

09.11.2020

# **Stärken und Schwächen von Bio- gasanlagen**

## Literaturstudie



**energie schweiz**  
Unser Engagement: unsere Zukunft.

**Autoren**

Dr. Isabel O'Connor

Isolde Erny

Felix Ribi

Dr. Andy Spörri

Dr. Sabine Perch-Nielsen

EBP Schweiz AG

Zollikerstrasse 65

8702 Zollikon

Schweiz

Telefon +41 44 395 11 11

info@ebp.ch

www.ebp.ch

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.**

**Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

**Adresse**

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, [www.infoline.energieschweiz.ch](http://www.infoline.energieschweiz.ch)

[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch), [twitter.com/energieschweiz](https://twitter.com/energieschweiz)

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>Résumé de l'étude</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>8</b>
1.1 Ausgangslage .....	8
1.2 Ziele und Systemgrenzen .....	8
<b>2 Begriffe und Definitionen</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Energiebereitstellung</b> .....	<b>14</b>
3.1 Was sind die Stärken und Schwächen der Energieerzeugung durch Biogasanlagen? .....	14
3.2 Wie ist die Energieerzeugung saisonal verteilt? .....	16
3.3 Wie gross ist das energetische Potenzial in der Schweiz? .....	19
<b>4 Umweltauswirkungen</b> .....	<b>21</b>
4.1 Was ist die Ökobilanz und Treibhausgasbilanz der energetischen Biogasprodukte? .....	21
4.2 Wie ist die Ökobilanz der Vergärungsprodukte im Vergleich zu anderen Düngemitteln? .....	25
4.3 Wie stark kann der Methanschupf reduziert werden? .....	27
4.4 Wie tragen Biogasanlagen dazu bei, den stofflichen Kreislauf bei organischen Abfällen zu schliessen? .....	29
4.5 Wie teuer ist die Treibhausgasreduktion durch Biogasanlagen im Vergleich zu anderen Klimaschutzmassnahmen? .....	31
<b>5 Herstellung von organischem Dünger</b> .....	<b>34</b>
5.1 Welche Stärken und Schwächen hat die Verwendung von Vergärungsprodukten als Dünger? .....	34
5.2 Können Biogasanlagen regionale oder lokale Nährstoff-überschüsse reduzieren? .....	38
5.3 Wie viel Mineraldünger könnten durch Vergärungsprodukte ersetzt werden? .....	41
<b>6 Querschnittsthemen</b> .....	<b>42</b>
6.1 Wie kann man die Kosten von Biogasanlagen auf die verschiedenen Produkte aufteilen? .....	42
6.2 Wie hoch ist die Zahlungsbereitschaft für die verschiedenen Produkte? .....	44

## Zusammenfassung

Die Schweizer Energie, Klima- und Landwirtschaftspolitik ist stark im Wandel. So ist derzeit eine Revision des Energiegesetzes für neue Fördermassnahmen nach 2023 im Gange. Die Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes wurde vom Parlament im September 2020 beschlossen und für die Agrarpolitik ab 2022 hat der Bundesrat die Botschaft verabschiedet. Es stellt sich die Frage, wie Biogasanlagen in Zukunft die Zielsetzungen in den unterschiedlichen Gesetzgebungen unterstützen können.

In dieser Literaturstudie wurde der aktuelle Wissensstand zu den Stärken und Schwächen von Biogasanlagen bezüglich Energiebereitstellung, Umweltauswirkungen, Herstellung organischer Dünger und Querschnittsthemen zusammengestellt. Betrachtet werden landwirtschaftliche und industriell-gewerbliche Biogasanlagen, welche nicht-verholzte Biomasse vergären. In der Schweiz werden nur Abfälle und Rückstände und Hofdünger vergärt, also keine nachwachsende Rohstoffe wie beispielsweise Mais.

