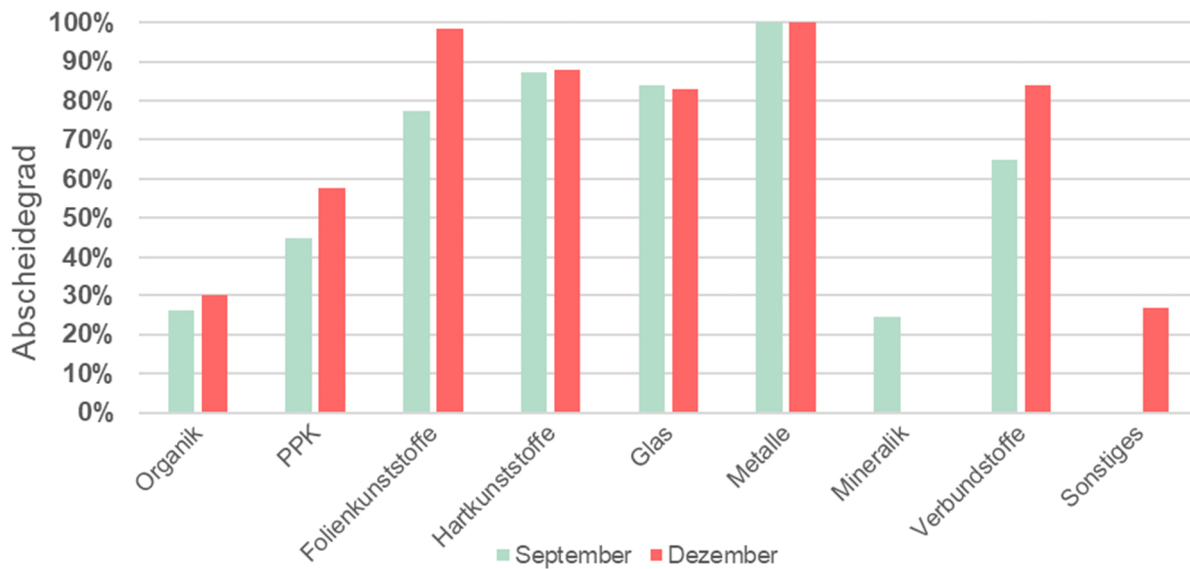


Abb. 90: Zusammenstellung der spezifischen Abscheidegrade nach Fraktionen und Analysezeitpunkt

In Abb. 91 ist der Fraktionsabscheidegrad für Folienkunststoffe für September und Dezember dargestellt. Auffällig ist der im Vergleich geringe Abscheidegrad im Dezember von 18 % im Größenbereich 15 bis 40 mm. Im September konnte ein Abscheidegrad von ca. 78 % erzielt werden. Im Größenbereich 40–80 mm wurde ein Abscheidegrad von 86 % bis 96 % erzielt. Im Korngrößenbereich > 80 mm wurde im Dezember eine vollständige Abscheidung erzielt, während im September nur 75 % der Folienkunststoffe abgeschieden werden konnten. Eine generelle Korrelation zwischen Abscheidegrad und Korngröße ist nicht zu erkennen.

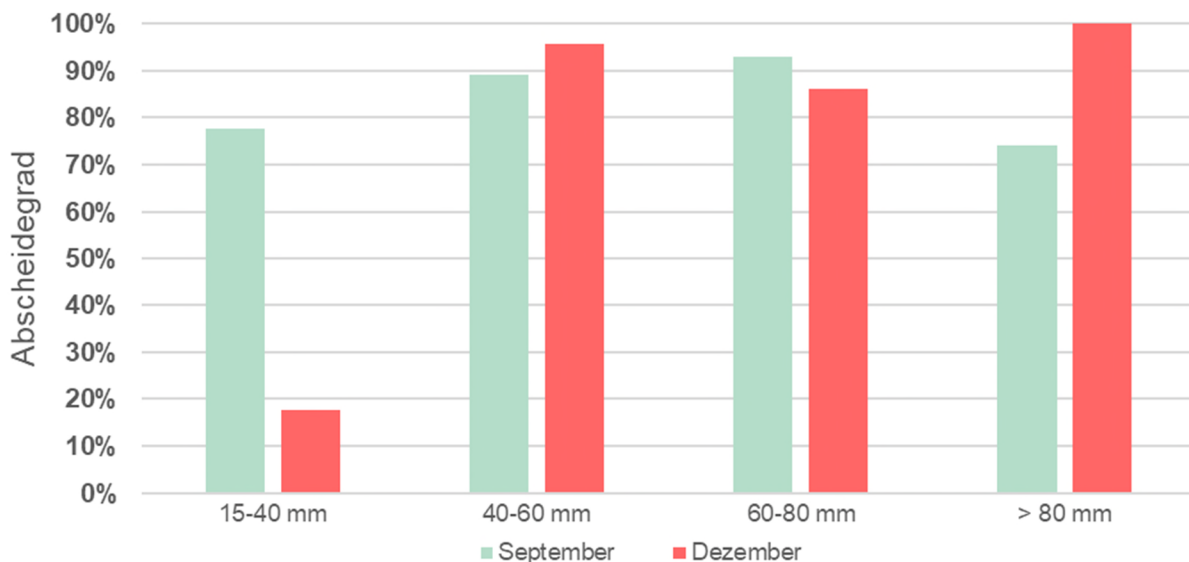


Abb. 91: Abscheidegrad der Folienkunststoffe nach Größe

6.3.3 Siebüberlauf-Aufbereitung mit Windsichter und Steinfall

Der Praxisversuch zur Fremdstoffentfrachtung der Siebüberläufe mittels Windsichter, wurde mit dem neuartigen „Windbreeze“ (ENVITAL GmbH, siehe Abb. 92) durchgeführt. Dieses

Aufbereitungsaggregat besteht aus einer Kombination aus Windsichter und Steinfalle. Das Aufgabegut wird von einem Beschleunigungsband in den Sichtraum abgeworfen. Hierbei erfolgt die Stoffstromseparation primär über die spezifische Wurfparabel des Aufgabematerials und kann über die Bandgeschwindigkeit des Beschleunigungsbandes eingestellt werden.

Unterstützend wird per Druckgebläse ein einstellbarer Luftstrom erzeugt, durch welchen eine zusätzliche Trennwirkung erzeugt werden kann. Der Energieverbrauch ist nach Angaben des Lieferanten deutlich niedriger als bei einem Aggregat, bei dem die Leichtstoffe aus dem Materialstrom abgesaugt werden, da ein deutlich geringerer Luftvolumenstrom benötigt wird. Eine Aufbereitung der Abluft des Windsichters ist nicht nötig. Anschließend werden aus dem Aufgabegut die Schwerstoffe per integrierten Rollabscheider abgeschieden. Der „Windbreeze“ ist somit in der Lage Leichtfraktionen, wie Folienkunststoffe, sowie Schwerstoffe, wie Mineralik, abzuscheiden.



Abb. 92: „Windbreeze“ (ENVITAL GmbH): Kombination aus Windsichter und Schwerstoffabscheider

Wie in Abb. 93 dargestellt, wurde der Siebüberlauf, welcher bei der Absiebung von gerottetem Material mit einem Sternsieb (25 mm) erzeugt wurde, im „Windbreeze“ aufbereitet. Anzumerken ist, dass dieses Material mit Korngröße 25 bis 200 mm für die Analyse des Windsichters erzeugt wurde, da diese Fraktion zukünftig am Standort durch den „Windbreeze“ behandelt werden soll. Der „Windbreeze“ wurde in die bestehende Kompostkonfektionierung im Anschluss an die Kompostabsiebung bei einem Siebschnitt von 12 mm integriert. Im Abzugsband für den Siebrest ist ein Trommelmagnetabscheider zur weitergehenden Abtrennung der Eisenmetalle integriert. Ein Fe-Metallabscheider ist in der Versuchsanlage selbst nicht vorhanden, kann jedoch in einer Praxisanlage durchaus integriert werden.

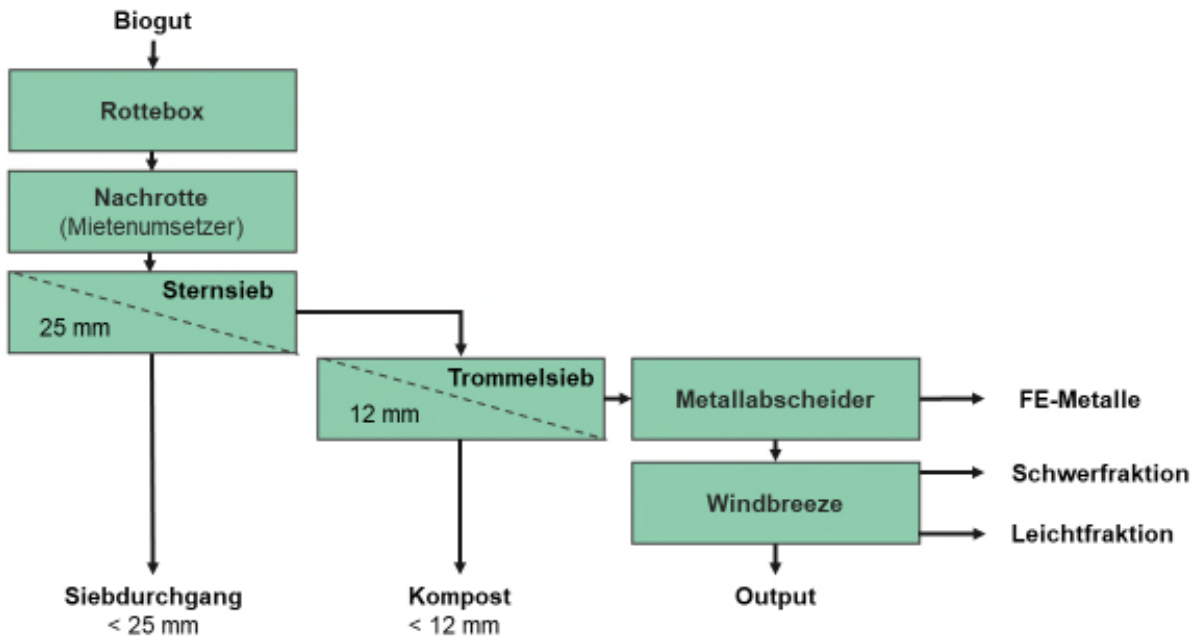


Abb. 93: Fließbild Biogutbehandlung und Siebrestaufbereitung am Versuchsstandort

Im ersten Durchgang der Analyse wurden ca. 2,1 Mg Siebüberlauf (25–200 mm) im „Windbreeze“ und im vorgeschalteten Fe-Metallabscheider durchgesetzt. Da die Probenahme nur am Abwurf des Trommelsiebs und nicht in der Zuführung zum „Windbreeze“ möglich war, wurde die Fe-Fraktion in den Untersuchungen mitbetrachtet. Zur Erstellung der Massenbilanz wurden alle Output-Ströme erfasst und verwogen. Die Verteilung des vom Windsichter und Fe-Metallabscheider separierten Aufgabeguts ist in Abb. 94 dargestellt. Hierbei wurden 0,7 Gew.-% des Aufgabeguts vom Fe-Metallabscheider abgeschieden. Ca. 60 Gew.-% des Aufgabeguts ist in der gereinigten Fraktion wieder zu finden, während sich ca. 29 Gew.-% in der Leichtfraktion und ca. 11 Gew.-% in der Schwerfraktion befinden.

