



Witzenhausen-Institut

Schlussbericht

Optimierung der Erfassung, Aufbereitung
und stofflich-energetischen Verwertung
von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI)

Schlussbericht

Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI)

Förderkennzeichen: 03KB107

Projektlaufzeit: 01.06.2016 – 31.05.2018

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: Felix Richter, Michael Kern, Thomas Raussen, Jana Wagner

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 03KB107 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Witzenhausen, 07.01.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	13
2	Einleitung	17
2.1	Hintergrund und Zielsetzung des Vorhabens	17
2.1.1	Mangelhafte separate Erfassung von Grüngut	17
2.1.2	Unzureichende Wärmewende und energetische Biomassenutzung	18
2.1.3	Festbrennstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen	18
2.1.4	Ziele von Grün-OPTI	19
2.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	19
2.3	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens.....	21
2.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	23
2.5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	24
2.6	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	24
2.7	Veröffentlichungen	25
3	Ist-Standanalyse und Potenzialbetrachtung	27
3.1	Theoretisches Grüngutpotenzial	27
3.2	Grüngut in separaten Grüngutsammelsystemen	28
3.3	Grüngut in der Biotonne	30
3.4	Grüngut im Restmüll	31
3.5	Grüngut ohne Erfassung durch bestehende Sammelsysteme.....	32
3.6	Zusammenfassende Potenzialbetrachtung	34
3.7	Kompost-, Energie- und Treibhausgaseinsparpotenziale	36
3.8	Betrachtung unterschiedlicher Zukunftsszenarien	41
4	Rechtliche Rahmenbedingungen	45
4.1	Genehmigungsrechtliche Anforderungen an die Sammlung und die Lagerung	45
4.2	Genehmigungsrechtliche Anforderungen an die Aufbereitung.....	47
4.3	Einstufung des erzeugten Brennstoffs aus holzigem Grüngut	47
4.4	Anforderung an die thermische Nutzung	49
5	Kommunale Erfassung von Grüngut in Deutschland.....	50
5.1	Ist-Stand der Grünguterfassung in regionalisierter Betrachtung	50
5.2	Einflussfaktoren auf die Grünguterfassungsmengen	52

6	Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland	57
6.1	Befragung der öRE zur Grüngutaufbereitung und -verwertung	58
6.2	Grüngutaufbereitung - Ergebnisse der Befragung	59
6.3	Grüngutverwertung - Ergebnisse der Befragung	61
7	Optimierung der Qualität von Brennstoffen aus Grüngut.....	66
7.1	Praxisversuche zur Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung	66
7.2	Ergebnisse der Untersuchungen.....	68
7.3	Bewertung der unterschiedlichen Verwertungskonzepte	80
8	Optimierung von Grüngut-Wertschöpfungsketten – Handlungsempfehlungen für die Praxis	81
9	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	86

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Zeitplan zum Ablauf des Forschungsvorhabens.....	21
Abb. 2:	Zusammensetzung des Bioguts in kg/EB*W unterschieden nach Bebauungsstruktur und Vegetationszeit.....	31
Abb. 3:	Theoretisches Grüngutpotenzial mit dem Ist-Stand der Entsorgung von Grüngut aus Privatgärten im Jahr 2015.....	34
Abb. 4:	Theoretisches Grüngutpotenzial mit dem Ist-Stand der Entsorgung von Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen im Jahr 2015	35
Abb. 5:	Erzeugte Mengen an Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme aus den unterschiedlichen Entsorgungswegen für Grüngut aus Privatgärten in Deutschland im Jahr 2015.....	38
Abb. 6:	Erzeugte Mengen an Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme aus den unterschiedlichen Entsorgungswegen für Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen in Deutschland im Jahr 2015.....	39
Abb. 7:	Bilanzen von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) als Summe der Einzelbilanzen für die unterschiedlichen Entsorgungswege für Grüngut aus Privatgärten in Deutschland im Jahr 2015	40
Abb. 8:	Bilanzen von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) als Summe der Einzelbilanzen für die unterschiedlichen Entsorgungswege für Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen in Deutschland im Jahr 2015	41
Abb. 9:	Relative Veränderungen der separaten Erfassung von Grüngut aus Privatgärten, der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme aus diesem Grüngut sowie der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) in drei Zukunftsszenarien (SZ1, SZ2, SZ3) im Vergleich zum Ist-Stand im Jahr 2015 (IST)	43
Abb. 10:	Relative Veränderungen der separaten Erfassung von Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Flächen, der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme aus diesem Grüngut sowie der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) in drei Zukunftsszenarien (SZ1, SZ2, SZ3) im Vergleich zum Ist- Stand im Jahr 2015 (IST)	44
Abb. 11:	Unterscheidung zwischen Holzhackschnitzeln und grobem Schredderholz (Quelle: DIN EN ISO 17225-1 Bild A.2).....	48
Abb. 12:	Spezifische Grünguterfassung durch die öRE nach Bundesländern in 2015 (Quelle: Abfallbilanzen der Bundesländer 2015)	50
Abb. 13:	Kartografische Übersicht über die einwohnerspezifische Grünguterfassung 2015 in den Entsorgungsgebieten der 387 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (Quelle: Abfallbilanzen der Bundesländer 2015)	51
Abb. 14:	Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) in Abhängigkeit des Erfassungssystems.....	52

Abb. 15:	Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit einer Gebühr bei der Bündelsammlung für holziges Grüngut	53
Abb. 16:	Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit der Häufigkeit einer Bündelsammlung für holziges Grüngut.....	54
Abb. 17:	Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit eines Entgelts für die Abgabe von Grüngut auf Sammelstellen	54
Abb. 18:	Kartografische Übersicht über die einwohnerbezogene Dichte an Grüngutsammelstellen in den Entsorgungsgebieten der 387 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger	55
Abb. 19:	Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit der Einwohner pro Sammelstelle.....	56
Abb. 20:	Schematischer Stoffstrompfad für die Grüngutaufbereitung	57
Abb. 21:	Genehmigte Behandlungskapazität (Anzahl der Grüngutkompostierungsanlagen in jeder Kapazitätsgrößenklasse, N=137) ..	58
Abb. 22:	Bauliche Ausführung der Grüngutkompostierung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=155).	59
Abb. 23:	Zerkleinerungsaggregat für die Grüngut-Aufbereitung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=144).	60
Abb. 24:	Verwendete Siebaggregate für die Grüngutaufbereitung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=134).	61
Abb. 25:	Brennstoffnutzung von Siebüberläufen bei der Aufbereitung von Grüngut (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=167).....	62
Abb. 26:	Anteil des abgeseibten Brennstoffs am Grüngutinput (jeder Datenpunkt repräsentiert eine der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=98).....	63
Abb. 27:	Verwertung des Brennstoffs aus abgeseibtem Grüngut (Anteil in % des produzierten Brennstoffs als Mittelwert der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=104).....	64
Abb. 28:	Abfrage des Interesses an einer Zertifizierung/Gütesicherung von Brennstoffen aus Grüngut-Siebüberläufen (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=112).	64
Abb. 29:	Verwertungswege für Grüngut-Kompost (Anteil in % des produzierten Komposts als Mittelwert der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=134)	65
Abb. 30:	Nutzung von Grüngut als Strukturmaterial für die Biogutverwertung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=161).....	65

Abb. 31:	Verfahrensschema der Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung auf Anlage 1	66
Abb. 32:	Verfahrensschema der Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung auf Anlage 2	67
Abb. 33:	Verfahrensschema der Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung auf Anlage 3	68
Abb. 34:	Verteilung der Siebfraktionen in Masse-% bezogen auf den Siebinput bei der Siebung von Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen.....	69
Abb. 35:	Brennstoffanteile in Massen-% am Siebinput (links) und am frischen Grüngut (rechts) zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen.....	70
Abb. 36:	Trockenmassegehalte in der Frischmasse (FM) der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen	71
Abb. 37:	Aschegehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	71
Abb. 38:	Heizwerte bezogen auf die Trockenmasse (TM) der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen	72
Abb. 39:	Heizwerte zum Zeitpunkt der Absiebung bezogen auf die Frischmasse (FM) der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen.....	73
Abb. 40:	Stickstoffgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	74
Abb. 41:	Schwefelgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	75
Abb. 42:	Chlorgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	75
Abb. 43:	Bleigehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	76
Abb. 44:	Cadmiumgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich	

	zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	77
Abb. 45:	Chromgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	77
Abb. 46:	Quecksilbergehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	78
Abb. 47:	Kupfergehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	78
Abb. 48:	Nickelgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	79
Abb. 49:	Zinkgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe	79
Abb. 50:	Schema einer Grüngut-Wertschöpfungskette.....	81

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Bebaute Fläche auf Gebäude-Freiflächen zu Wohnzwecken je nach Siedlungsstrukturtyp und Gebäudetyp	28
Tab. 2:	Verteilung der Biogutanalysen nach Bebauungsstruktur und Vegetationszeit	30
Tab. 3:	Spezifische Grüngutmengen zur Beseitigung anhand von Siedlungsstrukturen	33
Tab. 4:	Aggregierte gerundete Berechnungsparameter für die Erzeugung von Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme sowie für die Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) pro Mg Grüngut als Frischmasse (FM)	37
Tab. 5:	Tatbestände für eine Befreiung von einer baurechtlichen Genehmigung für Grüngutsammelplätze mit einer Lagerkapazität <100 Mg in den einzelnen Bundesländern.....	46

Abkürzungsverzeichnis

a:	Jahr
AVV:	Abfallverzeichnis-Verordnung
BImSchV:	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BioAbfV:	Bioabfallverordnung
BMHKW:	Biomasseheizkraftwerk
CO ₂ -Äq.:	Kohlendioxid-Äquivalent
E:	Einwohner
EB:	Einwohner mit Biotonnenanschluss
EEG:	Erneuerbare-Energien-Gesetz
Fm:	Festmeter
FM:	Frischmasse
FWL:	Feuerungswärmeleistung
GWh:	Gigawattstunde
KEA fossil:	Kumulierter fossiler Energieaufwand
KrWG:	Kreislaufwirtschaftsgesetz
MBA:	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
Mg:	Megagramm (Tonne)
MVA:	Müllverbrennungsanlage
örE:	Öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
TA Luft:	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
THG:	Treibhausgase
TM:	Trockenmasse
ÜK:	Überkorn
W:	Woche

1 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund quantitativ unbefriedigender Erfassung von Grüngut in einer Reihe von Gebietskörperschaften in Deutschland, bei gleichzeitig einer für die Erreichung von Klimaschutzzielen unzureichenden Wärmewende und dem damit verbundenen Potenzial für die Nutzung biogener Festbrennstoffe aus Rest- und Abfallstoffen verfolgte das Forschungsvorhaben Grün-OPTI folgende Ziele:

- Ermittlung des **Ist-Stands der Grüngutentsorgung** und der **Potenziale von Grüngut** in Deutschland, auch im Hinblick auf die Klimaschutz- und Ressourcenrelevanz
- Dokumentation der **rechtlichen Rahmenbedingungen** für die Erfassung, Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland
- Dokumentation und Bewertung der **kommunalen Erfassung von Grüngut** in Deutschland
- Dokumentation und Bewertung der **Aufbereitung und Verwertung von Grüngut** in Deutschland
- Darstellung von Ansätzen zur **Optimierung der Qualität von Brennstoffen aus Grüngut** im Rahmen der Durchführung und Auswertung von Praxisversuchen
- Darstellung von Ansätzen zur **Optimierung von Grüngut-Wertschöpfungsketten**

Ist-Stand der Grüngutentsorgung und Potenziale von Grüngut in Deutschland

Das theoretische Potenzial von Grüngut aus Privatgärten liegt bei ca. 195 kg pro Einwohner (E) und Jahr (a). Betrachtet man zusätzlich kommunale Grünanlagen, so erhöht sich das theoretische Grüngutpotenzial auf ca. 255 kg/E*a. Knapp die Hälfte des theoretischen Grüngutpotenzials aus Privatgärten wurde 2015 entweder separat als Grüngut (30 %) oder über die Biotonne (18 %) erfasst und somit stoffstromspezifisch verwertet. Die andere Hälfte wurde entweder zur Eigenkompostierung verwendet bzw. als Mulch auf der Fläche belassen (28 %), im eigenen Ofen verbrannt (12 %), durch offene Verbrennung bzw. illegale Ablagerung beseitigt (6 %) oder über die Restmülltonne entsorgt (6 %). Betrachtet man zusätzlich das Grüngut kommunaler Flächen, so verringerte sich der Anteil des separat erfassten Grünguts im Jahr 2015 auf 27 % und der Anteil des zur Eigenkompostierung bzw. als Mulch auf der Fläche verbleibenden Grünguts steigt auf 41 %.

Über die verschiedenen Verwertungs- bzw. Entsorgungswege wurden aus Grüngut von Privatgärten im Jahr 2015 ca. 2,5 Mio. Mg Kompost (nur Kompost von Kompostierungsanlagen, ohne Eigenkompost), ca. 0,8 Mio. Mg flüssiger Gärrest, ca. 1.000 GWh Strom und ca. 900 GWh genutzte Wärme erzeugt sowie in Summe eine Einsparung von Treibhausgasen (THG) von ca. 0,7 Mio. Mg CO₂-Äq. und eine Einsparung des kumulierten fossilen Energieaufwands (KEA fossil) von ca. 3.300 GWh erzielt.

Bei der Betrachtung unterschiedlicher Zukunftsszenarien liegt das größte Potenzial zur Erzeugung von Energie und hochwertiger stofflich nutzbarer Produkte in der separaten Erfassung bislang nicht über bestehende Erfassungssysteme erfasster Grüngutmengen. Bei einer separaten Erfassung von 50 % dieser Mengen sowie der Mengen, die derzeit als Restmüll entsorgt werden, könnte die Erzeugung von Kompost um ca. 60 %, die Erzeugung von Strom um ca. 50 %, die Erzeugung von genutzter Wärme um ca. 40 %, die Einsparung von THG um ca. 120 % und die Einsparung des KEA fossil um ca. 60 % gesteigert werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die in diesem Vorhaben betrachteten rechtlichen Rahmenbedingungen betreffen die Erfassung und Aufbereitung von Grüngut sowie die thermische Verwertung von Holzigen Siebüberläufen als Brennstoff. Bei der Erfassung über Sammelplätze ist die Lagerkapazität des Platzes zu beachten, da ab einer Lagerkapazität von 100 Mg/a an nicht-gefährlichen Abfällen eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung für den Platz erforderlich ist. Alle Plätze, auf denen eine Aufbereitung von Grüngut mit einem Zerkleinerungs- oder Siebungsaggregat mit einer Durchsatzkapazität von mehr als 10 Mg am Tag stattfindet, sind ebenfalls immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig.

Durch eine entsprechende Aufbereitung können Brennstoffe aus Grüngut ihre Abfalleigenschaft verlieren bzw. als naturbelassene Brennstoffe angesehen werden. Dies betrifft den Transport dieser Brennstoffe und den Einsatz in Feuerungsanlagen.

Kommunale Erfassung von Grüngut in Deutschland

Insgesamt wurden 2015 in Deutschland rund 4,9 Mio. Mg bzw. durchschnittlich etwa 60 kg/E*a Grüngut separat erfasst. Die spezifische Erfassungsleistung der einzelnen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) reichte dabei von 0 bis 310 kg/E*a. Überdurchschnittlich hohe Erfassungsleistungen wurden vor allem in den Bundesländern Niedersachsen, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Saarland und Bayern erzielt, unterdurchschnittliche Erfassungsleistungen in Schleswig-Holstein, Sachsen, Hamburg und Berlin.

Den größten Einfluss auf die Erfassungsmengen bei Bringsystemen, die im Durchschnitt höhere Erfassungsmengen generieren als Holsysteme, haben die Gebühren- bzw. Entgeltregelung bei der Abgabe haushaltsüblicher Mengen von Grüngut sowie die Verteilung bzw. räumliche Nähe der Grüngutsammelstellen. Die 227 örE, bei denen die Abgabe haushaltsüblicher Mengen von Grüngut generell entgeltfrei ist, erfassen im Durchschnitt 75 kg/E*a, während die 138 örE, bei denen für diese Mengen eine generelle Entgelpflicht besteht, nur durchschnittlich 39 kg/E*a erfassen.

Ein Indikator für die räumliche Nähe der Sammelstellen ist die Anzahl an Einwohnern, die auf eine Sammelstelle entfallen, da tendenziell die individuelle Entfernung zur Sammelstelle umso geringer ist, je weniger Einwohner auf dem Gebiet eines örE pro Sammelstelle vorhanden sind. Die 72 örE, die weniger als 5.000 Einwohner pro Sammelstelle aufweisen, erfassen durchschnittlich 102 kg/E*a Grüngut, während die 27 örE, die mehr als 100.000 Einwohner pro Sammelstelle aufweisen, nur 29 kg/E*a erfassen. Die durchschnittlichen Erfassungsmengen der unterschiedlichen Klassen von örE mit einer steigenden Zahl von Einwohnern pro Sammelstelle zwischen 5.000 und 100.000 nehmen dabei graduell ab.

Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland

Um die gegenwärtige Situation der Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland mit einem Fokus auf der energetischen Verwertung Holziger Siebüberläufe zu erfassen, wurde eine Umfrage unter den 387 örE durchgeführt. In den zurückgesendeten Fragebögen wurden insgesamt 176 Kompostanlagen beschrieben, von denen über die Hälfte eine genehmigte Behandlungskapazität von weniger als 10.000 Mg/a aufweist und von denen rund 80 % das Grüngut in einer offenen Mietenkompostierung behandeln.

Für die Zerkleinerung des Grüngutinputs werden dabei in zwei Drittel der Anlagen Schnellläufer eingesetzt, die Grüngutgemische so zerkleinern, dass der Anteil an Material in Überkorngroße (>100 mm) minimiert wird, was eine möglichst vollständige Kompostierung des gesamten Grün-

gutinputs begünstigt. In einem Viertel der Anlagen werden Langsamläufer eingesetzt, die das Entstehen von Material in Überkorngröße und damit eine potenziell als Brennstoff abtrennbare holzige Siebüberlauffraktion begünstigen. Dennoch werden bei knapp drei Viertel der Anlagen Siebüberläufe als Brennstoffe ausgeschleust und der Anteil dieser Brennstoffe beträgt bei einer Spanne von 0 % bis 50 % im Mittel der Anlagen 18 % des Grüngutinputs.

Die so erzeugten Brennstoffe werden zum überwiegenden Teil (66 % im Mittel der Anlagen) an Heizkraftwerke vermarktet und zu einem weiteren Teil (22 % im Mittel der Anlagen) an Brennstoffhändler, die wiederum hauptsächlich Heizkraftwerke beliefern. Nur ein geringer Anteil wird über reine Heizanlagen (7 %) bzw. über mehrere Verwertungswege (5 %) genutzt.

Optimierung der Qualität von Brennstoffen aus Grüngut

In Bezug auf die Frage, wie sich die Qualität von Brennstoffen aus Grüngut optimieren lässt, wurden Praxisversuche zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahr (d.h. mit unterschiedlich zusammengesetztem Inputmaterial) in drei verschiedenen Grüngutbehandlungsanlagen durchgeführt. Die Anlagen unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der Aufbereitungsstrecke als auch hinsichtlich der Verwertung des abgeseibten Brennstoffs (extern in BMHKW, intern in eigenen Heizanlagen).

Während bei einer Anlage die zu erwartenden Unterschiede der Korngrößenverteilung nach der Siebung im Jahresverlauf (deutlich mehr Mittel- und Überkorn zur Verwertung als Brennstoff im baum- und strauchschnittrichen Winter- und Frühlingmaterial im Vergleich zum sehr laubreichen Herbstmaterial) auftraten, zeigten sich bei den anderen zwei Anlagen nur unwesentliche Unterschiede im Jahresgang. Es wurde deutlich, dass nicht nur der Materialinput, sondern auch die Wetterlage, v.a. Niederschläge, in der unmittelbaren Zeit vor dem Absieben des offen gelagerten Grünguts einen großen Einfluss auf die Verteilung der einzelnen Fraktionen bei der Siebung hat. Bei der Anlage, die einen ausgeprägten Jahresgang in der Korngrößenverteilung aufwies, wurden zwischen 15 % (Herbstmaterial) und 30 % (Frühlingmaterial) des frischen Grünguts als Brennstoff ausgeschleust, bei den anderen beiden Anlagen lag der Anteil über das Jahr hinweg bei ca. 20 %.

Eine Rottephase vor der Siebung, wie sie bei zwei der drei Anlagen praktiziert wird, erwies sich positiv im Hinblick auf höhere Trockenmassegehalte sowie tendenziell niedrigere Aschegehalte und höhere Heizwerte in den Brennstofffraktionen.

Optimierung von Grüngut-Wertschöpfungsketten

Die Optimierung einer Grüngut-Wertschöpfungskette umfasst alle Bereiche von der getrennten Erfassung des Grünguts, über eine effiziente Logistik und eine angepasste Aufbereitung bis hin zur Erzeugung und hochwertigen Verwertung der Produkte. Dabei ist jeder Schritt in der Wertschöpfungskette durch ein übergeordnetes Qualitätsmanagement abzusichern.

Für die Erfassung ist es essentiell, dem Bürger einen hohen Service-Komfort zu bieten, der kurze Wege zur Sammelstelle und eine entgeltfreie Entsorgung haushaltsüblicher Mengen beinhaltet. Im Bereich der Logistik sollten mögliche Synergien angestrebt werden, beispielsweise durch die Nutzung bestehender Infrastruktur für die Sammlung, den Einsatz von vorhandenem kommunalen Personal oder die interkommunale Kooperation. Die Aufbereitung des Materials durch Zerkleinerung und Siebung sollte anlagenspezifisch an die Eigenschaften des Inputmaterials (z.B. Grüngutgemisch oder getrennt erfasstes holziges Grüngut) und die gewünschten Produkte und deren Verwertung (z.B. reine Erzeugung von Kompost oder Erzeugung von Kompost und Brennstoff) angepasst sein. Dafür stehen eine Vielzahl technischer Lösungen zur Verfügung.

Die Verwertung der Produkte aus Grüngut sollte möglichst hochwertig erfolgen. Grüngutkompost ist als „Premiumkompost“ hervorragend zur Erdenherstellung oder zum Einsatz in der ökologischen Landwirtschaft geeignet. Brennstoffe aus Grüngut sollten möglichst in eigenen kommunalen Heizanlagen eingesetzt werden. Ein umfassendes Qualitätsmanagement ist notwendig, um die gesetzlichen und privatrechtlichen Qualitätsanforderungen an die Produkte zu gewährleisten sowie die einzelnen Schritte der Wertschöpfungskette fortlaufend zu optimieren.

2 Einleitung

2.1 Hintergrund und Zielsetzung des Vorhabens

2.1.1 Mangelhafte separate Erfassung von Grüngut

In § 11 (1) des 2012 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) ist festgelegt, dass spätestens ab dem 1. Januar 2015 Bioabfälle, die einer Überlassungspflicht unterliegen, getrennt zu sammeln sind. Welche Stoffe dies sind, wird im § 3 (7) KrWG definiert, wo unter anderem Garten- und Parkabfälle mit dem Abfallschlüssel 20 02 01 aus der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) genannt werden. Diese Garten- und Parkabfälle werden gemeinhin als „Grüngut“ bezeichnet. Häufig steht bei der öffentlichen und medialen Diskussion um die Umsetzung der Getrenntsammlungspflicht ausschließlich die Biotonne bzw. das darin befindliche „Biogut“ (küchenstämmige Bioabfälle und ggf. Anteile an Gartenabfällen) im Fokus, während die Getrenntsammlung von Grüngut weit weniger Aufmerksamkeit erfährt.

In der Praxis wird Grüngut nur teilweise separat über Bring- oder Holsysteme erfasst, obwohl Grüngut ein hervorragendes Ausgangssubstrat zur Kompost- und Erdenherstellung darstellt, das anders als Biogut weitgehend unbelastet durch Fremdstoffe ist, und im Rahmen seiner Aufbereitung wertvolle Koppelprodukte in Form holziger Siebüberläufe entstehen, die ein vergleichsweise leicht zu erschließendes Brennstoffpotenzial bilden.

Obwohl auf dem Gebiet eines jeden öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers (örE) in Deutschland eine separate Erfassungsmöglichkeit für Grüngut vorhanden ist, sind diese Möglichkeiten jedoch in ihrer Ausgestaltung bezüglich Erreichbarkeit und Komfort für die Bürger häufig nicht zufriedenstellend. Von den jährlich anfallenden überlassungspflichtigen Grüngutmengen werden Schätzungen zufolge lediglich 23 % durch die örE getrennt erfasst (Krause et al., 2015). Weitere 19 % werden über die Biotonne entsorgt, was sich bei hohem Erfassungs- und Behandlungsaufwand zwar positiv auf die Kompostierung des Bioguts auswirkt, für eine energetische Nutzung durch Vergärung aber wenig Nutzen bringt.

Fast 60 % der jährlich anfallenden Gartenabfälle aus privaten Haushalten werden Schätzungen zufolge entweder illegal durch Verbringung in die Landschaft oder legal über den Restmüll entsorgt, durch Verbrennung beseitigt oder über Eigenkompostierung verwertet. Letzteres kann bei sachgerechter Durchführung und ausreichender Nutzgartenfläche eine sehr gute Nutzung darstellen. Häufig erreicht die Qualität der im Privatgarten erzeugten Komposte aber nicht die Standards professionell erzeugter Komposte und nicht selten steht keine ausreichende Nutzgartenfläche für die Kompostanwendung zur Verfügung. Die offene Verbrennung von Grüngut (auch durch Brauchtumsfeuer) führt zu unkontrollierten Emissionen und es gehen große Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen durch die Produktion von Grüngut-Kompost und Grüngut-Brennstoff verloren. Die illegale Ablagerung von Grüngut im Wald und in der Feldflur ist mit den Risiken der Verbreitung von Neophyten und der Schädigung landwirtschaftlicher Nutztiere durch den Verzehr von angerotteten bzw. giftigen Pflanzen im Grüngut verbunden.

2.1.2 Unzureichende Wärmewende und energetische Biomassenutzung

Rund die Hälfte des Endenergiebedarfs Deutschlands wird in Form von Wärme genutzt, nur ein Viertel in Form von Strom, dem Hauptgegenstand der praktischen Umsetzung der Energiewende. Lediglich rund 13 % des Wärmebedarfs werden derzeit durch erneuerbare Energien gedeckt (BMWi, 2018). Während es auf Bundesebene für die Stromwende einen Fahrplan mit Zielen für die nächsten Jahrzehnte gibt, existiert für die Wärmewende lediglich das Ziel, im Jahr 2020 einen Anteil von 14 % des Bedarfs aus erneuerbaren Quellen zu decken. Trotz ihrer immensen Bedeutung innerhalb des Energiesektors wird die Umsetzung einer Wärmewende in Deutschland konsequent vernachlässigt.

Der Anteil von Biomasse unter den erneuerbaren Wärmeträgern beträgt rund 90 %. Somit wird die Wärmebereitstellung durch Biomasse auch mittel- und langfristig ein wesentlicher Faktor im Rahmen der Wärmewende und damit auch für das Erreichen der Klimaschutzziele auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene sein. Derzeit ist jedoch der Zuwachs an Biomasse-Kraftwerken, wie beispielsweise Biogasanlagen, aufgrund veränderter Rahmenbedingungen (v.a. Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) stark rückläufig und damit auch der Zuwachs an erneuerbarer Wärme aus Prozessen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Daneben ist die Ausweitung des Energiepflanzenanbaus faktisch zum Erliegen gekommen und auch die weitere energetische Nutzung von Schwachholzsortimenten aus dem Wald ist aufgrund der Ausweitung bestimmter Zertifizierungssysteme, nach deren Vorgaben Holz unterhalb der Derbhölgengrenze (7 cm Durchmesser) aus Umwelt- und Naturschutzgründen generell im Wald verbleiben muss, nicht gesichert.

Daraus folgt, dass die Wärmewende einerseits auf eine verstärkte Nutzung von biogenen Festbrennstoffen zur KWK- oder ausschließlichen Wärmeerzeugung und andererseits auf eine verstärkte Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen angewiesen ist. Daneben hat auch die Effizienzsteigerung bei der Nutzung von Festbrennstoffen durch Heizanlagen mit Nahwärmenetzen im Vergleich zu Einzelfeuerstätten eine wichtige Bedeutung.

2.1.3 Festbrennstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen

Für eine Verwertung als Düngemittel auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden legt die Bioabfallverordnung (BioAbfV) einerseits fest, dass im Grüngutkompost keine stückigen Materialien über 40 mm (Siebmaschenweite) mehr enthalten sein dürfen und fordert andererseits die hygienisierende Behandlung und entsprechende Untersuchungen der Komposte. Damit müssen sich eine hochwertige Kompostierung von Grüngut sowie eine Absiebung grobstückig-holziger Bestandteile (nutzbar als Strukturmaterial oder Brennstoff) vor oder nach der Kompostierung zum rechtlich gestützten Regelfall entwickeln. Diese Erkenntnis setzt sich in der Praxis aber erst schrittweise durch.

Aufgrund seiner relativ hohen Sortenreinheit und seines hohen Holzanteils eignet sich Grüngut unter den biogenen Rest- und Abfallstoffen besonders gut zur Produktion eines Festbrennstoffs. Allerdings stellt die gegenwärtige Marktlage eine Hürde für die Nutzung eines Grüngut-Brennstoffs dar, der qualitativ in Bezug auf Feuchtegehalt, Aschegehalt und Stückigkeit geringwertiger ist als Hackschnitzel aus dem Wald oder der Straßenrandpflege. Aus dem praktischen Betrieb von thermischen Verwertungsanlagen ist bekannt, dass schlecht aufbereitetes Grüngut als Brennstoff zu unterschiedlichen Problemen in der Beschickung und der Verbrennung sowie der Rauchgas- und Aschezusammensetzung führen kann. Somit stellen einerseits niedrige Gas- und Ölpreise eine generelle Schwierigkeit für die Nutzung erneuerbarer Energieträger dar und

andererseits stellen hohe Qualitätsanforderungen, die BMHKW an ihre Brennstoffe stellen, für den vergleichsweise geringwertigen Grüngutbrennstoff ein Problem dar.

2.1.4 Ziele von Grün-OPTI

Es ist weitgehend unbekannt, zu welchen Anteilen die getrennt erfassten Grüngutmengen in Deutschland stofflich oder energetisch verwertet werden und wie die technischen und logistischen Umsetzungen bei der Verwertung ausgestaltet sind. Generell muss aber die getrennte Erfassung und Aufbereitung von Grüngut in quantitativer und qualitativer Hinsicht optimiert werden. Als weiterer Effekt würde dadurch die Biotonnensammlung entlastet. Dies ist auch im Hinblick auf die vom Gesetzgeber verstärkt geforderte Erfassung der Nahrungs- und Küchenabfälle über die Biotonne vorteilhaft (vgl. Forschungsvorhaben Bio-OPTI, FKZ 03KB105).

Die Ziele des Vorhabens Grün-OPTI waren daher,

- (1) den Ist-Stand der Grüngutentsorgung sowie die Potenziale von Grüngut in Deutschland, auch im Hinblick auf die Klimaschutz- und Ressourcenrelevanz, zu ermitteln,
- (2) die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Erfassung, Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland zu dokumentieren,
- (3) die Erfassung von Grüngut auf der Ebene der öRE in Deutschland zu dokumentieren und zu bewerten,
- (4) die Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland zu dokumentieren und zu bewerten,
- (5) Ansätzen zur Optimierung der Qualität von Brennstoffen aus Grüngut im Rahmen der Durchführung und Auswertung von Praxisversuchen darzustellen sowie
- (6) Ansätze zur Optimierung von Grüngut-Wertschöpfungsketten darzustellen.

Das Forschungsvorhaben Grün-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 Grüngut entsprechend der Programmrichtlinien auf die Optimierung des Teilprozesses der Energieerzeugung durch Verbrennung holziger Bestandteile. Dessen ungeachtet sollte in der Praxis bei der Verwertung von Grüngut 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, deren Durchführung nach einem festgelegten Zeitplan erfolgte (Abb. 1), wobei wichtige Arbeitsergebnisse mit Meilensteinen hinterlegt wurden. Die acht Arbeitspakete umfassten folgende Inhalte:

➤ **AP 1: Koordination und Öffentlichkeitsarbeit:**

Neben der Projektleitung und der Koordination der unterschiedlichen Arbeitspakete wurde

zu Beginn und zum Ende des Vorhabens jeweils eine Konferenz mit Experten bzw. Akteuren aus den projektrelevanten Bereichen durchgeführt. Ziele dieser Konferenzen waren die Akzeptanzsteigerung für die Thematik, der Informationstransfer sowie der Diskussionsinput zur Projektplanung einerseits und zur Ergebnisinterpretation andererseits. Daneben erfolgten im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit unterschiedliche Fachvorträge über das Vorhaben sowie entsprechende Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und -büchern (siehe auch Kapitel 2.7).

➤ **AP 2: Ist-Standanalyse und Potenzialbetrachtung:**

Der aktuelle Stand der separaten Erfassung von Grüngut durch die öRE wurde anhand aktueller Abfallbilanzen sowie weiterer Quellen analysiert und die aktuell energetisch und stofflich genutzten Mengen an Grüngut wurden abgeschätzt. Im Rahmen einer Potenzialbetrachtung wurden darüber hinaus auch die Mengen an Grüngut, die nicht getrennt erfasst werden (z.B. Erfassung über den Restmüll, Eigenkompostierung, illegale Beseitigung), abgeschätzt. Die Potenzialbetrachtung fand auf unterschiedlichen Ebenen statt. Neben dem Rohstoffpotenzial wurden das Potenzial der aus Grüngut erzeugten Komposte und Brennstoffe sowie das damit verbundene Energiepotenzial (energetische Verwertung des Brennstoffs) und CO₂-Einsparungspotenzial (energetische Verwertung des Brennstoffs sowie Torfsubstitution durch Grüngut-Kompost) abgeschätzt.

➤ **AP 3: Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen:**

Verschiedene Rechtsbereiche werden bei der Erfassung, Aufbereitung und Verwertung von Grüngut relevant. Die derzeitigen verbindlichen rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland für die Erfassung, Aufbereitung und Verwertung von Grüngut wurden dokumentiert und bewertet. Betrachtet wurden neben dem Abfallrecht vor allem das Düngemittelrecht und das Immissionsschutzrecht. In die Bewertung flossen auch aktuelle Diskussionen zu nicht eindeutig geregelten Tatbeständen ein, wie beispielsweise das Ende der Abfalleigenschaften von Holzigen Brennstoffen und Komposten, die aus Grüngut erzeugt werden.

➤ **AP 4: Erfassung von Grüngut in den Kommunen:**

Die Ausgestaltung der derzeitigen Erfassungssysteme für Grüngut in Deutschland wurden anhand von Recherchen in den Abfallsatzungen bzw. den im Internet bereitgestellten Informationsmaterialien der öRE dokumentiert und kategorisiert. Darüber hinaus wurden eine Bewertung der verschiedenen Systemkategorien anhand ihrer Erfassungsleistung und eine Herausarbeitung von Erfolgskriterien für hohe Erfassungsleistungen durchgeführt.

➤ **AP 5: Aufbereitung und Verwertung des Grünguts:**

Die gegenwärtige Situation der Aufbereitung von getrennt erfasstem Grüngut unter Berücksichtigung der späteren Verwertung (stofflich und/oder energetisch) wurde im Hinblick auf unterschiedliche Kriterien (z.B. Technik und Durchführung der Aufbereitung, Verwertungswege und Anteile der produzierten Komposte und Brennstoffe) dokumentiert und bewertet. Die Datengrundlage hierfür bildete eine schriftliche Befragung aller öRE in Deutschland sowie zusätzliche Interviews mit Betreibern von Aufbereitungsanlagen bzw. Dienstleistern, die in diesem Bereich tätig sind.

➤ **AP 6: Optimierung der Brennstoffqualität:**

Anhand von Praxisversuchen auf drei Grüngutbehandlungsanlagen wurde untersucht, welchen Einfluss verschiedene Aufbereitungstechniken in Kombination mit unterschiedlichem Inputmaterial (zu unterschiedlichen Jahreszeiten erfasstes Grüngut) auf Quantität und Qualität des aus Grüngut erzeugten Brennstoffs haben.

- **AP 7: Konzeptentwicklung einer optimierten Grüngut-Wertschöpfungskette:**
Als Synthese der Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 3-6 wurden Optimierungsansätze für eine umfassende Grüngut-Wertschöpfungskette im Hinblick auf die Grünguterfassung, die Transportlogistik, die Grüngutaufbereitung sowie die Verwertung der aus Grüngut erzeugten Produkte entwickelt.
- **AP 8: Schlussfolgerungen und Empfehlungen:**
Basierend auf den erarbeiteten Erkenntnissen wurden unter Einbezug von Best-Practice-Beispielen praktische Lösungsansätze sowie differenzierte Empfehlungen zur separaten Erfassung, Aufbereitung und Verwertung von Grüngut erarbeitet.