Biogasanlagen zeichnen sich dadurch aus, dass sie verschiedene Produkte und Dienstleistungen erbringen. Das Hauptprodukt ist Biogas, welches entweder direkt im BHKW zu Wärme und Strom umgewandelt oder alternativ zu Biomethan aufbereitet und danach als Treib- oder Brennstoff verwendet wird. Die Vergärungsprodukte Gärgülle (Gärdünggülle und Gärmist) und Gärgut (flüssig und fest) eignen sich als Dünger und Bodenverbesserer. Zusätzlich leisten Biogasanlagen weitere Dienstleistungen in den Bereichen Energie (insb. Systemdienstleistungen), Entsorgung von organischen Abfällen und Klimaschutz.

### Energiebereitstellung

Biogas ist eine erneuerbare, kurzfristig speicherbare und damit flexibel nutzbare Energiequelle, welche ganzjährig unabhängig von äusseren Witterungsbedingungen hergestellt werden kann. Das Potenzial ist begrenzt aber noch nicht ausgeschöpft. Insbesondere beim Hofdünger besteht noch ungenutztes Potenzial. Die Gesteungskosten von Biogas sind relativ hoch, da zurzeit die Kosten hauptsächlich der Biogas- resp. Energieproduktion angerechnet werden.

### Umweltauswirkungen

Für einen Vergleich der Ökobilanz und Treibhausgasbilanz von Wärme, Strom und Treibstoff aus Biogas oder Biomethan kann derzeit nur auf Studien oder Datenquellen zurückgegriffen werden, welche Teilaspekte untersuchten und teilweise auf veralteten Daten basieren. Die bestehenden Datensätze zu Biogasinventaren werden zurzeit in einer Studie aktualisiert und sollen danach auch in der Ökobilanzdatenbank ecoinvent und der UVEK Datenbank zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse waren zum Zeitpunkt der Studie jedoch noch nicht publiziert und abrufbar. Insgesamt zeichnet sich ab, dass Wärme und Transport mit in der Schweiz hergestelltem Biogas besser abschneidet als die fossilen Vergleichsprodukte. Dies sowohl bezüglich Umweltbelastung wie auch bezüglich Treibhausgasbilanz. Die einzig zurzeit verfügbare Datenquelle für Strom aus Biogas listet deutlich geringere Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen als für Strom aus Kohle auf, aber höher als für den erneuerbaren Strom aus Photovoltaik und Wasserkraft.

Biogasanlagen leisten neben der Energiebereitstellung auch weitere Dienstleistungen, so dass alle Ergebnisse immer in den grösseren Kontext zu stellen sind. So sind Biogasanlagen gleichzeitig

auch Abfallbehandlungsanlagen und leisten einen Beitrag zur Schliessung der stofflichen Nährstoffkreisläufe. Dies ist insbesondere relevant für biogene Abfälle, welche ansonsten verbrannt werden.

Biogasanlagen können auf verschiedene Weise zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen: Durch den Ersatz fossiler Energieträger sowie indem Methanemissionen während der Lagerung von Hofdünger vermieden werden. Es liegt zurzeit keine offizielle Studie vor, welche die Kosten der Treibhausgasemissionsreduktion mit anderen Reduktionsmassnahmen vergleicht.

Zurzeit liegen keine Ökobilanzdaten zu den Vergärungsprodukten vor.

### **Herstellung organischer Dünger**

Gärgülle und Gärgut tragen wie auch andere Hof- und Recyclingdünger zur Kreislaufschliessung der Nährstoffe bei. Dies steht im Gegensatz zu Mineraldünger, welche energieintensiv hergestellt werden und im Fall von z.B. Phosphor zusätzlich auf endlichen Ressourcen basieren.

Gärgülle weist einen höheren Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff auf als unvergärter Hofdünger, was einer Aufwertung des Düngers entspricht. Zudem werden festes Gärgut und Gärmist als Bodenverbesserer eingesetzt. Gärgülle und Gärgut enthalten wie auch andere organische Hof- und Recyclingdünger verschiedene Nährstoffe in schwankenden Anteilen, während die Nährstoffe in Mineraldünger spezifisch zusammengestellt und dosiert werden.