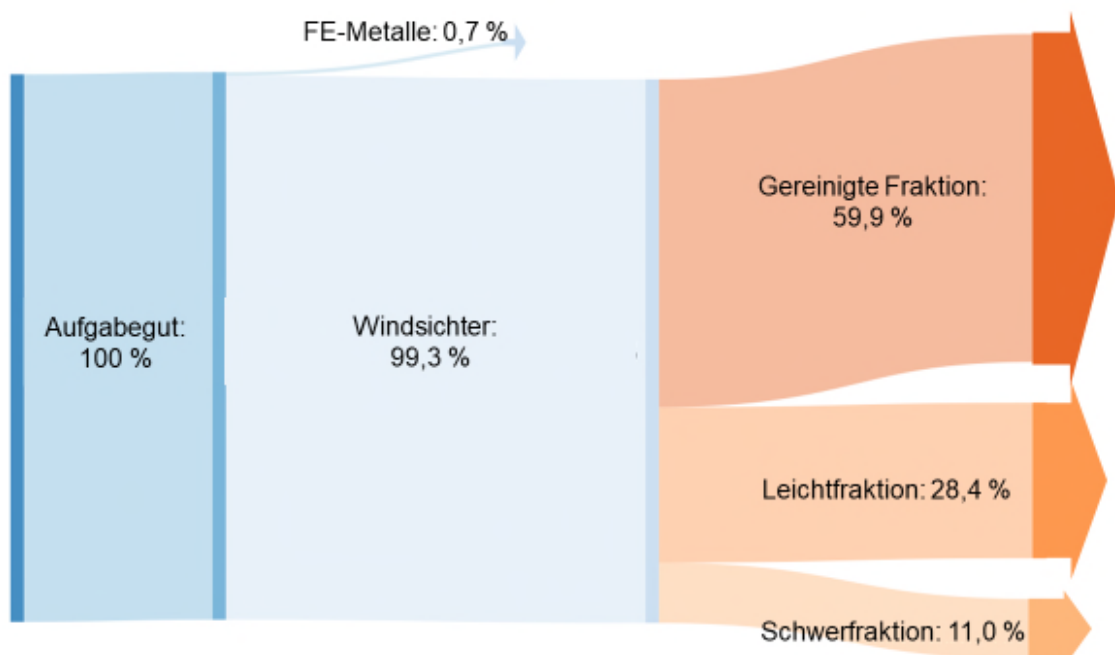


Abb. 94: Separation des Aufgabegut durch den Fe-Metallabscheider und „Windbreeze“

Die Zusammensetzungen des Aufgabeguts und der gereinigten Fraktion sind in Abb. 95 gegenübergestellt. Die anteilig größten Fraktionen stellen jeweils die Organik-, Feinkorn- und PPK-Fraktion dar. Der Anteil an Feinkorn (ca. 14 Gew.-%) und PPK (ca. 17 Gew.-%) ist vor und nach der Sichtung jeweils etwa gleich hoch. Eine Anreicherung der Organikfraktion, von 45 Gew.-% auf 57 Gew.-%, ist festzustellen. Im Aufgabematerial ist im Vergleich zur gereinigten Fraktion ein hoher Anteil an Mineralik vorzufinden. Die Abreicherung der Mineralik beträgt hierbei ca. 7 Gew.-% bezogen auf die Gesamtmasse. Ebenso ist der Anteil an Folien- und Hartkunststoffen in der gereinigten Fraktion geringer. Der Anteil an Folienkunststoffe ist von 2,4 Gew.-% auf 1,1 Gew.-% gesunken. Hartkunststoffe konnten um 0,6 Gew.-% auf 1,1 Gew.-% reduziert werden.



Abb. 95: Zusammensetzung des Aufgabematerials und der gereinigten Fraktion nach Durchgang 1

Im Folgenden wird der Abscheidegrad von einzelnen Fraktionen durch den „Windbreeze“ näher beschrieben. In Abb. 96 sind die Abscheidegrade vom „Windbreeze“ (Aufgabematerial zu gereinigter Fraktion) einzelner Fremdstoffe aufgezeigt. Abscheidegrade mit jeweils ca. 70 Gew.-% wurden bei Folienkunststoffen und Mineralik erzielt. Hartkunststoffe konnten hingegen zu ca. 60 Gew.-% entfrachtet werden. Der höchste Abscheidegrad wurde bei Verbundstoffen erzielt, welche zu etwa 90 Gew.-% abgeschieden wurden. Verbundstoffe sind hierbei meist Verkaufsverpackungen, welche in ihrer Beschaffenheit Folienkunststoffen und PPK ähneln bzw. enthalten. PPK wurde zu 37 Gew.-% abgeschieden.

Neben den genannten Fremdstoffen wurde die enthaltene Organik zu 30 Gew.-% und das Feinkorn zu 35 Gew.-% in die Ausschussfraktionen abgeschieden. Bei der abgeschiedenen Organik handelt es sich um trockene, überwiegend fasrige Bestandteile, die eine ähnliche Dichte wie Folienkunststoffe aufweisen und damit von der Windsichtung erfasst werden. Bei weiter gerottetem Kompostmaterial kann vermutet werden, dass weniger Organik abgeschieden wird, da diese fasrigen organischen Bestandteile dann im Siebüberlauf aufgrund des weitergehenden Organikabbaus in einem geringeren Maße vorkommen.

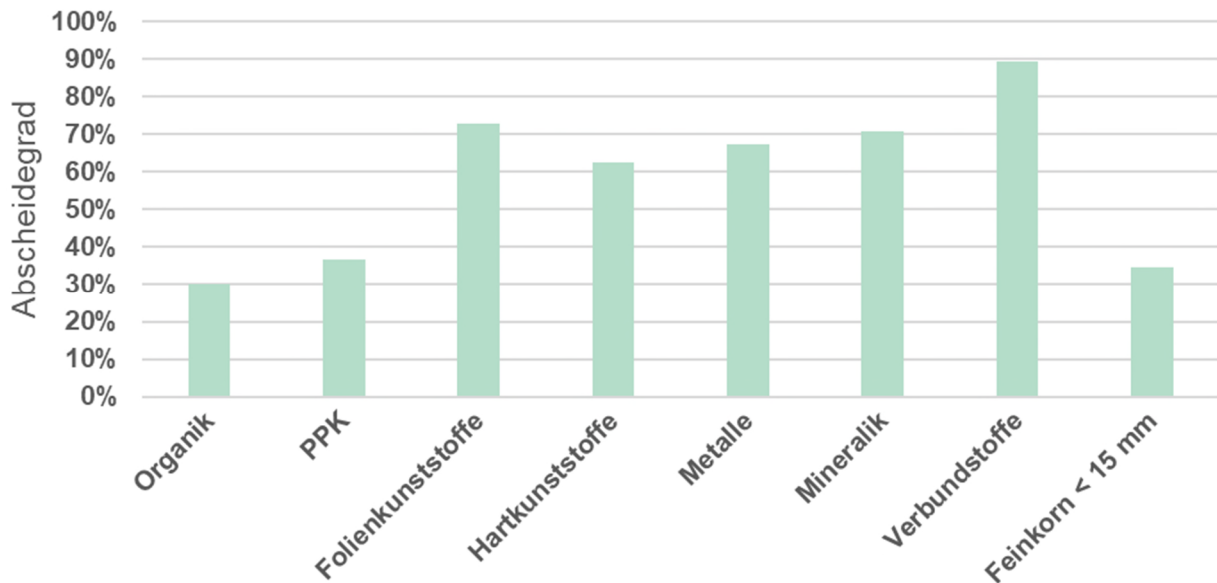


Abb. 96: Abscheidegrad einzelner Fraktionen durch den „Windbreeze“

Zur genaueren Einordnung der Fremdstoffabscheidung durch den „Windbreeze“ sind in der nachfolgenden Abb. 97 die Fremdstoffe mit Abscheidegrad in Abhängigkeit der Korngröße dargestellt. Der Abscheidegrad von PPK nimmt hierbei mit zunehmender Korngröße ab. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Einstellung des „Windbreeze“ derart erfolgte, dass die PPK-Fraktion über 80 mm nicht abgeschieden wird. Eine Korrelation zwischen Korngröße und Abscheidegrad ist für die Mineralikfraktion und Folienkunststoffe erkennbar.

Der Abscheidegrad von Mineralik liegt bei Korngrößen über 80 mm bei 100 Gew.-%. Hartkunststoffe wurden im Korngrößenbereich zwischen 15 mm bis 40 mm nur in geringem Umfang abgeschieden. Im Korngrößenbereich > 40 mm wurde hingegen ein Abscheidegrad von bis zu 90 Gew.-% erzielt. Gegenläufig zur Korngröße ist allerdings ein abnehmender Abscheidegrad erkennbar, sodass bei Korngröße > 80 mm nur ca. 60 Gew.-% an Hartkunststoffen abgeschieden wurden.

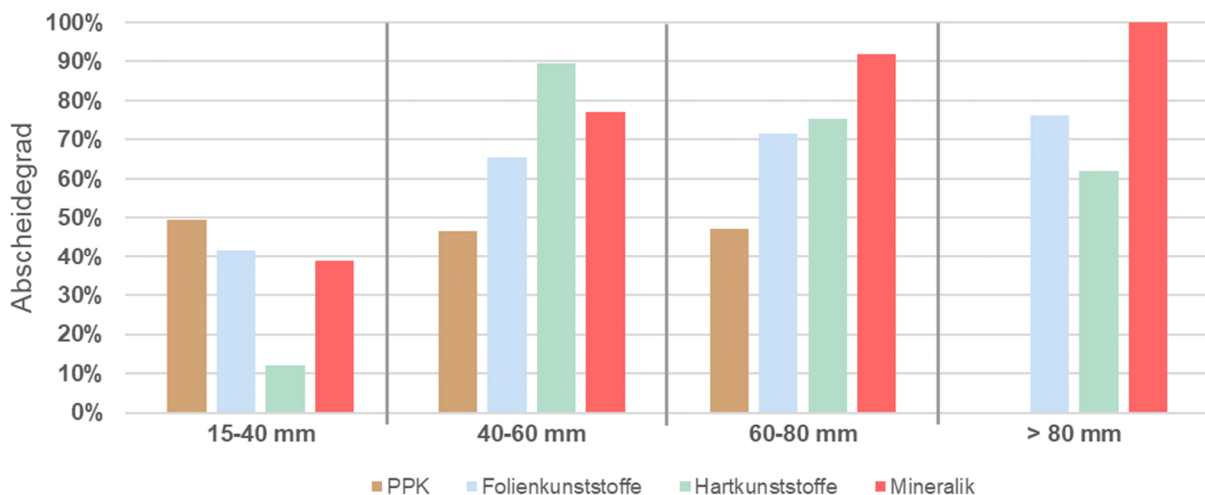


Abb. 97: Fraktionsabscheidegrad einzelner Materialien durch den „Windbreeze“

Nach dem ersten Durchlauf wurde das aufgereinigte Material aus dem beschriebenen Durchgang 1 ein zweites Mal in den „Windbreeze“ aufgegeben. Dabei wurde die Gebläseleistung

(Luftvolumenstrom) im Vergleich zum ersten Durchgang erhöht. Beim zweiten Durchlauf wurden rund 45 Gew.-% des Aufgabeguts in die Fremdstofffraktionen abgeschieden. In der nachfolgenden Abb. 98 ist die Zusammensetzung des gereinigten Materials nach Durchlauf 2 dem aus Durchlauf 1 gegenübergestellt. Hierbei sticht die Anreicherung an Organik hervor. Reduziert wurde insbesondere der Anteil an Feinmaterial und Folienkunststoffen. So konnte eine weitere Abscheidung der beinhaltenen Folienkunststoffe von 40 Gew.-% gegenüber dem ersten Durchlauf erreicht werden.

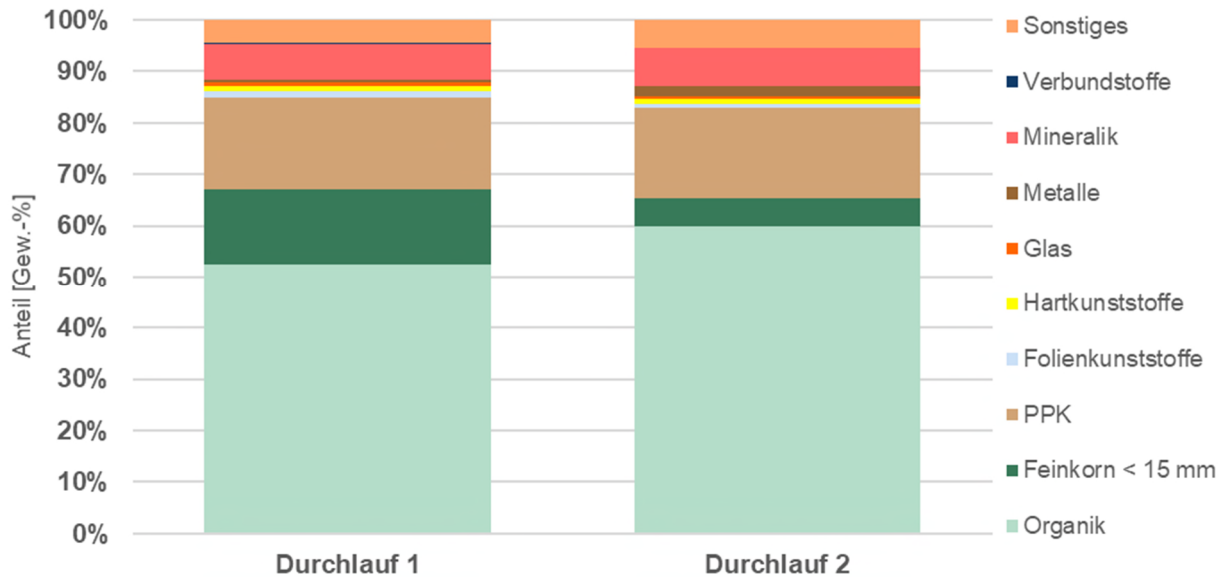


Abb. 98: Gegenüberstellung der Zusammensetzungen der gereinigten Fraktionen aus Durchlauf 1 und Durchlauf 2

7 Ökonomische Bewertung der Siebrestauffbereitung

Die ökonomische Bewertung der Siebrestauffbereitung wird modelhaft für eine Biogutverwertungsanlage mit einer Jahresleistung von 20.000 Mg/a und einer Siebrestmenge von 2.500 Mg/a durchgeführt. Die Integration einer Siebrestauffbereitung mittels einer praxisbewährten Leicht- und Schwerstoffabtrennung zielt darauf ab, die Entsorgungskosten für Siebreste durch die Eröffnung neuer Verwertungswege zu reduzieren. Es wird davon ausgegangen, dass mit der vorgesehenen Aufbereitungstechnik die Anforderungen für die Verwertung in einem BMH(K)W oder der Nutzung als Strukturmaterial im Behandlungsprozess erreicht werden. An dieser Stelle sei erwähnt, dass im Rahmen dieser Praxisempfehlung die Aufbereitung mittels der NIR-Technik (siehe Kap.6.3.2., Praxisversuche) nicht weiter thematisiert wird, obwohl diese Technik zukünftig an Bedeutung gewinnen kann. Aber bisher liegen nur wenige Erfahrungen und diese auch nur für bestimmte Siebschnitte vor, sodass sich die Relevanz in der Praxis noch zeigen muss.

