

> Kompostier- und Vergärungsanlagen

Erhebung in der Schweiz und in Liechtenstein



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Kompostier- und Vergärungsanlagen

Erhebung in der Schweiz und in Liechtenstein

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Petar Mandaliev BAFU

Konrad Schleiss Umweko GMBH

Begleitung BAFU

Petar Mandaliev, Abteilung Abfall und Rohstoffe,
Sektion Bauabfälle und Deponien

Zitierung

Mandaliev P., Schleiss K. 2016: Kompostier- und Vergärungsanlagen.
Erhebung in der Schweiz und in Liechtenstein. Bundesamt für Umwelt,
Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1602: 32 S.

Gestaltung

BAFU

Titelbild

Biogasanlage in Hünenberg, Kt. ZG, © BAFU

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1602-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2016

> Inhalt

Abstracts	5
Vorwort	7
Einleitung	9
<hr/>	
1 Ziel und Methodik	10
<hr/>	
2 Anlagentypen und Verfahren	11
2.1 Sammel- oder Umschlagplätze	11
2.2 Feldrandkompostierung	11
2.3 Platzkompostierung inkl. Hallen- und Boxenkompostierung	12
2.4 Vergärung (industriell-gewerbliche)	14
2.5 Co-Vergärung oder landwirtschaftliche Vergärung	16
2.6 Kompost- und Gärgutqualität	17
<hr/>	
3 Ergebnisse der Erhebung	19
3.1 Anlagenanzahl und Anlagentyp mit Tonnen verarbeiteten Abfällen	19
3.2 Entwicklung der Anzahl Betriebe nach Typ in den letzten 30 Jahren	20
3.3 Herkunft der biogenen Abfälle und Produkteabsatz nach Verfahrenstyp	22
3.4 Regionale Mengenverteilung der biogenen Abfälle	25
3.5 Energieproduktion aus der Verarbeitung von biogenen Abfällen in der Schweiz und in Liechtenstein	27
3.6 Potenzial an biogenen Abfällen	27
<hr/>	
4 Schlussfolgerungen und Ausblick	28
<hr/>	
5 Abschliessende Zusammenfassung	29
<hr/>	
Verzeichnisse	31
Glossar	32

> Abstracts

Composting and fermentation plants have taken on a new importance in the light of the current intensive discussion about energy. The Federation's biomass strategy stipulates that biodegradable waste is to be disposed of in a way that optimizes material and energy use. The Federal Office for the Environment (FOEN) has undertaken a comprehensive analysis of composting and fermentation plants in Switzerland and Liechtenstein. The present study is a scientifically sound appraisal of composting and fermentation plants in Switzerland and in Liechtenstein and of the types of plant and procedures that are currently in use, the amounts of biodegradable waste being processed and the status of current waste and material flows.

Mit der intensiven Energiediskussion haben Kompostier- und Vergärungsanlagen an Bedeutung gewonnen. Gemäss der Biomassestrategie des Bundes sind biogene Abfälle stofflich wie auch energetisch optimal zu entsorgen. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat eine umfassende Analyse der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein vorgenommen. Die vorliegende Studie ist eine fachlich fundierte Bestandsaufnahme über die Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein sowie darüber, mit welchen Anlagentypen und Verfahren aktuell wie viele biogene Abfälle verarbeitet werden und wie die aktuellen Abfall- und Produktströme aussehen.

Les débats intenses suscités par notre avenir énergétique ont donné une importance nouvelle aux installations de compostage et de méthanisation. Selon la Stratégie fédérale en matière de biomasse, les biodéchets doivent faire l'objet d'une valorisation matière et énergétique optimale. L'OFEV a effectué une analyse complète des installations de compostage et de méthanisation établies en Suisse et au Liechtenstein, dans le but de dresser un inventaire techniquement fondé, d'établir quels volumes de biodéchets sont actuellement traités dans quels types d'installation et avec quels procédés et d'identifier les flux actuels de déchets et de produits.

Nel quadro della discussione accesa sull'energia, gli impianti di compostaggio e di metanizzazione hanno acquisito maggiore importanza. Secondo la Strategia sulla biomassa della Confederazione i rifiuti biogeni devono essere smaltiti in modo ottimale sia dal punto di vista del recupero dei materiali sia da quello energetico. L'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), ha intrapreso un'analisi degli impianti di compostaggio e di metanizzazione in Svizzera e nel Liechtenstein. La presente ricerca, basata su validi principi tecnici, illustra la situazione di tali impianti, precisando la quantità di rifiuti biogeni che viene elaborata attualmente, con quale tipo di impianti e quali procedure, come pure la situazione attuale dei flussi di rifiuti e di prodotti.

Keywords:

composting plants,
fermentation plants,
biodegradable waste,
waste and material flows

Stichwörter:

Kompostieranlagen,
Vergärungsanlagen,
biogene Abfälle, Abfall-
und Produktströme

Mots-clés:

installations de compostage,
installations de méthanisation,
biodéchets, flux de déchets
et de produits

Parole chiave:

impianti di compostaggio,
impianti di metanizzazione,
rifiuti biogeni, flussi
di rifiuti e di prodotti

> Vorwort

Die Kompostierung und die Vergärung von biogenen Abfällen sind von grosser ökologischer sowie ökonomischer Bedeutung. Biogene Abfälle spielen eine wichtige Rolle als Rohstoffe für hochwertige Produkte und als Energieträger. Ihre stoffliche und energetische Verwertung hat sich als wichtiger Bestandteil der Abfallverwertung in der Schweiz und in Liechtenstein etabliert.

In der Schweiz und in Liechtenstein existiert flächendeckend ein leistungsfähiger Wirtschaftszweig zur Behandlung und Verwertung von biogenen Abfällen. Die Verwertung biogener Abfälle entwickelte sich von kleinen dezentralen Systemen zu verhältnismässig grossen Einheiten und ist regional unterschiedlich schnell vorangekommen.

Die Anzahl der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz, in denen jährlich mindestens 100 Tonnen biogene Abfälle verwertet werden, beläuft sich auf 368 Betriebe. In der Branche dominieren zahlenmässig die Kompostierungsbetriebe, gefolgt von den landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen und den industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen.

Im Durchschnitt werden mehr als 154 kg biogene Abfälle je Einwohner verwertet, was einer jährlichen Gesamtmenge von 1,26 Millionen Tonnen entspricht. Die regionale Mengenverteilung der verwerteten biogenen Abfälle folgt in weiten Teilen der Bevölkerungsstruktur in Bezug auf Anzahl Einwohner und Bevölkerungsdichte. In 24 Kantonen werden pro Einwohner und Jahr im Durchschnitt 73 kg biogene Abfälle aus der kommunalen Sammlung und über 70 kg aus Gartenbau, Landschaftspflege sowie Industrie verwertet. Bezogen auf das Volumen werden rund 86 % der Produkte aus den Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Landwirtschaft in Form von Kompost, Gärgülle sowie festem und flüssigem Gärgut eingesetzt. Der professionelle Gartenbau übernimmt rund 11 % der Produkte. Weitere 3 % werden durch Private im Hobby-Gartenbau verwendet.

Ein Grossteil der Kantone hat die Kontrolltätigkeit an den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz ausgelagert und erhält Daten in standardisierter Form. Es sind rund 250 der insgesamt 368 Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein, die im Jahr 2013 durch den Verein Inspektorat überwacht werden. Eine einheitliche Datenerfassung der Input- und Output-Ströme in den Kompostier- und Vergärungsanlagen (z. B. Abfallarten, Erfassungseinheit usw.) wird eine Verbesserung der Datenqualität sowie eine erleichterte und raschere Auswertung und Harmonisierung zwischen den Kantonen zur Folge haben.

Die gesamthaft in der Schweiz anfallende Menge an biogenen Abfällen ist grösser als die Menge, die gegenwärtig in den Kompostier- und Vergärungsanlagen verwertet wird. Im Vergleich zum Aufkommen zeigt sich, dass ein beachtlicher Teil der biogenen Abfälle noch nicht optimal genutzt wird. Mit einer Optimierung der Verwertung

können Nährstoffe, Bodenverbesserer und erneuerbare Energie gewonnen werden. Dadurch können die Umweltbelastungen, wie Eintrag von Schadstoffen oder Fremdstoffen durch Dünger, sowie der Einsatz von fossilen Energieträgern reduziert werden.

Gérard Poffet
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Einleitung

Mit der intensiven Energiediskussion haben biogene Abfälle an Bedeutung gewonnen. Gemäss der Biomassestrategie des Bundes¹ sind biogene Abfälle stofflich wie auch energetisch optimal zu verwerten. Seit 2008 sind in der Schweiz sowohl auf der Ebene der Forschung als auch im Rahmen der Gesetzgebung verstärkt Aktivitäten im Gang, biogene Abfälle, welche entlang der Wertschöpfungskette anfallen, optimal stofflich und energetisch zu verwerten. Die Kompostierung und Vergärung von biogenen Abfällen hat sich inzwischen als wichtiger Bestandteil der Abfallverwertung etabliert und ihre Bedeutung nimmt stetig zu.

Erstmals wurde im Jahr 1991 durch das BAFU eine umfassende Darstellung des Entwicklungsstands der Kompostierung in der Schweiz erstellt.² 1994 wurde diese Darstellung überarbeitet und die Inhalte auf der Datenbasis von 1993 aktualisiert.³ Die nun vorliegende Studie ist eine weitere Aktualisierung und Erweiterung der bereits publizierten Studien.

Anstoss zur Erstellung dieser Studie war die laufende Revision der Technischen Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (TVA)⁴ sowie die schnelle Entwicklung im Bereich der biogenen Abfälle in den vergangenen Jahren. Ziel der vorliegenden Studie ist eine fachlich fundierte Bestandsaufnahme des aktuellen Standes und der Entwicklung der Kompostierung und Vergärung in der Schweiz. Die Studie basiert auf einer Auswertung von Daten für das Bezugsjahr 2013, die durch den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz erhoben und ausgewertet werden. Zusätzlich wurden bei den Kantonen die Daten von den nicht im Inspektorat erfassten Anlagen im Auftrag des BAFU gesammelt.