Landwirtschaftliche Biogasanlagen können zu einer besseren lokalen und regionalen Verteilung der Nährstoffe beitragen, indem sie effizient zwischen Hofdüngerabgeberbetrieben und -annehmerbetrieben vermitteln. Inwiefern sie diese Rolle bereits wahrnehmen, ist noch unklar.

### **Querschnittsthemen**

Bezüglich der zukünftigen Finanzierung von Biogasanlagen stellt sich die Frage, wie die Kosten auf die verschiedenen Produkte und Dienstleistungen verteilt werden können. Hierzu gibt es kein standardisiertes Verfahren. Möglich ist die Verteilung gemäss gleichteiligem oder prozentualem Kostenschlüssel, letzterer beispielsweise basierend auf dem Erlös der Produkte. Alle Produkte finden zurzeit Abnehmer, es bleibt aber unklar zu welchen Erlösen.

## Résumé de l'étude

La politique énergétique, climatique et agricole de la Suisse est en pleine transformation. Une révision de la loi sur l'énergie pour de nouvelles mesures après 2023 est en cours. La révision totale de la loi sur le CO<sub>2</sub> a été approuvée par le Parlement en septembre 2020, et le Conseil fédéral a adopté le message relatif à l'évolution future de la Politique agricole à partir de 2022. La question est de savoir quel rôle les installations de biogaz joueront à l'avenir dans ces différents cadres législatifs.

Dans cette étude documentaire, l'état actuel des connaissances sur les avantages et inconvénients des installations de biogaz en ce qui concerne l'approvisionnement en énergie, les impacts environnementaux, la production d'engrais organiques et les questions transversales a été compilé. Les installations de biogaz agricoles et industrielles qui fermentent de la biomasse non ligneuse sont prises en compte. En Suisse, seuls des déchets et du fumier de ferme sont fermentés, c'est-à-dire que des matières premières renouvelables comme le maïs ne sont pas utilisées.

Les installations de biogaz se caractérisent par le fait qu'elles fournissent divers produits et services. Le produit principal est le biogaz, qui est soit directement converti en chaleur et en électricité dans la cogénération, soit transformé en biométhane et utilisé ensuite comme combustible. Les produits de la fermentation, en tant qu'engrais de ferme ou de recyclage (liquide ou solide), peuvent servir d'engrais et d'amendement de sol. Les installations de biogaz apportent également des services tels que l'élimination des déchets et la protection du climat.

### Approvisionnement en énergie

Le biogaz est une source d'énergie renouvelable, stockable à court terme et donc utilisable de manière flexible, qui peut être produite toute l'année indépendamment des conditions météorologiques extérieures. Le potentiel est limité mais pas encore épuisé. Il existe encore un potentiel inexploité, en particulier dans le cas du fumier de ferme. Les coûts du biogaz sont relativement élevés car ils sont, à l'heure actuelle, presque entièrement imputés à la production énergétique.

### Impact sur l'environnement

Afin de comparer le cycle de vie et le bilan des gaz à effet de serre de la chaleur, de l'électricité et des combustibles issus du biogaz ou du biométhane, il est actuellement seulement possible de se baser sur des études ou des sources de données qui ont étudié certains aspects spécifiques et sont en partie basées sur des données dépassées. Les données d'inventaires de biogaz existantes sont actuellement en cours d'actualisation dans le cadre d'une étude et seront ensuite également disponibles dans la base de données d'analyse du cycle de vie d'ecoinvent et dans la base de données du DETEC. Au moment de l'étude, ces résultats n'avaient pas encore été publiés et n'étaient pas encore disponibles. Dans l'ensemble, il semble que la chaleur et le transport avec le biogaz produit en Suisse soient plus efficaces que l'utilisation de produits fossiles de référence. Ceci, tant en termes d'impact environnemental général que de bilan des gaz à effet de serre. La seule source de données actuellement disponible pour l'électricité indique un impact environnemental et des émissions de gaz à effet de serre plus élevés que pour l'électricité renouvelable provenant de l'énergie photovoltaïque et de l'hydroélectricité, mais nettement inférieures à celles de l'électricité produite à partir du charbon.