Ziel der Modellrechnung ist die Darstellung des Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Siebrestauffbereitung. Die verschiedenen Kostenansätze der Modellrechnung müssten je nach Einzelfall natürlich angepasst werden.

7.1 Ziele der Aufbereitung

Ziel der Aufbereitung ist die weitgehende Abtrennung der Fremdstoffe aus den Siebresten, um von einer Entsorgung zu einer Verwertung beispielsweise in einem BMH(K)W oder durch die Rückführung als Strukturmaterial in den Behandlungsprozess zu gelangen. Aus dem Siebrest soll eine Fraktion erzeugt werden, welche die definierten Anforderungen aus Kapitel 3

- geringer Anteil Mineralik (Problem: Ascheentsorgung) < 5 Gew.-%,
- möglichst frei von Fremdstoffen (Schadstoffe, Zulassung etc.),
- möglichst hoher Holzanteil,
- Heizwert > 10.000 kJ/kg FM,
- Kantenlänge 30–150 mm,
- lagerstabil

einhält. Als Grundlage für die nachfolgende ökonomische Bewertung der Siebrestauffbereitung wird eine Zusammensetzung herangezogen, die auf Grundlage der in den Versuchsanlagen (Kapitel 4.6) ermittelten Zusammensetzungen der Siebreste abgeschätzt wurde. In Abb. 99 ist Zusammensetzung des Siebrests dargestellt. Die Siebreste enthalten ca. 15 Gew.-% Fremdstoffe, deren größte Fraktionen die Mineralik- und PPK-Fraktion bilden. Die Kunststofffolien umfassen nur einen geringen Anteil, sind jedoch für die Verwertung der aufbereiteten Siebreste von besonderer Bedeutung.

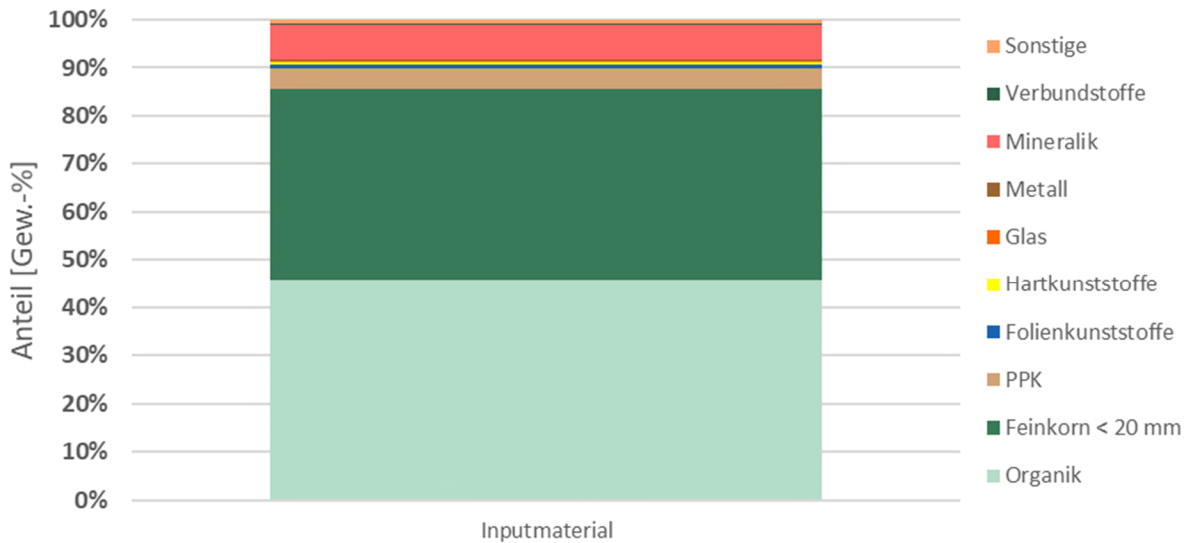


Abb. 99: Inputmaterial für ökonomische Bewertung (Mittelwerte aus Siebrestanalysen)

7.2 Behandlungskonzept

Die Aufbereitungslinie besteht aus einer Windsichtung und Schwerstoffabscheidung. Die Aufbereitungslinie ist als stationäre Anlage vorgesehen. Der Siebrest wird vor der weitergehenden Aufbereitung einer 2-wöchigen Nachtrocknung unterzogen und anschließend erneut abgesiebt, um das noch enthaltene Feingut abzutrennen und der stofflichen Verwertung zuzuführen. Hierfür wird die üblicherweise auf den Anlagen vorhandene Kompostkonfektionierung genutzt. Für die Abtrennung der Leichtstoffe ist ein technischer Windsichter vorgesehen, da die Effizienz einer einfachen Folienabsaugung für den erforderlichen Abscheidegrad nicht ausreicht. Das gesichtete Material wird anschließend einem Rollabscheider zugeführt, durch den insbesondere rollfähige Stoffe mit hoher Dichte, wie Mineralik, abgeschieden werden.

In Abb. 100 ist die approximative Massenbilanz für die Aufbereitung dargestellt. Basierend auf den erhobenen Daten wird davon ausgegangen, dass ca. 12,5 Gew.-% des Anlagendurchsatzes als Siebreste anfallen. Bei einer erneuten Absiebung des Feinmaterials werden ca. 44 Gew.-% als Kompost und in der anschließend Aufbereitungslinie nochmals ca. 20 Gew.-% als Schwer- und Leichtstoffe abgetrennt. Etwa 1.100 Mg der Siebreste können dann entweder als Brennstoff in einem BMH(K)W verwertet oder aber als Strukturmaterial in den Prozess zurückgeführt werden. Die abgetrennte Schwer- und Leichtfraktion wird weiterhin in einer MVA entsorgt, da eine effizientere und spezifischere Abtrennung nur durch zusätzliche Aufbereitungsschritte, wie eine Dichtentrennung oder Auslese durch NIR-Technik, realisiert werden kann.

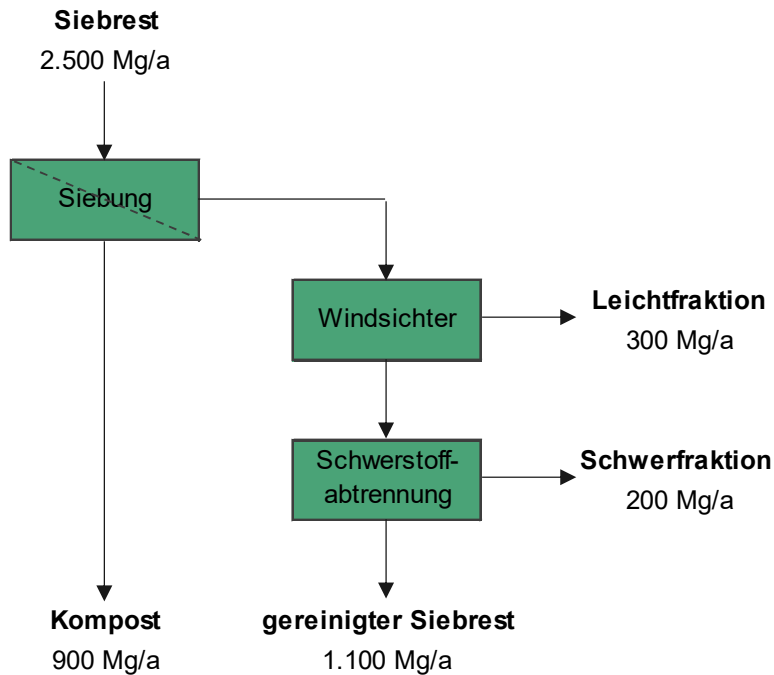


Abb. 100: Approximative Massenbilanz einer modelhaften Aufbereitungslinie zur Fremdstoffentfrachtung

Abb. 101 zeigt, basierend auf der aus den Untersuchungen abgeleiteten Zusammensetzung eines modelhaften Siebrests, die erwartete Zusammensetzung des aufbereiteten Siebrests. Die Abtrennung der verschiedenen Fremdstofffraktionen wurde hierbei aus den Untersuchungsergebnissen sowie Abscheideleistungen von Praxisanlagen abgeschätzt. Durch die Abtrennung des Feinmaterials tritt trotz einer Ausschleusung eines Teils der Organik als Fehlaustrag auch über die Leicht- und Schwerfraktion eine Anreicherung ein.

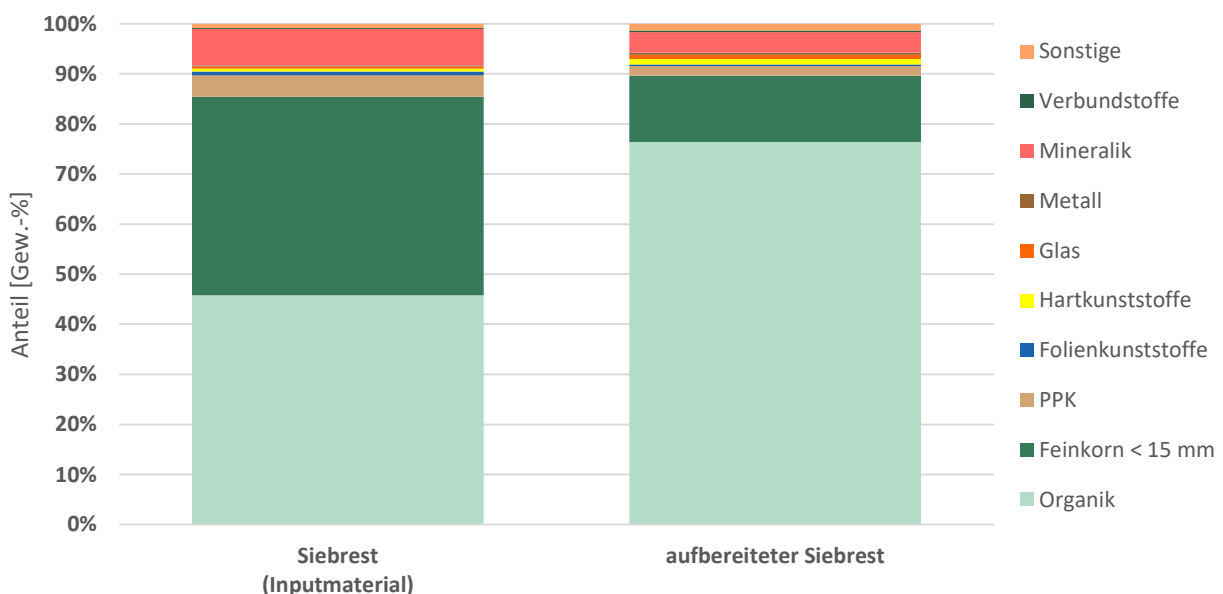


Abb. 101: Gegenüberstellung der abgeschätzten Zusammensetzung von Input und Output einer Aufbereitungslinie für die Behandlung der Siebreste

Der Anteil der Fremdstoffe wird von ca. 15 Gew.-% auf ca. 10 Gew.-% reduziert. Die Reduzierung der Fremdstoffe ist verhältnismäßig niedrig, kann jedoch durch den Einsatz weiterer spezifischer Aufbereitungstechniken, wie die Dichtentrennung und NIR-Technik, noch gesteigert werden.

Allerdings sollte in diesem Fall das Kosten-Nutzen-Verhältnis unter Berücksichtigung der sich hierdurch eröffnenden Verwertungswege individuell für die jeweilige Anlage geprüft werden. Durch die hier erwartete Reduzierung insbesondere der Leichtstoffe, wie Folienkunststoffe und PPK, und der Schwerstoffe, wie Mineralik, Glas usw., ist jedoch bereits eine interne Verwertung als Strukturmaterial oder aber als Brennstoff für BMH(K)W denkbar.

7.3 Investitions- und Betriebskosten

7.3.1 Investitionskostenschätzung

Die Investitionskosten für die beschriebene Siebrestaufbereitung umfassen die Kosten für die Maschinen- und Elektrotechnik sowie für den Bauteil. Die Kosten der Maschinentechnik umfassen die technischen Einrichtungen, wie Aufgabedosierer, Windsichter, Steinfaller und zugehörige Fördertechnik. Die Kosten der EMSR-Technik umfassen hierbei nur die Kosten für die elektrische und steuerungstechnische Einbindung in die Anlage. Es wird davon ausgegangen, dass Infrastrukturkosten, wie z. B. für die Errichtung oder Erweiterung einer Trafo-Station oder die Mittelspannungs- und Niederspannungshauptverteilungen, nicht anfallen. Die Baukosten beinhalten neben den Kosten für die Herrichtung einer Fläche für die Lagerung der Siebreste und Aufstellung der Maschinentechnik sowie Anschüttwänden ebenfalls die Baunebenkosten, wie Aufwendungen für Planung und Genehmigung der Aufbereitung. Kosten für Radlader für die Bewirtschaftung der Aufbereitung werden nicht berücksichtigt. Es wurde angenommen, dass ein Radlader auf der Anlage zur Verfügung steht, der aufgrund des begrenzten Aufwands noch für die Aufbereitung der Siebreste eingesetzt werden kann.