Arbeitspaket	2016 Quartal			2017 Quartal				2018 Quartal	
	2	3	4	1	2	3	4	1	2
AP 1 Koordination und Öffentlichkeitsarbeit									
Akteurskonferenz				X					
Abschlusskonferenz									X
AP 2 Ist-Standanalyse und Potenzialbetrachtung									
Meilenstein 1: Potenziale abgeschätzt			X						
AP 3 Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen									
AP 4 Erfassung von Grüngut in den Kommunen									
Meilenstein 2: Erfassung in Kommunen dokumentiert und bewertet					X				
AP 5 Aufbereitung und Verwertung des Grünguts									
AP 6 Optimierung der Brennstoffqualität									
Meilenstein 3: Technische Fragen (Aufbereitung, Verwertung, Qualitäten) untersucht								X	
AP 7 Konzeptentwicklung Grüngut-Wertschöpfungskette									
AP 8 Empfehlungen									

Abb. 1: Zeitplan zum Ablauf des Forschungsvorhabens

2.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

In Deutschland wurden laut Angaben in den Abfallbilanzen der Bundesländer 2015 jährlich ca. 4,9 Mio. Mg Grüngut bzw. 60 kg Grüngut pro Einwohner separat erfasst. Obwohl bis auf wenige Ausnahmen in jedem Landkreis separate Grünguterfassungssysteme existieren, schwanken die Erfassungsmengen zwischen 0 und über 300 kg pro Einwohner und Jahr. Dabei sind auch nur die Mengen enthalten, die tatsächlich den öRE angedient werden. Grüngutmengen, die über die Bio- oder Restmülltonne erfasst oder im Rahmen kommunaler bzw. privater Initiativen gesammelt und verwertet werden, sind nicht darin enthalten.

Schätzungen aus Baden-Württemberg gehen daher von einem theoretischen Grüngutpotenzial von 250-400 kg pro Einwohner und Jahr aus (Knappe et al., 2015). Über die tatsächlichen Verwertungspfade, insbesondere für den energetisch verwerteten Anteil des separat erfassten Grünguts, gibt es keine detaillierten Angaben.

Seit Mitte der 1980er Jahre wird die Kompostierung als Methode zur biologischen Abfallbehandlung in Deutschland in großtechnischem Maßstab betrieben. Mit dem Aufbau an Kapazitäten von Biomasse-Heiz(kraft)werken zu Beginn der 2000er Jahre rückte auch die energetische Verwertung von Grüngut in den Fokus. Noch im Jahr 2005 zeigten jedoch Untersuchungen, dass sich aus separat erfasstem Grüngut zwar in bestimmten Zeiträumen (Winter/Frühjahr) durch entsprechende Aufbereitung Biobrennstoffe generieren ließen, jedoch nicht mit vertretbarem Aufwand und in nennenswerter Menge (Pretz et al., 2005).

Dies muss auch vor dem Hintergrund gesehen werden, dass ein erfolgreicher Kompostierungsprozess im Rottegut einen bestimmten Gehalt an Strukturmaterial benötigt, das vor allem durch vorhandene holzige Bestandteile gebildet wird, die bei einer frühzeitigen Absiebung und nachfolgenden energetischen Verwertung dem Kompostierungsprozess verloren gehen.

Nur zwei Jahre später wurde die Menge an energetisch verwertetem Grüngut jedoch bereits auf mehrere hunderttausend Tonnen pro Jahr geschätzt (Kranert et al., 2008). Gleichzeitig zeigten Studien, dass ein Anteil des separat erfassten Grünguts von bis zu 30 Gew.-% nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll energetisch verwertet werden kann (Kern und Raussen, 2007; Raussen et al., 2010). Dabei variiert dieser prozentuale Anteil stark mit der Qualität des Ausgangsmaterials. Diese hängt von vielen Faktoren ab, u.a.:

- Erfolgt bei der Grüngutsammlung bereits eine Vorsortierung in krautiges und holziges Material?
- Zu welcher Jahreszeit wurde das Grüngut gesammelt?
- Erfolgt die Sammlung über ein Hol- oder ein Bringsystem?
- Aus welchem Einzugsgebiet (städtisch/ländlich) stammt das Grüngut?
- Sind etwaige Sammelpunkte immer frei zugänglich oder nur zu bestimmten (überwachten) Öffnungszeiten?

Von den derzeit rund 940 Kompostierungsanlagen in Deutschland, die einen Jahresdurchsatz von >1.000 Tonnen verarbeiten, behandeln etwas mehr als die Hälfte (540) ausschließlich Grüngut, rund 320 sowohl Grün- als auch Biogut und rund 80 Anlagen sind Bioabfallvergärungsanlagen mit anschließender Kompostierung der Gärreste (Strauch et al., 2015).

Die ausschließlich stoffliche Verwertung von Grüngut zu Kompost erzeugt nach ökobilanziellen Berechnungen CO₂-Emissionen von ca. 40 kg/Mg Inputmaterial (Wiegmann et al., 2008). Bei einer stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut mit einem energetisch nutzbaren Anteil von 30 Gew.-% wird hingegen eine CO₂-Einsparung von durchschnittlich (je nach Inputmaterial stark variierend) 700 kg/Mg erzielt (Kranert et al., 2008).

Bei der derzeitigen jährlichen Erfassungsleistung von 4,9 Mio. Mg in Deutschland entspräche das einer jährlichen CO₂-Einsparung von 3,3 Mio. Mg. Dieses hohe Einsparpotenzial könnte bei einer rein stofflichen Verwertung nur dann erreicht werden, wenn der erzeugte Kompost vollständig zur Substitution von Torf verwendet werden würde.

Eine gesteigerte Erfassung von Grüngut, wie sie in dem hier beschriebenen Vorhaben gefördert wird, hätte dementsprechend auch eine Steigerung der jährlichen CO₂-Einsparung zur Folge.

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:

- Abfallwirtschaftsbetrieb des Wetteraukreises
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch, Praxisanlage
- Brüning-Megawatt GmbH
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
Fachlicher Austausch
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU):
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)
Teilnahme an Akteurskonferenz, Programmbegleitung „Energetische Biomassenutzung“
- EC Bioenergie Heidelberg GmbH
Teilnahme an Akteurskonferenz
- HUMUS- UND ERDEN KONTOR GmbH
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch
- Komptech Vertriebsgesellschaft Deutschland mbH
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Rhein-Hunsrück-Entsorgung
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch, Praxisanlage
- Umweltbundesamt (UBA)
Teilnahme an Akteurskonferenz
- Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e.V. (VHE)
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch
- Verband kommunaler Unternehmen (VKU)
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch
- Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße (ZAKB).
Teilnahme an Akteurskonferenz, fachlicher Austausch, Praxisanlage

2.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Durch eine getrennte Erfassung von Grüngut, eine angepasste Aufbereitung und eine hochwertige Verwertung der aus Grüngut erzeugten Produkte (Kompost, Brennstoff, etc.) lassen sich hohe Treibhausgaseinsparungen erzielen und fossile Ressourcen einsparen. Trotz der Pflicht zur Getrenntsammlung von Bioabfällen und der vergleichsweise einfachen Mobilisierung von Grüngut über Sammelplätze stehen in Deutschland vielerorts nur unzureichende Möglichkeiten der getrennten Grüngutentsorgung zur Verfügung, sodass ein großer Anteil an Grüngut nicht entsprechend hochwertig verwertet werden kann.

Eine Optimierung der gesamten Grüngut-Wertschöpfungskette muss daher einerseits auf eine möglichst effiziente und für den Bürger komfortable getrennte Erfassung zielen, andererseits aber auch auf eine hochwertige Verwertung der Produkte aus Grüngut verbunden mit einer an die Erzeugung dieser Produkte angepasste Aufbereitung und einer effizienten Logistik.

Zu Projektbeginn waren die Potenziale an Grüngut, die noch nicht getrennt erfasst werden, und deren spezifische Entsorgungswege noch unklar. Gleiches galt für die Potenziale der Erzeugung von Kompost und Energie aus Grüngut sowie die Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen und fossilen Energieträgern. Darüber hinaus fehlte es an quantifizierbaren Informationen, welche Faktoren zu einer hohen spezifischen Getrennterfassung von Grüngut führen und wie sich die Aufbereitung von Grüngut in der Praxis in Deutschland, vor allem im Hinblick auf die energetische Nutzung von holzigen Siebüberläufen, darstellt. Des Weiteren lagen bis dato wenig wissenschaftliche Untersuchungen aus der Praxis zu den Einflüssen des Jahresgangs von Grüngut als Inputmaterial für Behandlungsanlagen in Kombination mit unterschiedlichen Aufbereitungsstrecken auf die Qualität von aus Grüngut erzeugten Brennstofffraktionen vor.

Das Forschungsvorhaben Grün-OPTI schließt diese Informationslücken und stellt neben den Ergebnissen auch Lösungsansätze und Empfehlungen dar. Damit kann es einen wichtigen Beitrag zur verstärkten Umsetzung der Getrennterfassung und hochwertigen Verwertung von Grüngut leisten.

2.6 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Auf dem Gebiet der optimierten Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut gab es seit Beginn des Forschungsvorhabens bei anderen Stellen nur wenige Entwicklungen und Forschungsprojekte, von denen hier beispielhaft einige genannt werden:

- **Eigenverwertung von Bioabfällen:**
 - Verantwortliche Institution: Bifa Umweltinstitut
 - Tronecker, D., Meyer, S., Hertel, M., Pitschke, T., Hoppenheidt, K., Kreibe, S. (2015): Eigenverwertung von Bioabfällen – Eigenkompostierung, Eigendeponierung, illegale Eigenentsorgung. Bifa-Text Nr. 65.
- **Eigenverwertung und illegale Beseitigung von Bioabfällen:**
 - Verantwortliche Institution: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
 - Wagner, J., Wagner, S., Kügler, T., Baumann, J., Ibold, H. (2017): Eigenverwertung und illegale Beseitigung von Bioabfällen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).

2.7 Veröffentlichungen

Neben der Veröffentlichung der Ergebnisse in dem vorliegenden Schlussbericht erfolgten Veröffentlichungen zu den Ergebnissen oder zu den allgemeinen Inhalten des Vorhabens in Fachzeitschriften, auf Informationsportalen und in Konferenzbänden:

Richter, F., Vateva, I., Raussen, T. (2016): Grün-OPTI: Ist die Erfassung von Grüngut in Deutschland schon optimal? In: Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.): Biomasse vor neuen Herausforderungen. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen. S. 51-63.

Richter, F., Raussen, T. (2017): Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI). In: Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.): Neue Herausforderungen für die Bioabfallwirtschaft. Witzenhausen. S. 107-121.

Richter, F., Kern, M., Raussen, T. (2017): Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI). In: Daniela Thrän, Diana Pfeiffer (Hrsg.): Reader des Förderprogramms für energetische Biomassennutzung. 7. Statuskonferenz Bioenergie. Flexibel und integriert in die nächste Epoche! 20.-21. Nov. 2017 Leipzig. S. 66.

Richter, F., Raussen, T. (2018): Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland. Müll und Abfall 3-2018, S. 104-111.

Richter, F., Raussen, T., Kern, M. (2018): Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI) – Praxisversuche Aufbereitung und Brennstoffabtrennung sowie Empfehlungen. In: Klaus Wiemer, Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.): Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Kassel. S. 121-136.

Richter, F., Raussen, T., Kern, M., Siepenkothen, J., Blume, M., Wagner, J. (2018): Bio-OPTI. Sonderdruck aus Focus on: Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt – Projektergebnisse 2017-2018, Leipzig 2018: S. 33-39.

Raussen, T., Richter, F., Kern, M. (2018): Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI) – Status quo, Defizite und Potenziale. In: Klaus Wiemer, Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.): Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Kassel. S. 105-120.

Meier, D. (2018): Wärme aus Grüngut-Holz. Projekt „Grün-OPTI“ zeigt effiziente Wege der Grüngutnutzung. Energie aus Pflanzen, 4-2018, S. 54-57.

Hirn, Gerhard (2018): Gartenabfall optimal verwerten. Grüngut sortieren und energetisch nutzen.
BINE Informationsdienst – Energieforschung für die Praxis.

<http://www.bine.info/themen/news/gruengut-sortieren-und-energetisch-nutzen/>

(02.11.2018)

Anonymous (2018): Gartenabfälle optimal verwerten. Grüngut sortieren und energetisch nutzen.
Fachportal Strom-Forschung.

<https://strom-forschung.de/projekte/news-forschung/gruengut-sortieren-und-energetisch-nutzen/> (02.11.2018)

3 Ist-Standanalyse und Potenzialbetrachtung

Im Rahmen dieser Potenzialbetrachtung wurde zunächst das theoretische Grüngutpotenzial als flächenbezogenes Aufkommen von Garten- und Parkabfällen in Gärten von Privathaushalten sowie in Grünanlagen (Kleingärten, Parks, Grünflächen, etc.) im Siedlungsbereich abgeschätzt. Anschließend wurden der Ist-Stand der Grüngutentsorgung entsprechend den derzeitigen Entsorgungs- und Verwertungswegen analysiert und daraus entsprechende Potenziale abgeleitet, die bereits genutzt oder derzeit noch ungenutzt bzw. nicht optimal genutzt werden.

Grüngut lässt sich demnach entsprechend den Entsorgungswegen zunächst in vier Gruppen unterteilen:

- (1) Grüngut, das über separate Grüngutsammelsysteme getrennt erfasst wird
- (2) Grüngut, das über die Biotonne entsorgt wird
- (3) Grüngut, das über die Restmülltonne entsorgt wird
- (4) Grüngut, das nicht über bestehende Sammelsysteme entsorgt wird

Die Grüngutmengen in den ersten drei Gruppen lassen sich mithilfe der statistischen Mengenerfassung der Entsorgungssysteme, z.B. im Rahmen der jährlichen Abfallbilanzen der Bundesländer, und Verrechnung mit Daten aus Abfallanalysen ermitteln. Die Grüngutmengen in der vierten Gruppe lassen sich lediglich abschätzen, wobei auch dazu Daten aus Beobachtungen und Befragungen vorliegen.

Jede der oben beschriebenen vier Gruppen teilt sich wiederum in Untergruppen auf, wenn man zusätzlich zum Entsorgungsweg auch den Verwertungsweg des Grünguts betrachtet, also ob eine stoffliche Verwertung (Kompostierung), energetische Verwertung (Verbrennung), integrierte Verwertung (Vergärung mit anschließender Kompostierung) oder eine Beseitigung durchgeführt wird. Nachfolgend werden die Methoden der Erhebung der Grüngutmengen in den vier oben beschriebenen Gruppen erläutert und die Ergebnisse dieser Erhebung analysiert.

3.1 Theoretisches Grüngutpotenzial

Zur Abschätzung der Gesamtmenge des jährlich anfallenden Grünguts in Hausgärten von Privathaushalten sowie in sonstigen Grünflächen im besiedelten Raum (Kleingärten, Parks, Grünanlagen, etc.) wurden die aktuellen Daten (Stichtag: 31.12.2015) des Statistischen Bundesamtes für Gebäude- und Freiflächen zu Wohnzwecken, für Erholungsflächen in Form von Grünanlagen sowie für die Anzahl an Ein-/Zwei-Familienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern auf Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte ausgewertet. Auf Grundlage dieser Daten wurde einerseits das theoretische Potenzial für Grüngut aus Privatgärten und andererseits das gesamte theoretische Potenzial von Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen ermittelt.

Dazu wurden die Daten zunächst auf die Ebene der Gebiete der 387 öRE in Deutschland aggregiert. Anschließend wurde in Anlehnung an Krause et al. (2014) jedem öRE je nach Siedlungsstrukturtyp eine bestimmte Fläche je Wohngrundstück – differenziert nach Ein-/Zwei-Familienhäusern und Mehrfamilienhäusern – zugewiesen, die mit Gebäuden bebaut ist (Tab. 1).

Tab. 1: Bebaute Fläche auf Gebäude-Freiflächen zu Wohnzwecken je nach Siedlungsstrukturtyp und Gebäudetyp

Siedlungsstruktur	Einwohnerdichte [E/km ²]	Anzahl örE	Bebaute Fläche je Ein-/Zwei-Familienhaus [m ²]	Bebaute Fläche je Mehrfamilienhaus [m ²]
Ländlich	< 150	149	310	500
Ländlich verdichtet	150 - 750	144	250	450
Städtisch	750 - 1.750	66	230	350
Großstädtisch	> 1.750	28	190	300

Aus der Differenz der Gesamtfläche für Gebäude- und Freiflächen zu Wohnzwecken und der bebauten Fläche als Produkt der Anzahl an Ein-/Zwei-Familienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern und der spezifischen bebauten Fläche je Haus wurde für das Gebiet jedes örE die Gesamtfläche an Gärten auf Wohngrundstücken gebildet. Die Summe dieser Flächen ergibt für ganz Deutschland eine Gartenfläche auf Wohngrundstücken von 7.954 km². Die Fläche an Grünanlagen beträgt 2.915 km² brutto. In Anlehnung an den Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V. (2018) werden 15 % dieser Fläche für Wege, Gebäude und sonstige versiegelte Flächen abgezogen, sodass die Nettofläche an Grünanlagen in Deutschland auf 2.478 km² abgeschätzt wird. Insgesamt beträgt die produktive Fläche für Grüngut in Deutschland damit 10.432 km².

Krause et al. (2014) verwenden für ihre Berechnungen eine durchschnittliche spezifische Menge an Gartenabfällen aus privaten Hausgärten von 1,9 kg/m², die sie als plausiblen Mittelwert von aus der Literatur angegebenen Werten mit einer Spanne von 1,4 bis 4,0 kg/m² annehmen. Bei der Diskussion dieser Werte im Expertenworkshop wurde empfohlen, für die weitere Potenzialbetrachtung im Forschungsvorhaben Grün-OPTI die spezifische Menge an Gartenabfällen geringfügig nach oben zu korrigieren. Somit wurde für die Abschätzung der theoretischen Grüngutpotenziale in dieser Studie mit einer durchschnittlichen spezifischen Menge an Grüngut von 2,0 kg/m² Garten- bzw. Grünanlagenfläche kalkuliert. Daraus ergibt sich in Deutschland im Jahr 2015 ein theoretisches Potenzial für Grüngut aus Privatgärten von 15,91 Mio. Mg/a bzw. 194 kg/E*a und ein theoretisches Potenzial für Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen von 20,86 Mio. Mg/a bzw. 255 kg/E*a.

3.2 Grüngut in separaten Grüngutsammelsystemen

Garten- und Parkabfälle, die in Deutschland über Hol- oder Bringsysteme separat erfasst und anschließend verwertet werden, bilden das bereits optimal genutzte Grüngutpotenzial. Die Menge des durch die örE erfassten Grünguts aus Privathaushalten betrug nach Angaben der Abfallbilanzen der Bundesländer im Jahr 2015 rund 4,93 Mio. Mg oder 60,2 kg/E. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in der Mehrzahl der Abfallbilanzen in den ausgewiesenen Grüngutmengen auch kommunales Grüngut, also Garten- und Parkabfälle von kommunalen Flächen, wie beispielsweise Parks oder Sportanlagen, enthalten ist. Lediglich in Bayern, Berlin und Bremen sowie teilweise in Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt werden die Grüngutmengen aus Privathaushalten und von kommunalen Flächen getrennt ausgewiesen. Insgesamt betrifft dies 89 der 387 örE in Deutschland.

Das kommunale Grüngut im Gebiet dieser 89 öRE ist nicht in der Grüngutgesamtmenge von 4,93 Mio. Mg enthalten, das der übrigen 298 öRE jedoch schon. Somit müssen zu den 4,93 Mio. Mg Grüngut, die undifferenziert ausgewiesen sind, rund 260.000 Mg Grüngut aus kommunalen Flächen von insgesamt 89 öRE hinzugezählt werden, womit sich die durch die öRE im Jahr 2015 getrennt erfasste Grüngutmenge auf 5,19 Mio. Mg erhöht. Bei den 89 öRE, die eine getrennte Ausweisung des Grünguts vornehmen, beträgt der Anteil des kommunalen Grünguts am gesamten durch die öRE erfassten Grüngut im Durchschnitt ca. 17 %. Überträgt man diesen Anteil auf die Gesamtmenge des durch die öRE erfassten Grünguts von 5,19 Mio. Mg, so errechnet sich die Menge des Grünguts von kommunalen Flächen auf 0,88 Mio. Mg und die Menge des durch die öRE erfassten Grünguts aus Privatgärten auf 4,31 Mio. Mg.

Neben der durch die öRE organisierten bzw. durchgeführten Grünguterfassung existieren auch gewerbliche Grüngutsammlungen, die nur in den Abfallbilanzen Bayerns und Sachsens zusätzlich ausgewiesen werden. Insgesamt wird im Jahr 2015 für diese beiden Bundesländer, die 98 der 387 öRE in Deutschland umfassen, eine Gesamtmenge an gewerblich gesammeltem Grüngut von rund 0,12 Mio. Mg ausgewiesen. Diese Menge entspricht im Durchschnitt ca. 9 % des durch die öRE selbst erfassten Grünguts. Da das gewerblich gesammelte Grüngut bei den übrigen 298 öRE nicht ausgewiesen wird und auch nicht in den ausgewiesenen Mengen enthalten ist, wird hier näherungsweise davon ausgegangen, dass eine gewerblich gesammelte Grüngutmenge, die 9 % des durch die öRE erfassten Grünguts entspricht, für ganz Deutschland realistisch ist. Dementsprechend wird die Gesamtmenge an gewerblich erfasstem und nicht durch die öRE ausgewiesenem Grüngut für das Jahr 2015 auf rund 0,46 Mio. Mg bzw. 5,7 kg/E geschätzt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass diese gewerblich erfassten Mengen zum überwiegenden Teil aus Privatgärten stammen. Somit erhöht sich die hier betrachtete Menge an getrennt erfasstem Grüngut aus Privatgärten im Jahr 2015 auf 4,77 Mio. Mg bzw. 58,3 kg/E und die Gesamtmenge an separat erfasstem Grüngut der öRE (Privatgärten und kommunale Flächen) sowie aus gewerblicher Sammlung auf 5,66 Mio. Mg bzw. 69,1 kg/E.

Der Großteil des getrennt erfassten Grünguts wird in Kompostierungsanlagen zu Kompost verarbeitet. Die Erzeugung von reinem Grüngutkompost, ohne Vermischung mit Biogut, ist sinnvoll, da Grüngut in der Regel sehr geringe Fremdstoffgehalte und geringere Nährstoffgehalte als Biogut aufweist und somit als Qualitätskompost für eine direkte Anwendung in der Landwirtschaft oder auch als Substrat für Humus- und Erdenmischungen geeignet ist. Ein kleiner Teil des getrennt erfassten Grünguts wird in Biogasanlagen zunächst vergoren und anschließend als Gärrest kompostiert. Dies geschieht einerseits in sehr geringem Umfang in Anlagen, die sich auf die Vergärung von Grüngut spezialisiert haben, weitaus häufiger aber in Biogutvergärungsanlagen, wo das Grüngut als Strukturmaterial eingesetzt wird, um beispielsweise die Entwässerung von Gärrest am Ende der Vergärung oder die Kompostierung des Gärrests zu erleichtern. Ein weiterer Teil des separat erfassten Grünguts wird bei der Grüngutaufbereitung als Brennstoff ausgeschleust bzw. bereits als rein holziges Grüngut gesammelt und als Brennstoff genutzt.

Bei einer Befragung von Betreibern von 113 Bioabfallvergärungsanlagen wurde ermittelt, wieviel Grüngut als Substrat bei der Vergärung in diesen Anlagen im Jahr 2012 eingesetzt wurde (Kern und Raussen, 2014). Basierend auf diesen Daten wurde die Grüngutmenge, die im Jahr 2015 in Vergärungsanlagen eingesetzt wurde, auf rund 0,23 Mio. Mg bzw. 2,8 kg/E abgeschätzt.

Bei einer Befragung aller 387 öRE in Deutschland zur Grüngutverwertung im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden von den Betreibern Angaben zu insgesamt 176 Grüngutkompostierungsanlagen gemacht, bei denen im Mittel insgesamt ca. 18 % des Grüngutinputs entweder vor und/oder nach der Kompostierung als Siebüberlauf für eine Nutzung als Brennstoff verwen-

det werden (siehe Kapitel 6). Bezogen auf die Gesamtmenge an Grüngut von 5,65 Mio. Mg ergibt sich für das Jahr 2015 eine Menge an holzigem Grüngut (Siebüberlauf) von rund 1,02 Mio. Mg bzw. 12,4 kg/E, die einer energetische Nutzung zugeführt wird.

Als Differenz zwischen der Gesamtmenge an Grüngut und den Mengen, die einer Vergärung sowie einer Verbrennung zugeführt werden, ergeben sich die Grüngutmengen, die 2015 zur Erzeugung von Kompost verwendet werden, von rund 4,41 Mio. Mg bzw. 53,9 kg /E.

3.3 Grüngut in der Biotonne

Im Sinne einer Getrennterfassung und stoffstromspezifischen Verwertung stellen die über die Biotonne erfassten Grüngutmengen ein bereits genutztes Potenzial dar. Die Nutzung dieser Mengen könnte allerdings durch eine vollständig separate Grünguterfassung (ohne Nahrungs- und Küchenabfälle) noch optimiert werden (siehe Kapitel 3.1).

Das Potenzial von Grüngut (Gartenabfälle) in der Biotonne wurde anhand der Abfallbilanzen der Bundesländer sowie der umfangreichen Datensammlung des Witzenhausen-Instituts von Biogutanalysen mit mehr als 300 Stichproben bei sechs verschiedenen öRE ermittelt. Zunächst wurden Cluster gebildet, in denen die Stichproben gruppiert wurden. Die Bildung der Cluster wurde anhand der beiden Faktoren Bebauungsstruktur und Vegetationszeit mit je zwei Faktorstufen durchgeführt, sodass sich insgesamt vier Cluster mit durchschnittlichen Erfassungsleistungen für Biogut in kg pro Einwohner mit Biotonnenanschluss (EB) und Woche (W) ergaben (Tab. 2).

Tab. 2: Verteilung der Biogutanalysen nach Bebauungsstruktur und Vegetationszeit

Cluster	Bebauungsstruktur	Vegetationszeit	Anzahl Stichproben	Getrennt erfasstes Biogut (Ø)
1	1-/2-Familienhaus	vegetationsreich (April-Oktober)	124	3,0 kg/EB*W
2	1-/2-Familienhaus	vegetationsarm (November-März)	90	2,0 kg/EB*W
3	Mehrfamilienhaus	vegetationsreich (April-Oktober)	77	1,6 kg/EB*W
4	Mehrfamilienhaus	vegetationsarm (November-März)	40	1,5 kg/EB*W

Die durchschnittlichen Zusammensetzungen und Mengen des Bioguts in den einzelnen Clustern sind in Abb. 2 als absolute Mengen in kg/EB*W dargestellt. Da diese Werte auf Analyseergebnissen basieren, die nur zu bestimmten Zeiten im Jahr durchgeführt wurden, muss einschränkend hinzugefügt werden, dass eine Hochrechnung der angegebenen Mengen in kg/EB*W auf Jahresmengen in kg pro Einwohner (E) und Jahr (a) nicht einer wirklichen Mittelwertsbetrachtung entspricht und damit mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist.

Es zeigt sich, dass die Mengen an Gartenabfällen primär von der Bebauungsstruktur und darüber hinaus auch von der Vegetationszeit abhängig sind. Die Mengen sinken von rund

2,1 kg/EB*W bei den häufig mit Garten ausgestatteten Ein- bzw. Zweifamilienhäusern in der vegetationsreichen Zeit auf rund 1,1 kg/EB*W in der vegetationsarmen Zeit. Vergleichsweise hoch sind die Mengen bei den Mehrfamilienhäusern (häufig verdichtete Gebiete ohne oder mit sehr kleinem Garten) mit Werten zwischen 0,6 und 0,7 kg/EB*W und nur kleinen Unterschieden in der Vegetationszeit. Dies ist durch das Vorhandensein begrünter Innenhöfe oder gebäudeumgebender Rasenflächen in Kombination mit Platzmangel (in der Regel keine Eigenkompostierung) zu erklären.

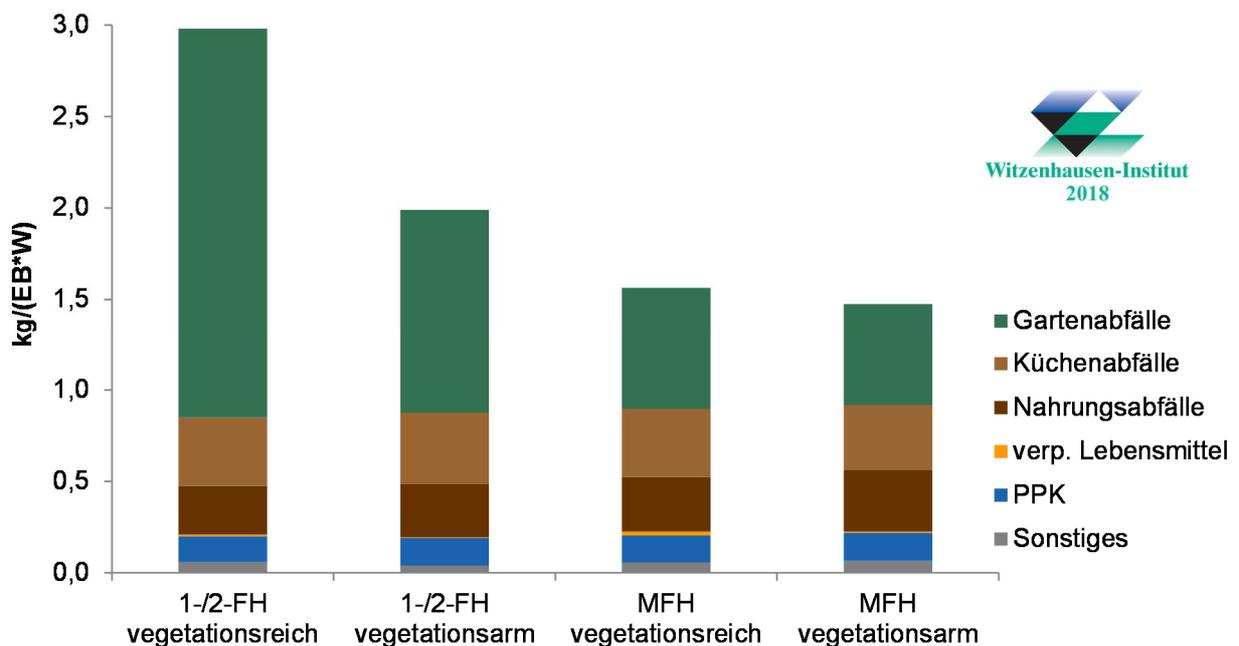


Abb. 2: Zusammensetzung des Bioguts in kg/EB*W unterschieden nach Bebauungsstruktur und Vegetationszeit

Aus Datenauswertungen des Witzenhausen-Instituts bezüglich der Umsetzung der Getrennterfassung mittels Biotonne bei den örE (flächendeckende Biotonne, Biotonne in Teilgebieten, keine Biotonne) und den Anschlussgraden der Biotonne ergibt sich eine Anzahl von ca. 37 Mio. Einwohnern, die an die Biotonne angeschlossen sind (Kern und Siepenkothen, 2014).

Daraus ergibt sich unter Verwendung der hier dargestellten Analyseergebnisse ein mittleres technisches Potenzial an Grüngut in der Biotonne in Deutschland von insgesamt 2,77 Mio. Mg/a bzw. 33,9 kg/E*a. Da in Deutschland ca. 34 % des Bioguts aus der Biotonne einer Vergärung zugeführt werden und ca. 66 % einer direkten Kompostierung, besteht dieses Verhältnis auch für das Grüngut in der Biotonne. Somit werden 0,94 Mio. Mg/a bzw. 11,5 kg/E*a des Grünguts in der Biotonne einer Vergärung (mit anschließender Kompostierung) zugeführt, während 1,83 Mio. Mg/a bzw. 22,4 kg/E*a einer Kompostierung zugeführt werden.

3.4 Grüngut im Restmüll

Grüngut im Restmüll ist kein ungenutztes Potenzial, wenn in Müllverbrennungsanlagen (MVA) bzw. Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) aus Restmüll Strom und/oder Wärme zur tatsächlichen Nutzung erzeugt werden. Dennoch ist das Grüngut im Restmüll ein

nicht optimal genutztes Potenzial, da es nicht separat erfasst wird und daher nicht stoffstromspezifisch verwertet werden kann (siehe Kapitel 3.1).

Um die Potenziale verschiedener organischer Fraktionen im Restmüll zu ermitteln, wurde von der Witzenhausen-Institut GmbH bereits für das Forschungsvorhaben Bio-OPTI (FKZ: 03KB105) ein eigenes Stoffstrommodell entwickelt. Grundlage für das Modell waren umfangreiche bundesweite Restmüllanalysen bei 25 öRE mit ca. 6 Mio. Einwohnern. Eine detaillierte Beschreibung des Modellaufbaus und der damit erfolgten Berechnungen findet sich bei Richter et al. (2017).

Die für das Jahr 2015 modellierte Menge an Grüngut im Restmüll beläuft sich auf rund 990.000 Mg bzw. 12,1 kg/E. Unter der Annahme, dass 70 % des Restmülls in Deutschland in einer MVA und 30 % in einer MBA entsorgt werden, beläuft sich die Menge an Grüngut im Restmüll, die in einer MVA entsorgt wird, in 2015 auf rund 690.000 Mg bzw. 8,5 kg/E. Die Grüngutmenge im Restmüll in 2015, die in einer MBA entsorgt wird, beträgt hingegen rund 300.000 Mg bzw. 3,6 kg/E.

3.5 Grüngut ohne Erfassung durch bestehende Sammelsysteme

Für die Abschätzung der Grüngutmengen, die nicht über bestehende Sammelsysteme erfasst werden, kann nicht auf statistische Daten zurückgegriffen werden. Es gibt lediglich einige regionale Untersuchungen, deren Ergebnisse aber nicht ohne Probleme auf ganz Deutschland hochgerechnet werden können. Über eine Untergliederung dieser Mengen in unterschiedliche Stoffströme lässt sich aber die Qualität der Abschätzung durch die Verwendung von stoffstromspezifischen Daten verbessern. Daher wurde hier eine Untergliederung des Grünguts zur Beseitigung in folgende drei Stoffströme vorgenommen:

1. Grüngut zur Eigenkompostierung/zum Mulchen
2. Grüngut zur Verbrennung im eigenen Ofen
3. Grüngut zur Beseitigung durch offene Verbrennung oder illegale Ablagerung

Bei den ersten beiden Stoffströmen findet – zumindest teilweise – eine Verwertung in stofflicher Form (Eigenkompostierung) bzw. energetischer Form (Verbrennung im eigenen Ofen) statt. Diese Verwertungswege sind jedoch nicht optimal, da bei der Eigenkompostierung einerseits die Rotteführung nicht immer sachgerecht durchgeführt wird und andererseits der Kompost nicht immer sachgerecht verwertet wird. Die Verbrennung von holzigem Grüngut (insbesondere Schwachholz) im eigenen Ofen ist im Hinblick auf die Effizienz und auf die entstehenden Emissionen deutlich schlechter zu bewerten als eine Verbrennung von holzigem Grüngut aus getrennter Erfassung oder aus der Grüngutaufbereitung in einem Biomasseheizkraftwerk (BMHKW).

Der dritte Stoffstrom stellt ein gänzlich ungenutztes Potenzial statt, da sowohl bei der offenen Verbrennung (z.B. im Rahmen von Brauchtuftsfeuern) als auch bei der illegalen Ablagerung (z.B. im Wald) keine stoffliche oder energetische Verwertung stattfindet. Darüber hinaus sind mit diesem Stoffstrom schädliche Umweltauswirkungen, wie beispielsweise unkontrollierte Emissionen (offene Verbrennung) oder die Verbreitung von Neophyten (illegale Ablagerung), verbunden.

In einer Studie zur Energieholzverwendung in privaten Haushalten beziffern Döring et al. (2014) den Einsatz von Scheitholz aus dem Garten als Brennholz für das Jahr 2010 und 2014 in

Deutschland auf jeweils rund 2,1 Mio. Festmeter (Fm). Unter der Annahme einer durchschnittlichen Holzrohddichte von Scheitholz aus dem Garten im waldfrischen Zustand von 900 kg/Fm ergibt sich eine Grüngutmenge zur Verbrennung im eigenen Ofen von 1,88 Mio. Mg/a bzw. 23,0 kg/E*a.