Das Bundesamt für Umwelt dankt allen Personen, die direkt oder indirekt an dieser Studie mitgewirkt haben, insbesondere den kantonalen Fachstellen für Umweltschutz, den Vergärungs- und Kompostierungsanlagen und dem Verband Biomasse Suisse.

¹ Biomassestrategie Schweiz vom 23. März 2009. Strategie für die Produktion, Verarbeitung und Nutzung von Biomasse in der Schweiz. Im Internet: www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/15396.pdf

² BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1991: Stand und Entwicklung der Kompostierung in der Schweiz 1990. Schriftenreihe Umwelt Nr. 151 Abfälle. Bern.

³ BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1994: Stand und Entwicklung der Kompostierung in der Schweiz 1993. Umwelt-Materialien Nr. 21 Abfälle. Bern.

⁴ Technische Verordnung über Abfälle (SR 814.600) vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. Juli 2011).

1 > Ziel und Methodik

Aufgrund der schnellen Entwicklung im Bereich der biogenen Abfälle und im Hinblick auf die laufende Revision der Technischen Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (TVA, SR 814.600) fehlten dem BAFU im Jahr 2014 aktuelle Angaben zu den Anlagen, die biogene Abfälle behandeln, wie zum Beispiel Anlagentyp und Anlagenkapazitäten, sowie spezifische Informationen wie zum Beispiel zu Abfallarten und Produktmengen (Input/Output) oder zu Biogas- und Stromproduktion. Ziel der vorliegenden Studie ist eine fachlich fundierte Bestandsaufnahme über die Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein sowie darüber, mit welchen Anlagentypen und Verfahren aktuell wie viele biogene Abfälle verarbeitet werden und wie die aktuellen Abfall- und Produkteströme aussehen.

Die Studie basiert auf einer Auswertung von Daten für das Bezugsjahr 2013, die durch den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz erhoben und ausgewertet werden. Zusätzlich wurden die Daten bei den Kantonen von den nicht vom Verein Inspektorat erfassten Anlagen im Auftrag des BAFU gesammelt. Die Ermittlung der Daten erfolgte über Fragebögen bei den kantonalen Fachstellen. Nicht berücksichtigt in dieser Statistik sind Faultürme kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sowie landwirtschaftliche Vergärungsanlagen, die Hofdünger plus ausschliesslich Material landwirtschaftlicher Herkunft (vom eigenen oder von fremden Betrieben) verwerten.

2 > Anlagentypen und Verfahren

Die Kompostierung (aerobe Behandlung von biogenen Abfällen) und die Vergärung (anaerobe Behandlung kombiniert mit Produktion von Biogas) sind wichtige Abfallbehandlungsverfahren, deren Bedeutung in der Schweiz stetig zunimmt. Während die Kompostierung überwiegend zum mikrobiellen Abbau und zur Stabilisierung von festen biogenen Abfällen eingesetzt wird, werden Vergärungsverfahren überwiegend bei flüssigen und schlammartigen biogenen Abfällen oder bei festen biogenen Abfällen zusammen mit flüssigen Substraten (Co-Vergärung) angewendet – in der Landwirtschaft werden Flüssigvergärungsanlagen gebaut, die flüssigen Hofdünger (Gülle), gemischt mit zusätzlichen organischen Stoffen (Co-Substraten) verwenden. Zum Zweck des Berichtes wurden fünf Anlagentypen zur Vorbehandlung, Kompostierung und Vergärung berücksichtigt. Es handelt sich um folgende Typen: Sammel- oder Umschlagplätze, Feldrandkompostierung, Platzkompostierung inkl. Hallen- und Boxenkompostierung, industriell-gewerbliche Vergärung und Co-Vergärung (oder landwirtschaftliche Vergärung). Ihre Hauptmerkmale sind im Folgenden aufgeführt.

2.1 **Sammel- oder Umschlagplätze**

Auf Sammel- und Umschlagplätzen findet kein kontrollierter biologischer Prozess statt. Das Material wird hier nach den Regeln der Abfallwirtschaft angenommen, möglichst sortenrein zwischengelagert, allenfalls zerkleinert und nachher zur Behandlung an eine andere Anlage weitergeleitet. Durch die Lager- und Umschlagprozesse ist es üblich, dass die weitergegebenen Gewichte nicht mehr ganz jenen bei der Annahme entsprechen. Dies erklärt sich durch abfliessendes Wasser und auch durch Austrocknung auf dem Platz. Das Material erwärmt sich nach der Zerkleinerung, womit auch ein Gewichtsverlust einhergeht.

2.2 **Feldrandkompostierung**

Das Grüngut, welches auf den befestigten Platz eines lokalen Landwirts (wie beim Sammelplatz gemäss Kapitel 2.1) geliefert wird, muss über mehrere Wochen gesammelt werden, um eine effiziente Verarbeitung zu ermöglichen. In der Regel werden die biogenen Abfälle von einer oder mehreren, meist nahe gelegenen Gemeinden angenommen. Die jeweiligen Gemeinden nehmen Grüngut in der Regel an speziellen Sammelstellen an und liefern es gewogen auf den Annahmeplatz. Der Landwirt stellt diesen Gemeinden einmal im Monat Rechnung für die angelieferte Menge. Auf dem Sammelplatz wird Astmaterial vom übrigen Grüngut sortenrein getrennt. Getrenntes Holz wird meist auf dem unbefestigten Teil des Annahmeplatzes gelagert, regelmässig gehäckselt und zum Beispiel in einer Schnitzelheizung genutzt.

Ab einer Menge von etwa 100 m³ Grüngut, wird dieses durch einen mobilen und sehr leistungsfähigen Grüngutschredder zerkleinert. Diese Maschine hat an einer drehenden Walze bewegliche Hämmer, welche das Grüngut zerschlagen. Dies ist sehr wichtig,

denn durch die so entstehenden Luftkanäle wird der sich bildende Kompost anschliessend an der Kompostmiete ausreichend durchlüftet. Um ein gutes Gemisch für die Kompostierung zu erhalten, braucht es ungefähr ein Drittel grobes holziges Material, ein Drittel feinfaseriges Material wie dünne Zweige und Laub sowie etwa ein Drittel feines Material wie Rasenschnitt. Durch den Schreddervorgang wird das Holz zerkleinert und aufgefasernt.

Kurz nach dem Schreddern wird das Grüngut an den Feldrand gefahren und dort seitlich an einen Walm oder eine Miete gelegt. Anschliessend wird der Kompost mit einem speziellen, seitlich am landwirtschaftlichen Traktor befestigten Umsetzgerät intensiv gemischt und gelockert (Abb. 1). Dabei wird am Grund der Kompostmiete eine vorwärtsdrehende Walze mit vertikal angebrachten Werkzeugen durchgezogen, welche das Grüngut vom Boden zu einer wallförmigen Miete hochwirft. Durch die Durchmischung kann frische Luft ins Mietenzentrum eindringen und die Mikroorganismen mit ausreichend Sauerstoff versorgen. Die Kompostmieten werden in der Regel in den ersten vier Wochen zweimal wöchentlich, danach nur noch einmal pro Woche umgesetzt. Beim Abbau der organischen Substanz durch Bakterien und Pilze wird Wärme freigesetzt. So heizt sich die Kompostmiete im Innern auf über 70 °C auf, wodurch Unkrautsamen und Pflanzenkrankheitserreger abgetötet werden. Die heisse Luft steigt in der Miete hoch und verlässt diese auf der Kuppe, womit sauerstoffreiche Luft seitlich in die Miete hineingezogen wird. Um die Miete vor zu starker Austrocknung oder zu nässendem Regen zu schützen, wird diese mit einem Kompostvlies abgedeckt.

Abb. 1 > Feldrandkompostierung im Kanton Bern

a) Umsetzen der Miete entlang eines Feldwegs

b) Zerkleinerung der biogenen Abfälle auf dem Sammelplatz



2.3

Platzkompostierung inkl. Hallen- und Boxenkompostierung

Bei der Kompostierung auf befestigten Plätzen (Platzkompostierung inkl. Hallen- und Boxenkompostierung) findet der kontrollierte biologische Prozess auf einer wasserundurchlässigen Oberfläche statt (Abb. 2). Eine Voraussetzung für das Kompostieren auf befestigten Plätzen ist, dass die biogenen Abfälle in genügend grosser Menge anfallen oder eingesammelt werden.

Abb. 2 > Platz-, Hallen- und Boxenkompostierung

a) offener Platz; b) gedeckte Halle; c) Boxenkompostierung mit Abluftbehandlung; d) Belüftungs-kanäle in den Boxen; e) gedeckte Rottehalle; f) offene Mietenkompostierung mit Vliesabdeckung.



Platzkompostierungen in der Schweiz und in Liechtenstein haben typischerweise eine Verarbeitungskapazität von 100 bis 1000 Tonnen biogene Abfälle jährlich. Bei der Platzkompostierung wird meist die verfügbare Betriebsfläche in mehrere Teilbereiche aufgeteilt, wie zum Beispiel Aufbereitungsplatz (Anlieferung und Zerkleinerung), Rottebereich, Feinaufbereitung und Produktkonditionierung. Der Aufbereitungsplatz dient der Verarbeitung (Kontrolle, Schreddern, Mischen) der gesammelten kompostierbaren Abfälle und als Lagerplatz für Strukturmaterial (Astmaterial). Um eine Querkontamination zu vermeiden, ist es notwendig, geeignete Massnahmen zu treffen, damit die hygienisch einwandfreien Fertigprodukte nicht mehr mit unbehandelten Ausgangsmaterialien in Kontakt kommen (z. B. darf abfliessendes Wasser vom Anliefer- und Zerkleinerungsbereich nicht in direkten Kontakt mit Material aus der Reifung

und Feinaufbereitung kommen). Je nach Zweck und Grösse der Anlage sind nur die Lager für die Fertigprodukte oder aber der ganze Produktionsprozess bei Hallen- oder Boxenkompostierung überdacht (Abb. 2). Vollständig eingehauste Anlagen sind in der Schweiz und in Liechtenstein nur vereinzelt zu finden. Die Herstellung von trockenen Komposten für den Gartenbau oder gar für den gedeckten Anbau verlangt nach relativ grossen überdachten Flächen.