Um optimale Bedingungen für die Aufbereitung der Siebreste sicherzustellen, wird zusätzlich noch die Überdachung der Fläche mittels einer Leichtbauhalle eingeplant. Zur Vermeidung von Verwehungen ist zusätzlich im Bereich der Aufbereitung ein Windschutz vorgesehen. Der erforderliche Flächenbedarf beträgt ca. 1.200 m² (Abb. 102). Kosten für einen Grundstückserwerb wurde nicht berücksichtigt. Hier wurde angenommen, dass eine Fläche in der erforderlichen Größe am Anlagenstandort zur Verfügung steht.

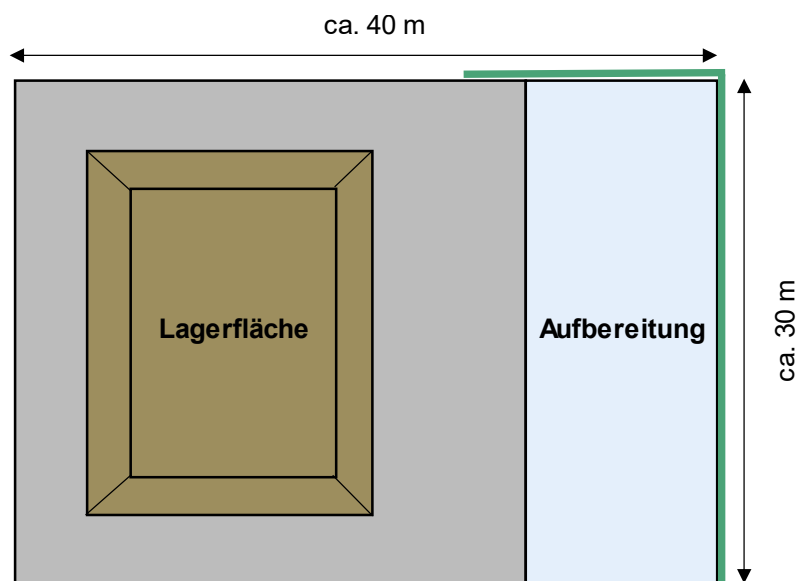


Abb. 102: Vorgesehene überdachte Fläche zur Siebrestlagerung und -aufbereitung

Die Investitionskosten liegen bei ca. 1,5 Mio. €, wobei der größte Anteil der Investitionskosten auf den Bauteil entfällt. Kostensenkungen sind möglich, wenn eine überdachte Fläche von ausreichender Größe zur Verfügung steht. Die Investitionskostenschätzung ist in Tab. 13 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 13: Investitionskostenschätzung

Investitionskosten (netto)	
Bauteil	1.033.000 €
Maschinentechnik	367.000 €
EMSR-Technik	69.000 €
Summe Invest	1.469.000 €

7.3.2 Betriebskostenschätzung

Für die Abschätzung der Betriebskosten werden

- der Kapitaldienst,
- die Personal-,
- Unterhalts- (Reparatur, Wartung, Unterhalt) und
- Verwertungs- und Entsorgungskosten

angesetzt. Die Betriebskosten für die oben genannten Positionen werden mit den folgenden Annahmen und Ansätzen berechnet:

- Abschreibungen: Bauteil: 20 Jahre
Maschinen- und EMSR-Technik: 10 Jahre
- Zinssatz: 1 %
- Personalkosten: 50.000 €/a
- RWU-Kosten: Bauteil: 0,5 % v. Invest
Maschinen- und EMSR-Technik: 2 % v. Invest
- Stromkosten: 0,21 €/kWh
- Dieselkosten: 1,10 €/l

Die Betriebskosten belaufen sich unter diesen Annahmen auf ca. 133.000 €/a, wobei etwa 75 % der Betriebskosten auf den Kapitaldienst entfallen. Aufgrund der geringen Verarbeitungskapazität von 2.500 Mg/a ergeben sich spezifische Behandlungskosten von etwa 53 €/Mg, wie Tab. 14 zu entnehmen ist.

Tab. 14: Betriebskostenschätzung

Betriebskosten (netto)	
Kapitaldienst	103.000 €/a
Personal	10.000 €/a
Unterhalt ¹⁾	14.000 €/a
Ver- und Entsorgung	6.000 €/a
Summe Betriebskosten	133.000 €/a
spez. Betriebskosten	53 €/Mg

¹⁾ Reparatur, Wartung, Unterhalt

7.3.3 Siebrestverwertung- bzw. -entsorgung

Die Kosten unterscheiden sich zwischen den einzelnen Verwertungs- bzw. Entsorgungswegen der Siebreste erheblich. Ziel der Aufbereitung ist, die Entsorgungskosten für die Siebreste gegenüber dem Ist-Zustand zu verringern. Die Abschätzung der Kosten der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung erfolgt für die folgenden Varianten:

- Variante 1: Der nicht aufbereitete Siebrest wird vollständig in der MVA entsorgt.
- Variante 2: Der aufbereitete Siebrest wird vollständig als Strukturmaterial in den Prozess rückgeführt, die bei der Aufbereitung abgeschiedenen Leicht- und Schwerstoffe werden in der MVA entsorgt.
- Variante 3: Der aufbereitete Siebrest wird vollständig in einem BMH(K)W verwertet, die bei der Aufbereitung abgeschiedenen Leicht- und Schwerstoffe werden in der MVA entsorgt.

Für die ökonomische Bewertung wurden der kostenintensivste Entsorgungsweg (MVA) der unaufbereiteten Siebreste betrachtet, da dies die aktuelle Entwicklung in der Praxis widerspiegelt (siehe Umfrage Kapitel 3). Im Einzelfall ist es natürlich unverzichtbar, für jeden Anlagenstandort die Rahmenbedingungen und die Aufbereitungsziele individuell zu ermitteln und zu prüfen. Für die spezifischen Verwertungs- und Entsorgungskosten werden für die Entsorgung in einer MVA oder für die Verwertung in einem BMH(K)W die folgenden Kosten angesetzt:

- MVA: 120 €/Mg
- BMH(K)W: 60 €/Mg

Die Kostenansätze orientieren sich hierbei an den von den Anlagenbetreiber in der Umfrage genannten Entsorgungs- und Verwertungskosten für die Siebreste.

In Tab. 15 sind die Kosten für die betrachteten Varianten zusammengestellt. Für die vollständige Entsorgung der Siebreste in einer MVA fallen Kosten in Höhe von ca. 300.000 €/a an. Bei den Variante 2 und 3 sind nur die Leicht- und Schwerstoffe in einer MVA zu entsorgen. Die hiermit verbundenen Kosten belaufen sich auf ca. 60.000 €/a. Bei der Variante 3 fallen durch die Verwertung der Siebreste in einem BMH(K)W zusätzlich Kosten in Höhe von ca. 66.000 € an.

Tab. 15: Verwertungs- bzw. Entsorgungskostenschätzung

Variante	Entsorgungs- und Verwertungsweg				Kosten gesamt
	MVA		BMH(K)W		
	Masse	Kosten	Masse	Kosten	
Variante 1	2.500 Mg/a	300.000 €/a	-	-	300.000 €/a
Variante 2	500 Mg/a	60.000 €/a	-	-	60.000 €/a
Variante 3	500 Mg/a	60.000 €/a	1.100 Mg/a	66.000 €/a	126.000 €/a

Die spezifischen Behandlungskosten für die Siebreste setzt sich aus den Betriebskosten der Aufbereitung sowie den Entsorgungs- und Verwertungskosten für die Reststoffe zusammen. In Tab. 16 sind Behandlungskosten für die 3 Varianten zusammengestellt. In der Variante 1 wird die Entsorgung der Siebreste in einer MVA ohne eine weitere Behandlung angenommen. In diesem Fall entsprechen die spezifischen Behandlungskosten von ca. 15 €/Mg bezogen auf die Anlieferungsmenge von 20.000 Mg/a den Entsorgungskosten der Siebreste. Die spezifischen Behandlungskosten reduzieren sich bei einer Verwertung der aufbereiteten Siebreste in einem BMH(K)W um ca. 2 €/Mg und einer Rückführung als Struktur in den Behandlungsprozess um ca. 5 €/Mg. Bei der

Bewertung der spezifischen Behandlungskosten ist jedoch zu berücksichtigen, dass perspektivisch mit einer Kostensteigerung für die Entsorgung in einer MVA zu rechnen ist.

Die Kostenreduktion bei einer Rückführung der aufbereiteten Siebreste als Struktur in den Behandlungsprozess kann hingegen geringfügig kleiner ausfallen, da in diesem Fall durch die Rückführung das Behandlungsvolumen erhöht und ggf. zusätzliche Behandlungskapazität geschaffen werden muss. Andererseits könnte aber auch zusätzliches Strukturmaterial (z. B. Grüngut) durch die Siebrestzuführung eingespart werden, was wiederum die Kosten zusätzlich reduzieren könnte. Daher wurde dieser Umstand nicht weiter berücksichtigt.

Tab. 16: Spezifische Behandlungskosten der 3 Varianten unter Berücksichtigung der Betriebs- sowie Entsorgungs- und Verwertungskosten

Variante	Betriebskosten	Entsorgungs- u. Verwertungskosten	spez. Behandlungskosten ¹⁾
Variante 1	-	300.000 €/a	15 €/Mg
Variante 2	133.000 €/a	60.000 €/a	10 €/Mg
Variante 3	133.000 €/a	126.000 €/a	13 €/Mg

¹⁾ bezogen auf Anlieferungsmenge von 20.000 Mg/a

8 Beurteilung der Klima- und Ressourcenrelevanz

Im nachfolgenden Kapitel wird die Klima- und Ressourcenrelevanz der Siebrestaubbereitung betrachtet. Grundlage dieser Betrachtung sind die Potenziale an erzeugtem Kompost (durch die Rückführung von Siebresten in den Behandlungsprozess), an erzeugter Energie in Form von Strom und Wärme (durch die Verbrennung von Siebresten in MVA bzw. BMH(K)W) sowie die damit verbundenen Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen.

8.1 Potenziale zur Kompost- und Energieerzeugung sowie zur Treibhausgaseinsparung

Für die Berechnung der Potenziale zur Kompost- und Energieerzeugung sowie zur Treibhausgaseinsparung wurden für unterschiedliche Stoffströme der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung die Mengen an erzeugtem Kompost, Strom und genutzter Wärme sowie die Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) berechnet. Für diese Berechnung wurden bestimmte Annahmen getroffen, um die zahlreichen Berechnungsparameter festzulegen, die in Tab. 17 aggregiert dargestellt sind. Dabei ist zu beachten, dass für die Berechnung der Bilanzen von THG und KEA fossil Daten aus bestehenden Ökobilanzen (Knappe et al., 2012; Reinhardt, 2016) verwendet und teilweise angepasst wurden. Es wurde keine vollständige Neuberechnung von Ökobilanzen durchgeführt.

Kompost wird einerseits bei der Rückführung von Siebrest in den Prozess und andererseits bei der erneuten Absiebung von biologische vorgetrocknetem Siebrest aus dem dabei gewonnenen Feinkorn erzeugt. Bei der Rückführung von Siebrest in den Prozess wird davon ausgegangen, dass nur ein geringer Anteil (ca. 5 %) davon zu Kompost wird, da dieser Siebrest ja bereits das Überkorn aus der Kompostabsiebung darstellt und daher nur ein geringer Anteil durch mechanische Beanspruchung und Rotteprozesse in eine so geringe Korngröße überführt wird, dass es bei der nächsten Absiebung als Feinkorn im Kompost verbleibt. Das Feinkorn aus erneuter Absiebung von biologisch vorgetrocknetem Siebrest hingegen wird zu 100 % in den Kompost überführt.

Strom und genutzte Wärme werden sowohl in der MVA als auch im BMH(K)W erzeugt. Der dabei angesetzte Heizwert des Siebrests ohne Aufbereitung (1,7 kWh/kg FM) orientiert sich an den in den Praxisversuchen ermittelten Heizwerten (siehe Kapitel 0, Abb. 69). Durch die Aufbereitung des Siebrests erhöht sich der Heizwert infolge der weiteren biologischen Trocknung (siehe Abb. 70) sowie der Abscheidung von Feinkorn, Glas, Metallen und Mineralik (siehe Abb. 101). Der hier angesetzte Heizwert des aufbereiteten Siebrests (2,7 kWh/kg FM) orientiert sich an dem in den Praxisversuchen ermittelten Heizwerten des biologisch getrockneten Siebrests aus Anlage D (siehe Kapitel 0, Abb. 69).