Krause et al. (2014) schätzen die Menge des Grünguts, das durch offene Verbrennung oder illegale Ablagerung beseitigt wird, auf 5 kg/E*a. Im Rahmen des Forschungsvorhabens Grün-OPTI wurde zu Beginn der Projektlaufzeit ein Expertenworkshop durchgeführt, bei dem erste Potenzialbetrachtungen diskutiert wurden. Dabei wurde mehrheitlich die Meinung vertreten, dass die spezifische Menge von 5 kg/E*a nicht der Realität entspräche, sondern einerseits größer sein müsste und andererseits differenzierter nach Siedlungsstrukturen betrachtet werden müsse.

Daraufhin wurde eine differenziertere Abschätzung vorgenommen, bei der jedem öRE eine der vier Siedlungsstrukturtypen „Ländlich“, „Ländlich verdichtet“, „Städtisch“ und „Großstädtisch“ zugewiesen wurde und jedem Siedlungsstrukturtyp wiederum eine spezifische Grüngutmenge zur Beseitigung (Tab. 3). Anhand der Einwohneranteile jedes Strukturtyps wurde für das gesamte Deutschland ein gewichteter Mittelwert gebildet, der bei 12 kg/E*a bzw. bei ca. 0,98 Mio. Mg/a Grüngut zur Beseitigung liegt.

Tab. 3: Spezifische Grüngutmengen zur Beseitigung anhand von Siedlungsstrukturen

Siedlungsstruktur	Einwohnerdichte [E/km ²]	Anzahl öRE	Einwohner	Anteil der Einwohner Deutschlands	Grüngut zur Beseitigung [kg/E*a]
Ländlich	< 150	149	20.635.098	25,2 %	20
Ländlich verdichtet	150 - 750	144	32.751.966	40,0 %	15
Städtisch	750 - 1.750	66	11.754.575	14,4 %	5
Großstädtisch	> 1.750	28	16.675.429	20,4 %	1
Gesamt Deutschland		387	81.817.067	100 %	12

Aus der Differenz des theoretischen Grüngutpotenzials und aller anderen bisher betrachteten Grüngut-Stoffströme wurde die jährliche Grüngutmenge zur Eigenkompostierung bzw. zum Mulchen abgeschätzt. Diese beträgt bei der alleinigen Betrachtung des Grünguts aus Privatgärten für 2015 ca. 4,51 Mio. Mg bzw. 55,1 kg/E*a. und bei der Betrachtung der Gesamtmenge an Grüngut (Privatgärten und kommunale Grünflächen) ca. 8,48 Mio. Mg bzw. 103,6 kg/E*a. Teile dieser Menge werden tatsächlich als Eigenkompost gärtnerisch verwertet, weitere Teile werden als Eigenkompost aufgesetzt, aber nicht sachgerecht verwertet und wiederum weitere Teile werden als Mulch auf der Fläche belassen. Eine genauere Differenzierung, welche Anteile die jeweiligen Stoffströme aufweisen, konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht vorgenommen werden.

3.6 Zusammenfassende Potenzialbetrachtung

Die Summe der Stoffströme in den betrachteten Entsorgungswegen für Grüngut aus Privatgärten im Jahr 2015 entspricht dem theoretischen Grüngutpotenzial von 15,91 Mg/a bzw. 194 kg/E*a (Abb. 3). Lediglich 30 % dieses theoretischen Potenzials wurden 2015 als Grüngut separat erfasst und zu einem Großteil (23 % des Gesamtpotenzials) zu Kompost verarbeitet. Weitere 18 % wurden als Bioabfall über die Biotonne erfasst und dort auch – direkt oder nach einer vorgeschalteten Vergärung – einer Kompostierung zugeführt. Der dabei entstehende Kompost ist allerdings ein Mischkompost aus Biogut und Grüngut und daher nicht so hochwertig wie reiner Grüngutkompost.

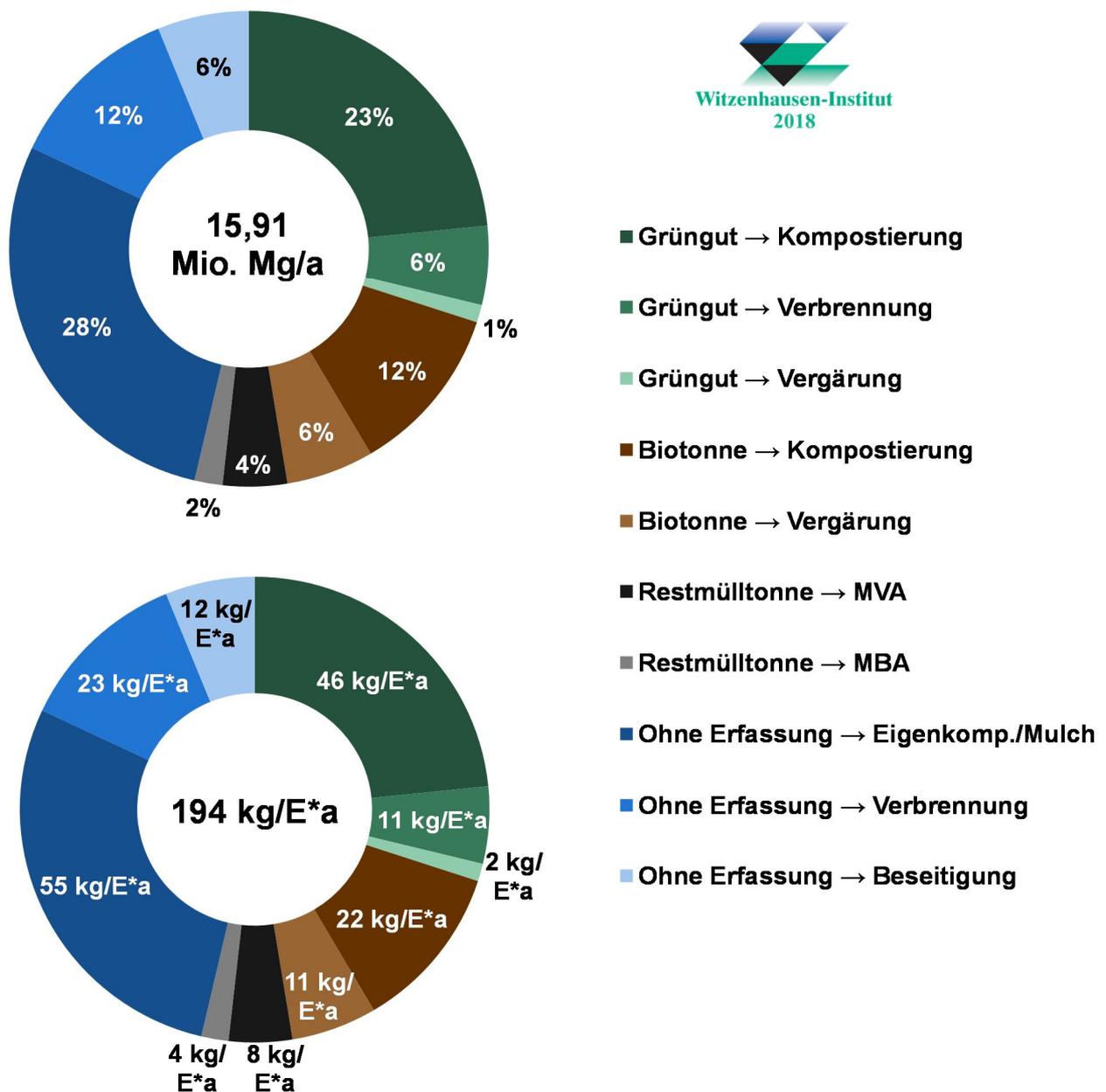


Abb. 3: Theoretisches Grüngutpotenzial mit dem Ist-Stand der Entsorgung von Grüngut aus Privatgärten im Jahr 2015

6 % des theoretischen Potenzials für Grüngut aus Privatgärten wurden im Jahr 2015 über die Restmülltonne entsorgt und entweder einer MVA oder einer MBA zugeführt. Fast die Hälfte des Potenzials (46 %) wurden im Jahr 2015 nicht über bestehende Sammelsysteme erfasst. Der überwiegende Teil davon (28 % des Gesamtpotenzials) wurde entweder zu Eigenkompost verarbeitet oder als Mulch auf der Gartenfläche belassen. 12 % des Gesamtpotenzials wurden zur Verbrennung im eigenen Ofen der Privathaushalte verwendet und 6 % des Gesamtpotenzials wurden durch illegale Ablagerung oder offene Verbrennung beseitigt.

Auch für das aufsummierte Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen entspricht die Summe der Stoffströme in den betrachteten Entsorgungswegen im Jahr 2015 dem theoretischen Grüngutpotenzial von 20,86 Mg/a bzw. 255 kg/E*a (Abb. 4). Der Anteil des separat erfassten Grünguts betrug hier insgesamt nur 27 %, wiederum mit der Kompostierung als Hauptentsorgungsweg (21 % des Gesamtpotenzials), gefolgt von der Verbrennung (5 % des Gesamtpotenzials) und der Vergärung (1 % des Gesamtpotenzials).

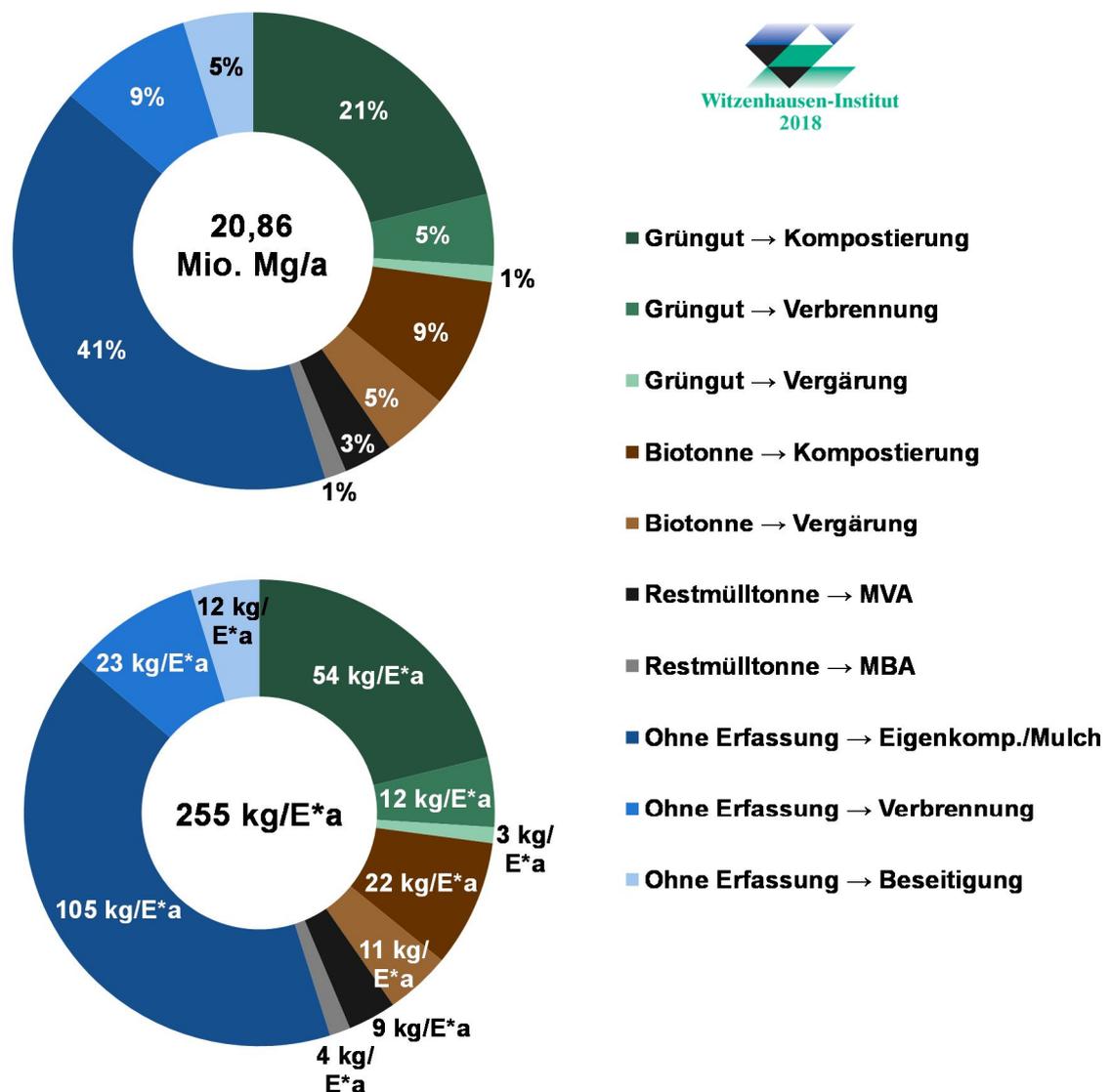


Abb. 4: Theoretisches Grüngutpotenzial mit dem Ist-Stand der Entsorgung von Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen im Jahr 2015

Die absoluten Mengen an Grüngut, die als Bioabfall über die Biotonne erfasst und die über die Restmülltonne entsorgt wurden, waren identisch mit den Mengen der nur auf Privatgärten bezogenen Potenzialbetrachtung. Durch das größere Gesamtpotenzial waren die Anteile jedoch geringer und betragen für Grüngut in der Biotonne 14 % sowie für Grüngut im Restabfall 4 % des Gesamtpotenzials.

Mehr als die Hälfte des Potenzials für Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen (55 %) wurde im Jahr 2015 nicht über bestehende Sammelsysteme erfasst. Der überwiegende Teil davon (41 % des Gesamtpotenzials) wurde entweder zu Eigenkompost verarbeitet oder als Mulch auf der Garten- bzw. Grünfläche belassen. 9 % des Gesamtpotenzials wurden zur Verbrennung im eigenen Ofen der Privathaushalte verwendet und 5 % des Gesamtpotenzials dürfte durch illegale Ablagerung oder offene Verbrennung beseitigt worden sein.

3.7 Kompost-, Energie- und Treibhausgaseinsparpotenziale

Neben den Potenzialen der Grüngutmengen entsprechend den derzeitigen Entsorgungswegen wurden auch die Potenziale zur Kompost- und Energieerzeugung sowie zur Treibhausgaseinsparung betrachtet. Dazu wurden anhand der derzeitigen Entsorgungswege für Grüngut die Mengen an erzeugtem Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme sowie die dadurch eingesparten Mengen an kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) und an Treibhausgasen (THG) berechnet. Für diese Berechnung wurden bestimmte Annahmen getroffen, um die zahlreichen Berechnungsparameter festzulegen, die in Tab. 4 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; Vogt et al., 2012; Reinhardt, 2016) verwendet und teilweise angepasst wurden und keine vollständige Neuberechnung von Ökobilanzen durchgeführt wurde.

Kompost wird jeweils aus Grüngut in separater Erfassung und Grüngut in der Biotonne sowohl in Vergärungsanlagen mit anschließender Gärrestkompostierung als auch in reinen Kompostierungsanlagen erzeugt. Flüssiger Gärrest wird über die Vergärung von Grüngut in separater Sammlung und der Biotonne erzeugt. Die spezifischen Mengen an Kompost, die über die beiden Entsorgungspfade der Biotonne erzeugt werden, sind geringer als die spezifischen Mengen, die über die beiden Entsorgungspfade der separaten Grüngutsammlung erzeugt werden, da bei der Biotonnenentsorgung noch der Anfall eines Siebüberlaufs, der über eine MVA entsorgt wird, einberechnet ist. Bei der separaten Grüngutsammlung sind alle für die Verbrennung ausgeschleusten Siebüberläufe im Entsorgungspfad Grüngut → Verbrennung enthalten.

Der Siebüberlauf bei der Biotonnenentsorgung ist auch der Grund, weshalb über den Entsorgungspfad Biotonne → Kompostierung Strom und genutzte Wärme erzeugt werden. Strom und genutzte Wärme werden außerdem über die Verbrennung von Grüngut in separater Erfassung, über die beiden Vergärungspfade (separate Grüngutsammlung und Biotonne) sowie über die beiden Entsorgungspfade des Grünguts in der Restmülltonne erzeugt. Genutzte Wärme wird außerdem noch aus Grüngut erzeugt, das nicht über die Erfassungssysteme erfasst wird und in den Privathäusern in Öfen verbrannt wird.

Tab. 4: Aggregierte gerundete Berechnungsparameter für die Erzeugung von Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme sowie für die Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) pro Mg Grüngut als Frischmasse (FM)

Entsorgungsweg	Kompost (FM)	Flüssiger Gärrest (FM)	Strom	Genutzte Wärme	THG ¹	KEA fossil ¹
Grüngut → Kompostierung	400 kg	---	---	---	-50 kg CO ₂ -Äq.	-10 kWh
Grüngut → Verbrennung	---	---	720 kWh	585 kWh	-765 kg CO ₂ -Äq.	-2.735 kWh
Grüngut → Vergärung	310 kg ¹	705 kg ¹	115 kWh ¹	40 kWh ¹	-5 kg CO ₂ -Äq.	-245 kWh
Biotonne → Kompostierung	380 kg	---	10 kWh	5 kWh	-35 kg CO ₂ -Äq.	15 kWh
Biotonne → Vergärung	275 kg ¹	715 kg ¹	130 kWh ¹	45 kWh ¹	-10 kg CO ₂ -Äq.	-260 kWh
Restmülltonne → MVA	---	---	200 kWh	90 kWh	-140 kg CO ₂ -Äq.	-500 kWh
Restmülltonne → MBA	---	---	70 kWh	30 kWh	-20 kg CO ₂ -Äq.	-180 kWh
Ohne Erfassung → Eigenkomp./Mulch	---	---	---	---	75 kg CO ₂ -Äq.	---
Ohne Erfassung → Verbrennung	---	---	---	120 kWh	-25 kg CO ₂ -Äq.	-110 kWh
Ohne Erfassung → Beseitigung	---	---	---	---	---	---

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

²Gewichtetes Mittel von Pflöpfenstrom-, Nass- und Boxenvergärungsanlagen

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 Entsorgungspfade eine spezifische Einsparung mit Ausnahme der beiden Entsorgungspfade, bei denen Grüngut ohne Erfassung eigenkompostiert/gemulcht bzw. beseitigt wird. Bei Ersterem wird sogar eine spezifische Nettobelastung mit Treibhausgasen verursacht. Für den Parameter KEA fossil erzielen alle Entsorgungspfade eine spezifische Einsparung mit Ausnahme der beiden Entsorgungspfade, bei denen Grüngut ohne Erfassung eigenkompostiert/gemulcht bzw..

beseitigt wird, sowie der Kompostierung der Biotonne, wo sogar ein spezifischer Nettoverbrauch fossiler Energieträger verursacht wird.

Die insgesamt erzeugten Mengen an Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme aus Grüngut von Privatgärten in Deutschland im Jahr 2015 sind als Summen und als Anteile dieser Summen für die entsprechenden Entsorgungswege in Abb. 5 dargestellt. Rund zwei Drittel des Komposts aus Grüngut von Privatgärten stammt demnach von separat erfasstem Grüngut, das in reinen Kompostierungsanlagen behandelt wird. Knapp ein Viertel des Komposts stammt dagegen aus Grüngut, das über die Biotonne entsorgt und anschließend kompostiert wird und ca. 10 % aus Grüngut, das über die Biotonne entsorgt und anschließend in einer Vergärungsanlage mit integrierter Kompostierung der Gärreste behandelt wird.

Der flüssige Gärrest stammt zum überwiegenden Teil (82 %) aus der Vergärung von Grüngut, das über die Biotonne entsorgt wird, und zu einem geringen Anteil aus der Vergärung von separat erfasstem Grüngut. Rund zwei Drittel des erzeugten Stroms stammen aus der Verbrennung von separat erfasstem Grüngut in BMHKW. Weitere Anteile von jeweils ca.15 % stammen aus Grüngut in der Biotonne, das in Vergärungsanlagen behandelt wird, sowie aus Grüngut in der Restmülltonne, das in einer MVA verbrannt wird. Auch bei der genutzten Wärme stammt der überwiegende Teil (ca. 60 %) aus der Verbrennung von separat erfasstem Grüngut. Rund ein Viertel der genutzten Wärme wird jedoch bei der Verbrennung in privaten Öfen erzeugt.

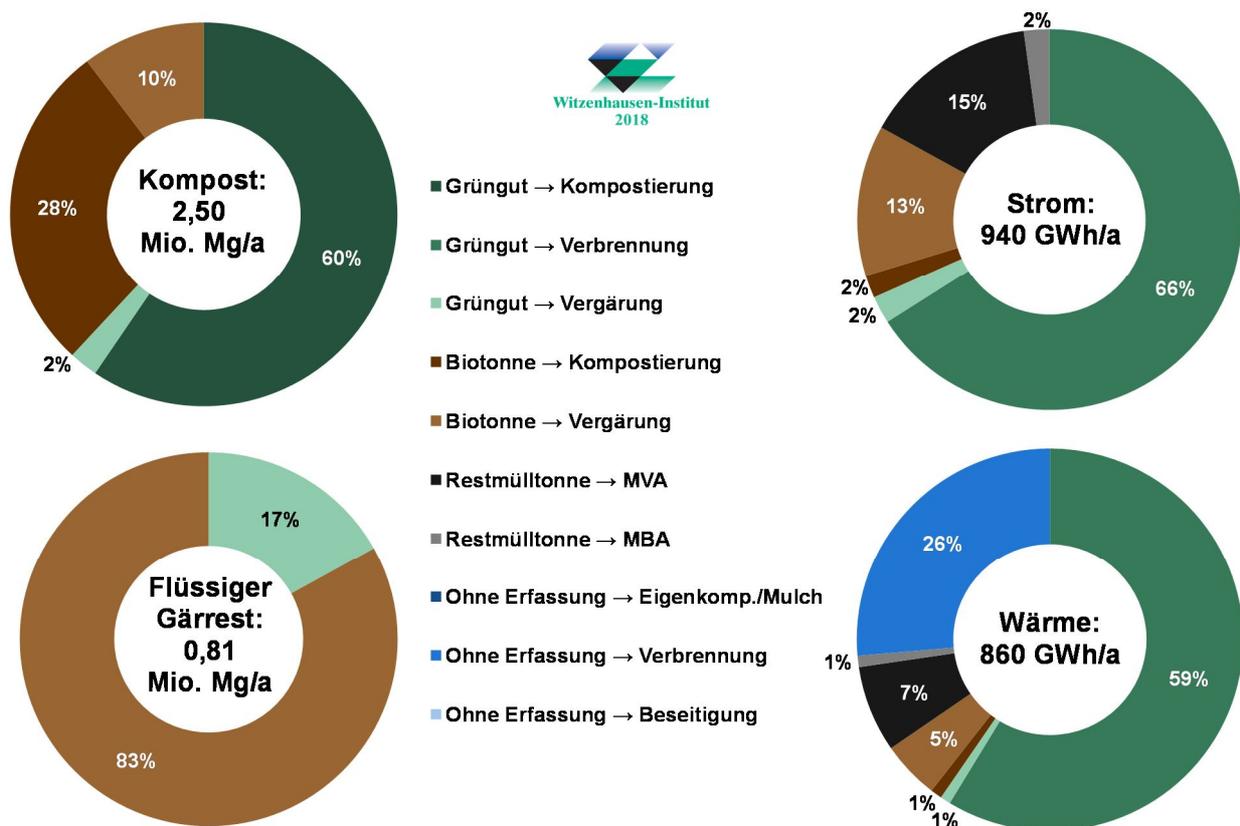


Abb. 5: Erzeugte Mengen an Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme aus den unterschiedlichen Entsorgungswegen für Grüngut aus Privatgärten in Deutschland im Jahr 2015

Werden zusätzlich zu den Grüngutmengen aus Privatgärten auch die Grüngutmengen von kommunalen Grünflächen für die Erzeugung von Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme in Deutschland im Jahr 2015 betrachtet, ergeben sich die in Abb. 6 dargestellten Summen und Anteile für die entsprechenden Entsorgungswege. Die Kompostmengen erhöhen sich dadurch von 2,50 auf 2,79 Mio. Mg/a, die flüssigen Gärreste von 0,81 auf 0,83 Mio. Mg/a, die Stromerzeugung von 940 auf 1.056 GWh/a und die Erzeugung genutzter Wärme von 860 auf 951 GWh/a. Die Anteile verschieben sich zugunsten der Entsorgungswege des Grünguts in separater Sammlung, da Grüngut von kommunalen Flächen nicht über die Biotonne oder die Restmülltonne entsorgt wird.

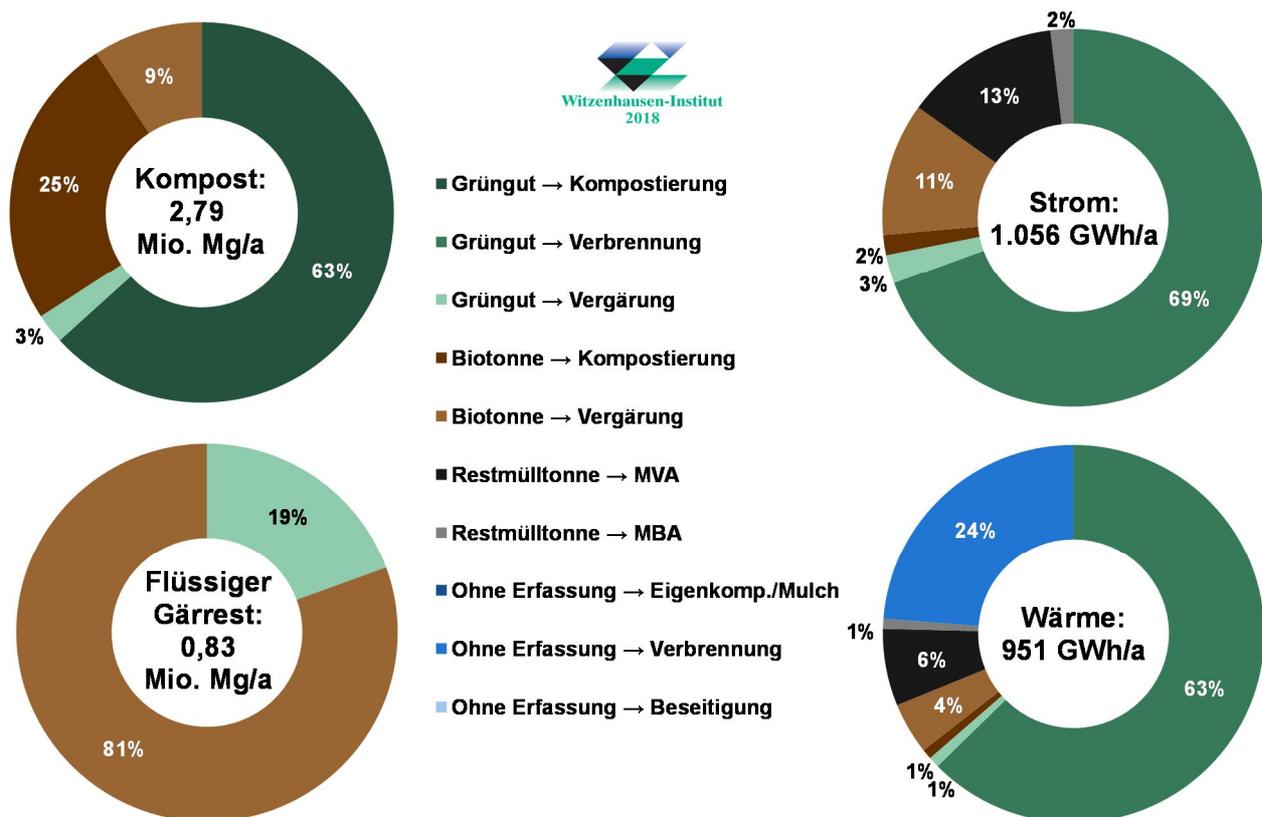


Abb. 6: Erzeugte Mengen an Kompost, flüssigem Gärrest, Strom und genutzter Wärme aus den unterschiedlichen Entsorgungswegen für Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen in Deutschland im Jahr 2015

Durch die Entsorgung von Grüngut aus Privatgärten über die verschiedenen Entsorgungswege im Jahr 2015 ergeben sich in Summe THG-Einsparungen von -0,72 Mio. Mg CO₂-Äq. und Einsparungen des KEA fossil von -3.270 GWh/a (Abb. 7). Die Verbrennung von separat erfasstem Grüngut ist dabei in beiden Kategorien mit Abstand für die größten Einsparungen verantwortlich, während Netto-Emissionen von Treibhausgasen nur bei Eigenkompostierung/Mulchen von nicht erfasstem Grüngut und Netto-Verbräuche von fossilen Energieträgern nur bei der Kompostierung der Biotonne entstehen.

Bei der Betrachtung von Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen vermindert sich die in Summe erzielte THG-Einsparung, da der Anteil an nicht erfasstem Grüngut zur Eigenkompostierung/zum Mulchen hier 41 % des gesamten Grüngut-Potenzials ausmacht und bei der alleinigen Betrachtung der Privatgärten nur 28 % (Abb. 8). Gleichzeitig erhöht sich die Einsparung des KEA fossil aufgrund der größeren Menge an separat erfasstem Grüngut in der Verbrennung.

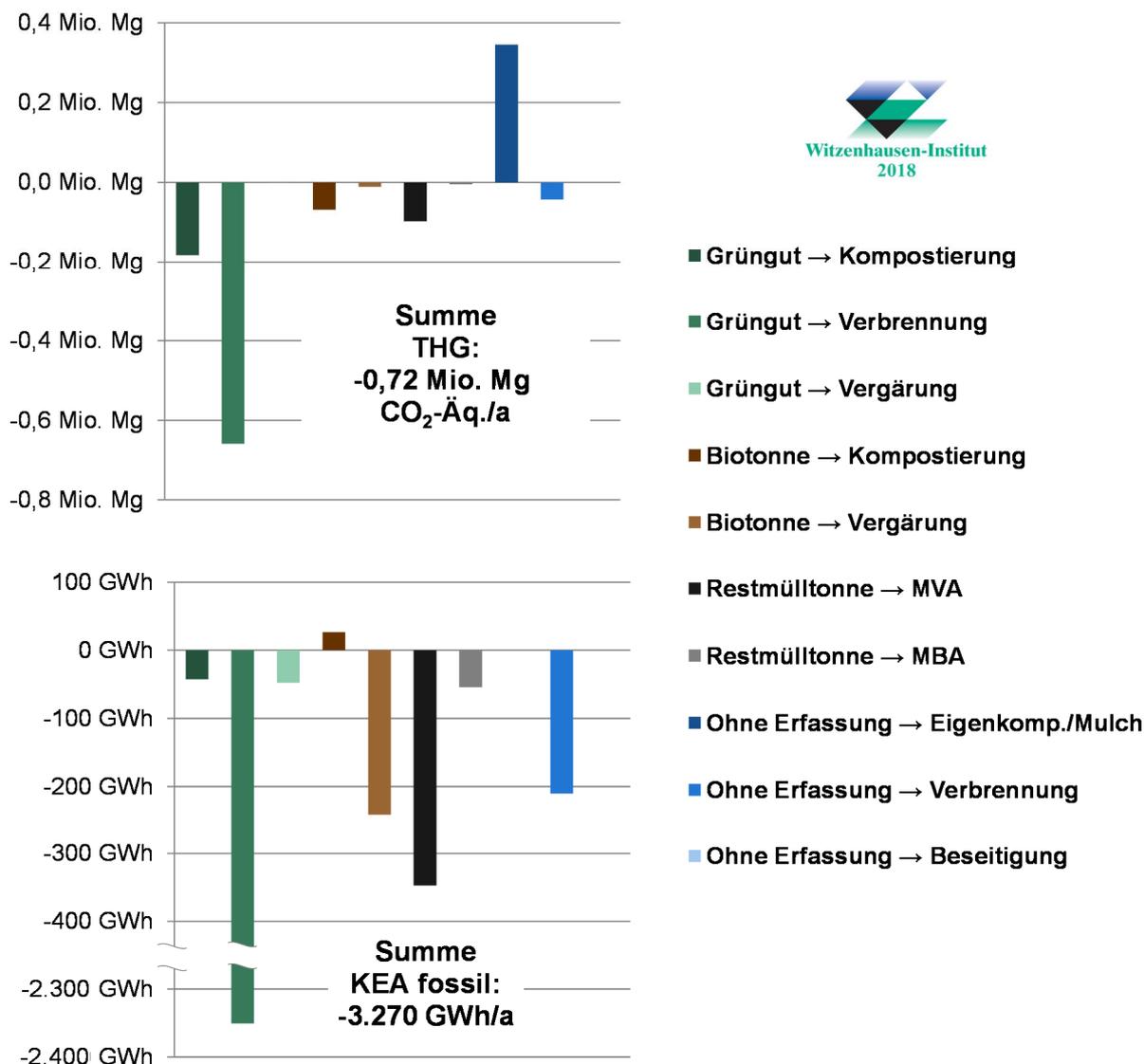


Abb. 7: Bilanzen von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) als Summe der Einzelbilanzen für die unterschiedlichen Entsorgungswege für Grüngut aus Privatgärten in Deutschland im Jahr 2015

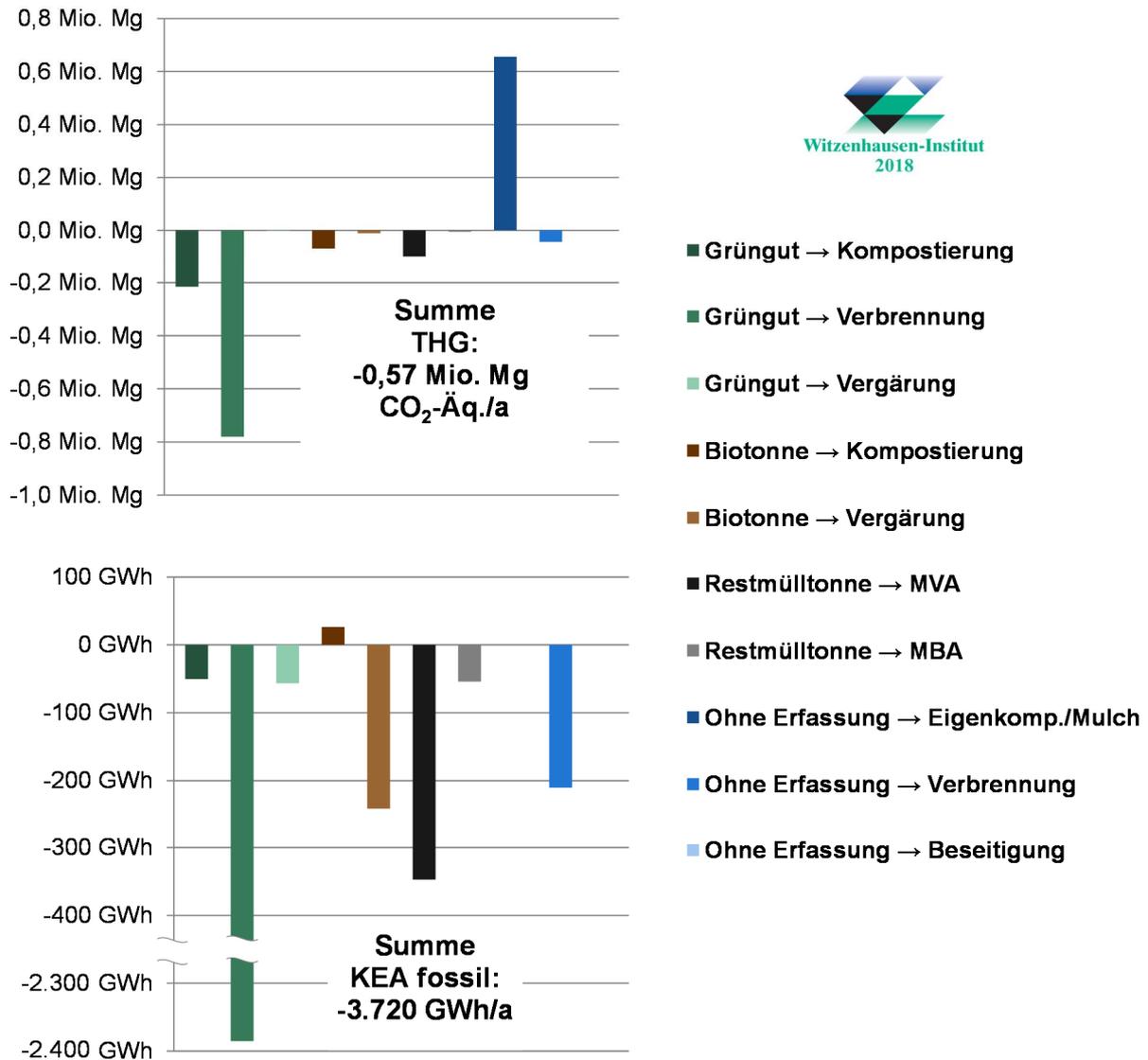


Abb. 8: Bilanzen von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) als Summe der Einzelbilanzen für die unterschiedlichen Entsorgungswege für Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen in Deutschland im Jahr 2015

3.8 Betrachtung unterschiedlicher Zukunftsszenarien

Für die Bewertung einer Optimierung der Getrenntsammlung von Grüngut, d.h. einer verstärkten Ausschöpfung noch nicht genutzter Potenziale, wurden drei verschiedene Szenarien einer zukünftigen Getrenntsammlung betrachtet und mit dem Ist-Stand im Jahr 2015 verglichen:

- **Szenario 1 (SZ 1):** Bisher über den Restmüll entsorgtes Grüngut wird vollständig separat als Grüngut erfasst.
- **Szenario 2 (SZ 2):** Bisher über den Restmüll entsorgtes Grüngut wird vollständig separat als Grüngut erfasst UND jeweils 25 % des bislang in den drei Entsorgungswegen „ohne Erfassung“ befindlichen Grünguts wird separat als Grüngut erfasst.