2.4 Vergärung (industriell-gewerbliche)

Die Vergärung ist ein natürlicher biologischer Prozess, welcher den Abbau von organischem Material durch Mikroorganismen unter Ausschluss von Sauerstoff beschreibt. Die meisten der heutigen Vergärungs-Verfahren (Biogasanlagen) verwenden einen ähnlichen Ansatz zur Verarbeitung von organischem Material (Abb. 3).

Abb. 3 > Gewerblich-industrielle Biogas- oder Vergärungsanlagen

a) liegender Fermenter im Bau (Verfahren Kompogas); b) Boxenvergärung (BEKON-Verfahren); c) Flüssigannahme mit zwei liegenden Fermentern (Verfahren Kompogas); d) Annahme- und Aufbereitungshalle mit Flüssiglager am linken Bildrand (Verfahren Kompogas).



Trotz vieler Analogien der Vergärungs-Verfahren gibt es einige Parameter, anhand welcher die Verfahren definiert werden, wie zum Beispiel Anzahl Prozessstufen, Trockensubstanzgehalt (Feststoffvergärung oder Flüssigvergärung), Prozesstemperatur (mesophil oder thermophil) usw.

Flüssigvergärungsanlagen sind darauf ausgelegt, flüssige Substrate mit Feststoffgehalten von maximal 15 % zu verarbeiten. In Feststoffvergärungsanlagen hingegen werden Substratgemische mit Trockensubstanzgehalten von bis zu 45 % verarbeitet. In der Praxis gibt es inzwischen viele Verfahrensvarianten mit fließenden Übergängen zwischen Flüssig- und Feststoffvergärung oder Kombinationen beider Verfahren. Für die Schweiz und in Liechtenstein wichtige Feststoffvergärungsverfahren sind das Pfropfenstrom-Verfahren, welches bisher vorzugsweise in der kommunalen Abfallbehandlung angewendet wurde (Verfahren Kompogas), das Verfahren mit siloartigem Fermentersystem (DRANCO-Verfahren, Verfahren Valorga) und die Boxenvergärung (BEKON-Verfahren).

Gewerblich-industrielle Vergärungsanlagen sind meist in Gewerbe- bzw. Industriezonen lokalisiert. Die gewerblich-industrielle Vergärung wurde vor knapp 25 Jahren für biogene Abfälle aus der kommunalen Sammlung angepasst. In den ersten fünfzehn Jahren beherrschte das Verfahren Kompogas den Schweizer Markt. Das patentierte Kompogas-Verfahren basiert auf einer kontinuierlichen Trockenfermentation mittels Pfropfenstrom-Fermenter (Abb. 3). Der Gärprozess verläuft bei dieser Trockenvergärung bei einer Temperatur im Fermenter um 55 °C. Der mittlere Wassergehalt liegt bei rund 75 % und die Verweilzeit beträgt etwa 14 Tage. Mit dem Kompogas-Verfahren werden unerwünschte Sporen, Keimlinge und Mikroorganismen zuverlässig abgebaut. Der kontinuierlich beschickte, liegende Pfropfenstrom-Fermenter ermöglicht eine hohe Gasausbeute und ist aufgrund der einfachen Regelbarkeit relativ betriebssicher. Ein langsam drehendes Rührwerk fördert eine optimale Bildung von Methan. Ebenso wird durch eine spezielle Anordnung der Rührwerkspaddel eine Sedimentation der Schwerstoffe im Gärtank verhindert. Dem Vergärungsprozess sind diverse Schritte vor- und nachgelagert: Über eine Annahme gelangt der biogene Abfall zur Aufbereitung. Danach wird das Substrat automatisch in den Fermenter geleitet. Austrageitig entnimmt eine Pumpe das zähe Gärgut. Ein Drittel gelangt zur Impfung zurück zum Eintrag. Der Rest wird mit einer Presse in festes und flüssiges Gärgut getrennt.

In den letzten zehn Jahren wurde zusätzlich die Boxenvergärung (BEKON-Verfahren) entwickelt (Abb. 3). Sie folgte in der Bewirtschaftungsart der ursprünglichen Boxenkompostierung. Das BEKON-Verfahren ermöglicht die Verwertung von leicht vergärbarem organischem Material, wie zum Beispiel Grüngut, Mist von Nutztierhaltung (Rindern, Pferden und Geflügel) oder kommunale Abfälle. Der mittlere Wassergehalt liegt bei unter 75 %. Bei der Boxenvergärung wird das Material mit dem Frontlader in die garageähnlichen Boxen eingetragen. Nach dem Abschluss der Füllung wird das gasdichte Tor geschlossen und mit der Perkolation von Flüssigkeit mittels einer Sprinkleranlage begonnen. Die durch das Festmaterial durchsickernde Flüssigkeit beimpft die ganzen Teile, verteilt die Säurekonzentrationen und ermöglicht damit die Biogasbildung. Über einen Sammelschacht wird das Perkolat wieder in den Tank zurückgepumpt. Die Boxenvergärung wird mit einem leichten Überdruck betrieben, um die Bildung von explosionsfähigen Gas-Luft-Gemischen zu verhindern. Während des Befüllens und Entleerens der Boxen wird mit einer Absaugvorrichtung im hinteren Fermenterbereich dafür gesorgt, dass die Boxen mit Frischluft durchströmt werden.

2.5

Co-Vergärung oder landwirtschaftliche Vergärung

Co-Vergärungsanlagen sind Flüssigvergärungsanlagen, die flüssige Substrate mit einem variablen Feststoffgehalt, gemischt mit zerkleinerten, festen biogenen Abfällen zur Produktion von Biogas nutzen (Co-Vergärung). Landwirtschaftliche Biogasanlagen sind Co-Vergärungsanlagen und in der Schweiz und in Liechtenstein eine sehr weit verbreitete Art der Biogaserzeugung (Abb. 4). Die baulichen Anforderungen an Umschlagplätze, Lager- und Produktionsanlagen können sich nach verwendetem Zufuhrmaterial, nach Standort der Anlage und nach produziertem Vergärungsprodukttyp unterscheiden. Dabei entstehen je nach verwendetem Zufuhrmaterial unterschiedliche Vergärungsprodukte (Hofdünger oder Recyclingdünger).

Abb. 4 > Landwirtschaftliche Biogas- oder Co-Vergärungsanlagen

a) Vorgrube mit Rührwerk, Fermenter und Nachgärer (Verfahren Schweizer); b) liegender Fermenter mit Feststoffeintrag (Verfahren Agrikomp); c) Biogasanlage mit Mistlager-Fackel (links im Bild), Hydrolysetank (dunkelblau) und Fermenter mit Kühlaggregaten.



Seit dem 1. Januar 2009 können (Co-)Vergärungsanlagen gemäss der Energieverordnung (EnV)⁵ von der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) profitieren. Ziel ist es, den Anteil der erneuerbaren Energien am heute von Kern- und Wasserkraft dominierten Strommix zu erhöhen. Bei den landwirtschaftlichen Biogasanlagen, die im Rahmen der KEV den Landwirtschaftsbonus beanspruchen, darf der Anteil der Co-Substrate nicht mehr als 20 % betragen, d. h. mindestens 80 % des vergorenen Materials soll aus der Landwirtschaft und aus der Region kommen.

2.6 Kompost- und Gärgutqualität

Sowohl Kompost als auch Gärgut zählen zu den sogenannten organischen Recyclingdüngern und werden in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer, Erosionsschutzmittel sowie für die Rekultivierung verwendet. Die Hygieneanforderungen in der Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (Dünger-Verordnung, DüV)⁶ verlangen, dass bei der Herstellung oder der Verwendung von Kompost (und Gärgut) gewährleistet wird, dass keine unerwünschten Organismen wie zum Beispiel Pathogene oder Samen von Neophyten verbreitet werden. Die Hygieneanforderungen an Komposte gemäss den Weisungen und Empfehlungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrilchemie und Umwelthygiene (FAC, 1995)⁷ sowie die darauf aufbauende Wegleitung zur Zulassung von Düngern (FAL, 1999)⁸ umfassen die drei Aspekte Schwermetalle, Hygiene und Fremdstoffgehalte und beschreiben als Hygieneziel für Kompost (und Gärgut), dass der Gehalt an nicht weiter spezifizierten Unkrautsamen und Krankheitserregern für Menschen, Tiere und Pflanzen unbedenklich sein soll. Temperaturanforderungen und Verweilzeit für Komposte werden in den FAC-Weisungen konkret vorgegeben (Tab. 1). So muss auf jeder Anlage die Temperatur sämtlicher Kompostchargen im zeitlichen Verlauf gemessen und auf einem Temperaturprotokoll nachgeführt werden. Für Gärgut und in Bezug auf spezifische Organismen hingegen finden sich keine näheren Angaben.

Dünger dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn die Qualitätsanforderungen nach Anhang 2.6 der ChemRRV⁹ bezüglich der Grenzwerte für Schadstoffe und inerte Fremdstoffe erfüllt sind. Produzenten von Düngern dürfen nur Ausgangsmaterialien verwenden, die geeignet sind und das Endprodukt nicht nachteilig beeinflussen. Hofdüngern dürfen nur Materialien von nicht landwirtschaftlichen Betrieben beigefügt werden, wenn die Grenzwerte für Schadstoffe gemäss der DüV eingehalten werden. Bei der Herstellung oder Verwendung eines Düngers dürfen keine unerwünschten Organismen, wie pathogene Organismen oder Samen von Neophyten, verbreitet werden.