Ein negativer spezifischer Wert bei den Parametern THG und KEA fossil bedeutet eine Einsparung von Treibhausgasen bzw. fossilen Energieträgern. Für den Parameter THG erzielen alle Stoffströme eine spezifische Einsparung mit Ausnahme der Aufbereitung des Siebrest-Überkorns mit Windsichter und Steinfalle, da hierfür Energie in Form von Strom für die Aufbereitungsaggregate und Diesel für den Betrieb der Radlader eingesetzt werden muss. Dies verursacht auch einen positiven Wert beim Parameter KEA fossil. Auch der Kompostierungsprozess führt zu einer Netto-Belastung bei diesem Parameter. Alle anderen Stoffströme erzielen eine spezifische Netto-Einsparung fossiler Energieträger.

Tab. 17: Aggregierte gerundete Berechnungsparameter für die Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme sowie für die Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) bei unterschiedlichen Stoffströmen pro Mg Siebrest, Siebrest-Feinkorn oder Siebrest-Überkorn

Stoffstrom	Kompost (FM)	Strom	Wärme	THG ¹	KEA fossil ¹
Siebrest ohne Aufbereitung → MVA	---	170 kWh	510 kWh	-89 kg CO ₂ -Äq.	-315 kWh
Siebrest ohne Aufbereitung → BMH(K)W	---	408 kWh	612 kWh	-435 kg CO ₂ -Äq.	-1.550 kWh
Siebrest → Rückführung	50 kg	---	---	-2 kg CO ₂ -Äq.	2 kWh
Siebrest-Feinkorn → Kompost	1.000 kg	---	---	-38 kg CO ₂ -Äq.	42 kWh
Siebrest-Überkorn → Aufbereitung	---	---	---	4 kg CO ₂ -Äq.	5 kWh
Siebrest nach Aufbereitung → MVA		270 kWh	810 kWh	-141 kg CO ₂ -Äq.	-500 kWh
Siebrest nach Aufbereitung → BMH(K)W		648 kWh	972 kWh	-690 kg CO ₂ -Äq.	-2.462 kWh

¹Basisparameter für THG und KEA fossil aus: Knappe et al. (2012), Reinhardt (2016)

8.2 Betrachtung unterschiedlicher Szenarien der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung

Für die Bewertung der Siebrestaufbereitung im Hinblick auf die Klima- und Ressourcenrelevanz wurden sechs unterschiedliche Szenarien der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung im Hinblick auf die fünf Parameter Kompost, Strom, Wärme, THG und KEA fossil miteinander verglichen. Drei dieser Szenarien orientieren sich an der im Rahmen der Betreiberumfrage (Kapitel 3) tatsächlichen Situation in der Praxis und extrapolieren die Umfrageergebnisse einerseits in den Raum (die Gesamtzahl aller Biogutbehandlungsanlagen in Deutschland) und andererseits in die Zeit (Entwicklungen auf dem Markt und bei den rechtlichen Rahmenbedingungen). Die anderen drei Szenarien greifen die drei Varianten der ökonomischen Betrachtung bei der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung auf (Kapitel 7.3.3). Folgende Szenarien wurden miteinander verglichen:

- **Umfrage 2019:**
 - Die durchschnittliche auf den Anlageninput bezogene Siebrestmenge (11,8 % bei Biogut-Kompostierungsanlagen und 13,5 % bei Biogut-Vergärungsanlagen) der 62 Anlagen, die an der Betreiberumfrage teilgenommen haben, wird auf alle den Autoren in

- Deutschland bekannten Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen bzw. deren Jahresdurchsätze hochgerechnet.
- Daraus ergibt sich eine jährliche Siebrestmenge von ca. 900.000 Mg.
 - Die aus der Betreiberumfrage ermittelten Stoffströme werden auf diese Siebrestmenge angewandt:
35 % Entsorgung (MVA); 56 % Verwertung (BMH(K)W); 9 % Rückführung in den Prozess
- **Trend 2021:**
 - Aufgrund von Gesprächen mit Anlagenbetreibern und Siebrestverwertern repräsentiert die Verteilung der Stoffströme des Szenarios „Umfrage 2019“ eher einen vergangenen Zustand, der einem Trend hin zu weniger Verwertung und zu mehr Entsorgung von Siebresten unterliegt. Dieser Trend ergibt sich aus steigenden Qualitätsanforderungen für Brennstoffe seitens der Betreiber von BMH(K)W sowie aus teilweise steigenden Fremdstoffgehalten im Biogut.
 - Der Anteil des Stoffstroms Verwertung (BMH(K)W) des Szenarios „Umfrage 2019“ wird daher halbiert:
63 % Entsorgung (MVA); 28 % Verwertung (BMH(K)W); 9 % Rückführung in den Prozess
 - Jährliche Siebrestmenge: ca. 900.000 Mg
 - **Trend 2022:**
 - Aufgrund der sogenannten „kleinen Novelle“ der BioAbfV, die noch 2021 in Kraft treten soll, ist mit steigenden Siebrestmengen insgesamt zu rechnen, da der Referentenentwurf mit dem zentralen Ziel der Verhinderung des Eintrags von Kunststoffen über den Weg der Bioabfallbehandlung in die Umwelt erstmalig Anforderungen an die Fremdstoffentfrachtung von Bioabfällen vor der biologischen Behandlung inklusive eines Input-Grenzwerts formuliert.
 - Daraus ergibt sich eine angenommene Steigerung der jährlichen Siebrestmenge um 20 % auf ca. 1.100.000 Mg
 - Aufgrund der Fortführung des Trends steigender Qualitätsanforderungen sinkt der Anteil des Stoffstroms Verwertung (BMH(K)W) des Szenarios „Trend 2021“ um ein Viertel:
70 % Entsorgung (MVA); 21 % Verwertung (BMH(K)W); 9 % Rückführung in den Prozess
 - **Variante 1 (Entsorgung MVA):**
 - Jährliche Siebrestmenge: ca. 900.000 Mg
 - Keine Siebrestaufbereitung
 - 100 % Entsorgung (MVA); 0 % Verwertung (BMH(K)W); 0 % Rückführung in den Prozess
 - **Variante 2 (Aufbereitung und Rückführung in den Prozess):**
 - Jährliche Siebrestmenge: ca. 900.000 Mg

- Siebrestaubbereitung durch erneutes Sieben nach einer biologischen Trocknung und Aufbereitung des Überkorns mit Windsichter und Steinfalle (Abb. 100)
 - Das Feinkorn der Siebung wird dem Kompost zugeführt. Die Leichtstoffe (Windsichter) und Schwerstoffe (Steinfalle) aus der Aufbereitung werden in der MVA entsorgt. Der aufbereitete Siebrest wird in den Prozess rückgeführt.
 - 20 % Entsorgung (MVA); 0 % Verwertung (BMH(K)W); 44 % Rückführung in den Prozess; 36 % Kompost
- **Variante 3 (Aufbereitung und Verwertung im BMH(K)W):**
 - Jährliche Siebrestmenge: ca. 900.000 Mg
 - Siebrestaubbereitung durch erneutes Sieben nach einer biologischen Trocknung und Aufbereitung des Überkorns mit Windsichter und Steinfalle (Abb. 100)
 - Das Feinkorn der Siebung wird dem Kompost zugeführt. Die Leichtstoffe (Windsichter) und Schwerstoffe (Steinfalle) aus der Aufbereitung werden in der MVA entsorgt. Der aufbereitete Siebrest wird im BMH(K)W verwertet.
 - 20 % Entsorgung (MVA); 44 % Verwertung (BMH(K)W); 0 % Rückführung in den Prozess; 36 % Kompost

Beim Vergleich der sechs Szenarien wurde für das Szenario „Trend 2021“, das nach Experteneinschätzung der derzeitigen Situation in der Praxis am nächsten kommt, der Wert jedes der fünf Parameter auf 100 gesetzt (Abb. 103). Die Werte für die übrigen Szenarien bilden für jeden Parameter den relativen Unterschied zum Szenario „Trend 2021“ ab. Die größten relativen Unterschiede beim Vergleich der sechs Szenarien ergeben sich beim Parameter Kompost. Während in den Szenarien „Umfrage 2019“, „Trend 2021“ und „Trend 2022“ lediglich der in den Prozess rückgeführte Siebrest zu einer geringen Kompostmenge (weniger als 5.000 Mg/a) führt, werden durch das erneute Absieben des biologisch getrockneten Siebrests in „Variante 2“ und „Variante 3“ Kompostmengen erzeugt, die mit über 300.000 Mg/a um mehr als 8.000 % höher liegen als bei „Trend 2021“.

Bei den übrigen vier Parametern ist „Variante 3“ jeweils das am besten abschneidende Szenario. Die Unterschiede gegenüber „Trend 2021“ betragen +50 % bei der Erzeugung von Strom, +20 % bei der Erzeugung von Wärme, +90 % bei der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und +80 % bei der Einsparung von fossilen Energieträgern (KEA fossil). Aus Sicht der Klimarelevanz ist demnach „Variante 3“ zu bevorzugen, wo gegenüber „Trend 2021“ jährlich ca. 150.000 t CO₂-Äq. zusätzlich eingespart werden und gegenüber „Umfrage 2019“ immerhin noch jährlich ca. 60.000 t CO₂-Äq. „Variante 1“ und „Variante“ sind aus Sicht der Klimarelevanz nicht zu empfehlen.

Eine noch größere Vorzüglichkeit weist „Variante 3“ aber in Bezug auf die Ressourcenrelevanz auf. Während in allen anderen Szenarien, mit Ausnahme von „Variante 2“, der überwiegende Anteil des Siebrests entweder verbrannt (MVA und BMH(K)W) oder im Kreis geführt wird (Rückführung in den Prozess) wird hier mehr als ein Drittel des Siebrests in den Kompost überführt und kann stofflich hochwertig und im Sinne der Abfallhierarchie verwertet werden.

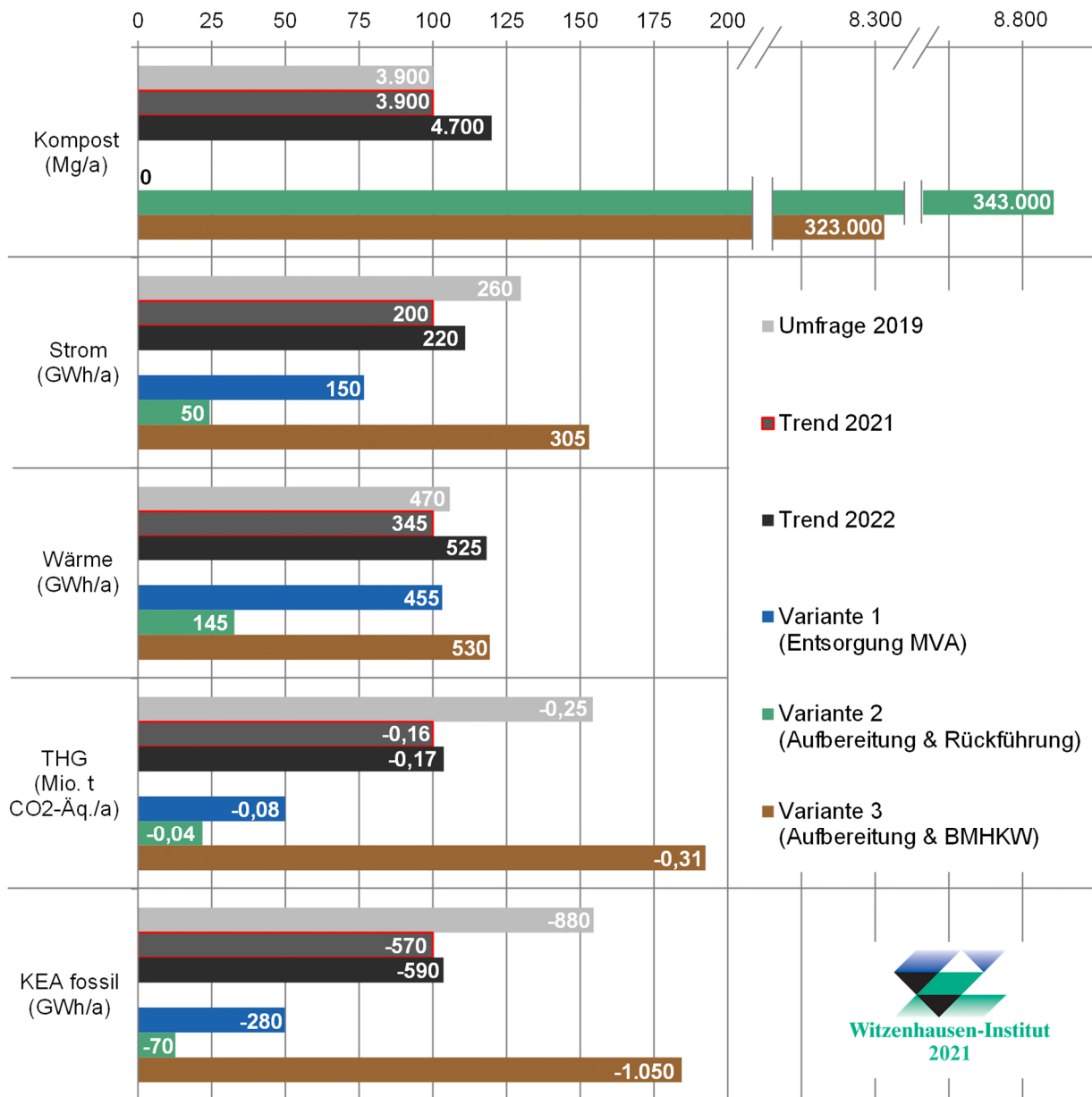


Abb. 103: Relativer Unterschied der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme sowie der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) in sechs Szenarien der Siebrestverwertung bzw. -entsorgung (Trend 2021 = 100)

9 Empfehlungen für die Praxis

Die stoffliche Verwertung der aus Biogut erzeugten Produkte ist eine wesentliche Grundlage für Anlagenplanung und -betrieb im Sinne der Abfallhierarchie und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes. Daneben ist für Teilströme, die nur schwer stofflich zu verwerten sind, wie beispielsweise Siebreste, eine hochwertige energetische Verwertung anstelle einer reinen Entsorgung anzustreben. Basis für die stoffliche Verwertung ist die hohe Qualität der erzeugten Produkte. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Fremdstoffgehalt, wie Kunststoffen und Glasscherben. Gesteigerte Brisanz erhält dieses Thema vor allem aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen und den damit einhergehenden verschärften Anforderungen (siehe Kap. 2.1.).