- **Szenario 3 (SZ 3):** Bislang über den Restmüll entsorgtes Grüngut wird vollständig separat als Grüngut erfasst UND jeweils 50 % des bislang in den drei Entsorgungswegen „ohne Erfassung“ befindlichen Grünguts wird separat als Grüngut erfasst

Die zusätzlichen separat erfassten Grüngutmengen wurden so den Entsorgungswegen zugeteilt, dass die Mengen in Grüngut → Verbrennung weiterhin 18 % des gesamten separat erfassten Grünguts umfassen und die Mengen in Grüngut → Vergärung unverändert bleiben, da davon ausgegangen wird, dass diese Mengen an die Mengen in Biotonne → Vergärung gekoppelt sind. Der Rest der zusätzlichen Mengen wurde der Kompostierung zugeteilt. Alle Berechnungsparameter für die drei Zukunftsszenarien blieben im Vergleich zum Ist-Stand unverändert, d.h. die betrachteten Änderungen beruhen einzig auf einer Veränderung der Stoffstrommengen in den unterschiedlichen Entsorgungswegen.

Die relativen Veränderungen bei der Betrachtung des Grünguts aus Privatgärten betragen in SZ 1 zwischen -3 % (Stromerzeugung) und +21% (separat erfasstes Grüngut) im Vergleich zum Ist-Stand (Abb. 9). Es wird deutlich, dass die Steigerung der Erzeugung von Produkten (Kompost, Strom, genutzte Wärme) bzw. der Einsparung von THG und KEA fossil bei der vollständig separaten Erfassung der bislang über die Restmülltonne entsorgten Grüngutmengen relativ gesehen nicht so hoch ausfällt wie die Steigerung der separat erfassten Grüngutmenge. Bei der Stromerzeugung ist sogar ein Rückgang zu verzeichnen, da Grüngut in der Restmülltonne mehrheitlich über eine MVA entsorgt und dabei Strom erzeugt wird, während separat erfasstes Grüngut mehrheitlich kompostiert und nur ein relativ geringer Anteil zur Verbrennung inkl. Stromerzeugung genutzt wird.

In SZ 2 und SZ 3 werden die größten relativen Veränderungen bei der THG-Einsparung erzielt (+66 bzw. +122 %), die damit auch größer sind als die Steigerungen der separat erfassten Grüngutmengen (+59 bzw. +98 %). Mit dem Ziel, möglichst hohe THG-Einsparungen zu erzielen, besteht die größte Notwendigkeit also darin, die bislang nicht erfassten Grüngutmengen zu mobilisieren. Die Steigerungen der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme liegen zwischen 20 und 37 % in SZ 2 bzw. zwischen 36 und 61 % in SZ 3.

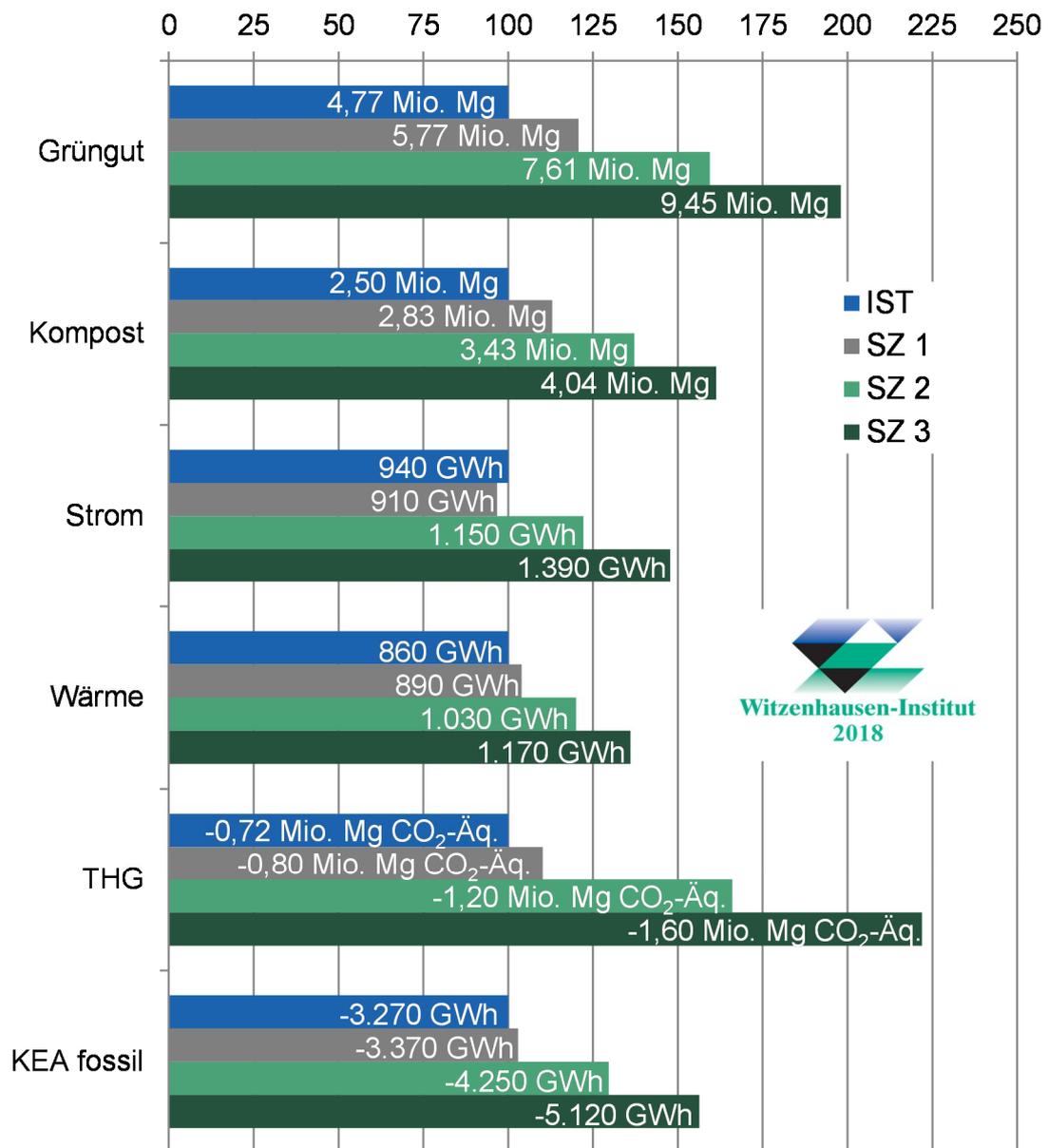


Abb. 9: Relative Veränderungen der separaten Erfassung von Grüngut aus Privatgärten, der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme aus diesem Grüngut sowie der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) in drei Zukunftsszenarien (SZ1, SZ2, SZ3) im Vergleich zum Ist-Stand im Jahr 2015 (IST)

Bei der gemeinsamen Betrachtung des Grünguts aus Privatgärten und kommunalen Grünflächen verhalten sich die Änderungen in den drei Szenarien mit Ausnahme der THG-Einsparung ähnlich wie bei der alleinigen Betrachtung des Grünguts aus Privatgärten. Die relativen Änderungen sind bei den THG-Einsparungen in SZ 2 und SZ 3 mit +130 bzw. +247 % deutlich größer als die relativen Änderungen der separat erfassten Grüngutmengen mit +68 bzw. +119 % (Abb. 10).

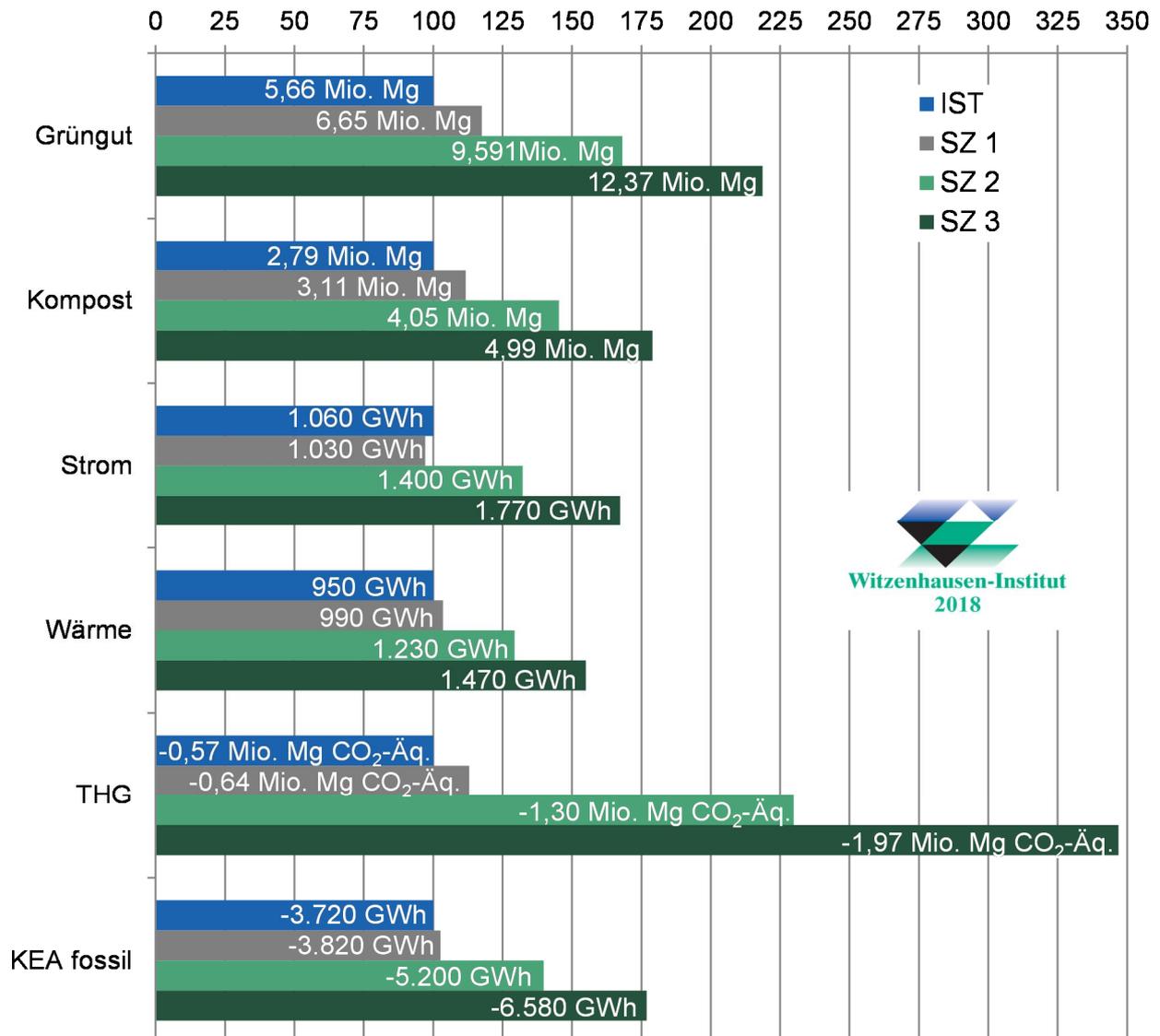


Abb. 10: Relative Veränderungen der separaten Erfassung von Grüngut aus Privatgärten und kommunalen Flächen, der Erzeugung von Kompost, Strom und genutzter Wärme aus diesem Grüngut sowie der Einsparung von Treibhausgasen (THG) und kumuliertem fossilen Energieaufwand (KEA fossil) in drei Zukunftsszenarien (SZ1, SZ2, SZ3) im Vergleich zum Ist-Stand im Jahr 2015 (IST)

4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Im Folgenden werden verschiedene rechtliche Aspekte, die die Erfassung und Aufbereitung von Grüngut sowie die Verwertung von aus Grüngut erzeugten Brennstoffen betreffen, dargestellt. Gemäß den Zielen des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ werden hier nur rechtliche Aspekte betrachtet, die mit der energetischen Nutzung eines Teilstroms des Grünguts, den holzigen Siebüberläufen, zusammenhängen. Die rechtlichen Aspekte der Kompostierung, der Kompostvermarktung und der Kompostausbringung bleiben somit außen vor, sind aber Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen in Büchern, Zeitschriften und digitalen Medien.

4.1 Genehmigungsrechtliche Anforderungen an die Sammlung und die Lagerung

Die Sammlung, die Beförderung und die Lagerung von Grüngut unterliegen dem Abfallrecht. Bei der Sammlung von Grüngut, beispielsweise über eine Straßensammlung bei den privaten Haushalten, muss der Sammler und Beförderer demzufolge über die notwendige Fach- und Sachkunde verfügen und seiner abfallrechtlichen Anzeigepflicht nach § 53 KrWG nachkommen. Eine Ausnahme besteht für die unmittelbare Sammlung und Beförderung durch den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, da hier keine gewerbliche Sammlung und Beförderung im Sinne des § 3 Abs. 10 und 11 KrWG vorliegt.

Ein Sammelplatz für Grüngut unterliegt, in Abhängigkeit von der Lagerkapazität und der bauplanungsrechtlichen Einstufung des Standortes, unterschiedlichen genehmigungsrechtlichen Anforderungen.

Bei einer Lagerkapazität **über 100 Mg nicht gefährlicher Abfallstoffe** ist eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung für eine Anlage zur zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen Abfällen nach Nr. 8.12.2 Anhang 1 zur 4. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV)¹ erforderlich. Dabei sind zwei Sachverhalte zu beachten:

1. Zum einen ist auf die mögliche Lagerkapazität und nicht auf die tatsächliche Lagermenge abzustellen (§ 1 Abs. 1 der 4. BImSchV; rechtlich und tatsächlich möglicher Betriebsumfang).
2. Zum anderen ist hinsichtlich des Erreichens der Genehmigungsschwelle auf die Gesamtlagerkapazität aller nicht gefährlichen Abfallstoffe am Lagerplatz abzustellen.

Zudem ist gegebenenfalls die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit (Anpassung von Flächennutzungsplan und evtl. Bebauungsplan) zu schaffen. Die weiteren Genehmigungen (vor allem Baugenehmigung usw.) sind größtenteils von der konzentrierenden Wirkung des Immissionsschutzrechts (§ 13 BImSchG) erfasst.

Bei einer Lagerkapazität von **weniger als 100 Mg nicht gefährlicher Abfallstoffe** können im Hinblick auf die genehmigungsrechtliche Situation mehrere Möglichkeiten in Frage kommen. Eindeutig ist, dass für eine Lagerung in dieser Größenordnung kein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren durchzuführen ist.

¹ **4. BImSchV Anhang 1 Nr. 8.12.2**

Anlage zur zeitweiligen Lagerung von Abfällen ... ausgenommen die zeitweilige Lagerung bis zum Einsammeln auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle ... bei nicht gefährlichen Abfällen mit einer Gesamtlagerkapazität von 100 Tonnen oder mehr

- Sammelplätze für Grüngut sind bauliche Anlagen und unterliegen den Bauordnungen der Bundesländer. Dort sind jeweils Regelungen getroffen, unter welchen Umständen Sammelplätze einer baurechtlichen Genehmigung bedürfen bzw. von der Genehmigungspflicht befreit sind. Einen Überblick hierzu findet sich in Tab. 5.
- Die Lagerung im beplanten Gebiet (z. B. Gewerbe- oder Industriegebiet), die im Zusammenhang mit einem dazugehörigen gewerblichen Betrieb steht, ist grundsätzlich genehmigungsfrei, sofern der Bebauungsplan keine widersprechenden Festsetzungen enthält.
- Bei einer Lagerung im unbeplanten Gebiet, die im Zusammenhang mit einem dazugehörigen gewerblichen Betrieb steht, muss mit den zuständigen Behörden (Gemeinde/Stadt, Bauamt, Naturschutzbehörde) abgeklärt werden, ob die Lagerung von Grüngut gestattungsfähig ist und ob dafür ein Bauantrag gestellt werden muss.
- Insbesondere wenn der potenzielle Sammelplatz im Außenbereich liegt, kann eine Änderung des Flächennutzungsplans erforderlich werden. Darüber hinaus können naturschutzrechtliche, landschaftsschutzrechtliche oder wasserschutzrechtliche Genehmigungen erforderlich werden.

Tab. 5: Tatbestände für eine Befreiung von einer baurechtlichen Genehmigung für Grüngutsammelplätze mit einer Lagerkapazität <100 Mg in den einzelnen Bundesländern

Bundesland	Baurechtlich genehmigungsfrei:	Quelle
Baden-Württemberg	• bis zu einer Fläche von 100 m ² (im Innenbereich)	Nr. 11 h) des Anhangs zu LBO §50 Abs. 1
Bayern	• bis zu einer Fläche von 300 m ² (ausgenommen Außenbereich)	BayBO Art. 57 Abs. 1 Nr. 15 b)
Berlin	• generell	BauO Bln §61, Abs. 1, Nr. 6 e)
Brandenburg	• bis zu einer Fläche von 200 m ² (ausgenommen Außenbereich)	BbgBO §61, Abs.1, Nr. 14 d)
Bremen	• bis zu einer Fläche von 300 m ² (in Gewerbe- und Industriegebieten)	BremLBO §61, Abs. 1, Nr. 14 b)
Hamburg	• generell	Nr. 5.5 der Anlage 2, I zu HBauO §60
Hessen	• generell	Nr. 6.7 der Anlage zu HBO §63
Mecklenburg-Vorpommern	• generell	LBauO M-V §61, Abs.1, Nr. 6 e)
Niedersachsen	• generell (für land- oder forstwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebe)	Nr. 14.11 des Anhangs zu NBauO §60, Abs. 1
Nordrhein-Westfalen	• bis zu einer Fläche von 300 m ² (ausgenommen Wohngebiete, Außenbereich)	BauO NRW 2016 §64, Abs.1, Nr. 33
Rheinland-Pfalz	• bis zu einer Fläche von 300 m ²	LBauO §62, Absatz 1, Nr. 11 i)

Bundesland	Baurechtlich genehmigungsfrei:	Quelle
Saarland	<ul style="list-style-type: none"> bis zu einer Fläche von 300 m² (in Gewerbe-, Industrie- und vergleichbaren Sondergebieten) 	LBO §61, Abs.1, Nr. 12 c)
Sachsen	<ul style="list-style-type: none"> generell 	SächsBO §61, Abs.1, Nr. 6 e)
Sachsen-Anhalt	<ul style="list-style-type: none"> generell 	BauO LSA §60, Abs.1, Nr. 6 e)
Schleswig-Holstein	<ul style="list-style-type: none"> bis zu einer Fläche von 300 m² (ausgenommen Wohngebiete, Außenbereich) 	LBO §63, Abs.1, Nr. 14 c)
Thüringen	<ul style="list-style-type: none"> bis zu einer Fläche von 100 m² (ausgenommen Außenbereich) 	ThürBO § 6, Abs.1, Nr. 14 b)

4.2 Genehmigungsrechtliche Anforderungen an die Aufbereitung

Die Aufbereitung von Grüngut für eine Kompostierung bzw. für die Nutzung des Holzigen Anteils als Brennstoff erfordert im Regelfall den Einsatz eines Schredders und ggf. einer Siebanlage. Liegt die Durchsatzkapazität dieser Maschinen bei mehr als 10 Mg am Tag, wird für den Aufbereitungsplatz eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich. Dies ist auch dann der Fall, wenn die Maschine nicht direkt am Platz vorgehalten wird, sondern in regelmäßigen Abständen (beispielsweise halbjährlich oder auch nur einmal pro Jahr) auf dem Platz eingesetzt werden soll, z. B. durch einen externen Dienstleister. Der vorliegende Genehmigungstatbestand ergibt sich nach Nr. 8.11.2.4² des Anhangs 1 der 4. BImSchV.

Trotz des neuen Genehmigungstatbestandes Nr. 8.11.2.3 des Anhangs 1 der 4. BImSchV („Vorbehandlung von nicht gefährlichen Abfällen für die Verbrennung oder Mitverbrennung von 50 Tonnen und mehr am Tag“) sind Anlagen zum Schreddern der im Rahmen der Grünschnittsammlung bzw. Landschaftspflege gesammelten Abfälle in der Regel nach Nr. 8.11.2.4 des Anhangs 1 der 4. BImSchV einzustufen, sofern diese Abfälle zumindest überwiegend für eine spätere Kompostierung oder Biogasgewinnung aufbereitet werden; dies schließt nicht aus, dass im Nebenstrom naturbelassenes Holz mit Brennstoffqualität aussortiert wird, um es zu verbrennen.

4.3 Einstufung des erzeugten Brennstoffs aus holzigem Grüngut

Bei der Absiebung von Grüngut entweder vor der Kompostierung und/oder nach der Kompostierung entsteht als Nebenprodukt ein überwiegend holziges Grobkorn. Dieses kann als naturbelassener holziger Brennstoff (Schreddergut, Abb. 11) energetisch genutzt werden. Im Vergleich zu Holzhackschnitzeln aus Waldholz unterscheidet sich der Brennstoff aus holzigem Grüngut hinsichtlich der physikalischen Beschaffenheit (Stückigkeit, Zersplinterungsgrad) deutlich. Die energetischen Eigenschaften sind weitgehend vergleichbar, auch wenn bei dem Holzigen Schreddergut aus Grüngut von einem höheren Wassergehalt sowie höheren Aschegehalten aufgrund noch vorhandener inerter Anhaftungen auszugehen ist.

² 4. BImSchV Anhang 1 Nr. 8.11.2.4

Anlage zur sonstigen Behandlung ... mit einer Durchsatzkapazität von nicht gefährlichen Abfällen, soweit nicht durch die Nummer 8.11.2.3 erfasst, von 10 Tonnen oder mehr je Tag

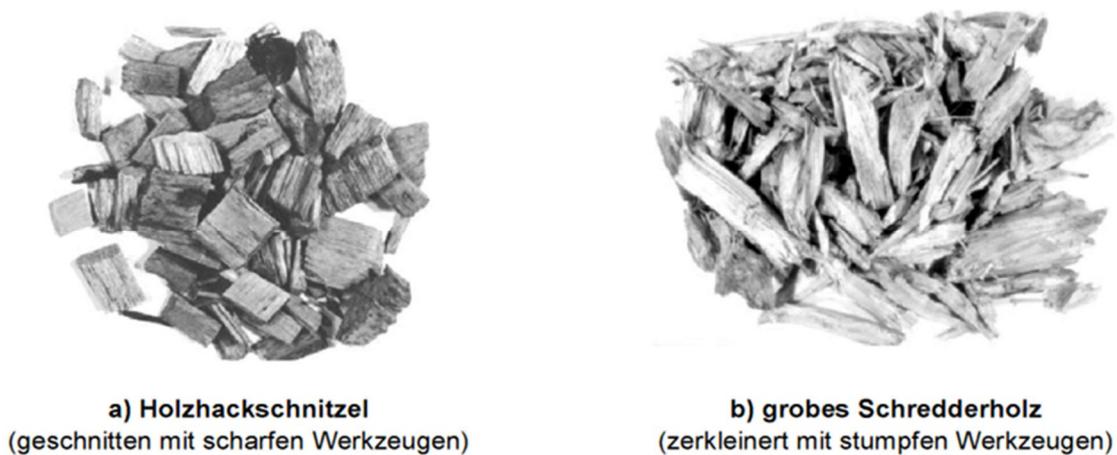


Abb. 11: Unterscheidung zwischen Holzhackschnitzeln und grobem Schredderholz
(Quelle: DIN EN ISO 17225-1 Bild A.2)

Die marktüblichen Anforderungen an biogene Festbrennstoffe sind in der DIN EN ISO 17225 (bestehend aus sieben Teilen) festgelegt. In dieser Norm werden unter anderem die Brennstoffspezifikationen und -klassen für holzige Biomasse festgelegt. In Teil 1, Tabelle 1 der genannten Norm erfolgt eine Klassifizierung der Herkunft und Quellen von festen biogenen Materialien. Für holzige Biomasse aus Grüngut besteht keine eigene Kategorie. Vielmehr können in diesen Stoffgruppen alle in der Tabelle aufgelisteten holzartigen Biomassen der Kategorie 1.1³ enthalten sein, sodass eine Zuordnung des holzigen Grünguts und/oder holzigen Landschaftspflegematerials zu Nummer 1.1.8 „Definierte und undefinierte Mischungen“ erfolgen kann.

Für Brennstoff aus holzigem Landschaftspflegematerial liegt eine Einschätzung des Rechtsausschusses der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall vom 12.04.2012 vor. Demnach können „sonstige Landschaftspflegematerialien ihre Abfalleigenschaften unter den Voraussetzungen des § 5 KrWG verlieren; dazu ist in der Regel eine Aufarbeitung erforderlich“. Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen hat hierzu im März 2012 einen Erlass herausgegeben. In diesem wird die folgende Rechtsauffassung für Landschaftspflegematerial vertreten: „Soweit im Anschluss an die Aufbereitung naturbelassenes Holz in Brennstoffqualität die Aufbereitungsanlage verlässt, kann ... davon ausgegangen werden, dass es keine Abfalleigenschaften (mehr) aufweist, wenn die Voraussetzungen des § 5 KrWG erfüllt sind, d. h. ein Markt vorhanden ist, im Rahmen bestehender Lieferverträge für den Kauf der erzeugten Brennstoffe vom Kraftwerksbetreiber ein entsprechender Preis entrichtet wird, es den Qualitätsanforderungen des Marktes entsprechend der DIN EN ISO 17225⁴ (Produktnorm für feste Biobrennstoffe) genügt, im Vergleich zu Waldrestholz keine zusätzlichen Aufarbeitungsschritte zur Erzeugung des Brennstoffs mehr nötig sind und kein schadstoffbedingtes Gefährdungspotenzial vorhanden ist.“

Für den erzeugten Brennstoff aus holzigem Grüngut liegt keine eigene Einschätzung auf Bundesebene vor, wohl aber auf Länderebene. Das Land Hessen beispielsweise hat 2009 einen

³ Die Kategorie 1.1 enthält alle naturbelassenen Hölzer (Wald- und Plantagenholz sowie andere). Weitere Kategorien für holzartige Biomasse sind 1.2 Industrierestholz und 1.3 Gebrauchtholz sowie 1.4 Definierte und undefinierte Mischungen.

⁴ An dieser Stelle ist in dem Ursprungszitat die vorherige DIN EN-Norm 14961 aufgeführt. Diese wurde zwischenzeitlich durch die aufgeführte DIN EN ISO 17225 abgelöst.

Durchführungshinweis zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) verfasst, der den Einsatz von Landschaftspflege- und ähnlichem Grünschnittmaterial als Brennstoff in Feuerungsanlagen betrifft. Darin steht: „Soweit Landschaftspflege- sowie ähnliches Grünschnittmaterial als Abfall anfällt, ist es nach AVV z.B. in die Abfallschlüssel 20 01 38, 20 02 01 einzustufen. Dieses Material wird, soweit es als Brennstoff in BMHKW eingesetzt werden soll, zuvor aufbereitet.“ Und weiter: „Naturbelassenes Holz in Brennstoffqualität, das die Aufbereitungsanlage verlässt, hat seine Abfalleigenschaften verloren. Damit entfällt auch eine Einstufung nach AVV, die abfallrechtliche Registerpflicht und die Notwendigkeit einer Transportgenehmigung nach § 49 KrW-/AbfG. Der Nachweis des Verbleibs kann vom Aufbereiter durch Lieferscheine geführt werden.“

Somit ist es möglich, dass durch entsprechende Maßnahmen bei der Erfassung des Grünguts, wie beispielsweise eine Eingangskontrolle der angelieferten Grüngutmaterialien auf Verunreinigungen (z.B. Plastikbestandteile oder ungeeignete Hölzer, wie behandeltes Altholz) und eine Einfriedung des Sammelplatzes, sowie bei der Aufbereitung des Grünguts ein Brennstoff erzeugt wird, der sich nicht von Brennstoff aus holzigem Landschaftspflegematerial unterscheidet.

4.4 Anforderung an die thermische Nutzung

Das erzeugte Produkt, der naturbelassene Brennstoff aus holzigem Grüngut, kann in dafür zugelassenen und geeigneten Feuerungsanlagen eingesetzt werden. Der Einsatz in Feuerungsanlagen, die mit einer Feuerungswärmeleistung (FWL) von < 1 MW der 1. BImSchV unterliegen, ist möglich, wenn die Qualität des eingesetzten Materials der von Waldholz entspricht. Der Nachweis liegt in der Verantwortung der Verarbeiter und ist im Einzelfall nach Herkunft, Feuchtegehalt usw. des Materials zu entscheiden. Dabei kann die DIN EN ISO 17225-6⁵ im Hinblick auf das schadstoffbedingte Gefahrenpotenzial orientierend herangezogen werden. Bei Überschreitung einer FWL von 1 MW wird die Heizanlage immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig nach Nr. 1.2.1⁶ des Anhangs 1 zur 4. BImSchV und unterliegt somit den Anforderungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft).

Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht wird empfohlen, den naturbelassenen Brennstoff aus holzigem Grüngut nur in entsprechend geeigneten größeren Anlagen (> 500 kW) einzusetzen, die für den Brennstoff hinsichtlich Fördereigenschaften, Ausstattung des Verbrennungsraums, Aschemengen und Rauchgasreinigung angepasst sind. Zudem ist zu beachten, dass in der 1. BImSchV für Anlagen, die nach dem 31.12.2014 errichtet wurden, neue Emissionsgrenzwerte gelten. Die Staubemissionen dürfen hierbei ab einer Nennwärmeleistung von 4 kW einen Grenzwert von 0,02 g/m³ nicht überschreiten, die Kohlenmonoxidemissionen einen Grenzwert von 0,4 g/m³. Nach Einschätzung von Experten ist der vorgegebene Emissionsgrenzwert für Staub ambitioniert und ohne Filtersysteme (außer bei Einzelraumfeuerungsanlagen) wohl nicht einzuhalten. Weitere Anforderungen an diese Anlagen und die eingesetzten Brennstoffe ergeben sich nach § 3 Abs. 3, § 4, § 5 und den Abschnitten 4 und 5 der 1. BImSchV.

⁵ In der DIN EN ISO 17225-6 werden die Qualitätsanforderungen für Pellets aus – unter anderem – definierten und undefinierten Mischungen von Biomasse für die Verwendung im gewerblichen und häuslichen Bereich spezifiziert.

⁶ **4. BImSchV Anhang 1 Nr. 1.2.1**

Anlage zur Erzeugung von Strom, Dampf, Warmwasser, Prozesswärme oder erhitztem Abgas in einer Verbrennungseinrichtung (wie Kraftwerk, Heizkraftwerk, Heizwerk, ..., sonstige Feuerungsanlage), ... durch den Einsatz von ... naturbelassenem Holz ... mit einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW bis weniger als 50 MW

5 Kommunale Erfassung von Grüngut in Deutschland

5.1 Ist-Stand der Grünguterfassung in regionalisierter Betrachtung

Insgesamt wurden im Jahr 2015 in Deutschland rund 4,9 Mio. Mg Grüngut bzw. durchschnittlich etwa 60 kg Grüngut pro Einwohner separat erfasst. Im Vergleich der Bundesländer erzielte Niedersachsen mit durchschnittlich 94 kg/E*a die höchste spezifische Erfassungsleistung (Abb. 12). Auch Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, das Saarland und Bayern erreichten überdurchschnittlich hohe spezifische Erfassungsleistungen. Sehr geringe Grüngutmengen mit Werten von unter 25 kg/E*a wurden dagegen im Durchschnitt in Schleswig-Holstein, Sachsen, Hamburg und Berlin erfasst.

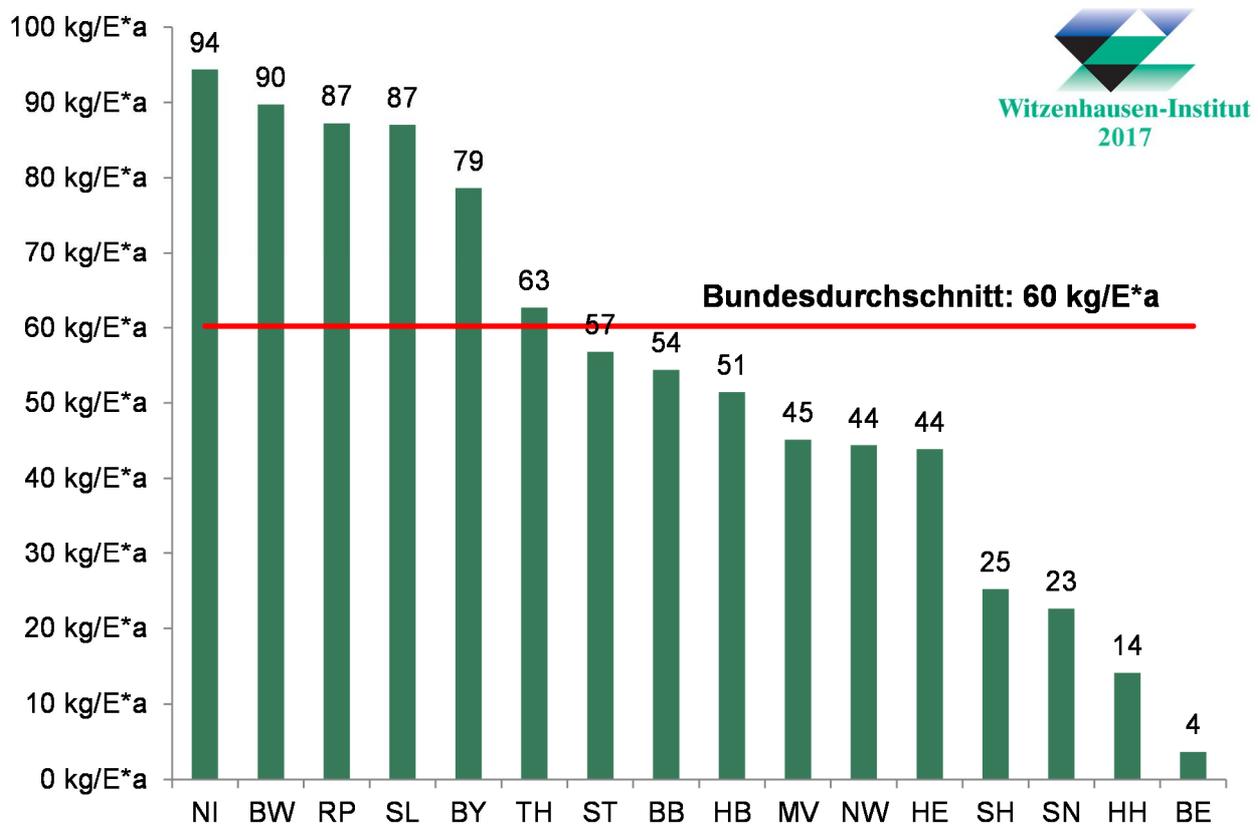


Abb. 12: Spezifische Grünguterfassung durch die öRE nach Bundesländern in 2015 (Quelle: Abfallbilanzen der Bundesländer 2015)

Betrachtet man die Grüngut-Erfassungsleistung der einzelnen öRE, so erkennt man eine beträchtliche Spannweite, die von 0 bis 310 kg/E*a reicht. Insgesamt gibt es fünf öRE, die überhaupt kein separat erfasstes Grüngut in ihrer Abfallbilanz ausweisen und weitere 21 öRE, die nur sehr geringe Mengen von unter 10 kg/E*a ausweisen. Die regionale Verteilung von Gebieten mit hohen und geringen spezifischen Erfassungsleistungen wird in Abb. 13 veranschaulicht. Dabei wird deutlich, dass auch innerhalb der Bundesländer deutliche Unterschiede bestehen, so z.B. in Sachsen-Anhalt, wo der öRE mit der bundesweit zweithöchsten spezifischen Erfassungsleistung von 261 kg/E*a liegt, gleichzeitig aber auch ein öRE, der 0 kg/E*a ausweist.