⁵ Energieverordnung (EnV) vom 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Januar 2015)

⁶ Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (Dünger-Verordnung, DüV) vom 10. Januar 2001 (Stand 1. Januar 2014).

⁷ FAC (1995) Kompost und Klärschlamm. Weisungen und Empfehlungen der Eidg. Forschungsanstalt für Agrilchemie und Umwelthygiene (FAC) im Bereich der Abfalldünger. EDMZ Art.-Nr. 730.920.d, vergriffen.

⁸ FAL (1999) Wegleitung zur Bewertung und Zulassung von Düngern und diesen gleichgestellten Erzeugnissen. EDMZ-Art.-Nr. 730.960.d.

⁹ Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) vom 18. Mai 2005 (Stand am 1. Dezember 2014).

Tab. 1 > Hygieneanforderungen an Komposte nach FAC (1995)

Anforderungen an Kompost	Bemerkungen
Mindestens 3 Wochen Verweilzeit im aeroben Milieu über 55 °C (Temperaturprotokoll mit mindestens 3 Messwerten)	Gilt für das gesamte Material, auch für Randbereiche, speziell bei Feldrandmieten und Kleinmieten. Während der 3 Wochen darf kein neues Eingangsmaterial zur Kompostcharge hinzugegeben werden.
Oder mindestens 1 Woche Verweilzeit im aeroben Milieu über 65 °C (Temperaturprotokoll mit mindestens 3 Messwerten)	Gilt vor allem für geschlossene Systeme ohne starke thermische Randeffekte. Während der Mindestverweilzeit darf kein neues Eingangsmaterial zur Kompostcharge hinzugegeben werden.
Oder ein anderes geeignetes Verfahren zur Erreichung der hygienischen Unbedenklichkeit (Temperaturprotokoll mit mindestens 3 Messwerten)	z. B. Pasteurisierung, Dämpfung etc.

3 > Ergebnisse der Erhebung

3.1 Anlagenanzahl und Anlagentyp mit Tonnen verarbeiteten Abfällen

Die Anzahl der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein beläuft sich im Jahr 2013 auf 368 Betriebe. In der Branche dominieren mit 260 Anlagen oder rund 70 % aller Betriebe zahlenmässig die Kompostierungsbetriebe. Deutlich sticht hier die Anzahl der Feldrandkompostierungsbetriebe heraus, die – nach den Hallen- und Boxenkompostierungen – zahlenmässig die zweitgrösste Fraktion innerhalb der Verarbeitungsbetriebe darstellen. 104 Anlagen stellen Feldrandkompostierungen dar. Die restlichen 156 Anlagen sind Hallen- und Boxenkompostierungen. Die Anzahl der landwirtschaftlichen Biogasanlagen und der industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen beläuft sich auf 98 Anlagen oder 27 % aller Anlagen. Davon stellen die landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen mit 71 Anlagen etwa 20 % aller Betriebe dar, gefolgt von den industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen mit 27 Betrieben oder 7 % aller Anlagen. Die Sammel- und Umschlagplätze stellen unter 3 % aller Anlagen dar. Rund 250 der insgesamt 368 Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein werden durch den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz überwacht.

Insgesamt wurden im Jahr 2013 rund 1 255 844 Tonnen biogene Abfälle verwertet. Die Feldrand- und Platzkompostierung verarbeiten zusammen rund 50 % der Abfallmenge. 8 % der Abfälle gelangen in die Feldrandkompostierung und 42 % in Hallen- und Boxenkompostierungen. In landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen und industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen wird die andere Hälfte der biogenen Abfälle verwertet, wobei dabei die Hofdünger nicht mitberechnet sind. Davon fallen rund 11 % auf die Co-Vergärung in landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen und 39 % auf die industriell-gewerblichen Biogasanlagen. Sammel- oder Umschlagplätze haben keine eigentliche Struktur für die biologischen Prozesse der Kompostierung oder Vergärung. Entsprechend sind die genannten Umschlagmengen Verluste, die bei der Lagerung und dem Umschlag entstehen. Sie betragen weniger als 0,3 Prozent. Die folgende Tabelle (Tab. 2) gibt einen Überblick über die Anzahl der Betriebe und die im Jahr 2013 verarbeiteten Mengen pro Verfahren.

Die Anlagen mit einer Kapazität von über 10 000 Tonnen Abfall pro Jahr stellen mit 39 Anlagen nur rund 10,5 % aller Betriebe dar. Dennoch verarbeiten sie rund 690 000 Tonnen pro Jahr oder 55 % der biogenen Abfälle (Abb. 5). Der Anteil an Anlagen mit einer Jahreskapazität von 5000 bis 10 000 Tonnen beläuft sich auf 8 % (31 Betriebe). In diesen Anlagen werden rund 190 000 Tonnen biogene Abfälle pro Jahr verwertet oder 15 % des Abfallaufkommens. Abbildung 5 zeigt, dass 131 Betriebe eine Kapazität von 1000 bis 5000 Tonnen biogenen Abfällen pro Jahr aufweisen und mit 290 000 Tonnen biogenen Abfällen rund 23 % des Abfallaufkommens verwerten. Die restlichen 167 Kompostier- und Vergärungsanlagen haben eine Kapazität von 100 bis 1000 Tonnen Abfall pro Jahr und stellen mit rund 45 % zahlenmässig die grösste Fraktion dar.

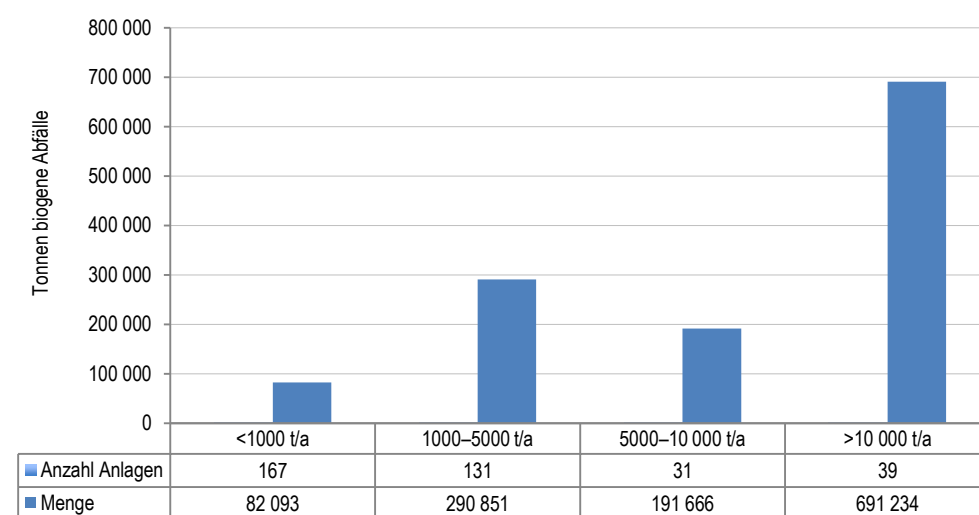
Dennoch werden hier rund 82 000 Tonnen biogene Abfälle pro Jahr verarbeitet oder 6,5 % aller biogenen Abfälle.

Tab. 2 > Anzahl Betriebe und verarbeitete Mengen mit Prozentanteil pro Verfahren

Typ	Anzahl Betriebe	Anteil	Tonnen pro Jahr	Anteil
Feldrandkompostierung	104	28,3 %	99 256	7,9 %
Platzkompostierung	156	42,4 %	527 067	42,0 %
Co-Vergärung	71	19,3 %	138 364	11,0 %
Vergärung (industriell-gewerbliche)	27	7,3 %	487 681	38,8 %
Sammel- oder Umschlagplatz	10	2,7 %	3 517	0,3 %
Total	368		1 255 844	

Aus Abbildung 5 lässt sich das Verhältnis zwischen den Betrieben mit einer Kapazität von über 10 000 Tonnen biogenen Abfällen pro Jahr und den restlichen Betrieben ablesen. Deutlich stechen die Mengen an biogenen Abfällen heraus, die in den grössten Anlagen mit einer Kapazität von über 10 000 Tonnen Abfällen pro Jahr verwertet werden (Abb. 5). Diese Anlagen verarbeiten im Schnitt achtmal mehr biogene Abfälle als Anlagen mit einer Jahreskapazität von unter 1000 Tonnen.

Abb. 5 > Anzahl Anlagen, gruppiert nach Anlagengrösse, und die verwerteten Abfallmengen