Die Fremdstoffanteile in den Endprodukten sowie im Siebüberlauf bei der Endkonfektionierung entstehen im Regelfall bereits ganz am Anfang der Verwertungskette, nämlich durch die entsprechenden Fehlwürfe bei der häuslichen Erfassung des Bioguts. Wesentlicher Bestandteil einer Strategie zur Fremdstoffreduktion ist demzufolge die Intensivierung der Abfallberatung und Aufklärung der Bürgerinnen und Bürger. Ohne eine entsprechende **Öffentlichkeitsarbeit**, Anreize und Kontrolle mit ggf. entsprechenden ordnungsrechtlichen Konsequenzen ist eine hinreichende Inputqualität für die stoffliche Nutzung des Bioguts nicht zu erreichen. Diese Thematik wurde in dieser Studie nicht weiter vertieft, sollte aber zunehmend als ein wichtiger und effektiver erster Optimierungsschritt mitbetrachtet werden.

Weitere Elemente der Fremdstoffreduktion sind technische Verfahren im Zuge diverser Verarbeitungsschritte, die eine Ausschleusung der noch verbleibenden Fremdstoffe ermöglichen. In der Praxis kommt es dabei immer wieder zu einer unzureichenden Fremdstoffabscheidung, vor allem bei der Endkonfektionierung und Herstellung von Kompost aus Gärresten in Biogutvergärungsanlagen. Nach Erfahrung der Autoren ist hierbei u. a. eine entscheidende Stellschraube das Feuchtemanagement im Kompostierungsprozess. Nur wenn das Material vor der Konfektionierung ausreichend trocken ist, kann eine Fremdstoffabscheidung in befriedigender Weise gelingen. Aber auch bei optimalen Rottebedingungen verbleibt, je nach Input und Produktverifizierung, ein Siebrest, der ggf. sinnvoll weiter behandelt und aufbereitet werden kann, was den Schwerpunkt der vorliegenden Studie umfasst (siehe Kap.4).

In den Empfehlungen für die Praxis haben wir an dieser Stelle aber nicht nur die im Rahmen der Studie intensiv untersuchte Aufbereitung der Siebreste nach der Kompostkonfektionierung im Fokus, sondern den ganzen Behandlungsprozess. Alle vorgelagerten Schritte vor, während und nach der biologischen Behandlung haben einen entsprechenden Einfluss auf die Qualität der Siebreste am Ende des Prozesses und sind somit relevant bei der **Entwicklung eines Gesamtkonzeptes zur Qualitätssicherung**.

Aktuelle Vorschläge zur **Änderung der BioAbfV**, insbesondere auch im Hinblick auf die Fremdstoff- bzw. Kunststoffproblematik beinhalten zukünftig auch rechtliche Regelungen zum Inputmaterial der biologischen Behandlung. In der aktuellen Entwurfsfassung („Kleine Novelle“, Stand Mai 2021) werden Inputgrenzwerte (Kontrollwert) für den Input Bioabfall vorgegeben. Für Biogut soll eine regelmäßige Sichtkontrolle oder im Problemfall eine Chargenuntersuchung im Input durchgeführt werden. Der festgelegte Kontrollwert für Gesamtkunststoffe wird mit $< 1,0$ Gew.-% festgelegt. Wird dieser überschritten, greift eine „Vorbehandlungspflicht“ bis zur Einhaltung des Kontrollwertes mit Einbindung der zuständigen Behörden. Die Einführung eines zusätzlichen Kontrollwertes von > 3 Gew.-% soll dann zu einem Rückweisungsrecht des Betreibers führen! Die technischen Anforderungen an eine dann ggf. notwendige Vorbehandlung des Inputs (Biogut) wird nicht

weiterpräzisiert. In den folgenden Ausführungen werden dazu technische und praxiserprobte Möglichkeiten ausgeführt.

Nachfolgend werden die praxisüblichen Aufbereitungstechniken (siehe auch allgemeine Ausführungen in Kap.6.1.) für Bioabfallbehandlungsanlagen für die verschiedenen Verfahrensschritten dargestellt und hinsichtlich ihrer Eignung zur Fremdstoffabtrennung bewertet. Dabei fließen vor allem die praktischen Beobachtungen, die im Rahmen dieser Studie untersuchten Anlagentechniken (siehe Kap.4.6.2. und 6.3.) und die Einschätzungen der Autoren ein.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass wir im Rahmen dieser Praxisempfehlung die Aufbereitung mittels der NIR-Technik (siehe Kap.6.3.2., Praxisversuche) nicht weiter thematisieren, obwohl diese Technik zukünftig an Bedeutung gewinnen kann. Aber bisher liegen nur wenige Erfahrungen und diese auch nur für bestimmte Siebschnitte vor, sodass sich die Relevanz noch in der Praxis bewähren sollte.

Alle diese Maßnahmen bewirken neben der Verbesserung der Kompostqualität natürlich auch die Qualität der Siebreste und beeinflusst die in dieser Studie beschriebenen Maßnahmen zur Aufbereitung und Verwertung der Siebreste.

9.1 Fremdstoffausschleusung bei der Biogutbehandlung

9.1.1 Vor der biologischen Behandlung

Die Gestaltung des Anlieferungsbereichs beeinflusst die Möglichkeit zur Qualitätskontrolle des angelieferten Materials und damit die Option fremdstoffbelastete Chargen auszuschleusen oder zurückzuweisen. In Anlagen mit Tiefbunkern besteht beispielsweise keine Gelegenheit einzelne Anlieferungschargen zu bewerten. Generell sollte der Anlieferungsbereich nicht zu eng konzipiert werden. Erfahrungsgemäß kommen mehrere Anlieferfahrzeuge nahezu gleichzeitig und es bedarf ausreichend Platz und gegebenenfalls Zwischenlagermöglichkeiten, um Chargen separieren und beproben zu können.



Abb. 104: Anlieferung von Biogut in der Praxis

Über eine visuelle Kontrolle allein, ist eine Bewertung des Fremdstoffgehalts allerdings objektiv nur bedingt möglich (Kranert et al., 2016). Abhilfe bietet hier die im Auftrag der BGK entwickelte **Chargenanalyse** für Biogut.

Bei Biogutvergärungsanlagen mit Teilstromvergärung erfolgt die Trennung von Chargen, die der Vergärung zugeführt werden, und von Chargen, die direkt der Kompostierung zugegeben werden. Hier kann gegebenenfalls, neben dem erwarteten Biogasertrag, auch der Fremdstoffgehalt ein Entscheidungskriterium sein, insbesondere wenn bei den zu kompostierenden Chargen eine angepasste Aufbereitung gewählt werden kann.

Die Aufbereitung von Biogut für die biologische Behandlung ist immer ein Kompromiss zwischen einem gewünschten Aufschluss des organischen Materials und einer möglichst geringen Zerkleinerung der enthaltenen Fremdstoffe als Grundlage für eine erfolgreiche Ausschleusung. Der Aufbereitungsgrad ist zumeist niedrig bei der anschließenden Kompostierung oder Tunnelvergärungsverfahren (nur z. T. Sackaufreißer), mittel bei Pfropfenstromvergärungsverfahren und hoch bei der Nassvergärungsverfahren.

Die **manuelle Vorsortierung** größerer Fremdstoffe vor der Zerkleinerung gilt nicht mehr als Stand der Technik. In den ersten großtechnischen, gekapselten Kompostierungsanlagen mit hohem Durchsatz und Automatisierungsgrad waren Sortierkabinen meist noch fester Bestandteil der Behandlungsanlagen.

Gerade bei sehr fremdstoffhaltigen Anlieferungen erweist sich die manuelle Vorsortierung als sehr effizient. Neben großen Folien, Hartkunststoffen, Glas und Metallen können vor allem auch enthaltene Schadstoffe aussortiert werden.

Vor allem aufgrund hoher Kosten und hoher arbeitssicherheitstechnischer Anforderungen bei Hygiene (Keime, Bioaerosole) und beim Arbeitsschutz (hohe Verletzungsgefahr), wird die manuelle Vorsortierung heute nur noch in wenigen Anlagen durchgeführt. Angesichts der aktuellen Situation mit stark fremdstoffbelastetem Biogut verbunden mit hohen Qualitätsanforderungen an den Fremdstoffgehalt im Kompost könnte der manuellen Vorsortierung des Bioguts eine Renaissance bevorstehen.

Die z. T. bereits praktizierte **Materialaufbereitung vor der biologischen Behandlung** (siehe auch Kap. 6.) erfolgt im Wesentlichen durch einen Zerkleinerungs- und einen Absiebungsschritt. Dies ist insbesondere bei Biogutvergärungsanlagen im Pfropfenstromverfahren der Fall. Je nach Art und Erfordernis der Aufbereitung kann sowohl die Zerkleinerung als auch die Siebung an erster Stelle stehen.

Weit verbreitet ist die technische Umsetzung, das Material zunächst einer Zerkleinerung zuzuführen und dann zu sieben. Vorteil dieser Verfahrensabfolge ist, dass durch die Zerkleinerung vorhandener Gebinde (z. B. Sammelbeutel) und großer organischer Materialien die biologische Abbaubarkeit gesteigert und die nachfolgend abgesiebte Überkornmenge reduziert werden kann. Allerdings werden dabei auch Teile der enthaltenen Fremdstoffe so stark zerkleinert, dass diese durch die anschließende Siebung nicht mehr zuverlässig abgeschieden werden können.

Sie werden somit in den Behandlungsprozess eingeschleust und müssen nachgängig aufwendig aussortiert werden. Daher ist es wesentlich, dass langsamlaufende Aggregate, die Folien und Plastik nicht zu sehr zerkleinern, zum Einsatz kommen. Auch Querstromzerspaner können eingesetzt werden. Das bei der Siebung erzeugte Überkorn wird in vielen Anlagen direkt thermisch entsorgt und erfährt keine weitere Aufbereitung, was je nach Mengenanteil und der entsprechenden steigenden Kosten für MVA zunehmend kritisch bewertet wird.

Abhängig von einer visuellen Bewertung des Überkorns durch das Betriebspersonal wird nur gering mit Fremdstoffen belastetes Überkorn häufig ein zweites Mal in den Aufbereitungsprozess

gegeben. Damit steigt die verarbeitete Menge an Organik, aber auch wieder der Fremdstoffeintrag! Nach Einschätzung der Autoren ist diese Maßnahme kritisch zu sehen. Das Überkorn sollte dann zumindest von Folien etc. (Windsichter) und ggf. Steine/Glas (Hartstoffabscheidung) gereinigt werden, was ja in der vorliegenden Studie eingehend betrachtet wurde.

Um den Eintrag größerer Fremdstoffmengen zu umgehen, kann die Siebung auch vorgeschaltet werden. Allerdings werden damit deutlich höhere Überkormengen aus dem Prozess ausgeschleust. Diese sind zu einem größeren Anteil auch organischer Struktur, holziges Material, aber auch Obst, Gemüse größere Fleischreste, sodass dadurch wertvolle energiereiche Biomasse für eine stoffliche bzw. energetisch-stoffliche Nutzung (bei Biogutvergärungsanlagen) verloren geht.

Günstiger ist es dann, eine **Nachzerkleinerung der Siebreste** aus der Biogutaufbereitung (nach Folienabsaugung, Fe-Abscheidung, Sortierung etc.) durchzuführen und diese wieder in die Prozesskette zurückzuführen. Dadurch können die eingetragene Fremdstoffmenge und der Austrag von Organik deutlich vermindert werden.

Die Entscheidung für oder gegen die Nachzerkleinerung und Kreislaufführung kann nur im Einzelfall getroffen werden.