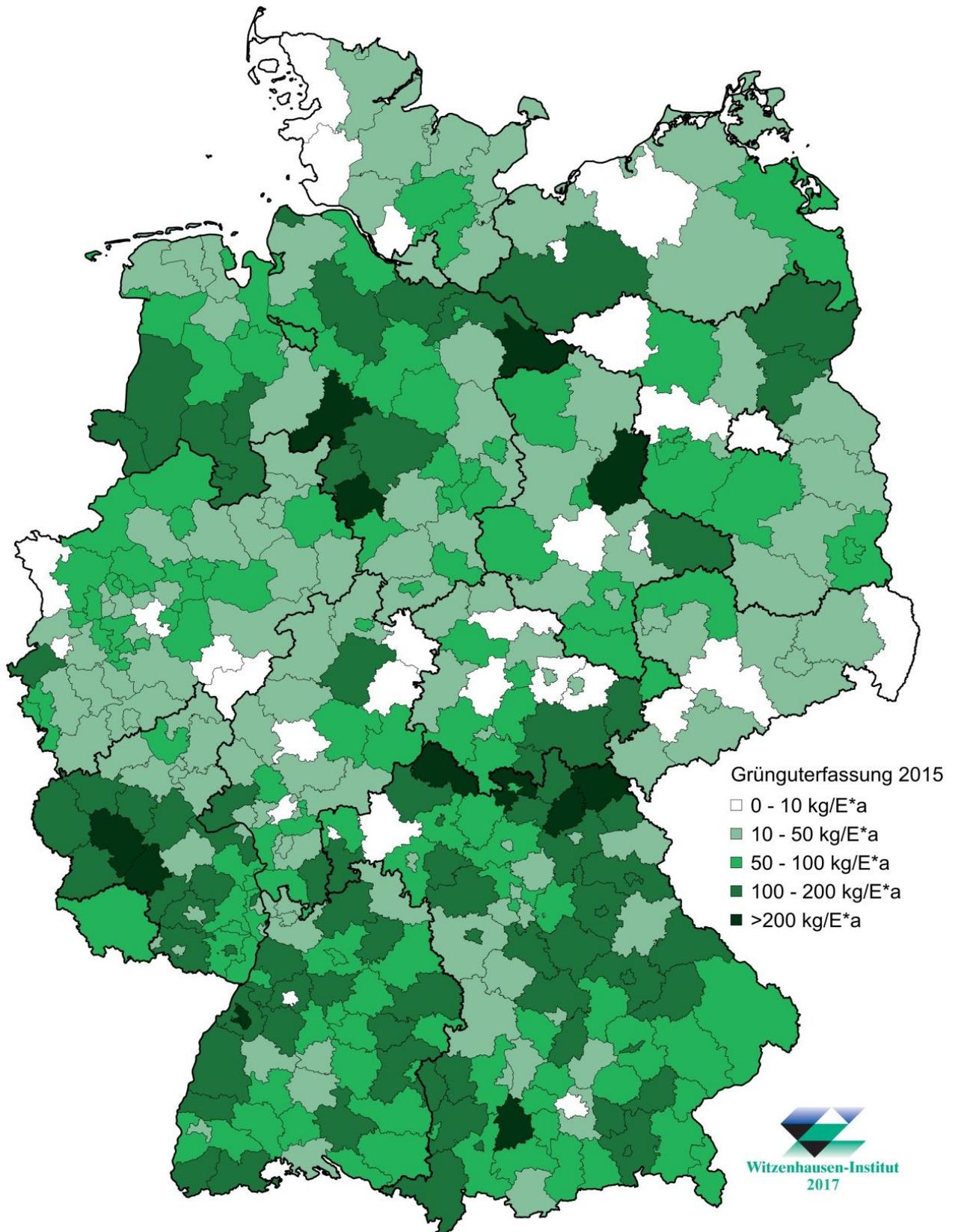


Abb. 13: Kartografische Übersicht über die einwohnerspezifische Grünguterfassung 2015 in den Entsorgungsgebieten der 387 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (Quelle: Abfallbilanzen der Bundesländer 2015)

5.2 Einflussfaktoren auf die Grünguterfassungsmengen

Die Erfassungsstrukturen der öRE für Grüngut in Deutschland sind von vielen unterschiedlichen Systemen geprägt, die lokal und regional auch miteinander kombiniert werden. Dabei lassen sich durch die Variation folgender Grundfaktoren – hier angegeben mit beispielhaften Varianten – die meisten Systeme beschreiben:

- **Erfassung:** Holsysteme, Bringsysteme
- **Grüngutfraktion:** Holziges Grüngut, krautiges Grüngut, Laub
- **Gebühr:** Gebühren-/Entgeltfrei, gebühren-/entgeltpflichtig, mengenabhängig, fraktionsabhängig
- **Abfuhrhythmus (Holsysteme):** Fix, auf Abruf, Anzahl Abfuhrtermine
- **Öffnungszeiten (Bringsysteme):** Saisonal, ganzjährig, täglich, wöchentlich
- **Erreichbarkeit (Bringsysteme):** Einwohner bzw. km² pro Sammelstelle

Im Rahmen des Forschungsvorhabens Grün-OPTI wurden die aktuellen Erfassungsstrukturen für Grüngut im Jahr 2015 ermittelt und mit den in den Abfallbilanzen der Bundesländer angegebenen Erfassungsmengen verrechnet. Auf dem Gebiet aller 387 öRE ist eine separate Grünguterfassung vorhanden, wenn auch zum Teil nicht durch den öRE selbst, sondern privatwirtschaftlich organisiert. 186 öRE bieten ausschließlich ein Bringsystem an, während bei 201 öRE sowohl ein Bring- als auch ein Holsystem existiert. (Abb. 14).

Bei den Bringsystemen handelt es sich zum einen um fest eingerichtete Plätze, wie Wertstoffhöfe, Grüngutsammelplätze oder auch Kompostanlagen, die teilweise unbeschränkt zugänglich sind, meistens aber feste Öffnungszeiten haben, die sich zum Teil über das ganze Jahr und zum Teil nur über die vegetationsreiche Zeit erstrecken. Zum anderen können die Bringsysteme auch aus mobilen Angeboten bestehen, wie z.B. Container, die nach Bedarf geleert werden oder Müllfahrzeuge, die an einem bestimmten Termin an einem bestimmten Standort bereitstehen und dort Grüngut entgegen nehmen. Bei den Holsystemen handelt es sich zumeist um die Abfuhr von gebündeltem Baum- und Strauchschnitt, der entweder zu einem festen Termin oder auf Abruf vor dem Haus nach bestimmten Regeln bereit gelegt werden muss.

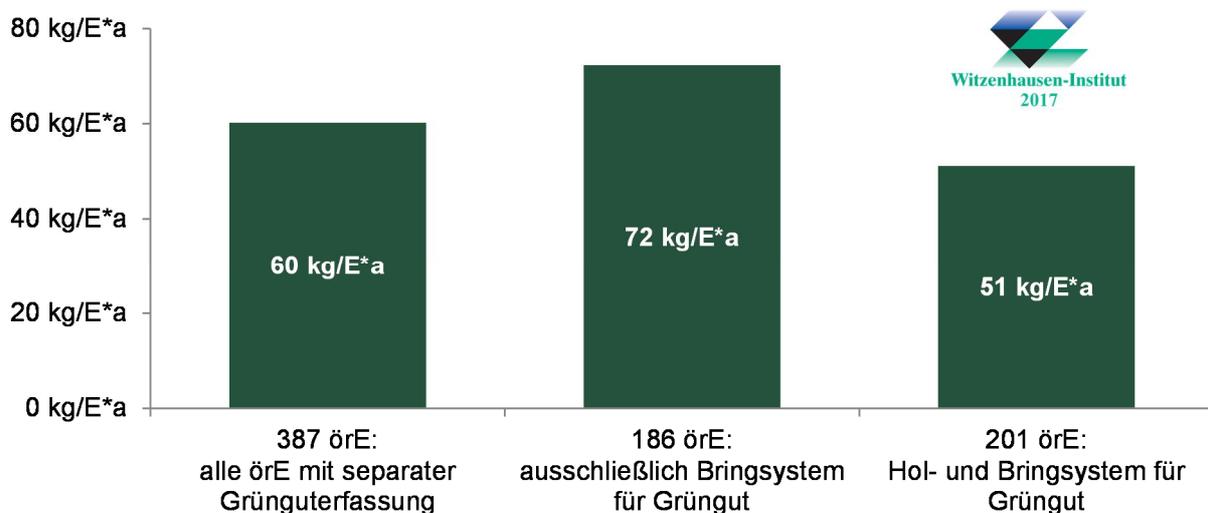


Abb. 14: Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) in Abhängigkeit des Erfassungssystems

Die durchschnittliche spezifische Erfassungsleistung für Grüngut ist bei den örE, die ausschließlich ein Bringsystem für Grüngut anbieten, mit 72 kg/E*a überdurchschnittlich hoch, während sie bei den örE, die sowohl ein Hol- als auch ein Bringsystem anbieten, lediglich bei 51 kg/E*a liegt (Abb. 14). Bei den örE, die ausschließlich ein Bringsystem anbieten, ist dieses häufig durch einen hohen Komfort für den Bürger gekennzeichnet (engmaschiges Netz an Sammelstellen, Gebührenfreiheit für haushaltsübliche Mengen, lange Öffnungszeiten, etc.).

Bei vielen örE, die ein Holsystem anbieten, ist das Bringsystem hingegen nur unzureichend ausgebaut (z.B. wenige Sammelplätze), sodass insgesamt als Summe des Hol- und Bringsystems weniger Grüngut erfasst wird als bei örE, die über kein Hol-, dafür aber über ein gut ausgebauten Bringsystem verfügen. Darüber hinaus sind Holsysteme im städtischen und großstädtischen Bereich, wo die einwohnerspezifischen Grüngutmengen im Durchschnitt nur bei rund 40 kg/E*a liegen, deutlich häufiger vertreten als im ländlichen Bereich mit durchschnittlichen einwohnerspezifischen Grüngutmengen von über 70 kg/E*a.

Ausgehend von der These, dass eine Gebührenerhebung bei der Grüngutsammlung einen Einfluss auf die Erfassungsmenge hat, wurden die 164 örE, die eine Bündelsammlung für holziges Grüngut anbieten, dahingehend analysiert, ob diese Bündelsammlung gebührenfrei oder gebührenpflichtig ist. Von den 111 örE, die eine gebührenfreie Bündelsammlung anbieten, werden mit durchschnittlich 58 kg/E*a rund 20 % mehr Grüngut erfasst als von den 53 örE mit gebührenpflichtiger Sammlung mit durchschnittlich 49 kg/E*a (Abb. 15). Diese Erfassungsmengen beziehen sich allerdings nicht nur auf die Bündelsammlung, sondern auf die gesamte Grüngutsammlung eines örE, beinhalten also auch etwaige Sammlungen im Bringsystem.

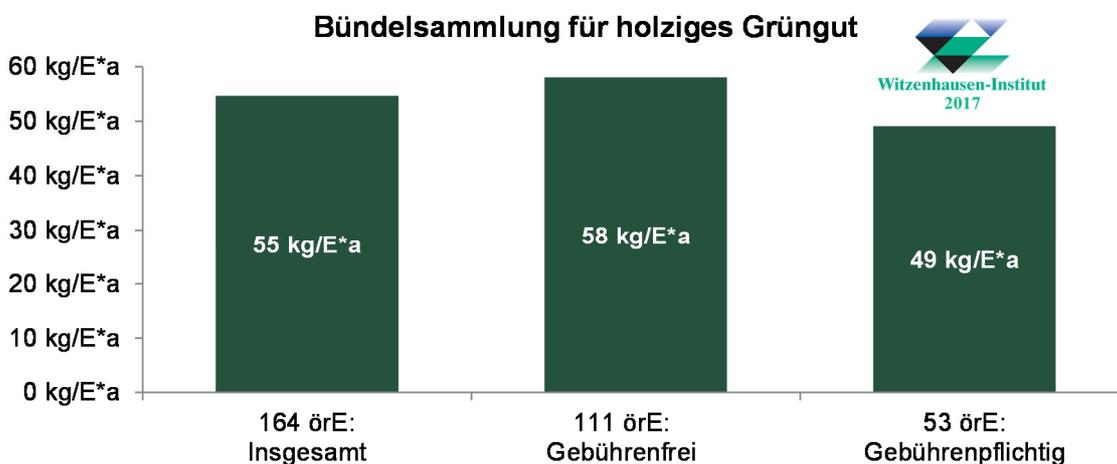


Abb. 15: Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit einer Gebühr bei der Bündelsammlung für holziges Grüngut

Neben der Gebührenerhebung hat auch der Komfort der Grünguterfassung einen Einfluss auf die Erfassungsmengen. Im Fall der Bündelsammlung steigt der Komfort mit zunehmender Häufigkeit der Sammeltermine pro Jahr, da dann häufiger die Möglichkeit besteht, frisch angefallenes Grüngut direkt zu entsorgen, ohne es vorher lagern zu müssen. Daher wurden die 98 örE betrachtet, die ein einheitliches System zur gebührenfreien Bündelsammlung von holzigem Grüngut aufweisen (die gebührenfreie Bündelsammlung von holzigem Grüngut auf dem Gebiet von 13 weiteren örE ist nicht einheitlich innerhalb des gesamten Gebiets).

Diese 98 örE erfassen durchschnittlich 60 kg/E*a Grüngut (inklusive etwaige Bringsysteme), was dem Bundesdurchschnitt entspricht (Abb. 16). Bei 17 örE aus dieser Gruppe findet die Bündelsammlung auf Abruf statt und die spezifische Erfassungsmenge beträgt lediglich 51 kg/E*a. Bei mehr als der Hälfte der 98 örE findet die Sammlung an 1-2 fixen Terminen im Jahr statt, wobei im Durchschnitt 59 kg/E*a an Grüngut erfasst werden. Überdurchschnittlich hohe Grünguterfassungsmengen weisen die örE auf, wo eine Bündelsammlung an 3-4 fixen Terminen pro Jahr (69 kg/E*a) oder sogar an mehr als 4 fixen Terminen pro Jahr (71 kg/E*a) stattfindet.

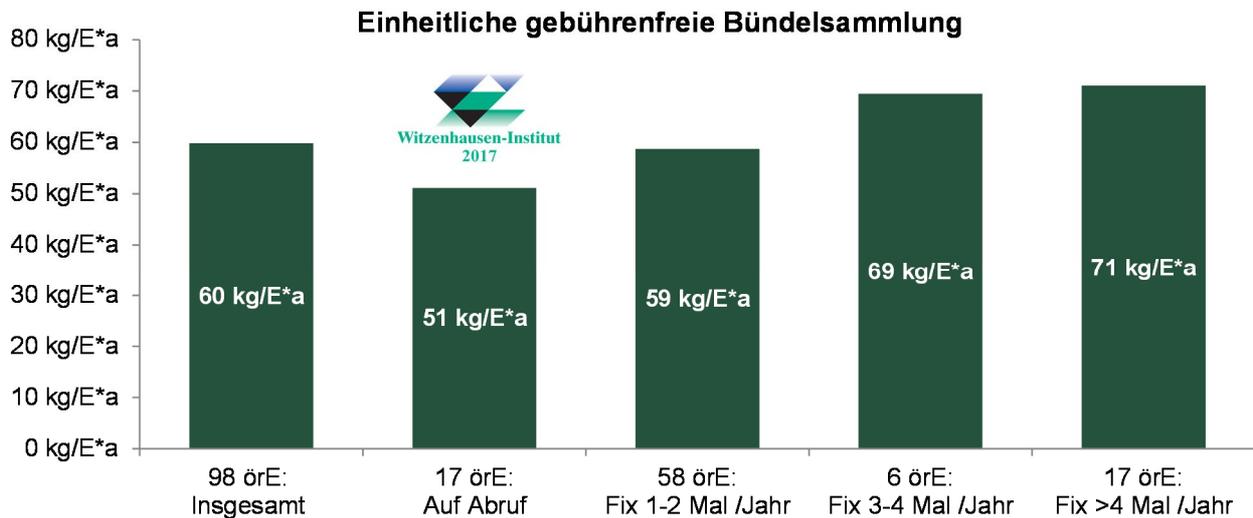


Abb. 16: Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit der Häufigkeit einer Bündelsammlung für holziges Grüngut

Auch bei Bringsystemen zeigt sich der Einfluss der Gebühren- bzw. Entgelterhebung (Abb. 17), sodass die Erfassungsmengen der 227 örE, deren Grüngutsammelstellen eine entgeltfreie Abgabe „haushaltsüblicher Mengen“ an Grüngut erlauben, mit 75 kg/E*a deutlich höher liegen als bei den 22 örE mit teils entgeltfreier, teils entgeltpflichtiger Abgabe (51 kg/E*a) sowie den 138 örE, deren Sammelstellen generell entgeltpflichtig sind (39 kg/E*a). Dabei sind „haushaltsübliche“ Mengen i.d.R. definiert als Grüngutvolumen einer PKW-Ladung bzw. eines Kubikmeters.

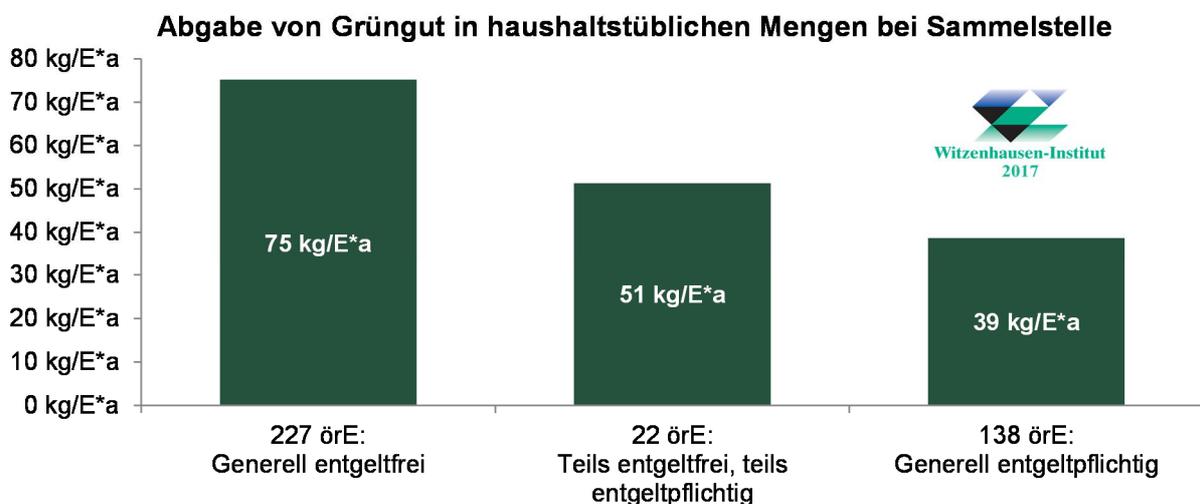


Abb. 17: Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit eines Entgelts für die Abgabe von Grüngut auf Sammelstellen

Ein weiterer Faktor, der die Erfassungsmengen beeinflusst, ist die Dichte-Verteilung der Sammelstellen. Die Anzahl an Einwohnern, die auf eine Grüngutsammelstelle, die an mehr als 5 Terminen pro Jahr zugänglich ist, entfallen, ist je nach Entsorgungsgebiet sehr unterschiedlich und tendenziell in Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz am geringsten bzw. damit die Dichte der Sammelstellen am höchsten (Abb. 18). Dabei gibt es deutliche regionale Übereinstimmungen mit der Verteilung der spezifischen Grünguterfassungsmengen (Abb. 13).

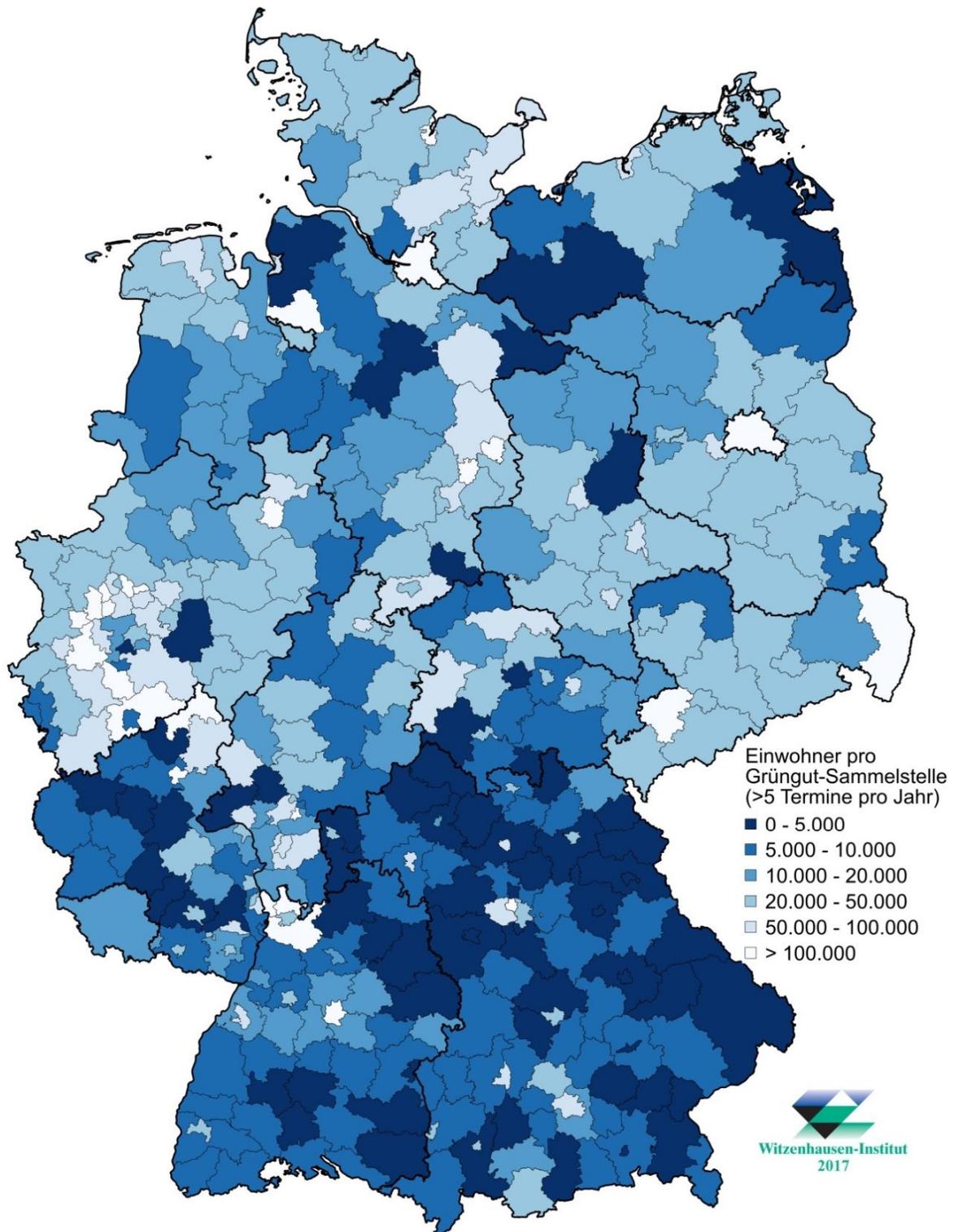


Abb. 18: Kartografische Übersicht über die einwohnerbezogene Dichte an Grüngutsammelstellen in den Entsorgungsgebieten der 387 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger

Die Spannweite liegt deutschlandweit zwischen 500 und 300.000 Einwohnern pro Grüngut-Sammelstelle. Je weniger Einwohner auf eine Grüngut-Sammelstelle entfallen, desto größer ist der Service-Komfort der Grüngutentsorgung, da tendenziell die individuelle Entfernung zur Sammelstelle geringer ist. Entsprechend höher sind demnach die spezifischen Erfassungsmengen. Abb. 19 zeigt deutlich, dass die spezifischen Erfassungsmengen von 102 kg/E*a bei den 72 örE, die weniger als 5.000 Einwohner pro Sammelstelle aufweisen, graduell bis auf 29 kg/E*a bei den 27 örE, die mehr als 100.000 Einwohner pro Sammelstelle aufweisen, abnehmen.

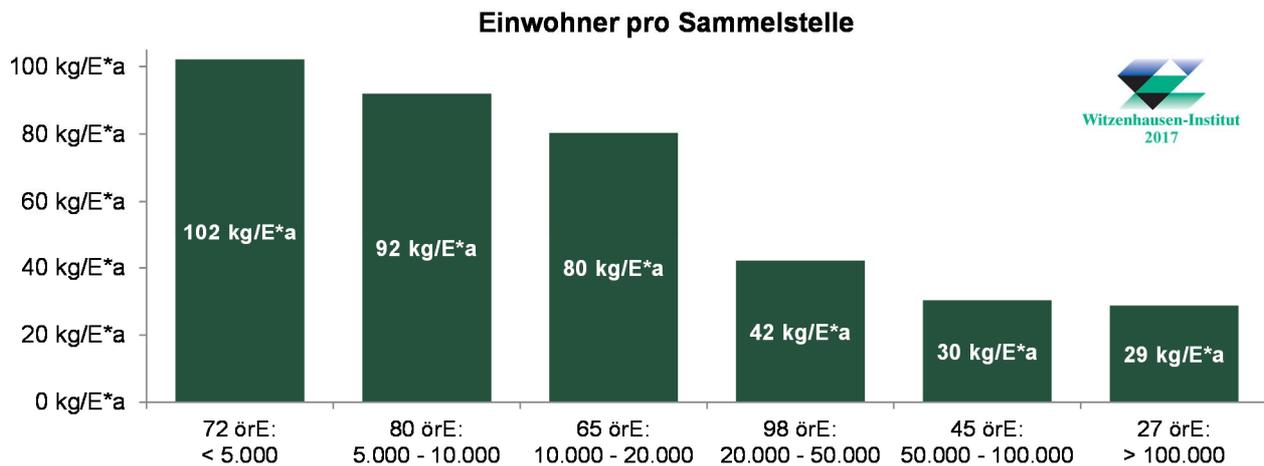


Abb. 19: Durchschnittliche einwohnerspezifische Erfassungsmengen für Grüngut durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Abhängigkeit der Einwohner pro Sammelstelle

6 Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland

Die Aufbereitung und Behandlung von Grüngut hat einen wesentlichen Einfluss auf die Produkte, die am Ende daraus entstehen und damit auch auf die möglichen Verwertungswege dieser Produkte. Ein Aufbereitungspfad, der sich – in unterschiedlichen Variationen – in der Praxis in Deutschland etabliert hat, umfasst zunächst die Zerkleinerung des Grünguts, die anschließende Kompostierung des zerkleinerten Grünguts und eine oder mehrere Siebungen an verschiedenen Stellen im Prozess (z.B. direkt nach der Zerkleinerung oder nach der Kompostierung), um eine Klassierung des Materials nach Korngrößen vornehmen zu können (Abb. 20).

Produkte bzw. Zwischenprodukte, die an unterschiedlichen Stellen des Prozesses ausgeschleust werden können, umfassen:

- Kompost als Hauptprodukt (stoffliche Nutzung)
- Strukturmaterial, das zur Biogutkompostierung (stoffliche Nutzung) bzw. -vergärung (energetische Nutzung) zugegeben wird
- Holziger Siebüberlauf, der als Brennstoff (energetische Nutzung) oder Mulchmaterial (stoffliche Nutzung) verwendet werden kann oder nach einer Nachzerkleinerung wieder in den Aufbereitungspfad rückgeführt wird

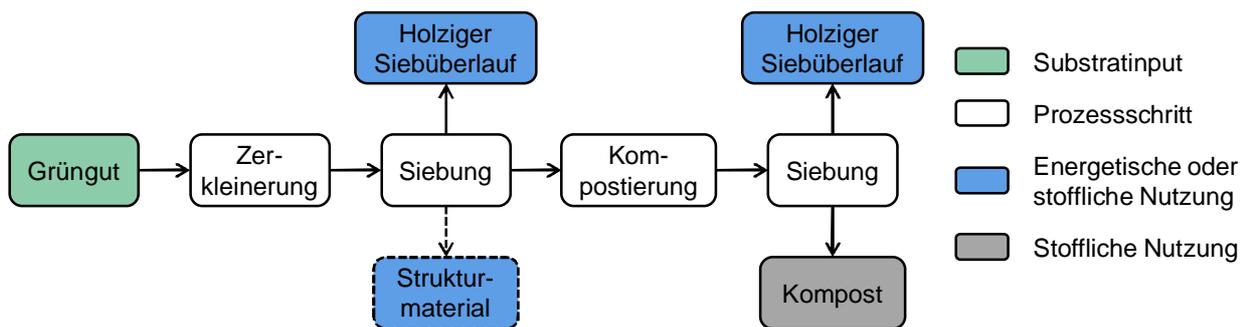


Abb. 20: Schematischer Stoffstrompfad für die Grüngutaufbereitung

Bei der Frage, ob holzige Siebüberläufe energetisch oder stofflich verwertet werden sollten, ist zunächst die Abfallhierarchie aus § 6 KrWG zu beachten, in deren Rangfolge die stoffliche Verwertung der energetischen Verwertung vorrangig ist. Ausgehend von der Rangfolge der Abfallhierarchie soll allerdings die Maßnahme Vorrang haben, die den Schutz von Mensch und Umwelt (darzustellen in einer Ökobilanz) am besten gewährleistet. Eine wichtige Wirkungskategorie einer Ökobilanz ist die THG-Einsparung.

In einer umfangreichen Studie zum Vergleich der unterschiedlichen Verwertungsoptionen für getrennt erfasstes Grüngut kamen Kranert et al. (2008) zu dem Schluss, dass „professionell konfektionierte Grünabfälle mit stark holzigem Charakter“, also holzige Siebüberläufe, hinsichtlich der CO₂-Einsparung einer stofflichen Verwertung teilweise über- und teilweise unterlegen seien, je nachdem, welches Torfprodukt (Mischtorf oder Weißtorf) bei einer stofflichen Verwertung durch den erzeugten Kompost ersetzt werden könne. Sie empfahlen daher, nur holziges Grüngut mit einem minimalen Heizwert von 10-11 MJ/kg Frischmasse (FM) zur energetischen Verwertung einzusetzen, da ab diesem Wert eine Gleichwertigkeit hinsichtlich der CO₂-Einsparung mit der besten stofflichen Verwertung plus Torfersatz gegeben sei. Wenn die Anwendung von Grüngutkomposten nicht zum Ersatz von Torfprodukten führt, fällt die CO₂-Bilanz entsprechend schlechter aus, sodass in diesem Fall eine energetische Verwertung der holzigen

Siebüberläufe mit einem entsprechenden Heizwert von 10-11 MJ/kg FM als höherwertig anzusehen ist.

Somit ist nach der Abfallhierarchie zunächst eine stoffliche Verwertung von holzigen Siebüberläufen der energetischen Verwertung vorzuziehen. Kann aber aufgrund ökobilanzieller Betrachtungen davon ausgegangen werden, dass eine energetische Verwertung dieses speziellen Stoffstroms höherwertiger ist als eine stoffliche Verwertung, so sollte dieser Stoffstrom auch energetisch verwertet werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer Befragung präsentiert, die zum Ziel hatte, die gegenwärtige Situation der Aufbereitung und Verwertung von Grüngut in Deutschland auf den rund 600 Grüngutkompostierungsanlagen in Deutschland näher zu beleuchten. Diese Ergebnisse werden vor dem Hintergrund unterschiedlicher Erkenntnisse zur Aufbereitung und Verwertung von Grüngut bewertet.

6.1 Befragung der öRE zur Grüngutaufbereitung und -verwertung

Für die Umfrage zur gegenwärtigen Situation der Grüngutaufbereitung und -verwertung in Deutschland wurde an alle 387 öRE ein Fragebogen mit Fragen zur Abtrennung und energetischen Verwertung/Vermarktung von holzigen Bestandteilen, aber auch Fragen zur Kompostverwertung verschickt. Insgesamt wurden 118 ausgefüllte Fragebogen zurückgesendet (Rücklaufquote von 31 %), in denen eine Gesamtzahl von 176 Grüngutkompostierungsanlagen beschrieben wurden. Allerdings wurden zu den jeweiligen Fragen nie für alle Anlagen Angaben gemacht, sodass bei der Beschreibung der Befragungsergebnisse im Folgenden immer angegeben ist, für wieviele Anlagen (N) zur der jeweiligen Frage eine Angabe gemacht wurde.

Auf die Frage zur genehmigten Behandlungskapazität auf den jeweiligen Anlagen wurde für 39 Anlagen keine Angabe gemacht. Von den übrigen 137 Anlagen haben über die Hälfte eine genehmigte Behandlungskapazität von weniger als 10.000 Mg/a, ca. ein Sechstel davon sogar von weniger als 5.000 Mg/a (Abb. 21). Knapp die Hälfte der 137 Anlagen weist eine genehmigte Behandlungskapazität von mehr als 10.000 Mg/a auf, ca. 7 % der Anlagen sogar eine Kapazität von mehr als 40.000 Mg/a.

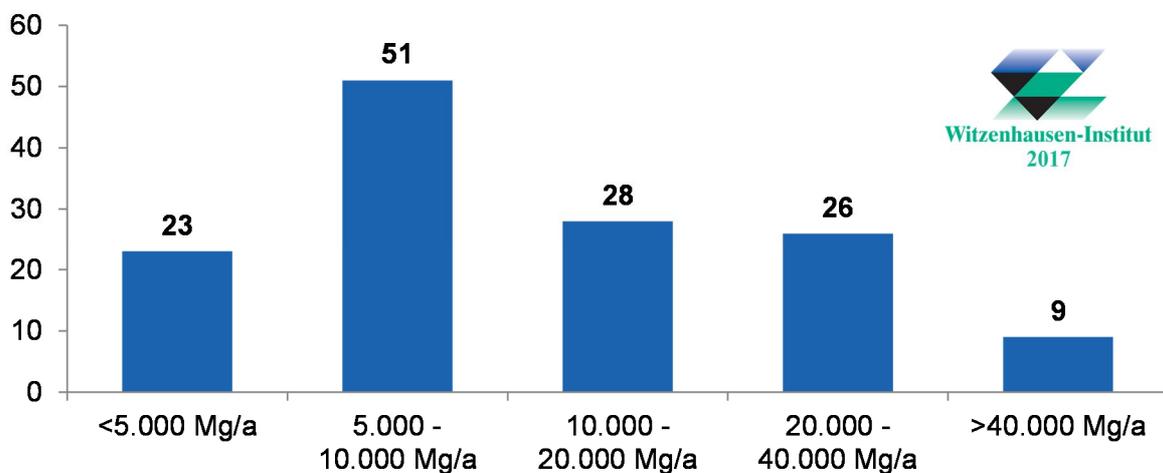


Abb. 21: Genehmigte Behandlungskapazität (Anzahl der Grüngutkompostierungsanlagen in jeder Kapazitätsgrößenklasse, N=137)

Die bauliche Ausführung einer Grüngutkompostierung ist in der Regel einfach gehalten, was durch die Umfrage auch bestätigt wurde. Auf dem überwiegenden Anteil (81 %) der befragten Kompostierungsanlagen findet die Grüngutkompostierung in offen liegenden Mieten statt (Abb. 22). Auf jeweils 6 % der Anlagen findet die Grüngutkompostierung unter Dach bzw. in einer geschlossenen Halle bzw. in einer Kombination verschiedener baulicher Ausführungen statt.

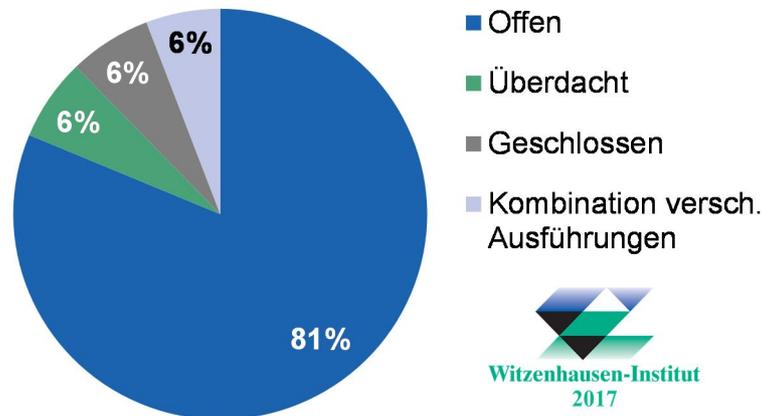


Abb. 22: Bauliche Ausführung der Grüngutkompostierung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=155)

6.2 Grüngutaufbereitung - Ergebnisse der Befragung

Die Aufbereitung des Grünguts dient dazu, das Material für das Kompostierungsverfahren aufzuschließen (Zerkleinerung) und bestimmte Stoffgruppen bzw. Korngrößen für die jeweilige spätere Verwertung aufzukonzentrieren (Siebung).