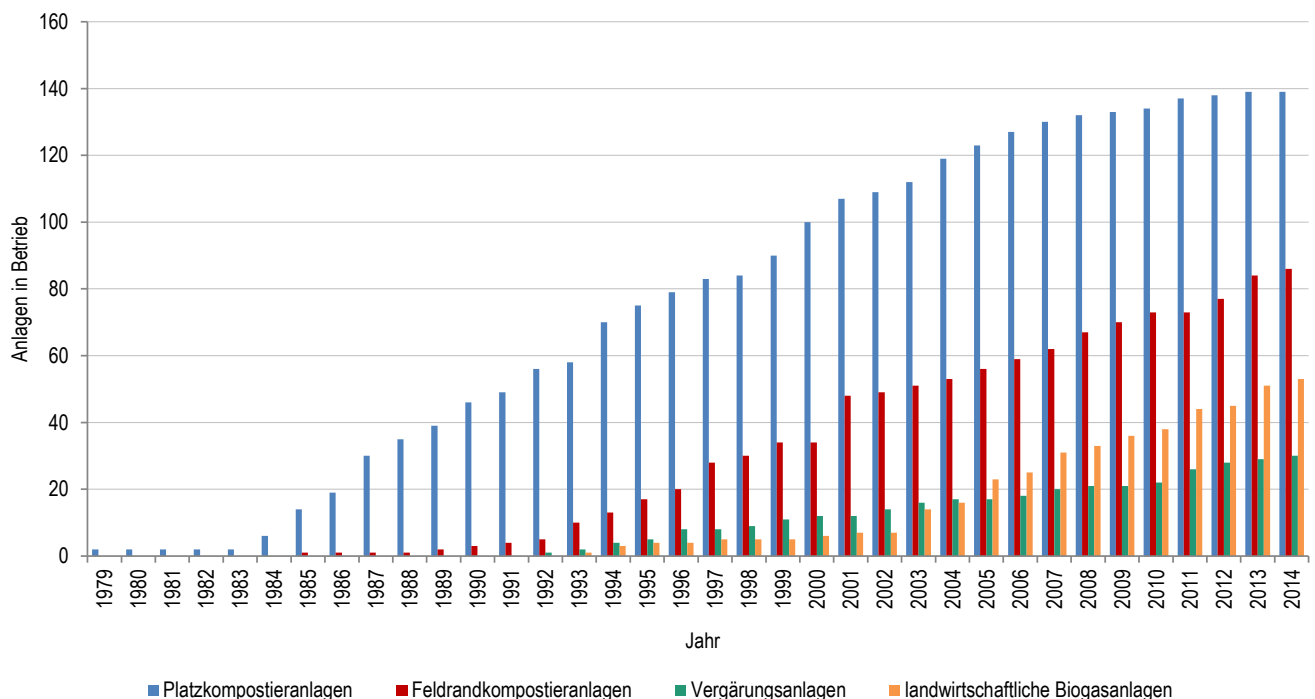
3.2 Entwicklung der Anzahl Betriebe nach Typ in den letzten 30 Jahren

In Abbildung 6 ist die Entwicklung des Bestandes an Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein differenziert nach Anlagenzahl, Anlagentyp und Jahr der Inbetriebnahme dargestellt. Datengrundlage bilden hierbei die Angaben der kantonalen Fachstellen für Umweltschutz sowie die Datenbank der Kompostier- und Vergärungsbranche CVIS. Aus Abbildung 6 ist ersichtlich, dass der Bestand an

Kompostier- und Vergärungsanlagen seit 1979 kontinuierlich zugenommen hat. Deutlich zu erkennen ist, dass in den 1980er-Jahren die Platzkompostierung dominierte, seit 1985 jedoch auch die Kompostierung entlang von befestigten Feldwegen (Feldrandkompostierung) an Bedeutung gewinnt. Beide Verfahren gewinnen aber seit 1985 stetig an Bedeutung. Während die Entwicklung der Platzkompostierung ab dem Jahr 2005 eine leichte Plateauphase erreichte, steigt die Anzahl der bewilligten Feldrandkompostierungen weiterhin leicht an.

Landwirtschaftliche Biogasanlagen und industriell-gewerbliche Vergärungsanlagen werden vermehrt seit dem Jahr 1992 gebaut oder teilweise von früheren Typen umgebaut und erweitert. Insbesondere in den Jahren 2003 bis 2013 wird eine deutliche Zunahme der Anzahl Anlagen zur anaeroben Abfallbehandlung beobachtet (Abb. 6). Diese Beobachtung steht zum einen in Zusammenhang mit der Einhaltung der gesetzlichen Hygieneanforderungen und der Reduktion von Geruchsemissionen. Zum anderen kann dies als Effekt der am 1. Januar 2009 eingeführten Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) gemäss der Energieverordnung (EnV)¹⁰ gedeutet werden, wodurch die Betreiber solcher Anlagen durch den eingespeisten Strom von wirtschaftlichen Vorteilen profitieren. Eine genaue Darstellung des Umfangs von Anlagenerweiterungen, differenziert nach Neuanlagen, war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da diese Daten nicht gesondert ausgewiesen werden.

Abb. 6 > Übersicht der Anlagen-Inbetriebnahme nach Anlagentyp (von 1979 bis 2014)



¹⁰ Energieverordnung (EnV) vom 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Juni 2015).

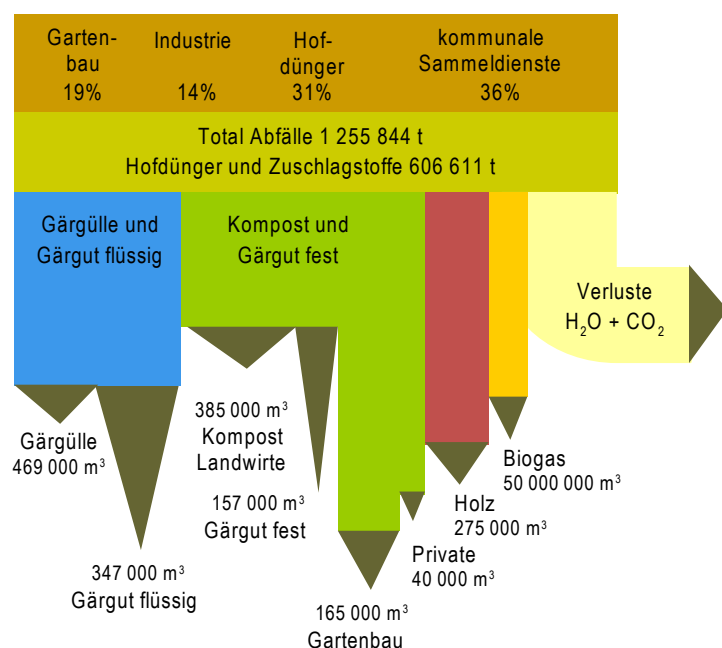
3.3 Herkunft der biogenen Abfälle und Produkteabsatz nach Verfahrenstyp

Die Herkunft der verwerteten biogenen Abfälle kann einheitlich durch vier Massenflüsse beschrieben werden (Abb. 7). Als Input-Ströme werden die biogenen Abfälle aus der kommunalen Sammlung, aus der Landwirtschaft, aus Gartenbau und Landschaftspflege und aus der Industrie betrachtet. Bei Hofdüngern handelt es sich nicht um biogene Abfälle, sondern um Mist und Gülle aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung. Weil aber die Hofdünger meistens in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen zusammen mit Co-Substraten verarbeitet werden und dort eine mehrfache Menge der Co-Substrate ausmachen, sind sie in Abbildung 7 und in Abbildung 8 auch dargestellt. Zur Relativierung der bedeutenden Menge muss erwähnt werden, dass die eingesetzten Hofdünger in der Regel einen viel höheren Wassergehalt aufweisen als die meisten biogenen Abfälle und somit die Trockenmasse deutlich kleiner ist.

Aus Abbildung 7 ist ersichtlich, dass auf die rund 1,25 Millionen Tonnen biogene Abfälle umgerechnet 606 000 Tonnen Hofdünger und Zuschlagstoffe anfallen, die in Co-Vergärungsanlagen verwertet werden. Unter Abzug des Anteils an Zuschlagstoffen, der 38 000 Tonnen pro Jahr oder rund 2 % beträgt, verbleiben umgerechnet 568 000 Tonnen Hofdünger. Insgesamt werden somit jährlich 1,85 Millionen Tonnen biogene Abfälle sowie Substrate aus der Landwirtschaft verwertet.

In der Verwertung dominieren mengenmässig mit 660 000 Tonnen Abfall pro Jahr (36 % der Gesamtmenge) die Abfälle aus der kommunalen Sammlung (Abb. 8), gefolgt von Hofdüngern mit rund 568 000 Tonnen oder 31 % und Abfällen aus Gartenbau und Landschaftspflege mit 349 000 Tonnen oder rund 19 % Anteil.

Abb. 7 > Generisches Massenflussdiagramm über die Herkunft von Abfällen und Hofdünger sowie Verwertung der Produkte

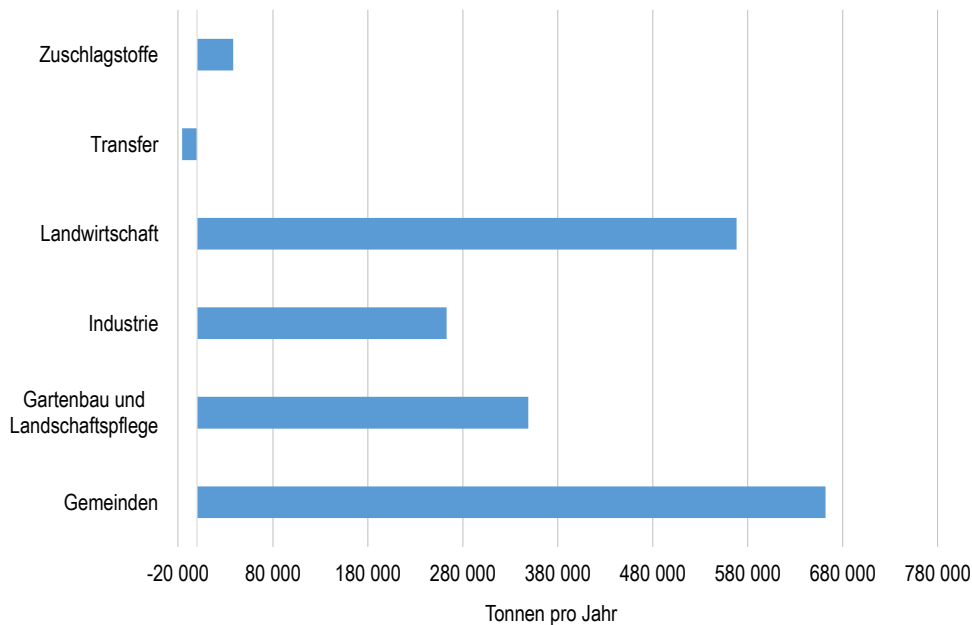


Biogene Abfälle aus der Industrie stellen mit rund 260 000 Tonnen pro Jahr etwa 14 % aller Abfälle dar.

Der kommunale Sammeldienst macht umgerechnet 36% aus. Den Rest teilen sich Gartenbau/Landschaftspflege und Industrie in einem Verhältnis vom 60:40 auf. Hofdünger und Zuschlagstoffe (Erden, Humus, Steinmehle etc.) ergeben zusammen eine ähnliche Menge wie die Abfälle aus Gartenbau/Landschaftspflege und Industrie.