Lors de l'analyse du cycle de vie, il faut tenir compte du fait que les installations de biogaz assurent divers services en plus de la production d'énergie, ce qui signifie que les résultats doivent toujours être considérés dans un contexte plus large. Ainsi, les installations de biogaz sont également des installations de traitement des déchets et contribuent à fermer les cycles des nutriments de la matière. Ceci est particulièrement pertinent pour les déchets biogènes qui sont autrement incinérés.

Les installations de biogaz peuvent contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre de diverses manières : En remplaçant les sources d'énergie fossiles et en évitant les émissions de méthane lors du stockage du fumier de ferme. Il n'existe pas d'étude officielle comparant les coûts des émissions de gaz à effet de serre avec d'autres mesures de réduction.

Il n'existe actuellement aucune étude d'évaluation du cycle de vie des produits de fermentation.

### **Production d'engrais organiques**

Les engrais de ferme méthanisés (liquide ou solide) contribuent, comme les autres engrais de ferme et de recyclage, à fermer le cycle des nutriments. Cela contraste avec les engrais minéraux, qui sont produits de manière intensive en énergie et, dans le cas du phosphore, sont également basés sur des ressources limitées.

Les engrais de ferme méthanisés liquides ont une teneur plus élevée en nitrogène disponible pour les plantes que le fumier de ferme non fermenté, ce qui signifie que l'engrais est amélioré. En outre, les engrais de ferme méthanisés sont utilisés comme amendements du sol. Comme les autres fumiers et engrais organiques de ferme, les engrais de ferme méthanisés contiennent divers éléments nutritifs dans des proportions variables, tandis que les éléments nutritifs des engrais minéraux peuvent être composés et dosés de manière spécifique.

Les installations agricoles de biogaz peuvent théoriquement contribuer à une meilleure distribution locale et régionale des nutriments en assurant une médiation efficace entre les fermes de livraison et les fermes de réception de fumier de ferme. Il n'est pas clair dans quelle mesure ils jouent déjà ce rôle.

### **Questions transversales**

Concernant le financement des installations de biogaz à l'avenir, la question se pose de savoir comment les coûts peuvent être répartis entre les différents produits. Il n'y a pas de procédure standardisée pour cela. Il est possible de répartir les coûts de manière égale ou en pourcentage, ce dernier, par exemple, étant basé sur les revenus des produits. Tous les produits trouvent actuellement des acheteurs, mais il n'est pas encore clair à quel niveau de revenu.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Biogasanlagen sind in der Schweizer Energie-, Klima- und Landwirtschaftspolitik ein Thema. Sie tragen zu einer flexiblen, unabhängigen, dezentralen und erneuerbaren Energieproduktion bei, unterstützen gleichzeitig die Schliessung von Stoffkreisläufen und leisten einen Beitrag zum Klimaschutz. Jedoch gibt es auch Herausforderungen wie derzeit relativ hohe Stromgestehungskosten (da derzeit die Kosten hauptsächlich der Biogas- resp. Stromgestehungskosten angerechnet werden) oder Geruchsemissionen der Anlagen.