Für die Zerkleinerung von Grüngut stehen prinzipiell zwei Baugruppen von Zerkleinerern zur Verfügung, Langsamläufer und Schnellläufer, deren spezifische Eigenschaften hier kurz skizziert werden:

Langsamläufer:

- Reißende Beanspruchung des Materials
- 30-40 Umdrehungen pro Minute
- Scherende Beanspruchung des Materials mit nur bedingter Zerkleinerung elastischer, nicht verholzter Bestandteile
 - ↳ höherer Mittelkorn- (Korngröße 20-100 mm) und Überkornanteil (Korngröße >100 mm)

Schnellläufer:

- Schlagende Beanspruchung des Materials
- >100 Umdrehungen pro Minute
- Stärkere Beanspruchung und feinerer Aufschluss des Materials
 - ↳ höherer Feinkornanteil (Korngröße <20 mm)

Die Wahl des Zerkleinerungsaggregats hängt einerseits davon ab, wie der Grüngutinput, der aufbereitet werden soll, vorliegt, also als getrennt erfasstes holziges Grüngut (Ast- und Strauch-

schnitt) oder als Grüngutgemisch (holziges und krautiges), und andererseits davon, welche Verwertung für das Grüngut angestrebt wird.

Soll beispielsweise aus Grüngutgemisch eine grobe, holzige Fraktion abgetrennt werden, die als Brennstoff, aber auch stofflich z.B. als Mulchmaterial genutzt werden kann, empfiehlt sich der Einsatz eines Langsamläufers, nach dessen Einsatz im Vergleich zu einem Schnellläufer deutlich mehr Material als Mittel- und Überkorn vorliegt. Soll das gesamte Grüngutgemisch dagegen einer Kompostierung und/oder einer Nutzung als Strukturmaterial unterzogen werden, so empfiehlt sich der Einsatz eines Schnellläufers. Bei der Zerkleinerung von getrennt erfasstem holzigen Grüngut zur Erzeugung einer Brennstofffraktion empfiehlt sich, je nach Materialbeschaffenheit, u.U. auch der Einsatz eines Schnellläufers, um einen für die Verbrennung unerwünschten Feinanteil auszuschleusen und in der Brennstofffraktion weniger Überlängen und somit eine homogenere Korngrößenverteilung zu erzielen.

Auf knapp einem Viertel der Anlagen (23 %) aus der Umfrage findet die Zerkleinerung des Grünguts ausschließlich mit einem Langsamläufer statt, knapp zwei Drittel (64 %) der Anlagen setzen ausschließlich Schnellläufer ein und die übrigen 13 % der Anlagen verwenden für die Grüngutzerkleinerung sowohl Langsam- als auch Schnellläufer (Abb. 23).

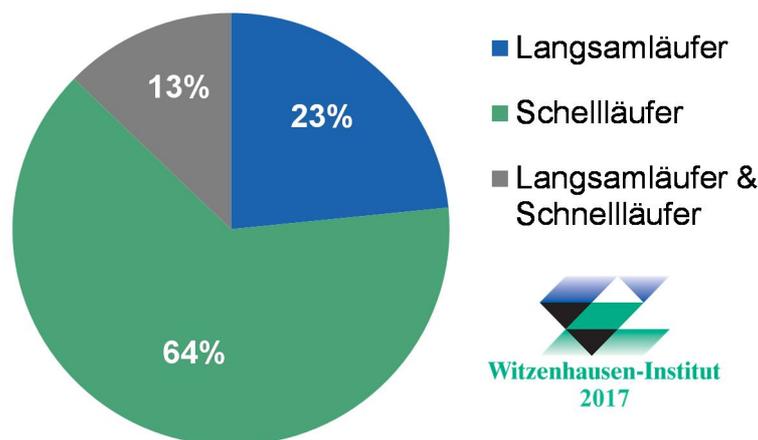


Abb. 23: Zerkleinerungsaggregat für die Grüngut-Aufbereitung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=144)

Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben in der BioAbfV muss im Rahmen der Kompostierung von Grüngut sichergestellt sein, dass im Kompost keine Materialien über 40 mm (Siebmaschenweite) enthalten sind. Somit muss auf jeder Grüngutkompostierungsanlage zumindest eine Absiebung des Komposts stattfinden. Auf manchen Anlagen findet zudem bereits nach der Zerkleinerung des Grüngutinputs eine Absiebung statt. Andere Anlagen wiederum führen eine Mischform durch, bei der der zerkleinerte Grüngutinput zunächst zu einer Vorrotte (biologische Trocknung) aufgesetzt wird, um das Trennergebnis der darauffolgende Absiebung zu verbessern, und nach dieser Absiebung nur das Feinkorn einer Kompostierung unterzogen wird, ohne danach den fertigen Kompost noch einmal abzusieben.

Für die Siebung von Grüngut werden in der Praxis im Wesentlichen zwei Baugruppen von Sieben eingesetzt, Trommelsiebe und Sternsiebe, deren spezifische Eigenschaften hier kurz skizziert werden:

Trommelsieb:

- Exakter Siebschnitt
- Für eine Änderung des Siebschnitts ist ein Wechsel der Trommel erforderlich.
- Feuchteres Material kann unter Umständen verklumpen.
- Zur Bildung von drei Fraktionen sind entweder der Einsatz von zwei Trommelsieben oder von einem Doppeltrommelsieb (Problem der Reinigung der inneren Trommel) notwendig.

Sternsieb:

- Durch Drehzahlveränderung am Siebdeck mit einem Sieb unterschiedliche Siebschnitte darstellbar
- Weniger exakter Siebschnitt
- Geringere Anfälligkeit für feuchtes Material
- Höhere Durchsatzleistung im Vergleich zum Trommelsieb bei einer Maschine mit vergleichbarer Aufstellfläche
- Bildung von drei Fraktionen durch zwei Siebdecks in einer Maschine als gängige Praxis

Im Rahmen der Umfrage gaben 19 % der Anlagen an, ein Sternsieb für die Grüngut- bzw. Grüngutkompostaufbereitung zu verwenden, 64 % der Anlagen nutzen dafür ein Trommelsieb und bei 17 % der Anlagen sind mehrere unterschiedliche Siebaggregate im Einsatz (Abb. 24).

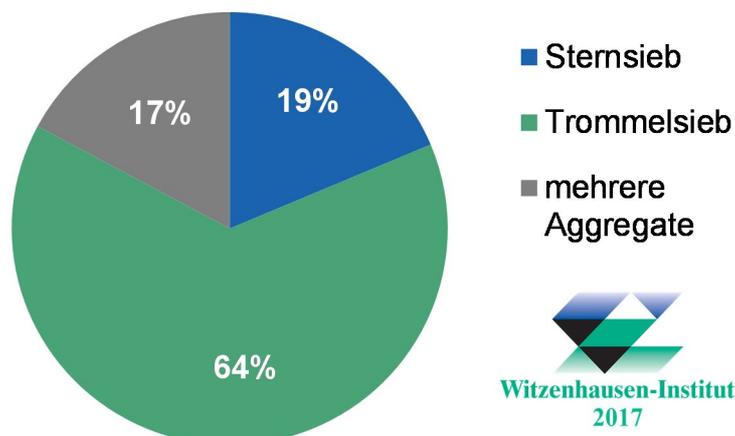


Abb. 24: Verwendete Siebaggregate für die Grüngutaufbereitung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=134)

6.3 Grüngutverwertung - Ergebnisse der Befragung

Die im Rahmen der Siebvorgänge entstehenden Siebüberläufe haben in der Regel einen hohen Holzanteil und können energetisch als Brennstoff genutzt werden. Allerdings steht diese Nutzung im Zielkonflikt mit einer stofflichen Nutzung der Siebüberläufe im Kompostierungsprozess nach einer erforderlichen Nachzerkleinerung und damit auch in Konflikt mit der Abfallhierarchie, nach der prinzipiell eine stoffliche Verwertung Vorrang vor einer energetischen Verwertung hat. Dieser Vorrang gilt allerdings nicht, wenn die nachrangige Maßnahme den Schutz von Mensch und Umwelt unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus des Abfalls besser gewährleistet als die vorrangige Maßnahme.

Die Bewertung von Lebenszyklen sind stark abhängig von den Annahmen, die für die Berechnungsparameter getroffen werden, und ebenso für die Vergleichssysteme, die zugrunde gelegt werden. Somit sind pauschale Aussagen zur Höherwertigkeit der einen oder anderen Verwertungsoption von Holzigen Siebüberläufen aus dem Prozess der Grüngutaufbereitung mit Unsicherheit behaftet.

In der Umfrage geben knapp drei Viertel (72 %) der befragten Anlagen an, dass der Siebüberlauf aus der Grüngut- bzw. Grüngutkompostabsiebung als Brennstoff genutzt wird, während auf 28 % der Anlagen die Siebüberläufe anderweitig genutzt werden (Abb. 25). Diese als Brennstoff genutzten Siebüberläufe stammen teils aus getrennt erfasstem Holzigen Grüngut (17 % aller Anlagen), teils sowohl aus getrennt erfasstem Holzigen Grüngut als auch aus Grüngutgemisch (14 % aller Anlagen) und zum überwiegenden Teil nur aus Grüngutgemisch (41 % aller Anlagen).

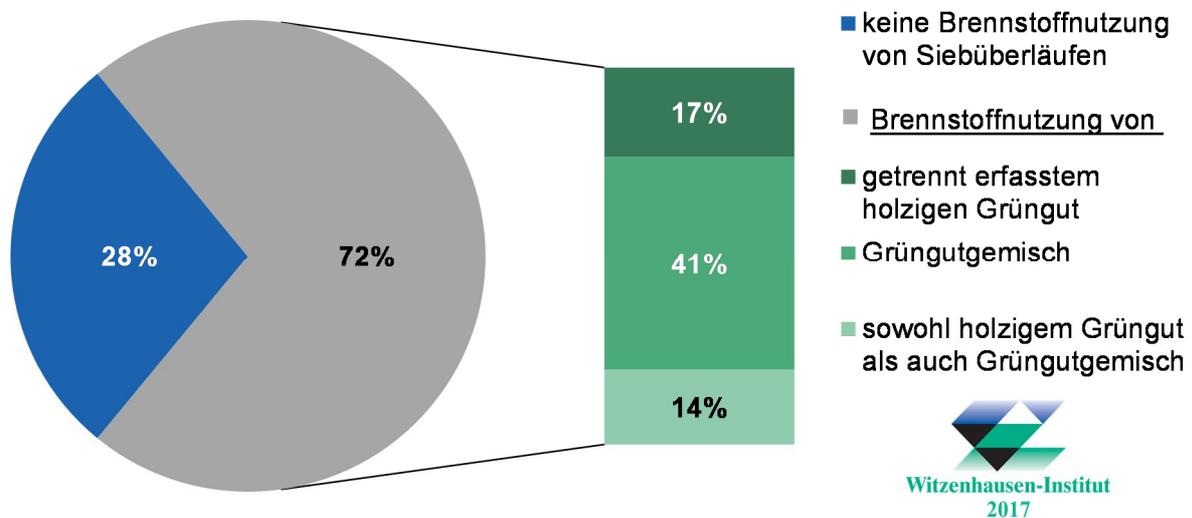


Abb. 25: Brennstoffnutzung von Siebüberläufen bei der Aufbereitung von Grüngut (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=167)

Durchschnittlich werden auf den Anlagen, die Brennstoff aus Siebüberläufen herstellen, insgesamt ca. 18 % des Grüngutinputs entweder vor und/oder nach der Kompostierung abgesiebt und anschließend als Brennstoff verwertet (Abb. 26). Dabei ist eine sehr große Spannweite zwischen den einzelnen Anlagen erkennbar, sodass auf einem Viertel der Anlagen weniger als 10 % des Grüngutinputs als Brennstoff abgesiebt werden, während es bei einem Fünftel der Anlagen mehr als 30 % sind.

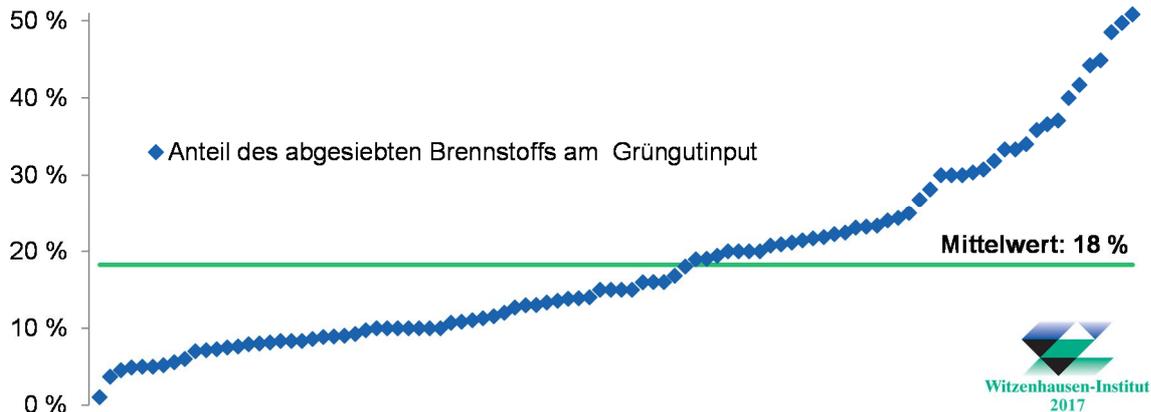


Abb. 26: Anteil des abgesiebten Brennstoffs am Grüngutinput (jeder Datenpunkt repräsentiert eine der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=98)

Dieser Mittelwert von 18 % wurde auch für die Berechnung des Ist-Stands der Grüngutentsorgung (siehe Kapitel 3.2) verwendet und bildet damit die Grundlage für die Berechnung der Kompost-, Energie- und Treibhausgaseinsparpotenziale (siehe Kapitel 3.7) sowie der Zukunftsszenarien der Getrennterfassung von Grüngut (siehe Kapitel 3.8).

Würde statt den für die Berechnungen verwendeten 18 % nur 9 % oder gar 0 % der Holzigen Siebüberläufe als Brennstoff genutzt und der übrige Teil der Holzigen Siebüberläufe stattdessen so zerkleinert werden, dass sie im Rahmen der Kompostierung und Kompostkonfektionierung zu Kompost werden würden, so würden die erzeugten Kompostmengen um ca. 7 % bzw. ca. 14 % steigen. Allerdings würde durch den Wegfall des Holzigen Brennstoffs in der Gesamtbetrachtung aller Grüngutverwertungswege ca. ein Drittel bzw. zwei Drittel weniger Strom produziert werden, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Gesamteinsparung an THG und KEA fossil. Die Einsparungen beider Parameter würden sich sowohl bei einem vollständigen Wegfall der Brennstoffherzeugung als auch bei einer Halbierung der erzeugten Brennstoffmengen deutlich reduzieren.

Durch die erhöhte stoffliche Nutzung der Holzigen Siebüberläufe und die Erzeugung von mehr Kompost könnten zwar mehr Nährstoffe wieder den Böden zugeführt und somit Ressourcen, vor allem die wichtige Ressource Phosphor, geschont werden, allerdings sind die Gehalte an Nährstoffen in den Holzigen Grüngutbestandteilen verglichen mit den krautigen Bestandteilen deutlich geringer.

Zwei Drittel des abgesiebten Grüngut-Brennstoffs von den Anlagen, die Angaben zur Brennstoffvermarktung gemacht haben, werden direkt an BMHKW vermarktet und dort verwertet, 22 % werden über den Brennstoffhandel vermarktet, 7 % werden in reinen Heizanlagen (ohne Stromerzeugung) verwertet und 5 % gehen über mehrere Wege in die energetische Verwertung (Abb. 27).

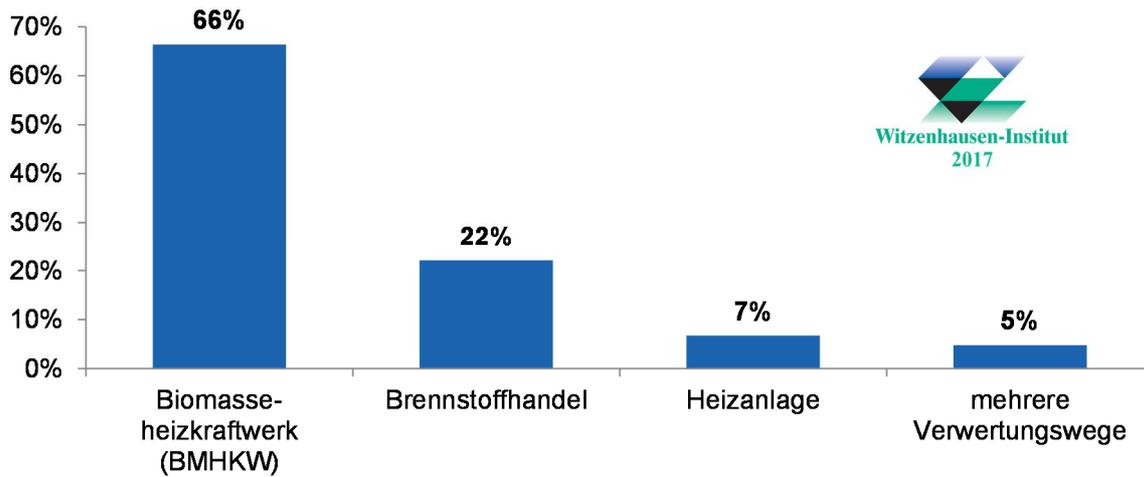


Abb. 27: Verwertung des Brennstoffs aus abgeseibtem Grüngut (Anteil in % des produzierten Brennstoffs als Mittelwert der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=104)

Für Brennstoffe aus Grüngut existiert keine bundesweit einheitliche Einstufung bezüglich ihrer Abfalleigenschaft (siehe Kapitel 4.3). Daher kann keine pauschale Aussage darüber getroffen werden, ob diese Brennstoffe nur in Feuerungsanlagen verbrannt werden dürfen, die nach der 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) genehmigt sind oder auch in solchen Anlagen, die nur für die Verbrennung naturbelassener Hölzer zugelassen sind. Darüber hinaus setzen Betreiber von z.B. BMHKW Qualitätsanforderungen für die von Ihnen verwendeten Brennstoffe fest, denen die Brennstoffe aus Grüngut, die häufig qualitativ schlechter sind als beispielsweise Waldhackschnitzel, entsprechen müssen. Aus diesen Gründen ergeben sich Überlegungen zu einer Zertifizierung/Gütesicherung von Brennstoffen aus Grüngut-Siebüberläufen. Dadurch würde einerseits die Vermarktung dieser Brennstoffe an die entsprechenden Feuerungsanlagen vereinfacht werden, andererseits würde aber auch ein Qualitätsnachweis erbracht werden, auf dessen Grundlage die Brennstoffe ihre Abfalleigenschaft verlieren könnten.

Auf die Frage, ob ein Interesse an einer Zertifizierung/Gütesicherung von Brennstoffen aus Grüngut-Siebüberläufen bestünde, antwortete der überwiegende Teil der Anlagenbetreiber (85 %) mit „Nein“, während 15 % der Anlagenbetreiber Interesse an einer solchen Gütesicherung hätten (Abb. 28).

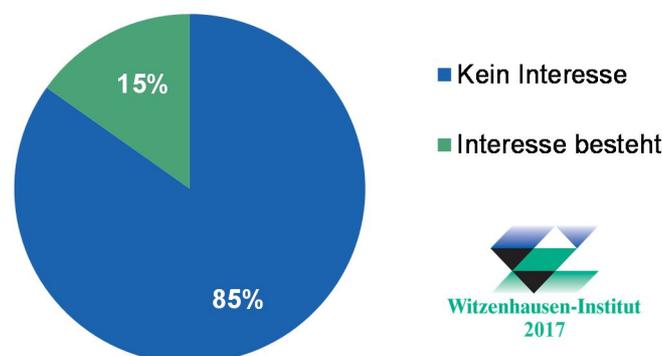
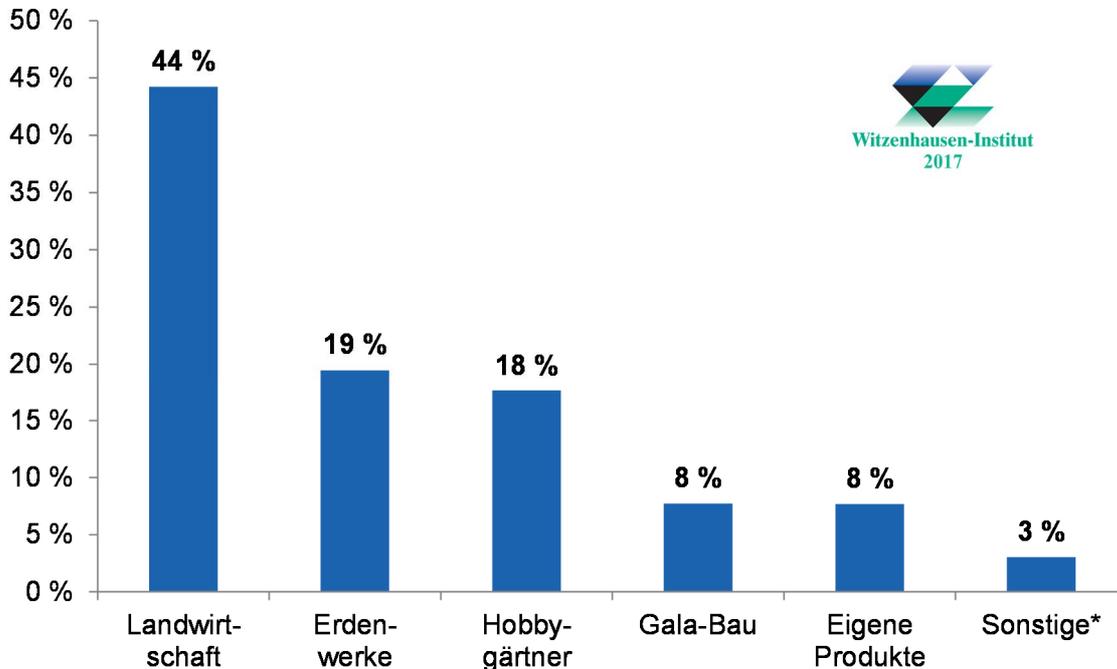


Abb. 28: Abfrage des Interesses an einer Zertifizierung/Gütesicherung von Brennstoffen aus Grüngut-Siebüberläufen (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=112)

Neben der Verwertung holziger Siebüberläufe als Brennstoff wurden auch die Pfade der stofflichen Nutzung in der Umfrage thematisiert. 134 Anlagen machten diesbezüglich eine Angabe. Im Mittel dieser 134 Anlagen werden 44 % der erzeugten Kompostmengen direkt in der Landwirtschaft verwertet, 19 % werden an Erdenwerke vermarktet, 18 % werden von Hobbygärtnern eingesetzt, 8 % gehen in den Garten- und Landschaftsbau (Gala-Bau), ebenfalls 8 % werden für eigene Erdenprodukte genutzt und 3 % werden über sonstige Pfade verwertet (Abb. 29).



* **Baumschulen, Oberbodenmischung, Handel, Klärschlammverwertungsanlagen, kommunale Maßnahmen, Landschaftspflege, Rekultivierungsmaßnahmen, Straßenbau**

Abb. 29: Verwertungswege für Grüngut-Kompost (Anteil in % des produzierten Komposts als Mittelwert der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=134)

Rund die Hälfte der Anlagen, die keine Brennstoffnutzung von Siebüberläufen durchführen, geben an, Grüngut als Strukturmaterial für die Vergärung von Biogut zu verwenden.

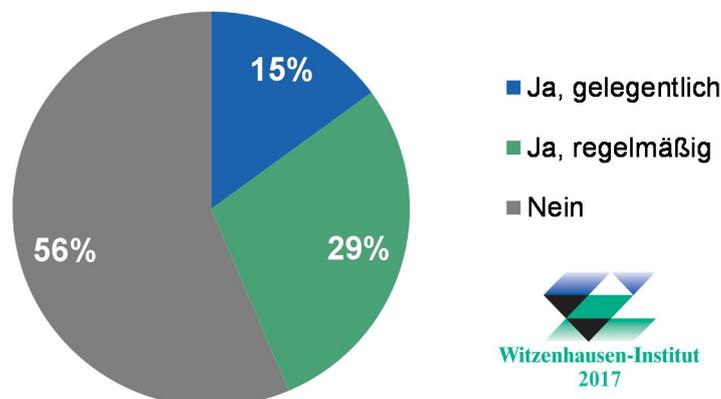


Abb. 30: Nutzung von Grüngut als Strukturmaterial für die Biogutverwertung (Anteil in % der Grüngutkompostierungsanlagen mit einer Angabe zu dieser Frage, N=161)

7 Optimierung der Qualität von Brennstoffen aus Grüngut

7.1 Praxisversuche zur Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung

Um verschiedene Faktoren mit praxisrelevantem Einfluss auf die Erzeugung und Verwertung von Brennstoffen aus Grüngut im Rahmen der Grüngutbehandlung zu bewerten, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Praxisversuche und Analysen auf drei Grüngutbehandlungsanlagen mit unterschiedlichen Verwertungskonzepten durchgeführt. Betreiber dieser Anlagen waren jeweils die zuständigen öRE. Die drei Konzepte werden im Folgenden kurz skizziert.

Vollständig externe Brennstoffverwertung

Bei Anlage 1 handelt es sich um eine zweistufige Grüngutaufbereitung, bei der die abgetrennten Brennstofffraktionen vollständig extern verwertet werden (Abb. 31). Das frische Grüngut wird einer Aufbereitungsstrecke zugeführt, wo es zunächst mit einem Langsamläufer zerkleinert und anschließend direkt mit einem Sternsieb in zwei Fraktionen, Feinkorn (0-80 mm) und Überkorn (>80 mm), aufgetrennt wird. Das Überkorn wird als Brennstoff an ein BMHKW vermarktet.

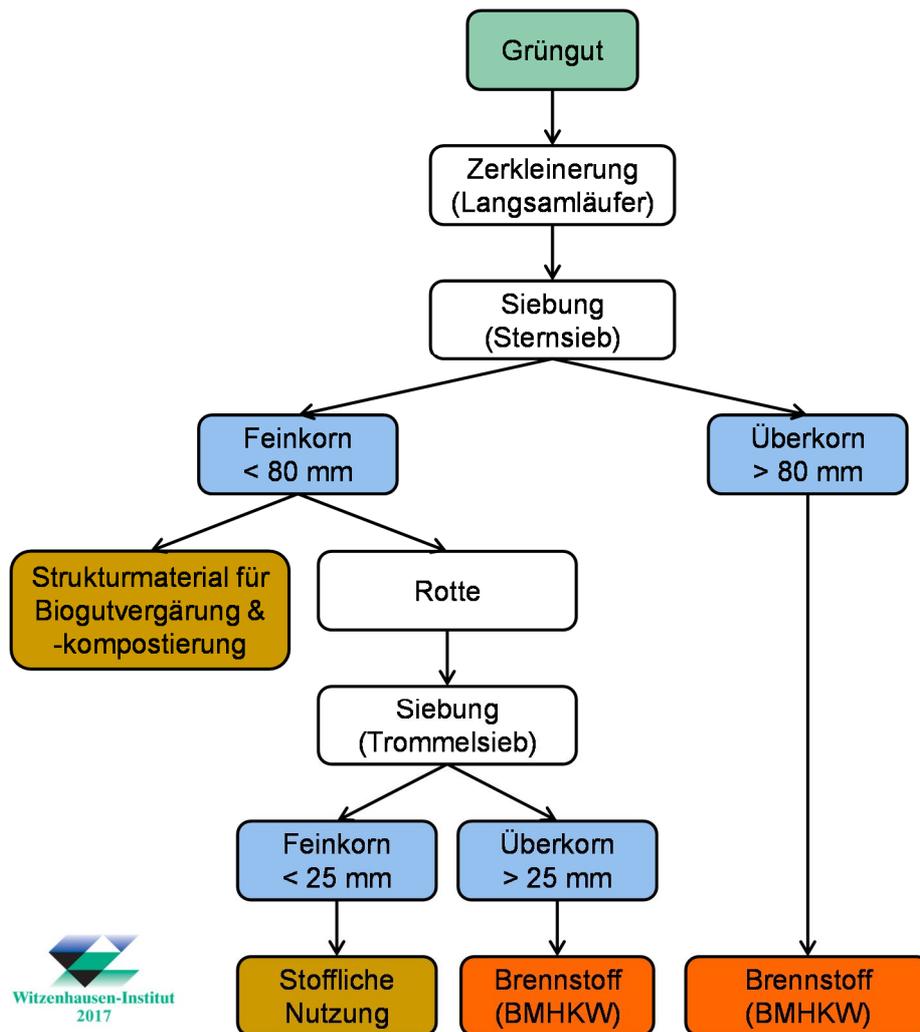


Abb. 31: Verfahrensschema der Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung auf Anlage 1

Das Feinkorn wird zu einem Großteil zur Rotte aufgesetzt und zu einem kleineren Teil als Strukturmaterial für die Vergärung bzw. Kompostierung von Biogut verwendet. Das angerottete Feinkorn wird nach ca. 4-6 Wochen mit einem Trommelsieb in zwei Fraktionen, Rotte-Feinkorn (0-25 mm) und Rotte-Überkorn (25-80 mm), aufgetrennt. Auch das Rotte-Überkorn wird an ein BMHKW vermarktet, jedoch an ein anderes als das Überkorn aus der ersten Absiebung des frischen Grünguts.

Teils externe, teils interne Brennstoffverwertung:

Anlage 2 verfügt über ein mehrstufiges Konzept der Grüngutaufbereitung, bei dem die erzeugten Brennstoffe teils extern und teils intern verwertet werden (Abb. 32). Das frische Grüngut wird mit einem Langsamläufer zerkleinert und zu einer Miete aufgesetzt. Nach einer Rottezeit von 4-6 Wochen findet eine Absiebung des Materials mit einem Sternsieb in drei Fraktionen statt, Feinkorn (0-20 mm), Mittelkorn (20-80 mm) und Überkorn (>80 mm).

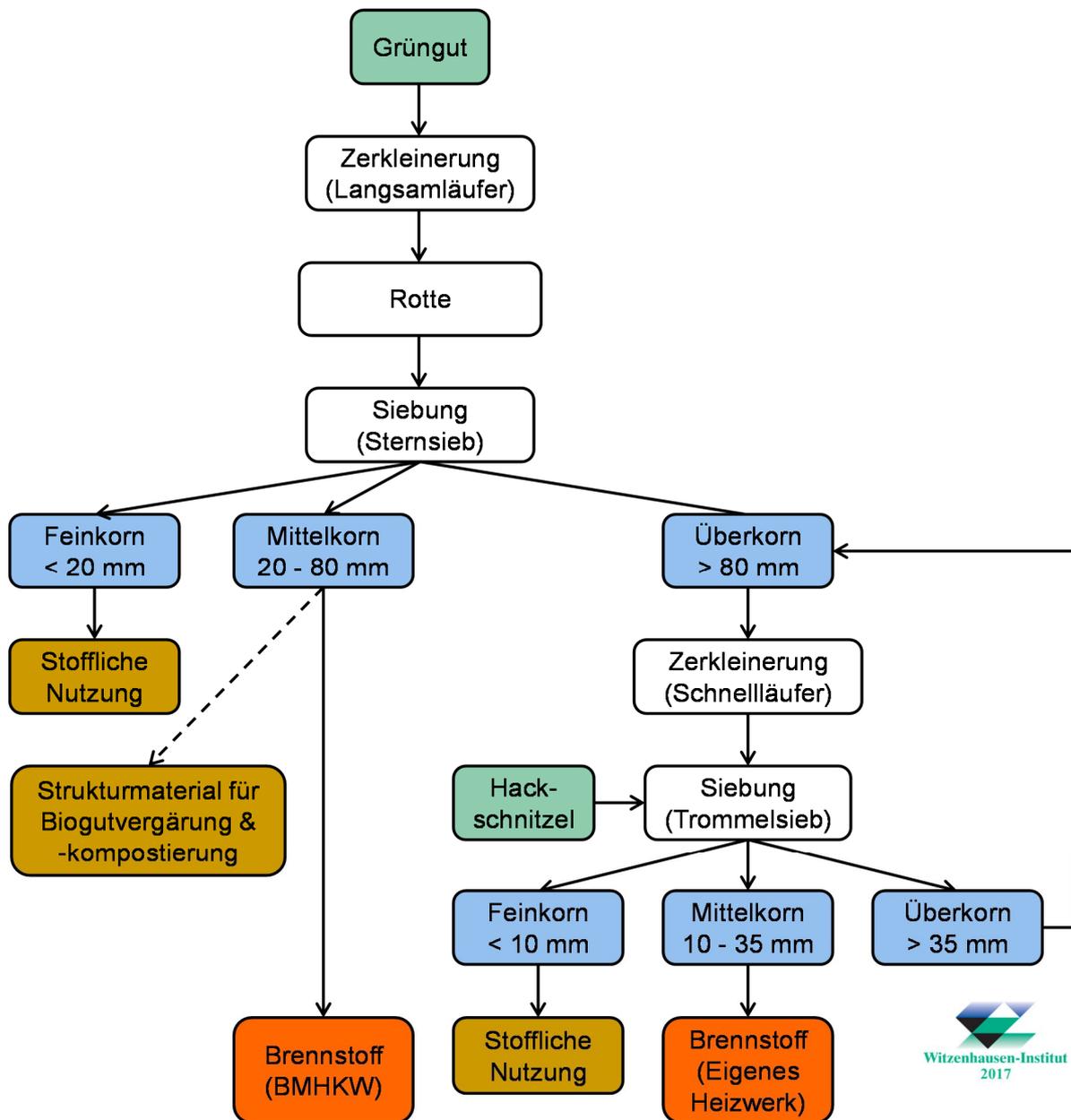


Abb. 32: Verfahrensschema der Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung auf Anlage 2

Das Mittelkorn wird an ein BMHKW vermarktet. Das Überkorn wird erneut mit einem Schnellläufer zerkleinert und nach einer Zumischung von Hackschnitzeln mit einem Trommelsieb in drei Fraktionen aufgetrennt, Mischungs-Feinkorn (0-10 mm), Mischungs-Mittelkorn (10-35 mm) und Mischungs-Überkorn (>35 mm). Das Mischungs-Mittelkorn wird als Brennstoff in einem eigenen Heizwerk verwertet, während das Mischungs-Überkorn wieder dem Überkorn zugeführt wird.

Vollständig interne Brennstoffverwertung:

Das Konzept von Anlage 3 sieht vor, das Grüngut in einer Stufe aufzubereiten und die abgetrennte Brennstofffraktion vollständig intern zu verwerten (Abb. 33). Das frische Grüngut wird mit einem Langsamläufer zerkleinert und zu einer Miete aufgesetzt. Nach einer Rottezeit von 4-6 Wochen findet eine Absiebung des Materials mit einem Sternsieb in drei Fraktionen statt, Feinkorn (0-20 mm), Mittelkorn (20-100 mm) und Überkorn (>100 mm). Das Mittelkorn (20-100 mm) wird als Brennstoff in mehreren eigenen Heizanlagen verwertet, während das Überkorn wieder dem Grüngut zur Zerkleinerung zugeführt wird.

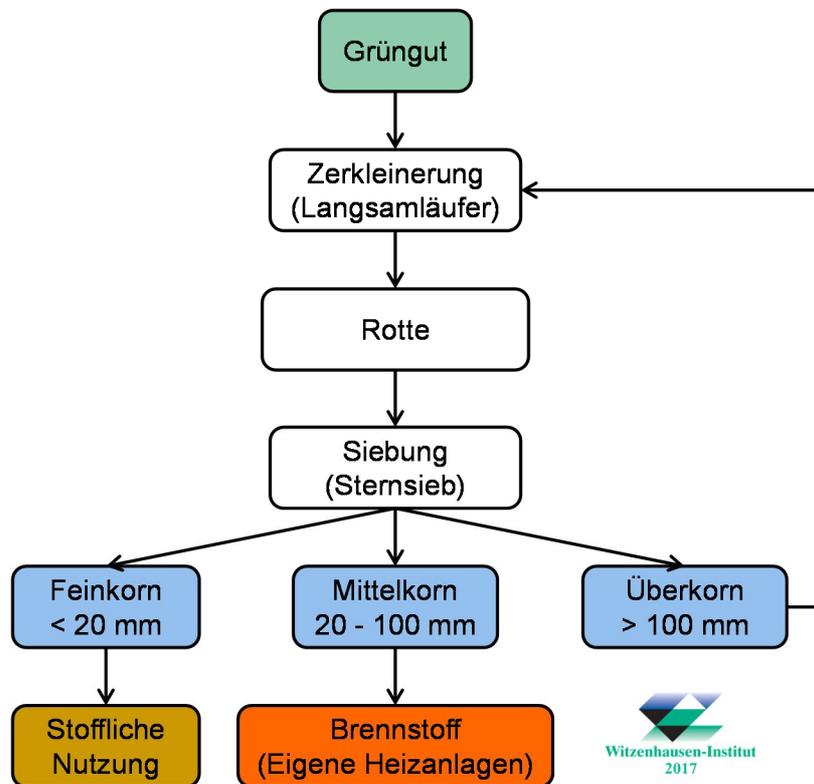


Abb. 33: Verfahrensschema der Grüngutaufbereitung und Brennstoffabtrennung auf Anlage 3

7.2 Ergebnisse der Untersuchungen

Auf jeder der drei Anlagen wurden im Rahmen der Praxisversuche im Laufe eines Jahres vier Probenahmen bei der Absiebung des Grünguts durchgeführt. Dabei wurde zum einen die Verteilung des Siebinputs auf die abgeseibten Fraktionen in Masse-% bestimmt. Zum anderen wurden die Brennstofffraktionen labortechnisch analysiert und der Heizwert sowie die Gehalte an Asche, Stickstoff, Schwefel, Chlor, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink bestimmt.