Abb. 8 > Herkunft der verarbeiteten Mengen an biogenen Abfällen der Schweiz und in Liechtenstein

Transfer beschreibt die Menge biogener Abfälle, die auf Sammel- und Umschlagplätzen anfällt oder von dort weitergeleitet wird.



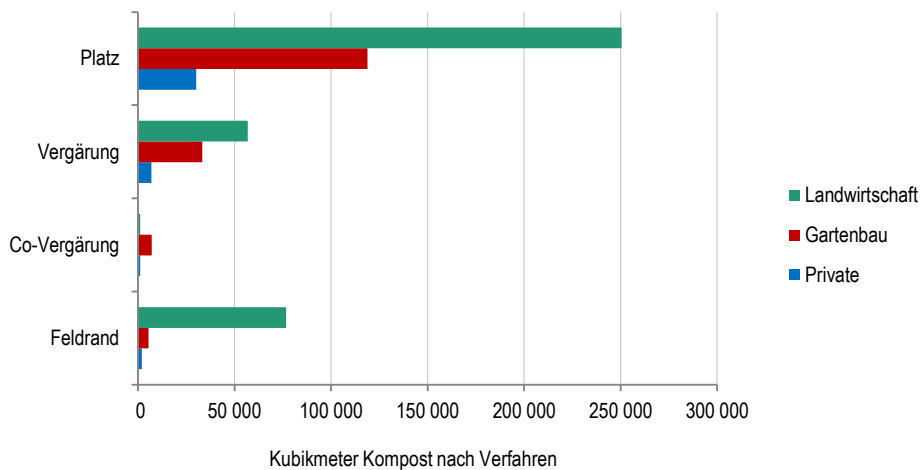
Bei dem Produkteabsatz zeichnen sich vier Output-Ströme aus, die in Abbildung 7 dargestellt sind. Es sind flüssiges Gärgut und Gärgülle, Kompost und festes Gärgut, aussortiertes Holz sowie Biogas. Bei den Verlusten (Abb. 7) handelt es sich grundsätzlich um Rotteverluste (Wasser und Kohlendioxid), die durch die Abbauvorgänge und die Verdunstung des Wassers freigesetzt werden. Die Verfahren und ihre Produkte werden im Folgenden dargestellt:

Bei der Abfallannahme in den rund 104 Feldrandkompostierungsanlagen wird Holz für die energetische Nutzung aussortiert und energetisch verwertet. Das übrige Material wird zerkleinert entlang von befestigten Feldwegen an Mieten angelegt und nach dem Prozess überwiegend auf den umliegenden Feldern als Dünger und Bodenverbesserer genutzt. Somit wird der überwiegende Anteil der Produkte (ca. 76 000 m³) aus der Feldrandkompostierung in der Landwirtschaft verwertet (Abb. 9). Nur einstellige Prozentanteile werden auch an Private oder in den Gartenbau (z. B. Baumschulen)

Feldrandkompostierung

geliefert (ca. 7300 m³). Vernachlässigbar kleine Mengen werden auch von Privaten abgeholt.

Abb. 9 > Kompostmengen von den verschiedenen Verfahren mit Anwendungsbereich



Die Verarbeitungsmenge der 156 Anlagen für Platz- und Boxenkompostierung liegt bei rund 527 000 Tonnen und ist somit fünfmal höher als die Abfallmenge in den Feldrandkompostierungen. Entsprechend höher sind die abgesetzten Kompostmengen. Aus Abbildung 9 ist ersichtlich, dass die Platzkompostierung neben Kompost für den Ackerbau auch einen beachtlichen Anteil für den Gartenbau und den Hobbybereich produziert (ca. 118 000 m³). Die Herstellung von verbrauchsfertigen Erdenmischungen verlangt Humus und andere Zuschlagstoffe.

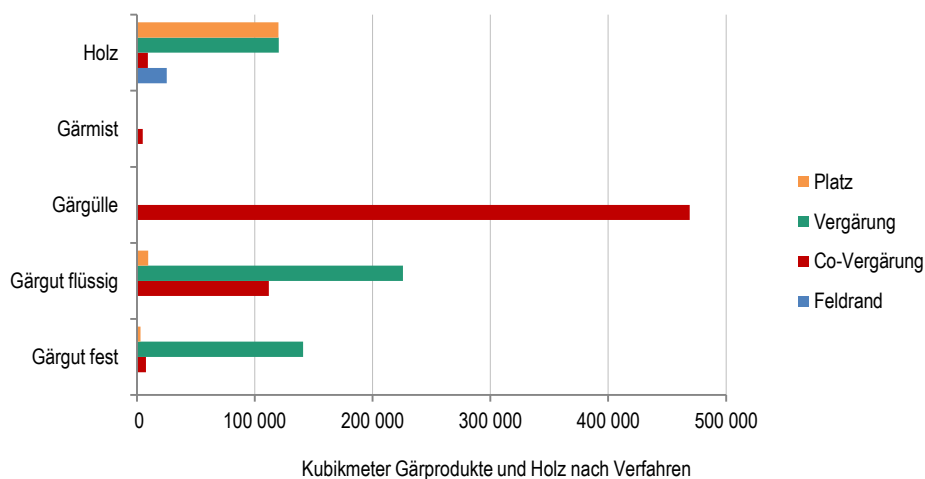
Platz- und Boxenkompostierung

Kleinere Mengen an Kompost werden auch von Feststoff- und Co-Vergärungsanlagen hergestellt. Es handelt sich dabei um kombinierte Betriebe, wo im Hauptteil vergoren wird und in einem kleineren Betriebsteil auch noch kompostiert wird. Nur vier Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein kompostieren das feste Gärgut systematisch. Die meisten geben das Gärgut ohne entsprechende Nachkompostierung in die Landwirtschaft ab.

Die 71 Co-Vergärungsanlagen verwerten 138 000 Tonnen Abfälle und 568 000 Tonnen Hofdünger. Die Co-Vergärung produziert vor allem Gärgülle (470 000 m³) und flüssiges Gärgut (110 000 m³). Bei der Co-Vergärung entstehen neben den flüssigen Produkten rund 8000 m³ festes Gärgut und rund 5000 m³ Gärmist (Abb. 10). Die Produkte Gärgülle und Gärmist entstehen bei Biogasanlagen mit einem Input-Anteil von mehr als 80 % Material landwirtschaftlicher Herkunft. Entsprechend entstehen festes und flüssiges Gärgut, wenn in der Biogasanlage Material mit einem Anteil von mehr als 20 % nicht landwirtschaftlicher Herkunft vergärt wird. Die Produkte von Co-Vergärungsanlagen werden zu über 95 % landwirtschaftlich verwertet. Kompost und festes Gärgut unterscheiden sich vor allem in den Gehalten an Ammonium und in der Qualität der organischen Substanz. Bei Gärgut ist sie weniger umgebaut und stabilisiert. Im flüssigen Gärgut von Kompogasanlagen ist der Trockensubstanzgehalt deutlich höher als bei landwirtschaftlichem Gärgut oder bei Gärgülle.

Co-Vergärung

Abb. 10 > Gärprodukte für die überwiegend landwirtschaftliche Nutzung und Holz für die energetische Nutzung, aufgeteilt nach Anlieferung bei dem jeweiligen Anlagentyp



Die 27 Anlagen nehmen fast 490 000 Tonnen Abfälle an, was einer mittleren Verarbeitungsmenge von 18 150 Tonnen entspricht. Damit sind die Anlagen in der Regel für die regionale Entsorgung bedeutend und sind aufgrund der Kostenstruktur auch auf diese Anlieferungen angewiesen. Ihre Produkte werden meist in Form von Dünger in der Landwirtschaft ausgebracht. Dabei entstehen 141 000 m³ festes Gärgut und 226 000 m³ flüssiges Gärgut. In einer ähnlichen Grössenordnung wie bei der Platzkompostierung wird auch bei den Vergärungsanlagen rund 120 000 m³ Holz separiert und der energetischen Verwertung zugeführt. Zum Teil wird auch der Siebüberlauf nach der Siebung des festen Gärgutes dieser energetischen Verwertung zugeführt.