Die Politik ist zurzeit stark im Wandel:

- Das totalrevidierte Energiegesetz trat per 2018 in Kraft und setzt damit das erste Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 um. Das zentrale Förderinstrument für Biogasanlagen, die kostenorientierte Einspeisevergütung (KEV), läuft per 2022 aus. Der Bundesrat schlägt vor, Biogasanlagen und andere erneuerbaren Energien ab 2023 mit Investitionsbeiträgen zu fördern<sup>1</sup>. Die finanzielle Unterstützung würde damit deutlich geringer ausfallen als bisher. Das Ziel ist, dass die zusätzlichen Leistungen von Biogasanlagen ebenfalls vermarktet werden.
- Ein Gasversorgungsgesetz ist zurzeit in Bearbeitung
- Die Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes für die Zeit nach 2020 wurde vom Parlament im September 2020 beschlossen .
- Agrarpolitik 22+: Mit der Agrarpolitik ab 2022 will der Bundesrat die agrarpolitischen Rahmenbedingungen in den Bereichen Markt, Betrieb und Umwelt verbessern. Der Bundesrat hat im August die Ergebnisse der Vernehmlassung zur Kenntnis genommen und die Botschaft im Februar 2020 verabschiedet<sup>2</sup> .

Im Umfeld dieser Dynamik stellt sich die Frage, welche Rolle Biogasanlagen in Zukunft einnehmen sollen.

## 1.2 Ziele und Systemgrenzen

Im Rahmen einer Literaturstudie soll der aktuelle Wissensstand zu den Stärken und Schwächen von Biogasanlagen zusammengetragen und prägnant und verständlich dokumentiert werden. Das Ziel ist, objektive und belegbare Argumente für die Vorteile von Biogasanlagen zu liefern und Nachteile transparent und objektiv darzustellen. Dabei soll keine Gewichtung oder Gesamtbeurteilung vorgenommen werden, sondern jeder einzelne Aspekt für sich gesondert ausgeführt werden.

---

<sup>1</sup> <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-78665.html>

<sup>2</sup> <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/agrarpolitik/ap22plus.html>



Die Systemgrenzen dieser Studie werden wie folgt festgelegt:

- **Anlagen:** Es werden sowohl landwirtschaftliche Biogasanlagen als auch gewerblich-industrielle Anlagen betrachtet. Anlagen für die Klärschlammvergärung sind nicht Teil dieser Studie.
- **Substrate:** Vergärbare, nicht-verholzte Substrate. In der Schweiz werden nur organische Abfallprodukte, welche nicht mehr in der menschlichen oder tierischen Nahrung verwendet werden können, sowie Hofdünger vergärt, d.h. keine Produkte auf Basis von «Energiepflanzen».
- **Produkte:** Biogas, aus welchem Strom (inkl. Systemdienstleistungen), Wärme oder Biometan produziert werden kann, sowie Vergärungsprodukte welche als Dünger und Bodenverbesserer eingesetzt werden. Zusätzlich bieten Biogasanlagen Entsorgungsdienstleistungen und Klimaschutzdienstleistungen.
- **Referenzzeitraum:** Fokus auf den heutigen Stand der Technik. Auf neue Methoden wird hingewiesen (z.B. unter Wissenslücken). Die Studie repräsentiert den Wissensstand per Oktober 2019.
- **Räumlich:** Der Fokus der Studie liegt auf der Schweiz. Wo Daten fehlen, werden Studien aus dem Ausland berücksichtigt.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt schematisch auf, welche Substrate und Produkte im Fokus dieser Studie standen.