Abb. 34 zeigt die massebezogene Verteilung der Siebfraktionen im Vergleich der drei Anlagen und der vier Zeiträume im Jahr, zu denen das Grüngut gesammelt wurde. Im Gegensatz zu den Anlagen 2 und 3, wo durch die Siebungen ein Feinkorn, ein Mittelkorn und ein Überkorn erzeugt wurden, wurde bei Anlage 1 zunächst nur ein Überkorn und ein Feinkorn durch die Siebung erzeugt, wobei vom Feinkorn nach einer Rottephase nochmals ein Rotte-Überkorn (Rotte-ÜK) abgesiebt wurde.

Bei den Anlagen 1 und 3 schwankte die Verteilung der Fraktionen im Jahrgang nur unwesentlich, sodass keine Tendenz für einen deutlichen Zusammenhang zwischen Jahreszeit und Verteilung der Fraktionen erkennbar war. Die Wetterlage, v.a. Niederschläge in der unmittelbaren Zeit vor dem Absieben des Grünguts, hatte vermutlich einen größeren Einfluss auf die Verteilung der einzelnen Fraktionen bei der Siebung als die Jahreszeit, in der das Grüngut gesammelt wurde.

Bei Anlage 2 zeigten sich jedoch deutliche Schwankungen im Jahrgang, sodass das Feinkorn beim baum- und strauschnittreichen Frühlingmaterial nur einen Anteil von 50 Masse-% aufwies, während beim sehr laubreichen Herbstmaterial ein Feinkornanteil von 73 Masse-% gemessen wurde.

Offensichtlich bestand ein gewisser Einfluss der Zusammensetzung des Grüngutmaterials, die sich im Jahrgang unterschied, auf die Verteilung der Siebfraktionen. Dieser Einfluss war aber augenscheinlich geringer als der Einfluss des unterschiedlichen Aufbereitungsprozesses, da sich das Grüngut auf den drei Anlagen zu jeder gegebenen Jahreszeit in einer optischen Bewertung nicht signifikant voneinander unterschied, aber dennoch deutliche Unterschiede in der Verteilung der Siebfraktionen auftraten.

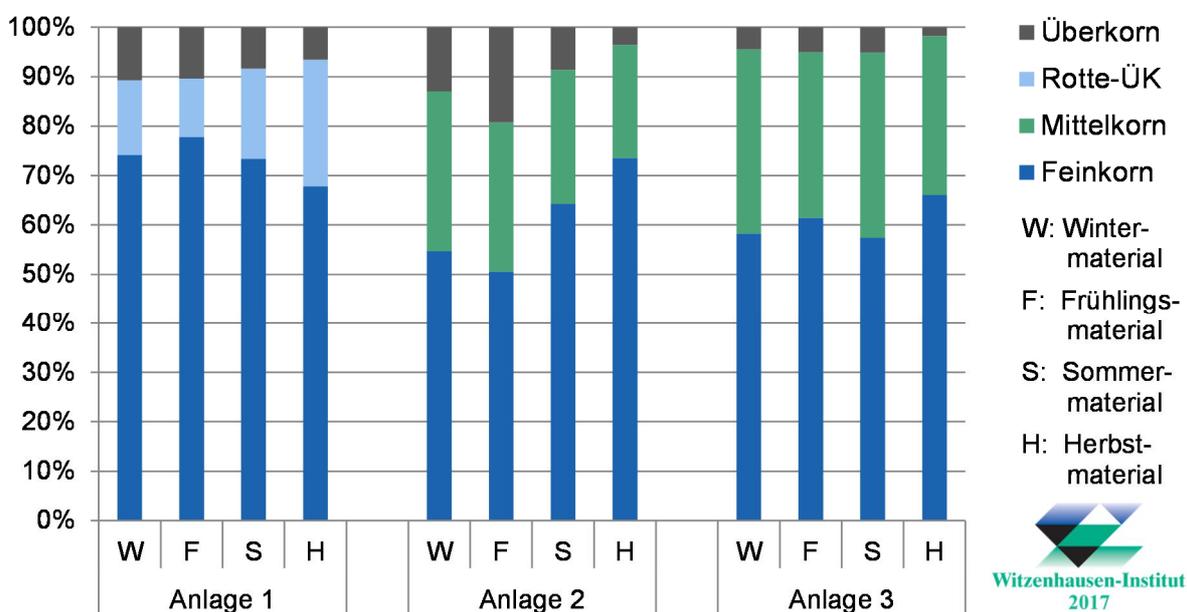


Abb. 34: Verteilung der Siebfraktionen in Masse-% bezogen auf den Siebinput bei der Siebung von Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen

Im Sinne einer Teilnutzung des Abfallstoffs Grüngut als Brennstoff zur regenerativen Wärmezeugung ist es von Interesse, welcher Anteil des Grünguts bei der Aufbereitung insgesamt als Brennstoff abgetrennt wird. Bei den hier betrachteten drei Konzepten bewegten sich die Brennstoffanteile über das Jahr hinweg zwischen 20 und 50 % des Siebinputs, allerdings ohne Berücksichtigung der Masseverluste, die bereits vor der Siebung während der Rotte auftraten (Abb. 35, links).

In Anlage 1 lagen die Brennstoffanteile mit Ausnahme vom Herbstmaterial bei ca. 25 % und waren damit im Vergleich der Anlagen am geringsten. In Anlage 2 waren die Brennstoffanteile beim Winter- und Frühlingsmaterial mit bis zu 50 % insgesamt am höchsten, lagen aber beim Herbstmaterial nur noch bei 25 %. Die Brennstoffanteile in Anlage 3 lagen das ganze Jahr über bei ca. 35 % des Siebinputs.

Mit der Annahme eines durchschnittlichen Masseverlusts von ca. 40 % während der Rotte ließen sich die Brennstoffanteile am frischen Grüngut abschätzen. Diese bewegten sich über das Jahr und alle drei Anlagen hinweg zwischen 15 und 30 % und lagen damit etwas höher als der in der Umfrage unter 98 Anlagen für ganz Deutschland (siehe Kapitel 6.3) errechnete Mittelwert von 18 % (Abb. 35, rechts).

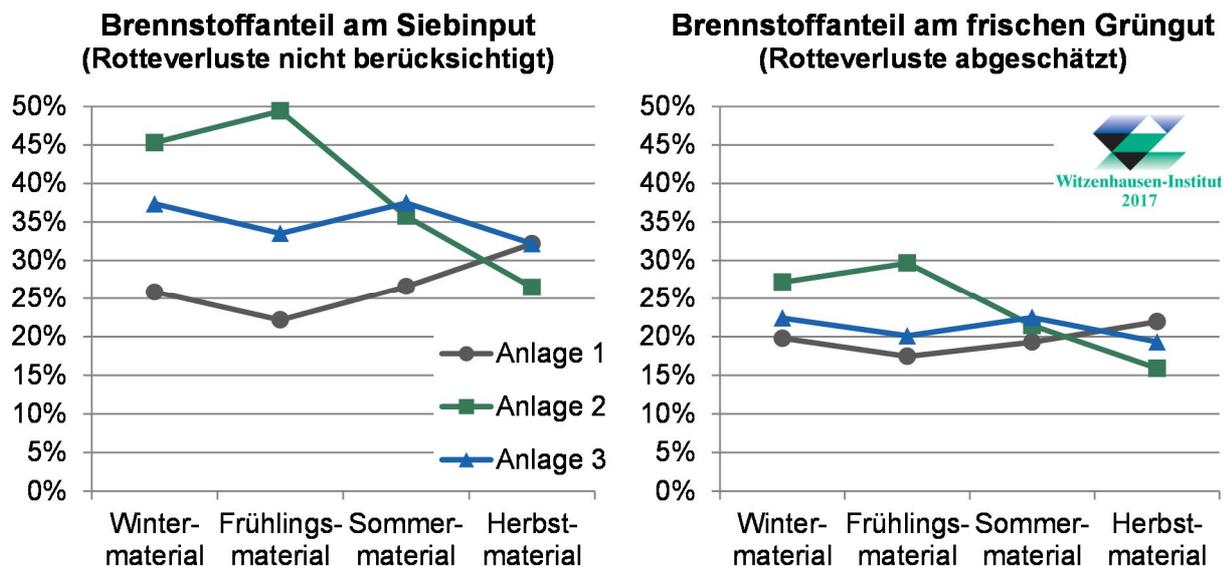


Abb. 35: Brennstoffanteile in Massen-% am Siebinput (links) und am frischen Grüngut (rechts) zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen

Der Trockenmassegehalt der unterschiedlichen Brennstoffe lag über alle Anlagen und Jahreszeiten betrachtet zwischen ca. 50 und 85 % der FM und folgte insgesamt keinem klar erkennbaren Jahrgang (Abb. 36).

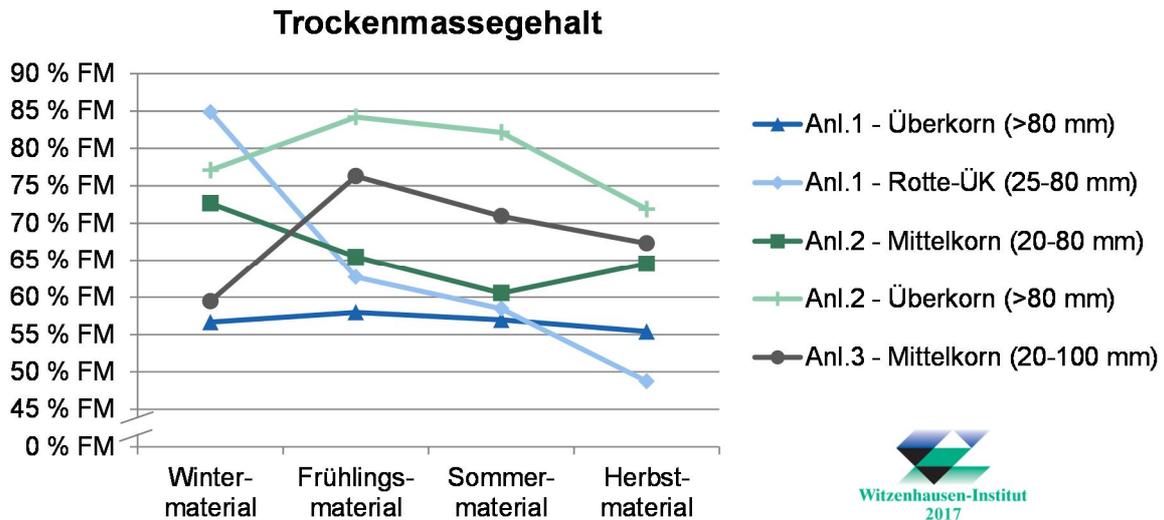


Abb. 36: Trockenmassegehalte in der Frischmasse (FM) der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen

Bei den Überkorn-Fractionen wies das Überkorn von Anlage 2, das aus angerottetem Grüngut abgeseibt wurde, deutlich höhere Trockenmassegehalte auf als das aus frischem Grüngut abgeseibte Überkorn von Anlage 1. Bei den Mittelkorn-Fractionen waren die Trockenmassegehalte im Mittelkorn von Anlage 3 mit nach oben erweitertem Kornspektrum (20-100 mm) höher als im Mittelkorn von Anlage 2 (20-80 mm).

Der Aschegehalt der unterschiedlichen Brennstoffe bewegte sich über alle Anlagen und Jahreszeiten hinweg zwischen ca. 2 und 16 % der Trockenmasse (TM) und folgte wie der Trockenmassegehalt keinem klar erkennbaren Jahresgang (Abb. 37). Tendenziell war der Aschegehalt im Winter- und Frühlingsmaterial etwas geringer als im Sommer- und Herbstmaterial, jedoch nicht bei allen Brennstoffen.

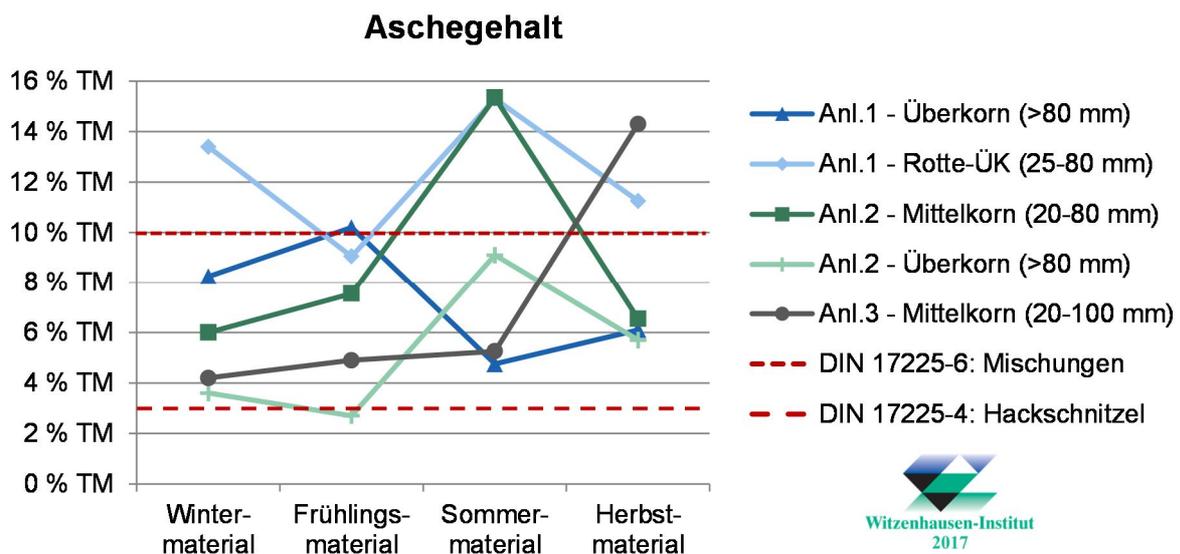


Abb. 37: Aschegehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Der in der DIN EN ISO 17225-4 für Holzhackschnitzel aus Wald- und Plantagenholz sowie anderem naturbelassenen Holz (Kategorie B) geforderte Aschegehalt von <3 % TM wurde nur einmal (Überkorn aus Frühlingsmaterial in Anlage 2) eingehalten. Das Überkorn von Anlage 2 wies im Mittel über das Jahr hinweg den geringsten Aschegehalt auf.

Da die hier untersuchten Brennstoffe aus zerkleinertem und abgesiebttem Grüngut jedoch weder genormten Hackschnitzeln gleichen, noch ausschließlich verholzte Bestandteile enthalten, sondern einem ungleichförmigen Schreddergut mit hohen Anteilen von Rinde und nicht verholzten Bestandteilen entsprechen, ist für den Bezug zu einer Norm eher die DIN EN ISO 17225-6 für biogene Festbrennstoffe aus definierten und undefinierten Mischungen von Biomasse anzuwenden. Diese fordert in der Kategorie B einen Aschegehalt von <10 % TM, der von der überwiegenden Zahl der hier untersuchten Brennstoffe eingehalten wurde.

Auch der Heizwert der untersuchten Brennstoffe folgte keinem klaren Jahresgang und lag in einer Spannweite von 4,2-5,0 kWh/kg TM bzw. 15,1-18,0 MJ/kg TM (Abb. 38). Damit erfüllten alle Brennstoffe die Anforderungen an einen Mindestheizwert aus der DIN EN ISO 17225-6. Den im Mittel über das Jahr hinweg höchsten Heizwert erreichte das Überkorn von Anlage 2.

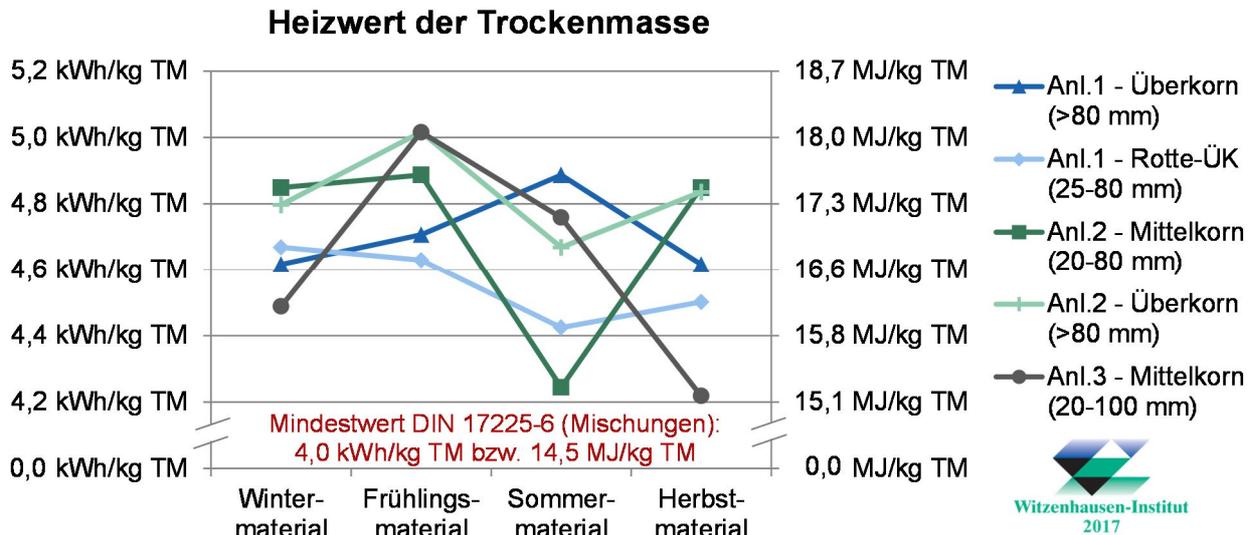


Abb. 38: Heizwerte bezogen auf die Trockenmasse (TM) der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen

Für die praktische Nutzung der Brennstoffe in einer Feuerungsanlage ist weniger der auf die TM bezogene Heizwert von Interesse, sondern eher der auf die FM bezogene Heizwert, da dieser stark vom aktuellen Wassergehalt des Brennstoffs abhängig ist. Nach Kaltschmitt und Hartmann (2001) lässt sich der Heizwert der FM aus dem Heizwert der TM nach folgender Formel berechnen:

$$\text{Heizwert}_{\text{FM}} = \text{Heizwert}_{\text{TM}} \cdot \text{TM-Gehalt} - 2,44 \cdot \text{Wassergehalt}$$

Auf die Heizwerte der vorliegenden Proben angewendet ergaben sich mit dieser Formel die in Abb. 39 dargestellten Heizwerte der Frischmasse. Hierbei zeigt sich wiederum kein für alle Brennstoffe relevanter eindeutiger Jahresgang, aber eine klarere Differenzierung zwischen den einzelnen Brennstoffen. So lag der Wert des Überkorns von Anlage 2 über das gesamte Jahr hinweg bei über 2,8 kWh/kg FM bzw. 10 MJ/kg FM, einem Wert der nach Kranert et al. (2008) für eine energetische Verwertung von Grüngut unter dem Aspekt einer effizienten CO₂-

Einsparung nicht unterschritten werden sollte (siehe Kapitel 6). Die anderen Brennstoffe übertrafen diesen Wert nur mit Wintermaterial (Rotte-Überkorn von Anlage 1 und Mittelkorn von Anlage 2) oder Frühlingsmaterial (Mittelkorn von Anlage 3).

Ein typischer minimaler Heizwert in den Anforderungen an Brennstoffe für BMHKW aus der Praxis liegt etwas niedriger zwischen 1,6 und 2 kWh/kg FM bzw. zwischen 5,7 und 7,2 MJ/kg FM, also im Mittel bei 1,8 kWh/kg FM bzw. 6,5 MJ/kg FM. Dieser Wert wurde in den Brennstoffen aus Mittelkorn von den Anlagen 2 und 3 mit starken Schwankungen über das Jahr hinweg immer erreicht bzw. nur ganz knapp unterschritten, während das Überkorn von Anlage 1 über das Jahr hinweg einen relativ konstanten Wert aufwies, der aber nur zwischen 1,5 und 1,8 kWh/kg FM bzw. zwischen 5,4 und 6,5 MJ/kg FM lag.

Für einen Einsatz in einem typischen BMHKW und noch stärker für eine im Vergleich zur stofflichen Nutzung (Kompostierung) effizientere energetische Verwertung im Hinblick auf die CO₂-Einsparung sollten die meisten der hier betrachteten Brennstoffe vor der Verbrennung noch getrocknet werden. Dies erfolgt zum Teil bereits durch eine Zwischenlagerung und damit verbundene biologische Trocknung.

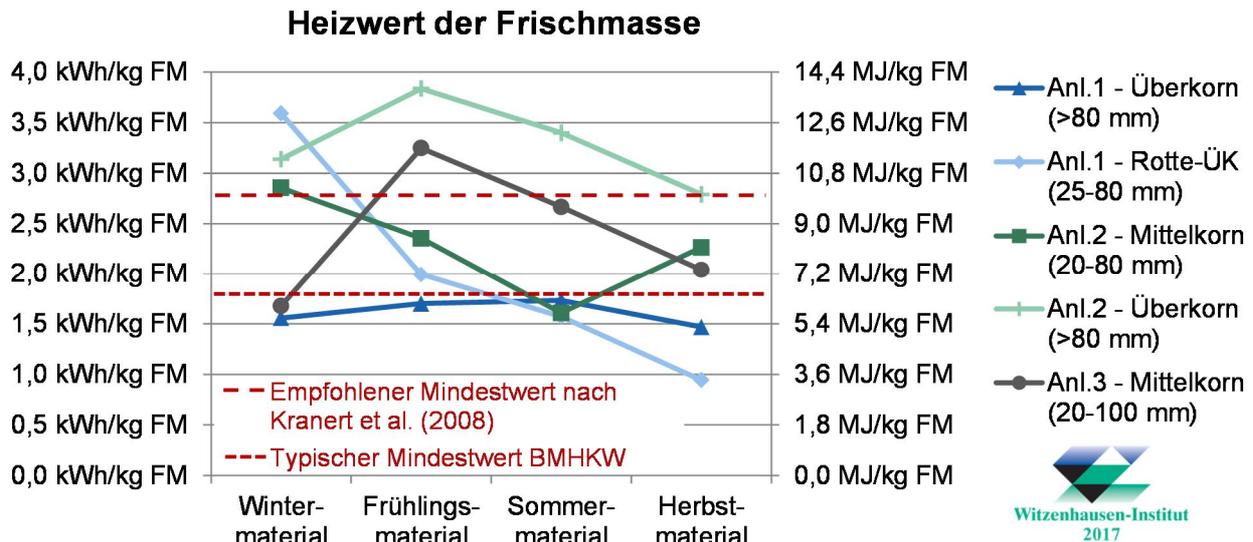


Abb. 39: Heizwerte zum Zeitpunkt der Absiebung bezogen auf die Frischmasse (FM) der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen

Die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse umfassen die Gehalte an Elementen in den Grüngut-Brennstoffen, die für die Verbrennung relevant sind bzw. für die ein Grenzwert in den entsprechenden Normen für Hackschnitzel (DIN EN ISO 17225-4) und für undefinierte Mischungen von Biomasse (DIN EN ISO 17225-6) definiert ist.

Der Stickstoffgehalt von Brennstoffen ist relevant aufgrund der bei der Verbrennung entstehenden Stickoxidemissionen. Der Grenzwert von 1 % TM Stickstoff aus der DIN EN ISO 17225-4 wurde von 18 der 20 Proben eingehalten (Abb. 40). Lediglich zwei Proben aus Sommermaterial lagen knapp darüber, aber deutlich unter dem Grenzwert von 2 % TM Stickstoff aus der DIN EN ISO 17225-6. Insgesamt folgten die Stickstoffgehalte in den Brennstofffraktionen keinem eindeutigen Jahresgang, allerdings lagen die Gehalte der unterschiedlichen Proben im Winter- und Herbstmaterial jeweils dichter beisammen und waren mit Mittelwerten von ca. 0,6 % TM

deutlicher unterhalb des Grenzwerts als die Gehalte im Frühlings- und Sommermaterial, die eine stärkere Spreizung zwischen den einzelnen Proben aufwiesen.

Die insgesamt geringsten Stickstoffgehalte wiesen das Überkorn von Anlage 2 und das Mittelkorn von Anlage 3 auf. Hierbei ist zu beachten, dass das Mittelkorn von Anlage 3 auch die Korngrößen von 80 bis 100 mm enthält, die bei Anlage 2 nicht im Mittelkorn, sondern im Überkorn enthalten sind. Es hat also einen höheren Holzanteil als das Mittelkorn von Anlage 2 und damit verbunden geringere Stickstoffgehalte. Sowohl in Anlage 2 als auch in Anlage 3 wird das zerkleinerte Grüngut vor der Siebung einer Rotte und damit einer biologischen Trocknung unterzogen, die dazu führt, dass sich einerseits mineralische Verunreinigungen, andererseits aber auch organische Bestandteile der Feinkornfraktion (in der Regel krautiges Material mit einem höheren Stickstoffgehalt als das holzige Material) besser von der Mittel- und Überkornfraktion lösen und als Feinkornbestandteile aus der Siebung hervorgehen. Die beiden Überkornfraktionen von Anlage 1 wiesen im Umkehrschluss dementsprechend die höchsten Stickstoffgehalte auf.

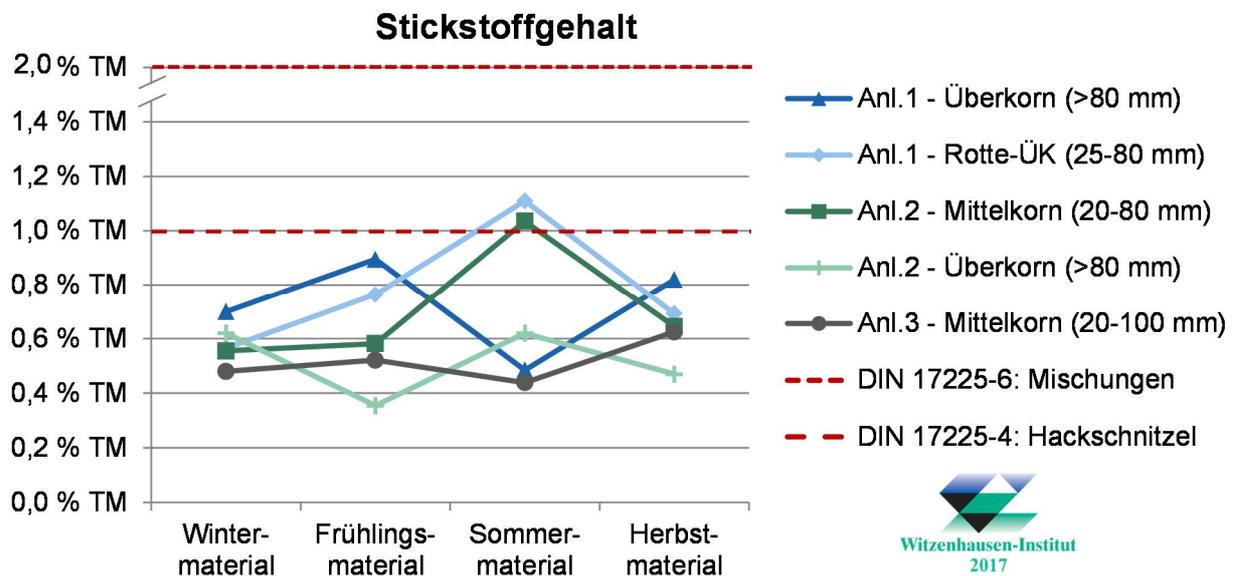


Abb. 40: Stickstoffgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Schwefel bildet bei der Verbrennung Schwefeldioxid, das als Schadstoff in die Umwelt emittiert wird. Die Schwefelgehalte der untersuchten Brennstoffe lagen alle deutlich unter dem Grenzwert von 0,3 % TM aus der DIN EN ISO 17225-6, aber nur teilweise unter dem Grenzwert von 0,1 % TM aus der DIN EN ISO 17225-4 (Abb. 41). Die Schwefelgehalte zeigten wie die Stickstoffgehalte keinen eindeutigen Jahresgang, aber wiederum die insgesamt geringsten Werte im Wintermaterial. Auch in Bezug auf den Schwefelgehalt waren das Überkorn von Anlage 2 und das Mittelkorn von Anlage 3 über das Jahr hinweg die qualitativ hochwertigsten Brennstoffe, die beide durchgehend unterhalb des Grenzwertes aus der DIN EN ISO 17225-4 blieben.

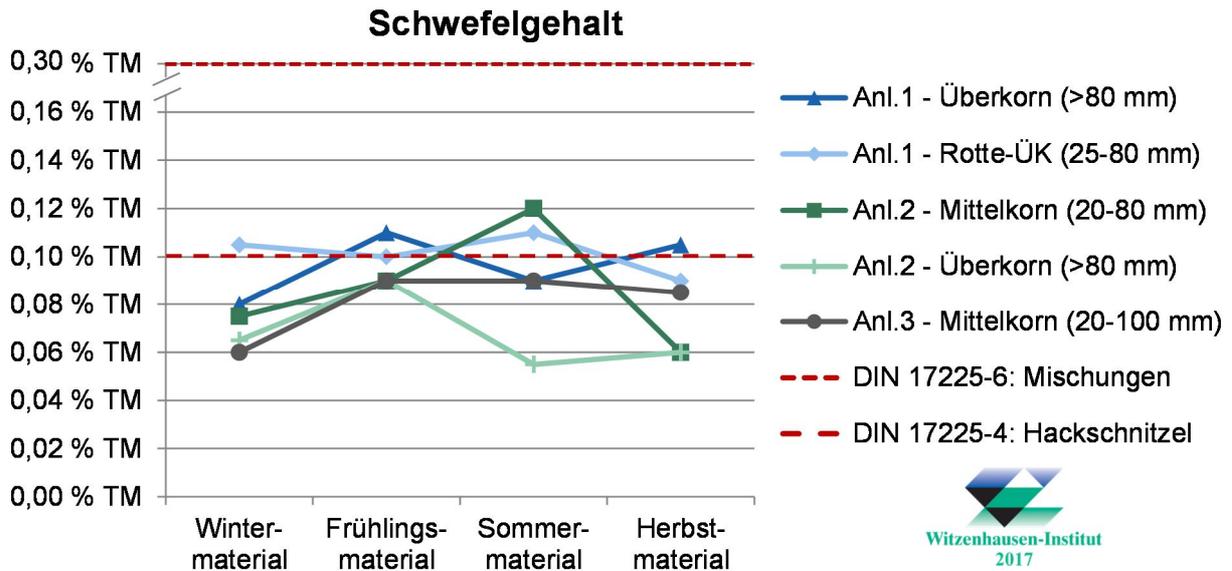


Abb. 41: Schwefelgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Chlor ist sowohl im Hinblick auf die Verbrennungstechnik aufgrund seiner korrosiven Wirkung als auch im Hinblick auf Emissionen aufgrund seiner Beteiligung an der Bildung von Chlorwasserstoff sowie Dioxinen und Furanen relevant. Wie bei den zuvor beschriebenen Parametern war auch beim Chlorgehalt keine eindeutige Tendenz im Jahresgang, aber wiederum eine homogenere Verteilung der Gehalte der unterschiedlichen Brennstoffe beim Winter- und Herbstmaterial festzustellen (Abb. 42).

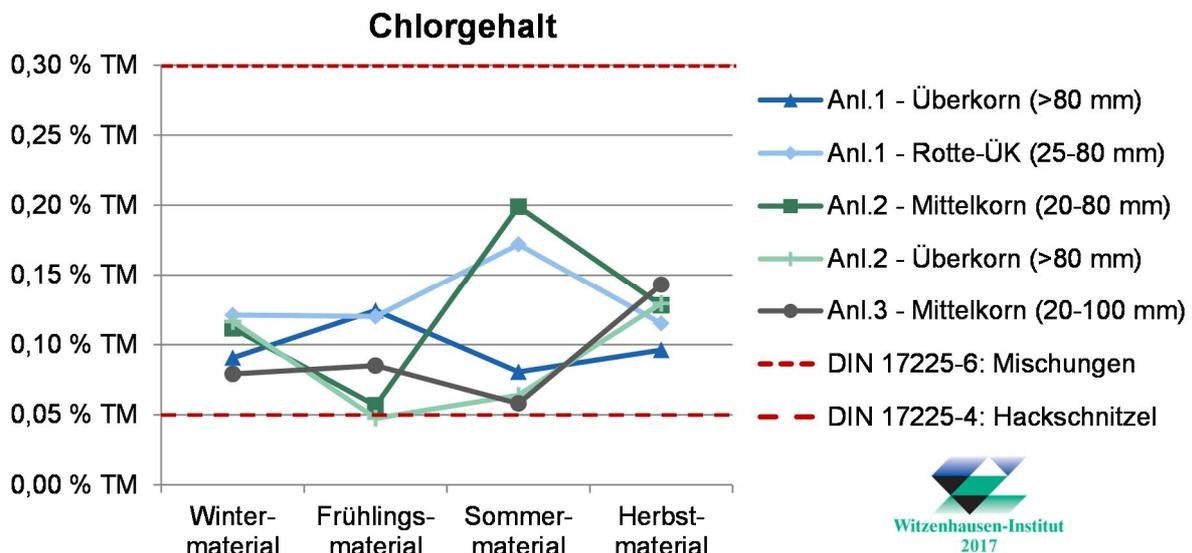


Abb. 42: Chlorgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Die Chlorgehalte bewegten sich insgesamt zwischen 0,05 und 0,20 % TM und befanden sich damit knapp über dem Grenzwert der DIN EN ISO 17225-4, aber deutlich unter dem Grenzwert der DIN EN ISO 17225-6. Auch in Bezug auf den Chlorgehalt waren das Überkorn von Anlage 2 und das Mittelkorn von Anlage 3 über das Jahr hinweg die qualitativ hochwertigsten Brennstoffe.

Schwermetalle unterliegen in Normbrennstoffen aufgrund ihrer Aufkonzentrierung in der Asche, aber auch aufgrund ihrer Flüchtigkeit und der damit verbundenen Emissionen in der Flugasche (v.a. Blei, Cadmium und Zink) sowie aufgrund ihrer Beteiligung an der Bildung von Dioxinen und Furanen (v.a. Kupfer) bestimmten Grenzwerten.

Der Grenzwert für Blei ist in den beiden hier genannten Normen gleich und liegt bei 10 mg/kg TM. Bis auf einen Ausreißer (Mittelkorn aus Frühlingsmaterial von Anlage 3) hielten alle Brennstoffe den Grenzwert von Blei ein, allerdings teilweise nur knapp (Abb. 43). Das Mittelkorn des Frühlingsmaterials von Anlage 3 wies nicht nur beim Bleigehalt, sondern auch bei den meisten der anderen untersuchten Schwermetallgehalte einen etwa dreimal so hohen Wert auf wie der Mittelwert der übrigen Brennstoffproben. Eine mögliche Erklärung dafür könnte eine Verunreinigung des Grünguts in der Probe mit Fremd- bzw. Schadstoffen sein. Ein eindeutiger Jahresgang des Bleigehalts war in den untersuchten Proben nicht feststellbar.