Vergärung

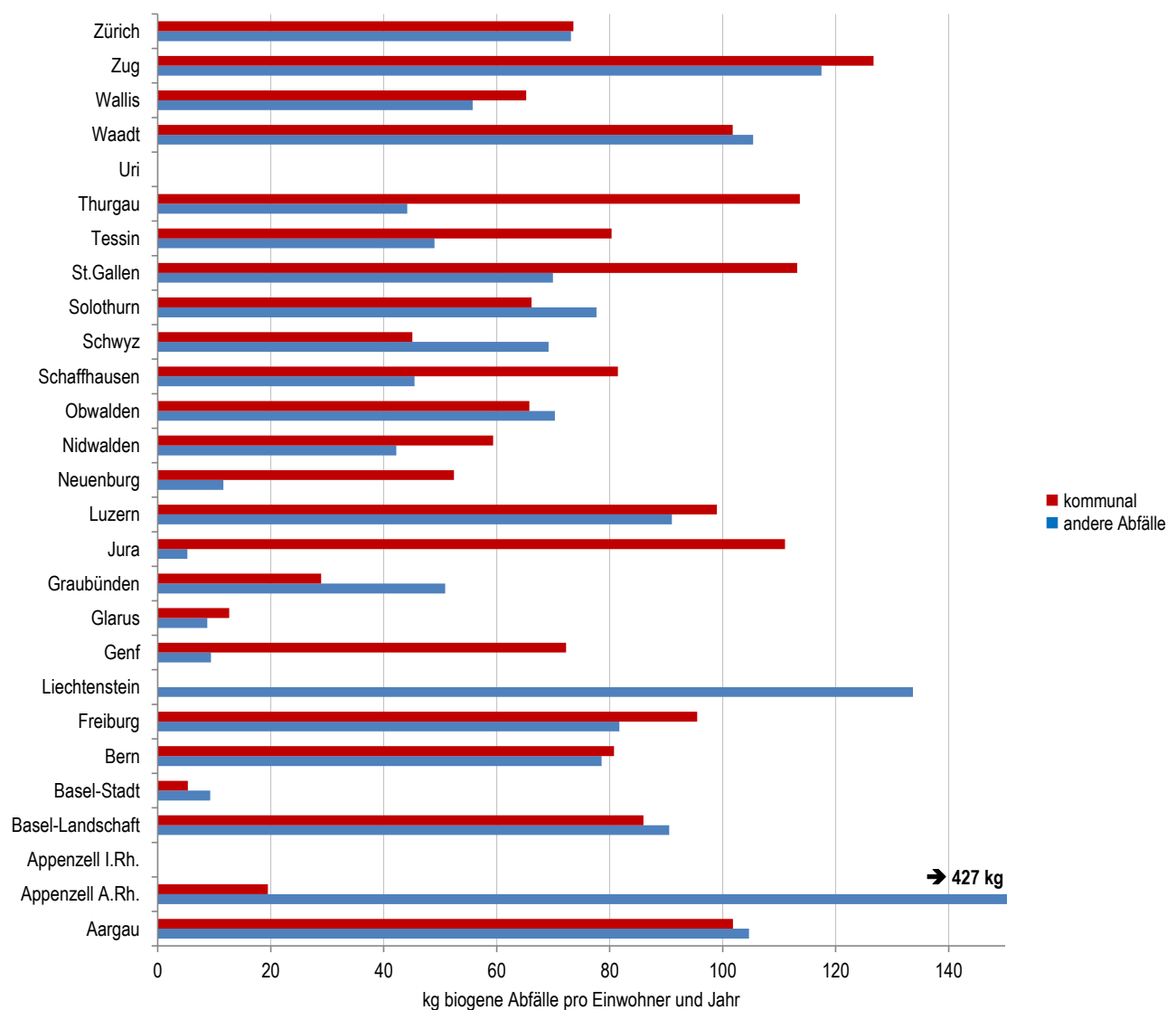
3.4 Regionale Mengenverteilung der biogenen Abfälle

In Abbildung 11 sind die verarbeiteten Mengen biogener Abfälle pro Kanton, aufgeteilt nach kommunaler Herkunft und anderen Abfällen (Gartenbau und Landschaftspflege sowie Industrie), ersichtlich. Die regionale Mengenverteilung der verarbeiteten biogenen Abfälle folgt in weiten Teilen der Bevölkerungsstruktur in Bezug auf Anzahl Einwohner und Bevölkerungsdichte.

In 24 Kantonen und in Liechtenstein werden pro Einwohner und Jahr 73 kg biogene Abfälle aus der kommunalen Sammlung und 70 kg andere biogene Abfälle verwertet (Medianwerte). Keine Verarbeitungsanlagen für biogene Abfälle weisen die Kantone Uri und Appenzell Innerrhoden auf. Es wird die verarbeitete Menge auf dem Kantonsgebiet, jedoch nicht die Herkunft der Sammelmenge abgebildet, die nicht in einer genügenden Auflösung für weitergehende Aussagen vorliegt. Aus Abbildung 11 ist ersichtlich, dass die Kantone Aargau, Jura, St. Gallen, Thurgau, Waadt und Zug überdurchschnittlich viele biogene Abfälle aus dem kommunalen Sammeldienst verwerten. Als Kantone nahe dem Medianwert bei der kommunalen Sammlung zeichnen sich die Kantone Zürich, Tessin, Solothurn, Schaffhausen, Luzern, Genf, Freiburg, Bern und Basel-Landschaft aus. Kantone mit einer unterdurchschnittlichen Menge verarbeiteter Abfälle aus dem kommunalen Sammeldienst sind Appenzell Ausserrhoden, Basel-

Stadt, Glarus, Graubünden, Neuenburg, Nidwalden und Obwalden, Schwyz, Uri und Wallis sowie Liechtenstein. Es ist zu berücksichtigen, dass grosse Mengen an biogenen Abfällen aus der kommunalen Sammlung in Liechtenstein und im Kanton Zürich zur Verwertung in den Kanton St. Gallen geliefert werden.

Abb. 11 > Menge verarbeiteter biogener Abfälle pro Kanton in kg pro Einwohner und Jahr



In ländlichen Gebieten mit grosser Anlageninfrastruktur werden überdurchschnittlich viele biogene Abfälle ausserhalb des kommunalen Sammeldiensts (Gartenbau und Landschaftspflege, lebensmittelverarbeitende Industrie usw.) verwertet. Der höchste Wert liegt beim Kanton Appenzell Ausserrhoden (427 kg pro Einwohner und Jahr), wo viele Abfälle aus der Ostschweiz verarbeitet werden. Signifikante Abfallmengen werden in den Kantonen Zug, Waadt, Aargau sowie in Liechtenstein verwertet. Nicht enthalten sind in diesen Zahlen jene Mengen an meist industriellen Abfällen, welche in

Faultürmen von Kläranlagen vergärt werden und deren Reste mit dem Klärschlamm verbrannt werden. Ebenfalls nicht enthalten sind die Verarbeitungsmengen der industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen, welche tierische Nebenprodukte der Risikokategorie 1 (K1) gemäss der Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP) verwerten und als Rückstand verbrannt werden.

3.5 **Energieproduktion aus der Verarbeitung von biogenen Abfällen in der Schweiz und in Liechtenstein**

Biogas entsteht bei der Vergärung von biogenen Abfällen. Rohes Biogas besteht zu circa 50 bis 70 % aus Methan (CH₄), welches energetisch genutzt werden kann. Rohes Biogas kann direkt als Treibstoff in einer stationären Stromerzeugungsanlage eingesetzt oder unter bestimmten Bedingungen ins Erdgasnetz eingespeist werden. Biogas hat vor allem wegen seiner flexiblen und vielseitigen Einsetzbarkeit grosses Potenzial. Neben der Einspeisung ins Erdgasnetz sowie der Wärme- und Stromerzeugung vor Ort kann man es als Treibstoff nutzen.

Die Datenbank des Inspektorats der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz CVIS enthält Energieangaben über etwas mehr als die Hälfte der Biogasanlagen. Für die Zwecke dieses Berichts wurden auch Daten aus der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien verwendet.

Gemäss CVIS und der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien wurden im Jahr 2013 rund 1867 Terajoule (TJ) Bruttoenergie Biogas produziert. Als Endenergie wurden davon 547 TJ als Elektrizität, 200 TJ als Wärme und 270 TJ als aufbereitetes und ins Netz eingespeistes Biogas verwendet. Rund die Hälfte der Bruttoenergie gehen beim Eigenverbrauch der Anlage und bei der Umwandlung verloren. Klärgasanlagen/Abwasserreinigungsanlagen und Biogasanlagen, die Industrieabwässer verarbeiten, werden hier nicht berücksichtigt.

3.6 **Potenzial an biogenen Abfällen**

Die gesamthaft in der Schweiz anfallende Menge an biogenen Abfällen ist grösser als die Menge, die gegenwärtig in den Kompostier- und Vergärungsanlagen verwertet wird.^{11,12} Gemäss der BAFU-Studie «Erhebung der Kehrichtzusammensetzung 2012» beläuft sich die Menge der Nahrungsmittelabfälle, die über den Siedlungsabfall in die Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) gelangt, auf rund 250 000 Tonnen pro Jahr. Daraus resultiert zwar ein energetischer Nutzen aus dem Verbrennungsprozess, darüber hinaus stehen aber diese Abfälle für eine stoffliche Verwertung nicht zur Verfügung. Mit einer Optimierung der Verwertung können Nährstoffe, Bodenverbesserer und erneuerbare Energie gewonnen und so die Umweltbelastungen, wie Eintrag von Schadstoffen oder Fremdstoffen durch Dünger, sowie auch der Einsatz von fossilen Energieträgern reduziert werden.

¹¹ Baier U., Baum S. 2008. Biogene Güterflüsse der Schweiz. Reihe Umwelt Wissen: Abfall, Bd. 31/08. BAFU Bundesamt für Umwelt, Bern.

¹² Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2012: Erhebung der Kehrichtzusammensetzung. Im Internet: www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/33597.pdf

4 > Schlussfolgerungen und Ausblick

In der Schweiz und in Liechtenstein existiert flächendeckend ein leistungsfähiger Wirtschaftszweig zur Behandlung und Verwertung von biogenen Abfällen. Die Verarbeitung von biogenen Abfällen entwickelte sich von dezentralen Systemen wie der Kompostierung im Hausgarten oder im Quartier über die Feldrandkompostierung hin zu modernen Vergärungsanlagen mit einer Kapazität von über 10000 Tonnen pro Jahr. Der Weg von kleinen dezentralen zu verhältnismässig grossen Einheiten ist regional unterschiedlich schnell vorangekommen, aber diese Tendenz ist überall in der Schweiz sichtbar. Die Entwicklung wird durch eine Professionalisierung begleitet, die standardmässige Eingangskontrollen, -wägungen, Betriebsabläufe, gesicherte Hygienestandards, regelmässige Betriebskontrollen und -protokolle sowie eben-falls externe Überprüfungen der Qualitäten von Prozessen und Produkten voraussetzt.

Geprägt wurde die Entwicklung des Marktes in den 1990er-Jahren durch eine rege Nachfrage nach Anlagen zur anaeroben Behandlung von biogenen Abfällen. Deutlich zu erkennen ist, dass in den 1980er-Jahren die Platzkompostierung dominierte, seit dem Jahr 1985 jedoch auch die Kompostierung entlang von befestigten Feldwegen (Feldrandkompostierung) an Bedeutung gewinnt. Beide Verfahren gewinnen aber seit 1985 stetig an Bedeutung. Während die Entwicklung der Platzkompostierung ab dem Jahr 2005 eine leichte Plateauphase erreichte, nimmt die Anzahl der bewilligten Feldrandkompostierungen weiterhin zu.