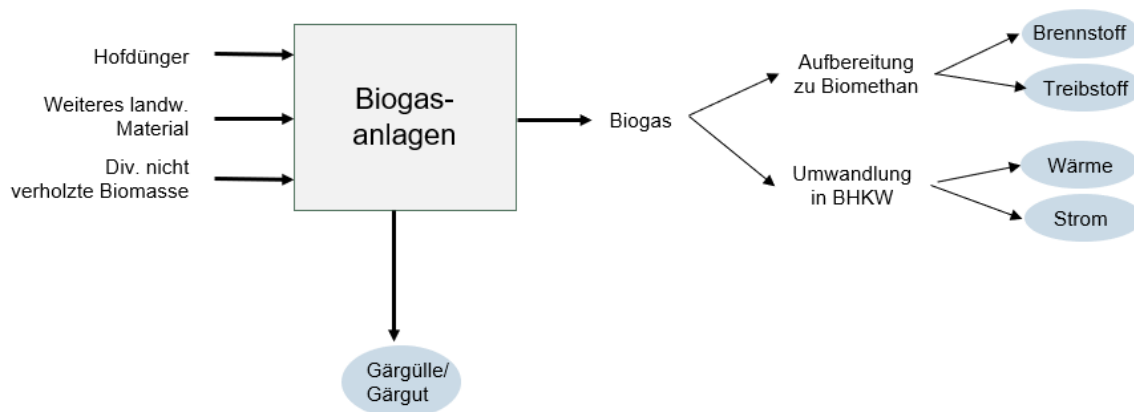
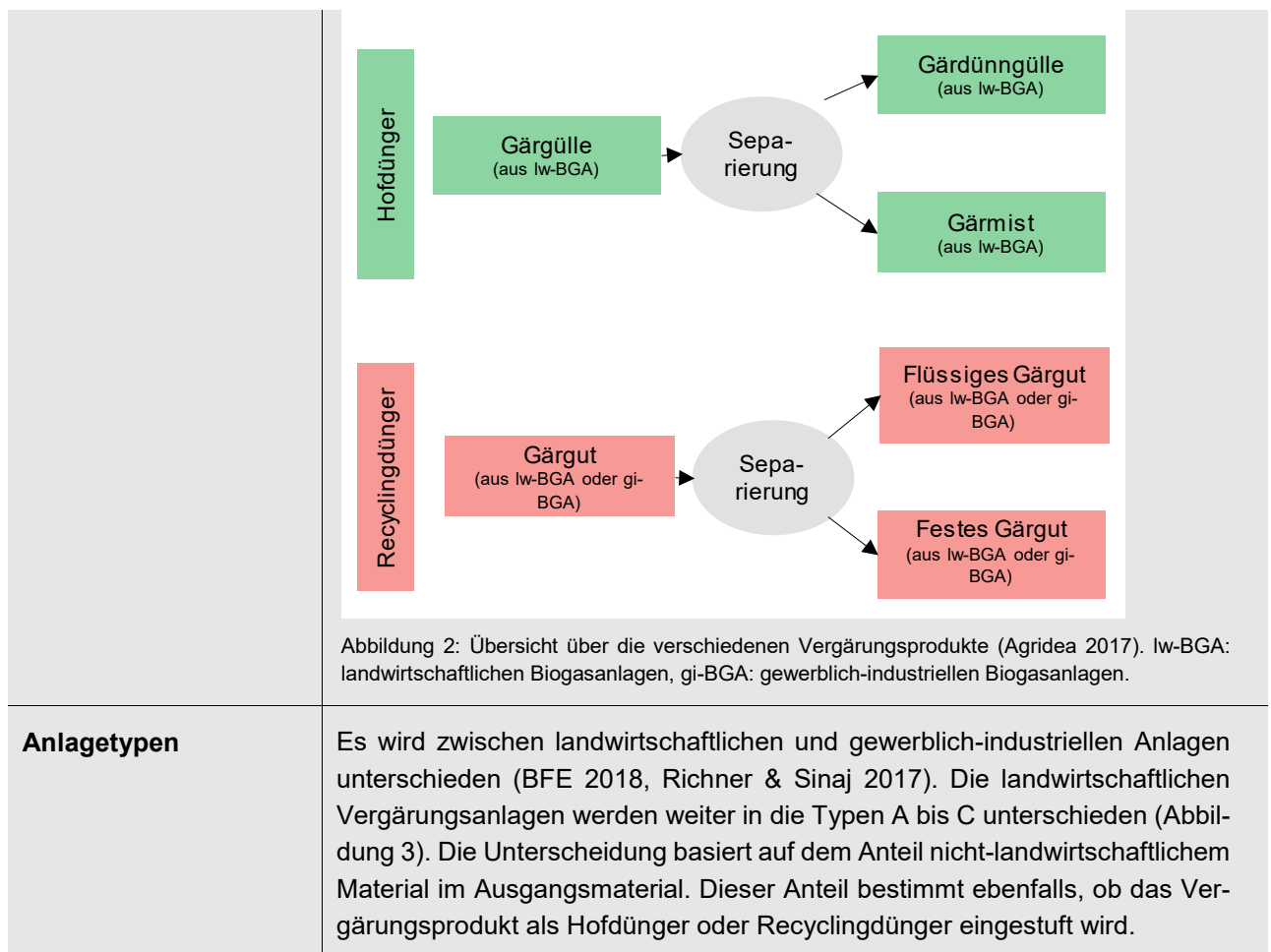