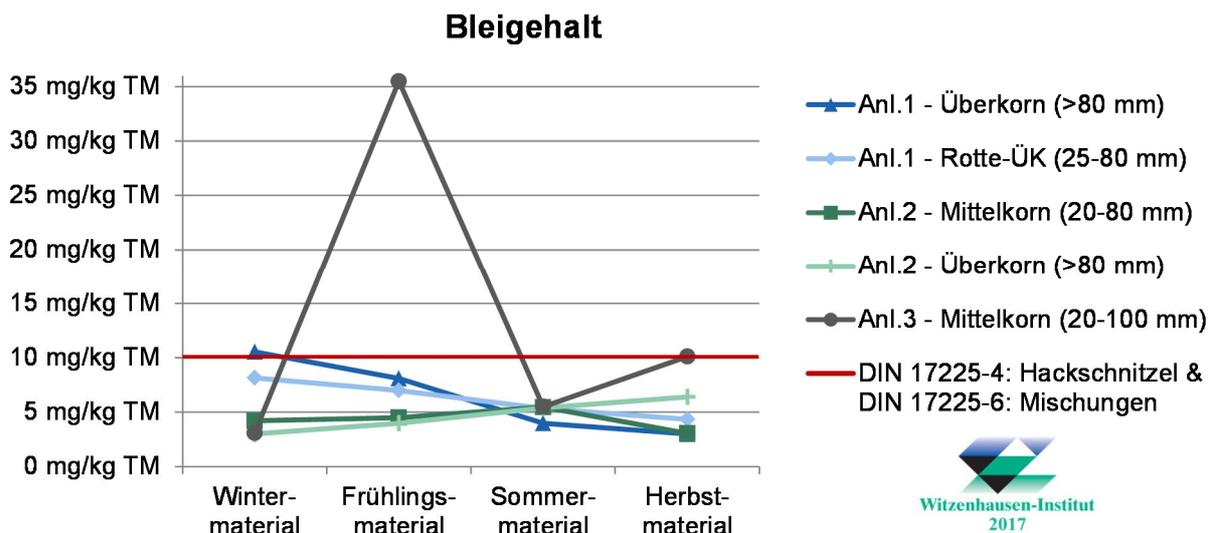


Abb. 43: Bleigehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Beim Cadmiumgehalt lagen alle Brennstoffproben bis auf den bereits erwähnten Ausreißer mit ca. 0,2 mg/kg TM eng beieinander und deutlich unter den Grenzwerten von 0,5 mg/kg TM bzw. 2 mg/kg TM aus der DIN EN ISO 17225-6 bzw. der DIN EN ISO 17225-4 (Abb. 44). Ein eindeutiger Jahresgang des Cadmiumgehalts war in den untersuchten Proben nicht feststellbar.

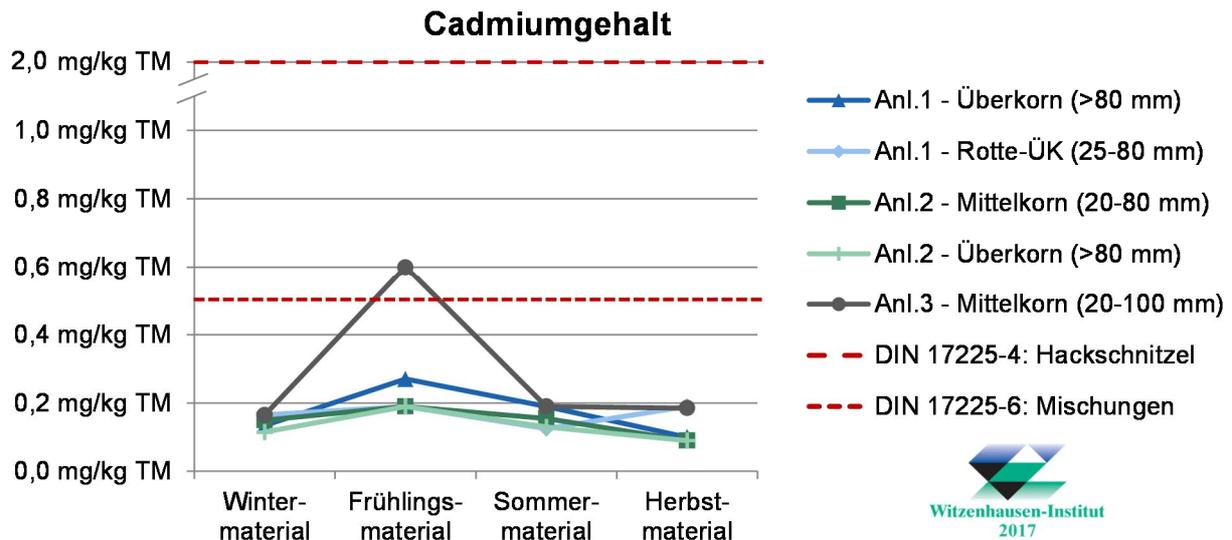


Abb. 44: Cadmiumgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Der Chromgehalt aller untersuchten Brennstoffe (auch der des Mittelkorns des Frühlingsmaterials von Anlage 3) lag deutlich unter dem Grenzwert der DIN EN ISO 17225-6 von 50 mg/kg TM (Abb. 45). Der Grenzwert der DIN EN ISO 17225-4 (10 mg/kg TM) wurde hingegen nur von 13 der 20 Proben eingehalten, darunter alle Brennstoffe aus Herbstmaterial. Darüber hinaus war kein eindeutiger Jahrgang und keine Vorzüglichkeit einer bestimmten Fraktion oder Anlage erkennbar.

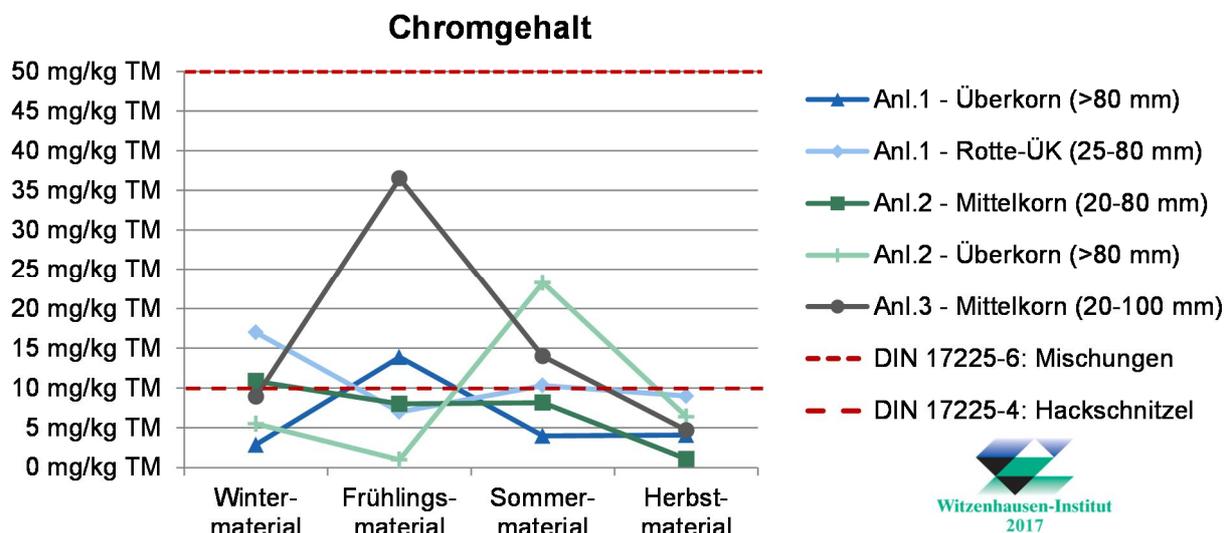


Abb. 45: Chromgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Der Quecksilbergehalt lag bis auf das Mittelkorn des Frühlingsmaterials von Anlage 3 bei allen Brennstoffen zwischen 0,01 und 0,06 mg/kg TM und damit unter dem geforderten Wert der beiden betrachteten Normen (Abb. 46). Ein eindeutiger Jahrgang des Quecksilbergehalts war in

den untersuchten Proben nicht feststellbar. Das Überkorn von Anlage 2 erwies sich im Hinblick auf den Quecksilbergehalt, wie auch bereits im Hinblick auf einige andere Parameter, über das Jahr hinweg als qualitativ hochwertigster Brennstoff.

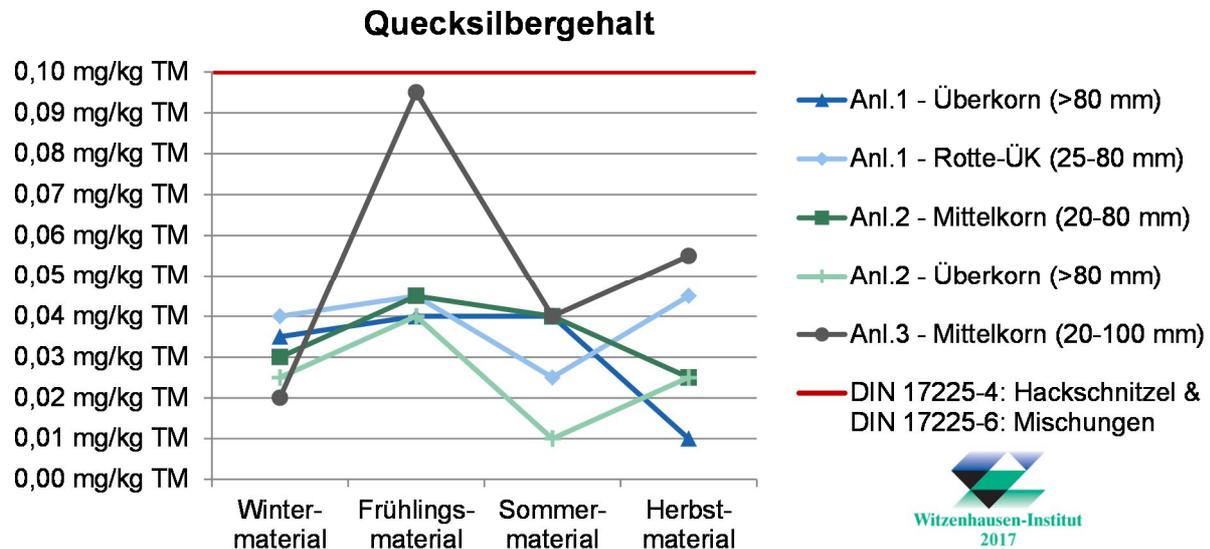


Abb. 46: Quecksilbergehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Der Kupfergehalt aller untersuchten Brennstoffe, mit Ausnahme des Mittelkorns des Frühlings-materials von Anlage 3, lag unter dem Grenzwert der DIN EN ISO 17225-6 von 20 mg/kg TM (Abb. 47). Der Grenzwert der DIN EN ISO 17225-4 (10 mg/kg TM) wurde hingegen nur von 11 der 20 Proben eingehalten, darunter alle Proben des Mittelkorns von Anlage 2. Darüber hinaus war kein eindeutiger Jahrgang erkennbar.

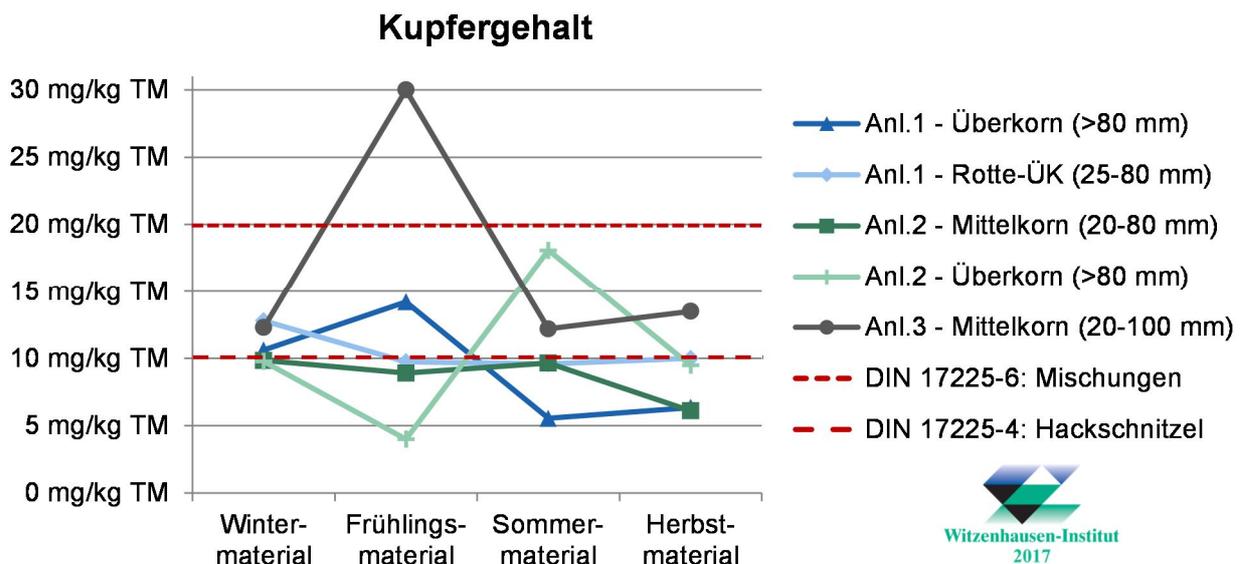


Abb. 47: Kupfergehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Der Grenzwert für Nickel ist in beiden hier genannten Normen gleich und liegt bei 10 mg/kg TM. Bis auf einen Ausreißer (Mittelkorn aus Frühlingmaterial von Anlage 3) hielten alle Brennstoffe den Grenzwert von Nickel ein, allerdings teilweise nur sehr knapp (Abb. 48). Ein eindeutiger Jahresgang des Nickelgehalts war in den untersuchten Proben nicht feststellbar. Das Überkorn von Anlage 2 erwies sich im Hinblick auf den Nickelgehalt, wie auch bereits im Hinblick auf einige andere Parameter, über das Jahr hinweg als qualitativ hochwertigster Brennstoff.

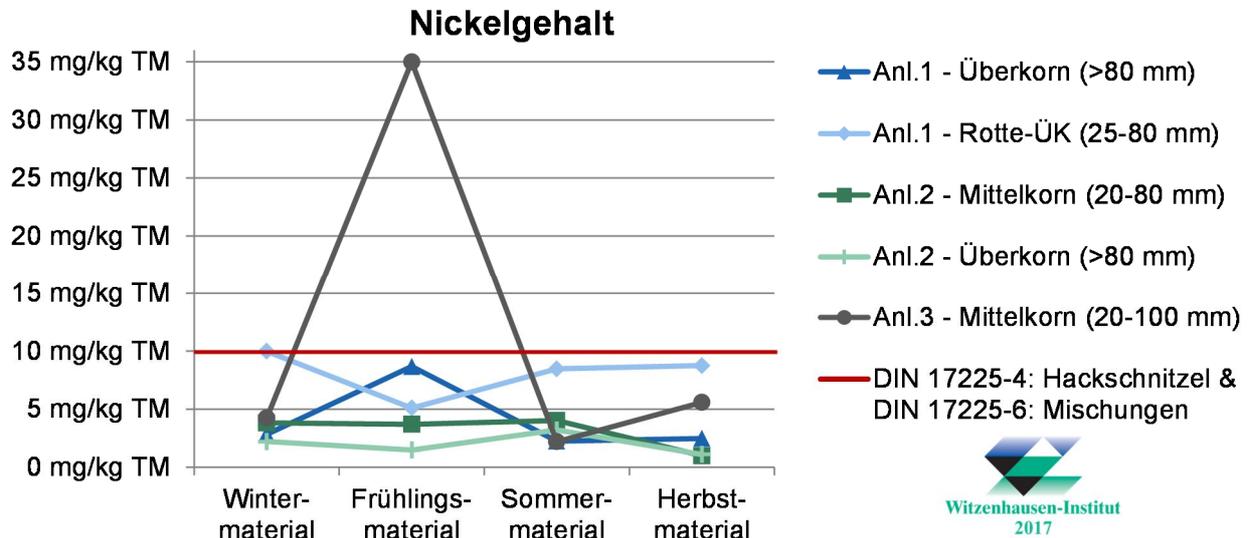


Abb. 48: Nickelgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

Der Zinkgehalt lag bis auf das Mittelkorn des Frühlingmaterials von Anlage 3 bei allen Brennstoffen zwischen 20 und 75 mg/kg TM und damit unter dem geforderten Wert der beiden betrachteten Normen (Abb. 46). Ein eindeutiger Jahresgang des Zinkgehalts war in den untersuchten Proben nicht feststellbar. Das Überkorn von Anlage 2 erwies sich auch im Hinblick auf den Zinkgehalt über das Jahr hinweg als qualitativ hochwertigster Brennstoff.

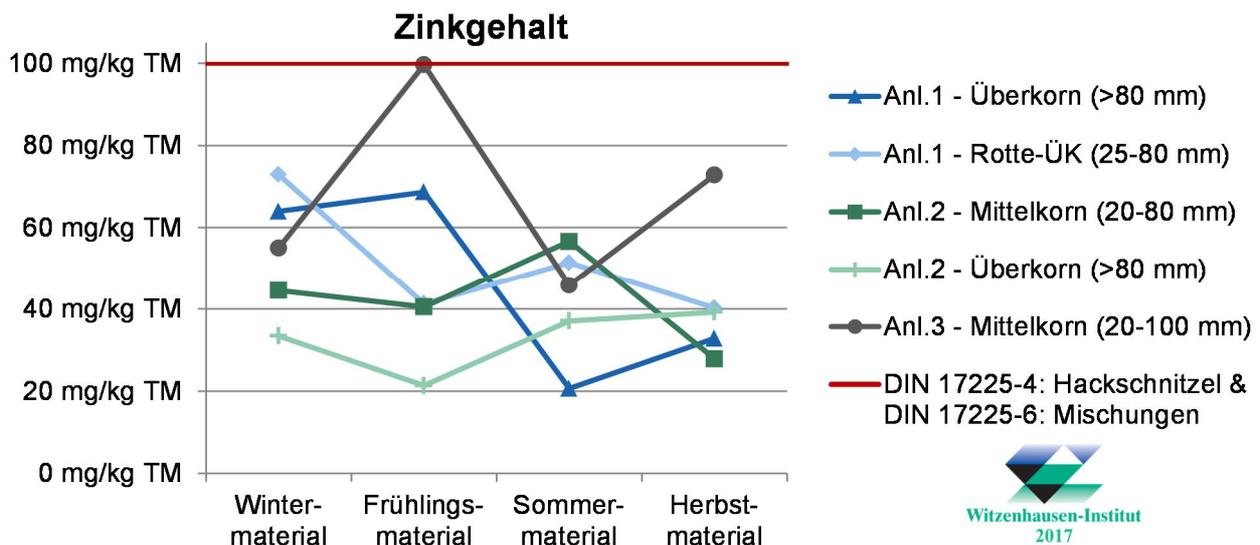


Abb. 49: Zinkgehalte der Brennstoffe aus Grüngut, gesammelt zu vier verschiedenen Jahreszeiten, aufbereitet in jeweils drei Anlagen im Vergleich zu den geforderten Gehalten aus zwei DIN EN ISO (17225-4 und 17225-6) für biogene Festbrennstoffe

7.3 Bewertung der unterschiedlichen Verwertungskonzepte

Über den hier betrachteten Zeitraum der Praxisversuche (Januar bis November 2017) war das Konzept von Anlage 3 am konstantesten, was die Menge an erzeugtem Brennstoff betraf, die mit geringen Schwankungen immer bei rund 20 Masse-% des zur Aufbereitung eingesetzten Grünguts lag.

In Bezug auf die Trockenmassegehalte der Brennstoffe zeigte sich ein qualitativer Vorteil, wenn das frisch zerkleinerte Grüngut wie bei den Anlagen 2 und 3 vor der Absiebung eine Rottephase durchlief und dabei durch Selbsterwärmung ein Trocknungsprozess stattfand. Auf Anlage 1 wurde das Feinkorn vor der Absiebung einer solchen Rottephase unterzogen.

In Bezug auf die Asche- und Elementgehalte in den Brennstoffen sowie deren Heizwerte erwies sich kein Verwertungskonzept eindeutig vor- oder nachteiliger als das andere, sodass alle Konzepte Brennstoffe erzeugten, die qualitativ die Anforderungen der DIN EN ISO 17225-6, Kategorie B erfüllten. Insgesamt gesehen erwies sich im Hinblick auf die hier betrachteten Parameter jedoch das Überkorn von Anlage 2 über das Jahr hinweg als qualitativ hochwertigster Brennstoff.

Neben den hier dargestellten quantitativen und qualitativen Aspekten der aus Grüngut erzeugten Brennstoffe spielen bei der Grüngutverwertung auch ökonomische Aspekte eine wichtige Rolle. Diese wurden im Forschungsvorhaben Grün-OPTI zwar nicht explizit untersucht, fanden jedoch trotzdem Beachtung.

Im Zeitraum der Praxisversuche berichteten die Betreiber der Anlagen 1 und 2 wiederholt von Schwierigkeiten, den Brennstoff für einen für sie wirtschaftlichen Preis an die BMHKW zu vermarkten, da der Markt für dieses Brennstoffsegment gesättigt sei. Bei Anlage 2 bestand diese Schwierigkeit jedoch nur bedingt, da der Brennstoff teilweise im eigenen Heizwerk verwertet wird und bei Anlage 3, wo der Brennstoff vollständig in eigenen Heizanlagen verwertet wird, spielen die Marktpreise für biogene Festbrennstoffe keine Rolle.

8 Optimierung von Grüngut-Wertschöpfungsketten – Handlungsempfehlungen für die Praxis

Eine optimierte Grüngut-Wertschöpfungskette beginnt bei der effizienten Erfassung des Grünguts und endet bei der möglichst hochwertigen Verwertung der Produkte, zu deren Erzeugung eine effiziente Logistik und eine angepasste Aufbereitung notwendig sind. Jeder Schritt in dieser Wertschöpfungskette ist dabei durch ein übergeordnetes Qualitätsmanagement abzusichern, um den gesamten Prozess fortlaufend optimieren zu können (Abb. 50).



Abb. 50: Schema einer Grüngut-Wertschöpfungskette

Da sich die Rahmenbedingungen für die praktische Umsetzung eines Grüngutkonzepts regional und lokal in vielen Faktoren unterscheiden (Siedlungs-, Bevölkerungs- und Abfallwirtschaftsstruktur, Nachfrage nach bzw. Verwertungsoptionen für bestimmte Produkte aus Grüngut, etc.), ist die pauschale Definition einer optimalen Grüngut-Wertschöpfungskette nicht zielführend. Vielmehr sollen in diesem Kapitel unterschiedliche Optimierungsoptionen für einzelnen Elemente einer solchen Wertschöpfungskette formuliert werden. Dabei liegt der Fokus – in Einklang mit den Zielen des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung – auf der Brennstoffherzeugung aus den holzigen Grüngutbestandteilen, wohlwissend, dass auch weitgehend optimierte Grüngut-Wertschöpfungsketten in der Praxis existieren, die auf eine Brennstoffherzeugung verzichten.

Die Empfehlungen für die Optimierung einer Grüngut-Wertschöpfungskette werden im Folgenden stichpunktartig für jedes Element der Wertschöpfungskette erläutert. Sie sollen dazu dienen, kommunale Entscheidungsträger, Fachleute und andere Interessierte dabei zu unterstützen, ihr kommunales System der Grünguterfassung, -aufbereitung und -verwertung zu optimieren. In vielen Gebietskörperschaften besteht bereits seit Jahren ein umfangreiches und gut funktionierendes System zur Erfassung, Aufbereitung und Verwertung von Grüngut, während andere Gebietskörperschaften ein solches System noch nicht oder nur teilweise eingeführt haben oder bestehende dezentrale Initiativen auf Ebene einzelner Kommunen bündeln wollen.

Die konkrete Umsetzung einzelner Optimierungsschritte setzt in der Regel allerdings eine umfassende Analyse der spezifischen Gegebenheiten vor Ort (Siedlungs-, Bevölkerungs- und Abfallwirtschaftsstruktur) und eine daran angepasste Lösungsstrategie voraus, deren Erarbeitungen durch diese allgemeinen Empfehlungen nicht ersetzt werden können.

Erfassung

- Ein hoher Service-Komfort für die Bürger bei der Grünguterfassung begünstigt hohe Erfassungsmengen (vgl. [1]). Zentrale Elemente bei Bringsystemen sind dabei ein dichtes Netz an Sammelstellen (wenige Einwohner bzw. Fläche pro Sammelstelle), eine entgeltfreie Anlieferung sowie attraktive Öffnungszeiten, auch außerhalb der Kernarbeitszeiten. Bei Holsystemen sind eine gebührenfreie Abfuhr sowie eine hohe Anzahl von festen Abfuhrterminen erfolgsversprechend.
- Eine nach Fraktionen getrennte Sammlung erleichtert die spätere Verwertung. In der Regel ist die Trennung in holziges Grüngut für eine teilweise thermische Verwertung und krautiges Grüngut für eine stoffliche Verwertung zweckmäßig. Darüber hinaus kann je nach Verwertungsziel die Unterteilung in weitere Fraktionen sinnvoll sein, wie z.B. Rasenschnitt zur Vergärung oder die Getrennthaltung von Laub.

Logistik

- Um ein dichtes Netz an Sammelstellen zu gewährleisten, dessen Aufbau und Betrieb gleichzeitig nicht zu kostenintensiv ist, ist es ratsam, auf bestehende Infrastruktur zurückzugreifen, um Synergieeffekte zu nutzen. Neben abfallwirtschaftlichen Einrichtungen, wie Deponien oder Abfallbehandlungsanlagen, bieten sich auch Wertstoff- und Bauhöfe oder Kläranlagen als Sammelstellen an. Die einzelne Sammelstelle muss dabei nicht groß und aufwendig gestaltet sein, wenn es ausreichend viele dezentrale Sammelstellen gibt.
- Weitere Synergieeffekte kann es beim Betrieb von Sammelstellen geben, wenn auf vorhandenes Personal, beispielsweise von Bauhöfen zurückgegriffen werden kann. Auch Kooperationen mit privatwirtschaftlichen Unternehmen, z.B. aus dem Bereich des Garten- und Landschaftsbaus, sind zu prüfen.
- Aufbereitungsplätze bedürfen in der Regel einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung, was einen entsprechenden Kostenfaktor darstellt. Daher kann es ratsam sein, auf dem Gebiet eines Entsorgungsträgers (Landkreis oder kreisfreie Stadt) nur wenige zentrale Aufbereitungsplätze einzurichten. Dort wird das Material der verschiedenen Sammelplätze angeliefert und gemeinsam aufbereitet.
- Gerade im Bereich der Logistik empfiehlt es sich, auch Kooperationen mit benachbarten Landkreisen bzw. kreisfreien Städte zu prüfen.

Aufbereitung

- Für eine Grüngutaufbereitung von Grüngutgemisch mit dem Ziel, neben einem hochwertigen Kompostrohstoff auch einen hochwertigen Brennstoff zu erzeugen, haben sich in der Praxis Langsamläufer bewährt, die das Material eher reißend bearbeiten und nicht zu fein zerkleinern, sodass sich bei einer Siebung nicht zu viel holzige Biomasse im Feinkorn wiederfindet.
- Für eine Zerkleinerung von getrennt erfasstem holzigen Grüngut mit dem Ziel, einen hochwertigen Brennstoff zu erzeugen, sind bei Material mit wenig krautig-grünen und/oder mineralischen Anhaftungen Schnellläufer mit ihrer stärkeren Zerkleinerungswirkung vorzuziehen.
- Eine Siebung mit dem Zweck einer Trennung von Brennstoff (holzige Materialien) und Kompostrohstoff (krautige Bestandteile, Erdanhaftungen) funktioniert umso besser, je trockener das zerkleinerte Grüngut ist. Daher ist das Aufsetzen des Grünguts nach der Zerkleinerung auf eine Miete für einen Zeitraum von vier bis sechs Wochen zur Rotte und Trocknung durch Selbsterwärmung im Zuge von Abbauprozessen ein Prozessschritt, der sich in der Praxis sehr gut bewährt hat.
- Die Siebung des angerotteten Grünguts sollte einerseits entsprechend der Beschaffenheit des Siebinputs (z.B. Feuchtegehalt, Anteil holziger Materialien, etc.) und andererseits nach Maßgabe der späteren Verwertung der Siebfraktionen eingestellt und durchgeführt werden. Wenn beispielsweise eigene Heizanlagen vorhanden sind, die bestimmte Mindestanforderungen an den Grüngutbrennstoff hinsichtlich Menge und Qualität aufweisen, so muss für die zu diesem Zweck abgesiebte Fraktion (z.B. Mittelkorn aus einem Sternsieb) durch Einstellung der Siebweite sichergestellt sein, dass einerseits ausreichend Material erzeugt wird, andererseits aber nicht zu viel mineralisches und krautiges Material in die Fraktion gerät. Diese Einstellungen sind im Optimalfall dem Siebinput anzupassen, der sich je nach Jahreszeit sowie nach Witterungseinflüssen und anderen Faktoren unterscheidet.

Produkte

- Für die Verwendung von Grüngut als **Brennstoff** empfiehlt sich eine getrennte Erfassung und Aufbereitung von holzigem Grüngut, wobei hier der Brennstoff das Hauptprodukt darstellt, von dem lediglich ein nicht für die Verbrennung geeigneter Feinanteil (z.B. Fraktion 0-20 mm) für die Kompostierung abgesiebt wird. Bei Systemen der gemischten Grünguterfassung, die in der Praxis überwiegen, kann der Brennstoff als Mittelkorn (z.B. Fraktion 20-80 mm) an verschiedenen Stellen des Rotteprozesses (vor der Rotte, nach einer Phase der biologischen Trocknung, nach der Rotte) abgesiebt werden. Das gleichzeitig abgesiebte Überkorn (z.B. Fraktion >80 mm) sollte nachzerkleinert und erneut dem Siebinput beigegeben werden. Die regelmäßige Qualitätsprüfung des erzeugten Brennstoffs (Heizwert sowie Wasser-, Asche- und Schwermetallgehalte) ist zu empfehlen.

- Für die Erzeugung von reinem **Grüngutkompost**, der in den meisten Grüngutkonzepten in der Praxis das Hauptprodukt darstellt, wird entweder gemischtes Grüngut oder die krautige Fraktion aus einer Getrennterfassung von holzigem und krautigem Grüngut zerkleinert, einem Kompostierungsprozess unterzogen und abgeseibt (z.B. Fraktion 0-20 mm).
- Neben der Erzeugung von Brennstoff und Grüngutkompost kann gemischtes Grüngut auch als **Strukturmaterial** dienen, wobei entweder das gesamte ungesiebte Korngrößenspektrum an zerkleinertem Grüngut oder nur eine bestimmte Fraktion (z.B. Siebüberlauf der Kompostabsiebung >20 mm) verwendet werden kann.
- Für die Verwendung von Grüngut als **Gärs substrat** in Biogasanlagen empfiehlt sich die getrennte Erfassung bestimmter Fraktionen, wie krautiges Grüngut im Allgemeinen oder Rasenschnitt bzw. Mähgut im Speziellen.



Verwertung
Produkte

- **Brennstoff:**
 - Um möglichst unabhängig von Markteinflüssen (Preisschwankungen, Nachfrageschwankungen, unterschiedliche Qualitätsanforderungen) auf einen möglichen Brennstoffabsatz zu sein, besteht die optimale Verwertung des holzigen Grünguts im Einsatz als Brennstoff für eigene Heizanlagen. Dazu müssen allerdings die passenden Voraussetzungen vorliegen, wie das Vorhandensein entsprechender Wärmesenken, und die notwendigen rechtlichen, ökonomischen und logistischen Rahmenbedingungen müssen die Durchführung eines solchen Projekts ermöglichen.
- **Grüngutkompost:**
 - Um mit der Vermarktung des Grüngutkomposts eine möglichst hohe Wertschöpfung zu erzielen, ist es notwendig, den Kompost nicht nur als Endprodukt einer notwendigen Entsorgungskette zu betrachten, das dann von einem Verwerter (z.B. Landwirt) zu für den Erzeuger meist unvorteilhaften Konditionen abgenommen wird, sondern als hochwertiges Produkt, das gezielt für eine bestimmte Verwertung unter Einhaltung der dafür erforderlichen Qualitätsstandards erzeugt wird. Grüngutkompost eignet sich dafür besonders gut, da er in der Regel eine hohe Sortenreinheit aufweist. Mögliche Premiumvermarktungswege mit erhöhten Qualitätsanforderungen sind beispielsweise die Vermarktung in den ökologischen Landbau oder an Erdenwerke.
- **Strukturmaterial:**
 - Der Hauptzweck der getrennten Grünguterfassung besteht in der hochwertigen stofflichen Verwertung, was in der Praxis zumeist die Erzeugung von Kompost bedeutet.
 - Neben der Erzeugung von Grüngutkompost lässt sich das krautige Grüngut aber auch auf andere Weise verwerten, wie beispielsweise als Strukturmaterial für die Erzeugung von Kompost aus Biogut oder – bei Erfüllung der entsprechenden Anforderungen – als Bodenhilfsstoff.

➤ **Gärsubstrat:**

- Teilfraktionen, wie beispielsweise getrennt gesammelter Rasenschnitt, lassen sich darüber hinaus auch als Biogassubstrat einsetzen. Dieses Strukturmaterial kann zur besseren Rotteführung einer Biogutkompostierung beigemischt werden oder auch als Bodenhilfsstoff in der Landwirtschaft verwendet werden, wenn gemäß DüMV gewisse Nährstoffgehalte (z.B. 1,5 % Stickstoff) nicht überschritten werden.

Qualitätsmanagement

- Ein zentrales Qualitätsmanagement sollte alle Bereiche der Grüngut-Wertschöpfungskette umfassen.
- Eine Betreuung der Sammelstellen ist zweckmäßig, um einerseits Fehlwürfe und damit die Fremdstoffmengen zu minimieren sowie andererseits bei einer Sammlung getrennt nach Fraktionen bei der ordnungsgemäßen Zuordnung der Anlieferungen zu den Fraktionen überwachend und beratend zur Seite zu stehen.
- In Bezug auf die Hochwertigkeit der Produkte ist im Fall des Komposts zu gewährleisten, dass dieser alle Qualitätsanforderungen des angestrebten Vermarktungsweges einhält. Im Falle des Brennstoffs für eine Verwertung in einer eigenen Heizanlage ist zu gewährleisten, dass dort sowohl die Anforderungen hinsichtlich Quantität als auch insbesondere hinsichtlich Qualität eingehalten werden.

9 Literatur- und Quellenverzeichnis

- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2017. BMWi, Berlin.
- Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V. (2018): <http://www.kleingartenbund.de/de/bundesverband/zahlen-und-fakten> (abgerufen am 26.03.2018)
- Döring, P., Glasenapp, S., Mantau, U. (2016): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg.
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.) (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kern, M., Raussen, T. (2007): Konzepte zur stofflichen und energetischen Nutzung von Bio- und Grünabfällen. In: Klaus Wiemer und Michael Kern (Hrsg.): Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund von TA Luft und EEG, S.129-152.
- Kern, M., Raussen, T. (2014): Biogas-Atlas 2014/15. Anlagenhandbuch der Vergärung biogener Abfälle in Deutschland und Europa. 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.
- Knappe, F., Schneider, C., Turk, T. (2015): Bioabfall als Ressource. Optimierung der Nutzung in den Städten und Kreisen in Baden-Württemberg – Ergebnisse eines Feldversuchs. In: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung X. stofflich – energetisch. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Kassel: Klaus Wiemer, Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.). S. 229-242.
- Kranert, M., Gottschall, R., Bruns, C., Hafner, G., Schiere, O., Seibel, C. (2008): Grünabfälle besser kompostieren oder energetisch verwerten? – Vergleich unter den Aspekten der CO₂-Bilanz und der Torfsubstitution. EdDE-Dokumentation 11, Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft, Köln.
- Krause, P., Oetjen-Dehne, R., Dehne, I., Dehnen, D., Erchinger, H. (2015): Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen. TEXTE 84/2014, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Dessau-Roßlau.
- Pretz, T., Uepping, R., Isaac, E. (2005): Brennstoffgewinnung aus Kompostrohstoffen? EdDE-Dokumentation 8, Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft, Köln.
- Raussen, T., Hackländer, G., Bakowies, T. (2010): Brennstoffgewinnung aus Grünabfall. In: Recycling Technology 11/12, S. 28-31.

- Reinhardt, J. (2016): Schriftliche Mitteilung von ökobilanziellen Berechnungsparametern des IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- Richter, F., Raussen, T., Koj, U., Hofmann, H., Wenderoth, M., Wallmann, R. (2015): Welche Rolle spielt holziges Grüngut bei der Erfassung und Verwertung sekundärer Energiehölzer? In: Bioabfallerfassung und -verwertung 2.0. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen: Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.). S.149-165.
- Richter, F., Kern, M., Raussen, T., Wagner, J., Blume, M. (2017): Schlussbericht: Optimierung der Biogausbeute durch effiziente Erfassung und Vergärung von Nahrungs- und Küchenabfällen in Deutschland (Bio-OPTI). Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen.
- Strauch, S., Maga, D., Merrettig-Bruns, U., Raussen, T., Koj, U., Schweizer-Ries, P., Hildebrand, J. (2015): Optimierte energetisch-stoffliche Nutzung biogener Abfälle in Deutschland - Potenzial, Technik und Wirtschaftlichkeit der Erzeugung und Einspeisung von Biogas aus der Vergärung von Bioabfällen, Hemmnisanalyse und Entwicklung einer akzeptanzfördernden Kommunikationsstrategie. Kurztitel: Bioabfallmethan (FKZ: 03KB07).
- Vogt, R., Fehrenbach, H., Wiegel, U., Ebert, K. (2012): Maßnahmenplan zur Umsetzung einer vorbildhaften klimafreundlichen Abfallentsorgung im Land Berlin. Endbericht. IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg.
- Wiegmann, K., Dehoust, G. Hünecke, K., Fritsche, U. (2008): Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe. Kurzstudie für die Fraktion Bündnis90/Grüne im Deutschen Bundestag, Darmstadt..