Die Kontrollaktivität auf Ebene Kanton ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Rund die Hälfte der Kantone hat die Kontrolltätigkeit an den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz ausgelagert und bekommt Daten in standardisierter Form. In wenigen Kantonen existieren ausgelagerte Inspektionen, die in der Regel keine Datenerhebungen enthalten. Eine einheitliche Datenerfassung der Input- und Output-Ströme in den Kompostier- und Vergärungsanlagen (z. B. Abfallarten, Erfassungseinheit usw.) wird allerdings eine Verbesserung der Datenqualität sowie auch eine erleichterte und raschere Auswertung und Harmonisierung zwischen den Kantonen zur Folge haben.

Die gültige schweizerische Umweltgesetzgebung enthält keine Verpflichtungen, die anfallenden biogenen Abfälle zu verwerten. Im Rahmen der TVA-Revision wird jedoch eine allgemeine Verwertungspflicht für biogene Abfälle eingeführt werden. Eine stoffliche und energetische Verwertung hat danach zu erfolgen, wenn die Abfälle sich aufgrund ihrer Eigenschaften, insbesondere ihrer Nährstoff- und Schadstoffgehalte, dafür eignen und separat gesammelt wurden. Ebenso ist im Rahmen der TVA-Revision vorgesehen, eine periodische Berichterstattung über die Abfallanlagen und die entsorgten Abfallmengen einzuführen.

5 > Abschliessende Zusammenfassung

Biogene Abfälle spielen eine wichtige Rolle als Rohstoffe für hochwertige Produkte und als Energieträger. Die stoffliche und energetische Verwertung von biogenen Abfällen hat sich als gewichtiger Bestandteil der Abfallverwertung in der Schweiz und in Liechtenstein etabliert. Die Kompostierung und Vergärung von biogenen Abfällen ist von grosser ökologischer sowie ökonomischer Bedeutung. Beide Abfallverwertungsverfahren liefern einen bedeutenden Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz der Schweiz.

In der Schweiz und in Liechtenstein existiert flächendeckend ein leistungsfähiger Wirtschaftszweig zur Entsorgung von biogenen Abfällen. Die Verwertung biogener Abfälle entwickelte sich von dezentralen Systemen wie der Kompostierung im Hausgarten oder Quartier über die Feldrandkompostierung hin zu den modernen Vergärungsanlagen mit einer Kapazität von über 20000 Tonnen pro Jahr. Der Weg von kleinen, dezentralen Anlagen hin zu verhältnismässig grossen Einheiten ist regional unterschiedlich schnell vorangekommen, aber diese Tendenz ist überall in der Schweiz sichtbar.

Geprägt wurde die Entwicklung des Marktes in den 1990er-Jahren durch eine rege Nachfrage nach Anlagen zur anaeroben Behandlung von biogenen Abfällen. Deutlich zu erkennen ist, dass in den 1980er-Jahren die Platzkompostierung dominierte, seit dem Jahr 1985 jedoch auch die Kompostierung entlang von befestigten Feldwegen (Feldrandkompostierung) an Bedeutung gewinnt. Die Gesamtzahl der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein nimmt seit 1979 kontinuierlich zu und beläuft sich auf 368 Betriebe. In der Branche dominieren zahlenmässig die Kompostierungsbetriebe (70 %), gefolgt von den landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen (20 %) und den industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen (7 %). Die Sammel- und Umschlagplätze stellen weniger als 3 % aller Kompostier- und Vergärungsanlagen dar.

Im Durchschnitt werden in der Schweiz und in Liechtenstein mehr als 154 kg biogene Abfälle je Einwohner verwertet, was einer jährlichen Gesamtmenge von etwa 1,26 Millionen Tonnen entspricht. 55 % der biogenen Abfälle werden in 39 Anlagen mit einer Kapazität von über 10000 Tonnen Abfall pro Jahr verwertet. Weitere rund 38 % werden in 162 Kompostier- und Vergärungsanlagen mit einer Kapazität von 1000 bis 10000 Tonnen Abfall pro Jahr verarbeitet. Die restlichen 167 Kompostier- und Vergärungsanlagen haben eine Kapazität von weniger als 1000 Tonnen Abfall pro Jahr und verarbeiten 6,5 % des Abfallaufkommens.

Die regionale Mengenverteilung der verwerteten biogenen Abfälle folgt in weiten Teilen der Bevölkerungsstruktur in Bezug auf Anzahl Einwohner und Bevölkerungsdichte. In 24 Kantonen werden pro Einwohner und Jahr im Durchschnitt 73 kg biogene Abfälle aus der kommunalen Sammlung und 70 kg andere biogene Abfälle verwertet. Signifikante Mengen an biogenen Abfällen ausserhalb des kommunalen Sammeldiens-

tes (Gartenbau und Landschaftspflege, lebensmittelverarbeitende Industrie usw.) werden in ländlichen Gebieten mit grosser Anlageninfrastruktur verwertet.

Bezogen auf das Volumen werden rund 86 % der Produkte aus den Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Landwirtschaft in Form von Kompost (24 %), Gärgülle (30 %) sowie festem und flüssigem Gärgut (32 %) eingesetzt. Der professionelle Gartenbau übernimmt rund 11 % der Produkte. Weitere 3 % werden durch Private im Hobby-Gartenbau verwendet.

Die Kontrollaktivität auf Ebene Kanton ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Rund die Hälfte der Kantone hat die Kontrolltätigkeit an den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz ausgelagert und bekommt Daten in standardisierter Form. Es sind 250 der insgesamt 368 Kompostier- und Vergärungsanlagen der Schweiz, die im Jahr 2013 durch den Verein Inspektorat überwacht werden. In wenigen Kantonen existieren ausgelagerte Inspektionen, die in der Regel keine Datenerhebungen enthalten. Eine einheitliche Datenerfassung der Input- und Output-Ströme in den Kompostier- und Vergärungsanlagen (z. B. Abfallarten, Erfassungseinheit usw.) wird eine Verbesserung der Datenqualität sowie auch eine erleichterte und raschere Auswertung und Harmonisierung zwischen den Kantonen zur Folge haben. Insbesondere können dadurch die Basisdaten zu Mengen und zur Zusammensetzung von landwirtschaftlichen Abfällen verbessert werden.

Das Gesamtaufkommen an biogenen Abfällen in der Schweiz hat ein höheres Potenzial als die Menge, die gegenwärtig in den Kompostier- und Vergärungsanlagen verwertet wird. Im Vergleich zum Aufkommen zeigt sich, dass ein grosser Teil der biogenen Abfälle noch nicht optimal genutzt wird und bei der getrennten Bio- und Grünabfallsammlung noch beachtliches Optimierungspotenzial besteht. Mit einer Optimierung der Nutzung können allerdings Nährstoffe, Bodenverbesserer und erneuerbare Energie gewonnen und so die Umweltbelastungen, wie Eintrag von Schadstoffen oder Fremdstoffen durch Dünger, oder Einsatz von fossilen Energieträgern reduziert werden.

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1 Feldrandkompostierung im Kanton Bern	12
Abb. 2 Platz-, Hallen- und Boxenkompostierung	13
Abb. 3 Gewerblich-industrielle Biogas- oder Vergärungsanlagen	14
Abb. 4 Landwirtschaftliche Biogas- oder Co-Vergärungsanlagen	16
Abb. 5 Anzahl Anlagen, gruppiert nach Anlagengrösse, und die verwerteten Abfallmengen	20
Abb. 6 Übersicht der Anlagen-Inbetriebnahme nach Anlagentyp (von 1979 bis 2014)	21
Abb. 7 Generisches Massenflussdiagramm über die Herkunft von Abfällen und Hofdünger sowie Verwertung der Produkte	22
Abb. 8 Herkunft der verarbeiteten Mengen an biogenen Abfällen der Schweiz und in Liechtenstein	23
Abb. 9 Kompostmengen von den verschiedenen Verfahren mit Anwendungsbereich	24
Abb. 10 Gärprodukte für die überwiegend landwirtschaftliche Nutzung und Holz für die energetische Nutzung, aufgeteilt nach Anlieferung bei dem jeweiligen Anlagentyp	25
Abb. 11 Menge verarbeiteter biogener Abfälle pro Kanton in kg pro Einwohner und Jahr	26

Tabellen

Tab. 1 Hygieneanforderungen an Komposte nach FAC (1995)	18
Tab. 2 Anzahl Betriebe und verarbeitete Mengen mit Prozentanteil pro Verfahren	20

> Glossar

ARA

Abwasserreinigungsanlage

BAFU

Bundesamt für Umwelt

BFE

Bundesamt für Energie

Biogas

Biogas ist ein brennbares Gasgemisch, das durch die Vergärung von Biomasse entsteht.

BLV

Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen

BLW

Bundesamt für Landwirtschaft

ChemRRV

Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV; SR 814.81) vom 18. Mai 2005

CVIS

Inspektoratssystem für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz

DüV

Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (Dünger-Verordnung, DüV; SR 916.171) vom 10. Januar 2001

FAC

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC)

FS

Feuchtsubstanz

KEV

Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) gemäss der Energieverordnung (EnV) vom 7. Dezember 1998

Kompost

Unter Luftzutritt (aerob) verrottetes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material

Kompostierung

Aerobe Behandlung von organischen Abfällen

KVA

Kehrichtverbrennungsanlage

TS

Trockensubstanz

TVA

Technische Verordnung über Abfälle (SR 814.600) vom 10. Dezember 1990

USG

Umweltschutzgesetz (SR 814.01) vom 7. Oktober 1983

Vergärung

Anaerobe Behandlung von organischen Abfällen, kombiniert mit der Produktion von Biogas

VTNP

Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP; SR 916.441.22) vom 25. Mai 2011