Kompostierungsverfahren und Tunnelvergärungsverfahren können grundsätzlich auch ohne Aufbereitung vor der biologischen Behandlung betrieben werden. Oft wird jedoch eine Vorzerkleinerung ohne Absiebung vorgeschaltet. Verbreitet ist der Einsatz von Langsamläufern, wie z. B. Schraubenmühlen, die einen optimalen Materialaufschluss für die nachfolgende biologische Behandlung gewährleisten. Die vergleichsweise geringen Umdrehungszahlen der gegenläufigen Schrauben führen zudem zu einer schonenden Zerkleinerung der Fremdstoffe. Plastikbeutel werden geöffnet, Weichplastik (Folien und Tüten) durchläuft den Prozess ansonsten relativ schadlos. Großvolumige Hartkunststoffe, Glas oder Steine hingegen werden zerkleinert. Auch reine Sackaufreißer kommen zum Einsatz.

Pfropfenstromvergärungsverfahren erfordern ein feinkörniges Gärmaterial, sodass eine Zerkleinerung, verfahrensspezifisch auf 60 mm bzw. 80 mm, zwingend erforderlich ist. Üblicherweise folgt die Siebung auf die Zerkleinerung, wodurch auch die Fremdstoffe, insbesondere Glas, Steine und Hartkunststoffe, bereits einen ersten Zerkleinerungsschritt erfahren, sodass sie in der nachfolgenden Absiebung bei zu geringer Körnung nicht mehr sicher aus dem Substrat separiert werden können.

Nassvergärungsverfahren benötigen Trockensubstanzgehalte im Inputmaterial zwischen 12 und 15 Gew.-%. Um diese zu erreichen, bedarf es einer aufwendigen technischen Substrataufbereitung mit dem Ziel einer umfassenden Fremdstoffabtrennung vor der Vergärung. Dies ist auch zum Schutz der Anlagentechnik wichtig. Insbesondere die Abtrennung der mineralischen Bestandteile inklusive der Sandanteile erfordert einen hohen technischen Aufwand.

Das Material durchläuft üblicherweise nach einer Zerkleinerung zunächst einen Pulper mit Rechenanlage (⇒ Leichtstoffaustrag) und Schwerstoffschleuse (⇒ Schwerstoffaustrag). Um das Gärsubstrat weitergehend von feinkörnigen sandigen Bestandteilen zu entfrachten, können zusätzliche Separationstechniken zum Einsatz kommen. Hier sind beispielsweise Hydrozyklone oder auch zusätzliche Sandabscheider mit Schneckenaustrag (⇒ Sandaustrag) zu nennen.

Der technische und betriebliche Aufwand ist hoch. Die Aggregate sind störanfällig, weisen dadurch relativ hohe Unterhaltskosten und auch einen höheren Strombedarf auf. Bei optimaler Gestaltung der Aufbereitungskette kann eine sehr effiziente Fremdstoffabtrennung erreicht

werden. Mengenmäßig können aus dem Gesamtprozess Fremdstoffmengen von über 25 %, bezogen auf den Anlageninput, resultieren.

9.1.2 Während der biologischen Behandlung

Während der **Vergärung** wird der Fremdstoffgehalt kaum beeinflusst, außer dass durch den Abbau organischer Substanz der relative Anteil der Fremdstoffe steigt. Ein weiterer Effekt besteht darin, dass in den vergleichsweise flüssigen Medien der Nass- und Pfropfenstromfermenter eine gewisse Reinigung („Waschen“) der Fremdstoffe zu beobachten ist. Allerdings wird dieser Effekt in den nachfolgenden Verfahrensschritten wieder rückgängig gemacht. In sehr nassen Medien bietet die Nasssiebung gegebenenfalls eine gute Möglichkeit Fremdstoffe abzutrennen.

Die Beschickung und Entleerung der **Tunnelfermenter** erfolgt meistens mittels Radlader. Zur Herstellung eines optimalen Gärsubstrats wird das frische Biogut häufig mit ausgetragenen Gärrest vermisch („Anmaischen“). Auch dies erfolgt in der Regel mittels Radlader, zum Teil zusätzlich auch mit Umsetzern. Anders als beim Umsetzer hat der Radladerbetrieb nur unwesentlichen Einfluss auf die Struktur der Fremdstoffe, eine Zerkleinerung unterbleibt weitgehend. Allerdings kommt es im Zuge der Materialbewegung zu einer weiteren „Einmischung“ der Fremdstoffe.

Da bei den Batch-Verfahren das Gärsubstrat über 21 bis 28 Tage in den Tunneln nicht mechanisch bewegt wird, bleibt dieser Behandlungsschritt ohne Konsequenz für die Fremdstoffcharakteristik.

In den liegenden **Pfropfenstromfermentern** selbst wird das Substrat unter Einsatz langsam rotierenden Rühr-/Paddelwerke durch den Fermenter bewegt, sodass eine weitere Zerkleinerung weitgehend ausbleibt. Stehende Fermenter haben keine mechanischen Rührwerke.

Bei der **Nassvergärung** werden, wie zuvor beschrieben, die Fremdstoffe im Zuge der Aufbereitung bereits weitestgehend aussortiert.

Es ist eine Binsenweisheit, dass zur **Kompostierung** ausreichend abbaubares organisches Material erforderlich ist. In Kombination mit der Vergärung ist jedoch die Frage zu stellen, ob eine zu starke Fokussierung auf hohe Biogaserträge unter Umständen eine fachgerechte Kompostierung deutlich erschwert.

Wenngleich es zwischen anaerob und aerob abbaubarer Organik Unterschiede gibt, ist festzustellen, dass durch die Biogasproduktion bereits ein erheblicher Teil der leicht abbaubaren Organik umgesetzt ist. Hinzu kommt, dass das Material durch das bei der Biogaserzeugung freiwerdende Wasser sowie ggf. der daraus erfolgten Verdünnung, deutlich feuchter ist als „frisches“ Biogut. Daran wird deutlich, dass die Kompostierung fester Gärreste anspruchsvoller ist als die direkte Kompostierung von Biogut.

Sofern das Hygienisierungskonzept der Anlage dem nicht entgegensteht, unterstützt die Beimischung von Strukturmaterialien und leicht abbaubarer Organik den Start und die Stabilität des Kompostierungsprozesses. Da ein ausreichend hoher TS-Gehalt des Rohkomposts für dessen effiziente Konfektionierung unerlässlich ist, muss durch die mit der Kompostierung verbundene Erwärmung eine ausreichende Trocknung sichergestellt werden.

Im Kontext der Fremdstoffausschleusung kommen zwei weitere Argumente hinzu:

1. Durch **intensive Belüftung** und gegebenenfalls den Eintrag von (BHKW-)Wärme werden der Start des biologischen Umsetzungsprozesses und der Wasseraustrag beschleunigt. Ein ausreichender Wasseraustrag ist die wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Konfektionierung der Komposte.
2. **Umsetzungsaggregate** können wesentlich zur Zerkleinerung von Kunststoffen und Glas beitragen. Wenn der Kompostierungsprozess länger ohne Umsetzen in der Intensivrotte stattfindet, reduziert sich die Gefahr der Zerkleinerung dieser Fremdstoffe durch Umsetzungsaggregate.

Die Beschickung der Intensivrotte erfolgt üblicherweise mittels Radlader. In einigen Anlagen sind auch automatische Eintragungssysteme installiert. Bei beiden Methoden bleiben Korngröße und Struktur der Fremdstoffe nahezu unverändert.

Neben dem weiteren Abbau der Organik (Erhöhung des Rottegrads) ist die zentrale Aufgabe der Intensiv- und Nachrotte die **Reduktion des Wassergehalts**, sodass die nachgelagerte Konfektionierung und Fremdstoffausschleusung effektiv durchgeführt werden kann.

Die Nachrotte erfolgt in der Regel in unbelüfteten Dreiecksmieten auf überdachten oder teilweise auch offenen Flächen. Diese werden in regelmäßigen Intervallen mittels Umsetzaggregate umgeschichtet. Das Umsetzen verfolgt das Ziel, eine **optimierte Rottesteuerung** (Belüftbarkeit, Feuchtemanagement, ggf. Hygienisierung) sicherzustellen und die Rottezeiten zu verkürzen. Durch die schnelllaufenden Umsetzwalzen, die oftmals mit scharfkantigen Werkzeugen, wie Schlegeln, verbunden sind, können noch enthaltene Fremdstoffe stark zerkleinert werden.

Die Gewährleistung einer optimalen Steuerung des Rotteprozesses und eines ausreichenden Wasseraustrags durch regelmäßiges Umsetzen steht damit dem Ziel der Fremdstoffauslese teilweise entgegen. Für die Anlagenbetreiber bestehen verschiedene Optionen dem entgegenzuwirken.

Einen gewissen Einfluss haben die Wahl des Umsetzaggregate und der technischen (z. B. Walzenform, Ausführung der Schlegel) sowie betrieblichen (z. B. Umdrehungsgeschwindigkeiten) Eigenschaften der Umsetzwalze, die an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden sollen.

Alternativ kann auch ein schonenderes Umsetzen mittels Radlader erfolgen. Für die Kontrolle der Rottesteuerung bringt dies allerdings aufgrund der schlechteren Durchmischung Nachteile. Darüber hinaus ist es zeit- und arbeitsintensiv, sodass insbesondere in Anlagen mit hohen Durchsatzleistungen das Umsetzen mit Radladern nur bedingt praktikabel ist.

Durch eine **Belüftung in der Nachrotte** kann der Wasseraustrag zusätzlich deutlich verbessert und beschleunigt werden. Die Umsetzintervalle können somit verlängert werden und dienen hauptsächlich dazu, Setzungen in der Miete mit einer Materialverdichtung in bestimmten Bereichen (Mietenfuß) zu beheben, die Struktur in der Miete zu verbessern und dadurch die Voraussetzungen für eine wirksame Belüftung aufrechtzuerhalten.

Günstige Bedingungen bietet die Durchführung in geschlossenen, belüfteten Rottetunneln. Die Nachrotte erfolgt hier statisch und somit ohne Umsetzen. Eine weitere Fremdstoffzerkleinerung findet nicht statt. Allerdings ist der erforderliche Investitions- und Betriebsaufwand (z. B. Strom, Abluftreinigung) hoch. In der Praxis findet man eine gekapselte Nachrotte nur bei wenigen Anlagen.

Die Effektivität der nachfolgenden Endkonfektionierung steht und fällt mit der **Materialfeuchte im Rohkompost**. Der Kompost sollte einen Trockensubstanzgehalt von etwa 60 % haben. In diesem Fall ist das Material ausreichend locker, sodass die Fremdstoffe gut abgetrennt werden können. Eine Klumpenbildung bei der Siebung wird vermieden und der Kompost ist noch so feucht, dass eine übermäßige Staubentwicklung unterbleibt.

Nach Erfahrungen der Autoren aus dem praktischen Betrieb zahlreicher Anlagen wird bei der Nachrotte von Gärgut oft nur ein deutlich geringerer Trockensubstanzgehalt im Kompost erreicht. Statt bei 60 % TS liegt dieser oftmals zwischen 50 % und 55 % TS. Die Gründe dafür sind vielfältig. Eine Ursache kann beispielsweise darin liegen, dass im gesamten Rottebereich die Anlagenkapazitäten, wie z. B. die Größe der Nachrotteflächen, nicht ausreichend bemessen sind. In diesem Fall unterliegt der Rotteprozess zeitlichen Beschränkungen, die durch den Jahresgang des Anlageninputs noch verstärkt werden. Des Weiteren kann insgesamt oder auch zeitweilig ein Mangel an strukturgebendem Material, wie z. B. Grüngut oder Überkorn, den Rotteprozess erschweren.

Optimalerweise erlaubt die installierte Anlagentechnik und -ausführung sowie die Verfügbarkeit an Strukturmaterial eine flexible Betriebsweise, mit der insbesondere auch auf die jahreszeitlich bedingten schwankenden Anforderungen reagiert werden kann.

9.1.3 Nach der biologischen Behandlung

Im Zuge der Konfektionierung des Komposts werden unterschiedliche Qualitäten für verschiedene Anwendungsbereiche (Landwirtschaft, GaLa-Bau, Hobbygartenbau, Substratherstellung, Erdenwerke), z. B. hinsichtlich der Korngröße, erzeugt. Zentrale Voraussetzung für die Vermarktung insbesondere höherer Qualitäten ist die weitgehende Abscheidung der enthaltenen Fremdstoffe. Dies gelingt am besten bei möglichst großen Korngrößen der Fremdstoffe und bei niedrigem Feuchtegehalt im Kompost.

Oft reichen zur Konfektionierung ein oder zwei Siebschnitte aus. Bei erhöhten Fremdstoffanteilen im Kompostmaterial können die Anforderungen an die Produkte hinsichtlich noch enthaltener Fremdstoffanteile (DüMV, Gütesicherung der BGK), vor allem im Bereich der weichen Kunststoffe, teilweise nicht erfüllt werden. In diesen Fällen sind Verfahrensmodifikationen oder der Einsatz weiterer technischer Lösungen zu erwägen.

Die Siebschnitte können zwar weiter reduziert werden (z. B. 8 mm oder 10 mm), um weiterhin ein hochwertiges Produkt zu erzielen. Dies geht allerdings zulasten der Siebrestmenge, welche anderweitig kostenintensiv verwertet oder entsorgt werden muss. Auch aus ökologischen Gründen sollte der nicht stofflich genutzte Stoffstrom möglichst klein gehalten werden. Für die landwirtschaftliche Verwertung, die den Regelfall darstellt, können, bei niedrigen Störstoffgehalten, obere Korngrößen von 20 mm bis 25 mm ausreichen.

Zur Sicherung der Kompostqualität und Einhaltung der Gütesicherungskriterien werden, neben der Siebung, zunehmend zusätzliche Aggregate zur Abscheidung der Leichtfraktion (⇒ Windsichter, Folienabsaugung) und der Schwerfraktion (⇒ Hartstoffscheider) eingesetzt. Die Abscheidung von Leichtstoffen über eine Windsichtung erfolgt meistens in Kombination mit der Siebung. Hartstoffscheider sind bislang wenig verbreitet.

9.2 Optimierungsoptionen

9.2.1 Erweiterte Konfektionierung durch Fremdstoffentfrachtung der Siebreste bei 1-fach-Siebung

Häufig werden noch die gesamten Siebreste aus der Kompostsiebung als Abfallstoff entsorgt, was im Regelfall zulasten der Anlagenwirtschaftlichkeit geht (siehe auch Kap. 3 und 7). Insbesondere bei einem hohen Wassergehalt im Rohkompost haften an den Fremdstoffen relevante Anteile organischen Materials, das gemeinsam mit den Fremdstoffen abgeschieden wird. Das Ergebnis ist eine größere Menge zu entsorgendes Material. Hinzu kommt, dass Teilmengen humus- und nährstoffreicher Fraktionen nicht in den stofflichen Kreislauf zurückgeführt werden.

In diesem Fall kann der Siebrest nochmals zur Rotte aufgesetzt und danach erneut eine Fertigkompostfraktion (8–10 mm) abgesiebt sowie bei Bedarf der verbleibende Siebüberlauf mittels Windsichtung und Hartstoffscheidung gereinigt werden. Eine beispielhafte Darstellung des Konfektionierungsprozesses zeigt Abb. 105. Bei einer ausreichenden Aufbereitungstiefe kann das Material wie in Kap.5 ausführlich beschrieben entweder als Brennstoff zur energetischen Verwertung in BMH(K)W vermarktet oder als Strukturmaterial in den Rotteprozess zurückgeführt werden. Bedingung für die Rückführung ist, dass der Fremdstoffgehalt so niedrig ist, dass eine Fremdstoffanreicherung im Behandlungsprozess unterbunden wird, wie in den vorherigen Kapiteln ausführlich beschrieben wurde.

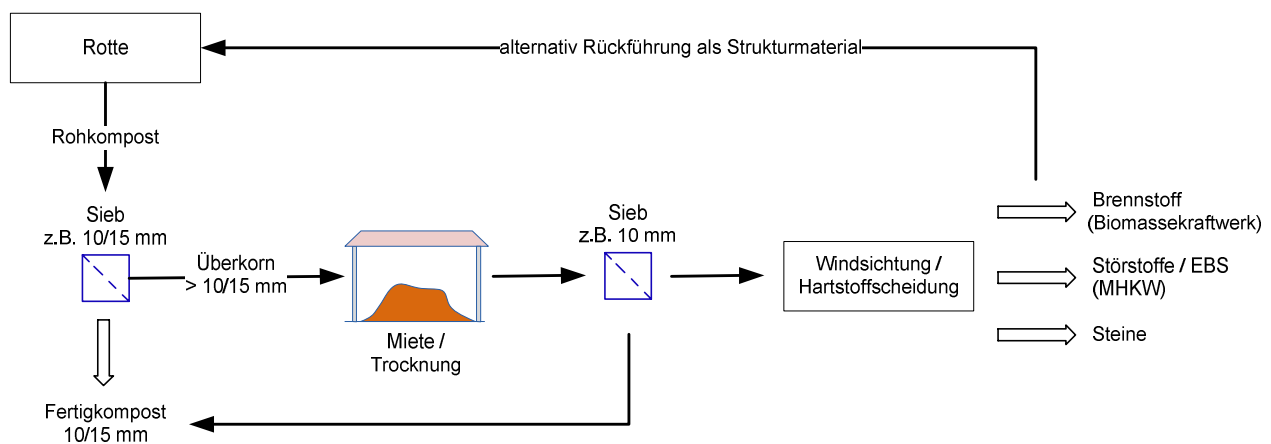


Abb. 105: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit 1-fach-Siebung und intensiver Siebrestbehandlung

Die Rückführung eröffnet für den Anlagenbetreiber die Möglichkeit, flexibel auf jahreszeitlich schwankende Inputqualitäten und Betriebszustände zu reagieren. In Phasen der mangelnden Verfügbarkeit anderer strukturgebender Inputstoffe (Grüngut) ergibt sich hieraus eine betriebsinterne Lösung. Ob sich die weitergehende Aufbereitung und Aufreinigung der Überkornfraktion auch wirtschaftlich lohnt, ist im Einzelfall zu betrachten.

9.2.2 Erweiterte Konfektionierung durch Störstoffentfrachtung der Mittelkornfraktion bei Mehrfachsiebung

Alternativ kann auch eine Mehrfachsiebung mit unterschiedlichen Sieblochgrößen sinnvoll sein. Eine beispielhafte Darstellung des Konfektionierungsprozesses zeigt Abb. 106. Hierbei kann beispielsweise zunächst in einer Grobsiebung die Überkornfraktion abgetrennt werden, welche anschließend einer weitergehenden Aufbereitung unterzogen wird.

Aus dem Siebdurchlauf erhält man nach einer zweiten Siebung mit einer geringeren Sieblochgröße die Kompostfraktion. Der dabei anfallende Siebüberlauf, bezeichnet als Mittelkornfraktion, kann zunächst erneut dem Rotteprozess zugeführt werden. Dadurch erfolgt eine Trocknung des Materials und somit eine wesentliche Verbesserung der Siebfähigkeit. Durch diese Maßnahme können aus dem Mittelkorn noch zusätzlich bis zu 50 % Feinfraktion (Kompost) abgetrennt werden. Der Siebüberlauf aus dieser Siebung kann beispielsweise als Biomassebrennstoff vermarktet werden.

Es besteht die Möglichkeit sowohl aus der Überkornfraktion > 40 mm als auch der Mittelkornfraktion (10 bis 40 mm) einen Materialstrom zu erzeugen, welcher in den Rotteprozess als Strukturmaterial zurückgeführt werden kann. Entscheidend für die Eignung sind die Aufbereitungstiefe und ein niedriger Fremdstoffgehalt, sodass eine Fremdstoffanreicherung im Behandlungsprozess unterbunden wird.

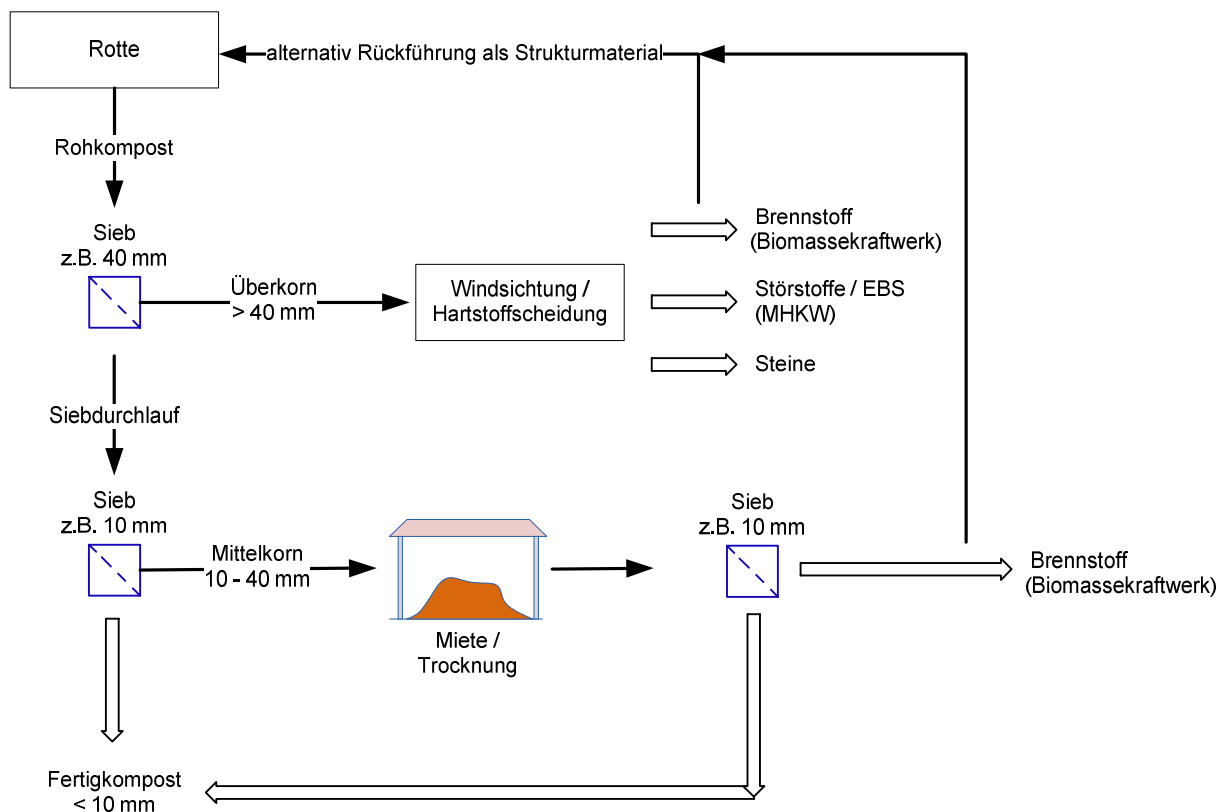


Abb. 106: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Mehrfachsiebung und intensiver Siebrestbehandlung

9.3 Fazit

Zentrale Frage muss sein, wie eine möglichst weitgehende und hochwertige stoffliche Verwertung des Bioguts umsetzbar ist. Dazu zeigen die vorgestellten Erfahrungen aus der Praxis sechs wesentliche Bereiche auf:

1. Deutlicher Ausbau der Öffentlichkeitsarbeit mit entsprechenden Anreizen und Kontrollen mit geeigneten Sanktionen für eine getrennte und sortenreine Erfassung des Bioguts
2. Aufbereitungsschritte vor der biologischen Behandlung, die möglichst viele Störstoffe abtrennen oder alternativ diese in großen Korngrößen hinterlassen (schonende Zerkleinerung), so dass sie unmittelbar bzw. spätestens bei der Kompostkonfektionierung abgetrennt werden können
3. Ein ganzheitliches Vergärungs- und Kompostierungskonzept, das hohe – nicht höchste – Biogaserträge mit gut kompostierbaren Gärresten und gegebenenfalls flüssigen Gärprodukten verbindet
4. Betriebsinterne Lösungen eines sinnvollen Stoffstrommanagements mit optionaler Kreisführung bestimmter Fraktionen
5. Ausreichende, nicht zu knapp bemessene, Rottekapazitäten und ggf. verfügbare Mengen an Struktur- und Organikmaterialien, um günstige Rahmenbedingungen für die Rotte und vor allem den Feuchteaustrag aus dem Kompost zu schaffen
6. Schonende Aggregate zum Umsetzen des Komposts und effiziente Aggregate, um Schwer- und Leichtstoffe abzuscheiden

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Fricke, K., Kugelstadt, O., Schwarz, F. (2009): Eignung von Siebresten aus Bioabfallkompostanlagen zur energetischen Verwertung. Müll und Abfall 12/2009, S. 610–618.
- Kern, M., Sprick, W., Turk, T., Raussen, T., Hüttner, A., Lootsma-Hallerberg, A., Werner, C. (2018): Schlussbericht: Hemmnisanalyse für den dynamisierten Ausbau der Vergärung kommunalen Bioguts in Deutschland (Bio-DYN). Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen.
- Knappe, F., Vogt, R., Lazar, S., Höke, S. (2012): Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. TEXTE 31/2012, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.
- Kranert, M., Böhme, L., Fritzsche, A., Gottschall, R. (2016): Fremdstoffe bei der Bioabfallverwertung – Einflussgrößen, Maßnahmen und Konsequenzen für die Erfassung und Verwertung. In: K. Wiemer, M. Kern, T. Raussen (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung. Stofflich – energetisch XI. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis, Kassel. S. 189–197.
- Pretz, T., Feil, A. (2017): Innovative Sortier- und Aufbereitungstechnologien für Biogut und Komposte, in: K. Wiemer, M. Kern, T. Raussen (Hrsg.), Bio- und Sekundärrohstoffverwertung XII stofflich-energetisch, S. 135–146.
- Reinhardt, J. (2016): Schriftliche Mitteilung von ökobilanziellen Berechnungsparametern des IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- Richter, F., Siepenkothen, J., Wagner, J., Raussen, T., Kern, M. (2016): Nahrungs- und Küchenabfälle effizient erfassen und stofflich-energetisch verwerten. Müll und Abfall 10/2016, S. 530–537.