Abbildung 1: Übersicht über die Inputs und Outputs von Biogasanlagen. Nicht gezeigt sind die Dienstleistungen (Entsorgungsdienstleistung und Klimaschutz).

## 2 Begriffe und Definitionen

Begriff	Beschreibung
<b>Biogas</b>	<p>Ein durch Vergärung von organischem Material erzeugtes Gasgemisch. Das resultierende Biogas enthält 45 bis 75 Vol-% (durchschnittlich 60%) des energetisch nutzbaren Methans sowie 25 bis 55% CO<sub>2</sub> (durchschnittlich 35%), und geringe Konzentrationen weiterer Gase (Baum et al. 2008). In der Schweiz werden nur Abfallstoffe und Hofdünger vergärt, also keine nachwachsenden Rohstoffe wie Mais oder Gras. Das Biogas kann direkt in Blockheizkraftwerken zu Strom und Wärme umgewandelt werden. Alternativ kann es auch zu Biomethan in Erdgasqualität aufbereitet und ins Gasnetz eingespeist werden (BFE 2011).</p> <p>Zusätzlich kann Biogas durch die Vergärung von Klärschlamm oder Vergasung von Holz hergestellt werden. Dies ist aber nicht Teil dieser Studie und wird nicht weiter beschrieben.</p>
<b>Vergärung</b>	<p>Die Vergärung ist ein natürlicher Prozess, in welchem organisches Material unter anaeroben Bedingungen (ohne Sauerstoff) durch Mikroorganismen abgebaut wird. Dabei entstehen Biogas und Vergärungsprodukte.</p>
<b>Vergärungsverfahren</b>	<p>Beim Vergärungsverfahren unterscheidet man zwischen Flüssigvergärung und Feststoffvergärung. Bei der Flüssigvergärung hat das Material im Fermenter einen maximalen Trockensubstanzgehalt von 15%, während in Feststoffvergärungsanlagen der Trockensubstanzgehalt bei bis zu 45% liegen kann. Heutzutage gibt es Verfahrensvarianten, die dazwischen liegen oder beide Verfahren kombinieren (Mandaliev und Schleiss 2016).</p>
<b>Vergärungsprodukte</b>	<p>Die Vergärungsprodukte sind die Reststoffe aus dem Vergärungsprozess. Je nach Ausgangsmaterial und Trockensubstanzgehalt unterscheidet man zwischen Gärgülle, Gärdünngülle, Gärmist, Gärgut, sowie flüssigem oder festem Gärgut (Abbildung 2). Während Gärgülle aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen stammt, kann Gärgut sowohl aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen oder gewerblich-industriellen Biogasanlagen stammen (vgl. Abbildung 3)</p>



Landwirtschaftlichen Anlagen machten 2018 80% der Anlagen aus, produzieren zusammen aber ungefähr gleich viel Biogas (400 GWh) wie die gewerblich-industriellen Anlagen (345 GWh) (BFE 2019).

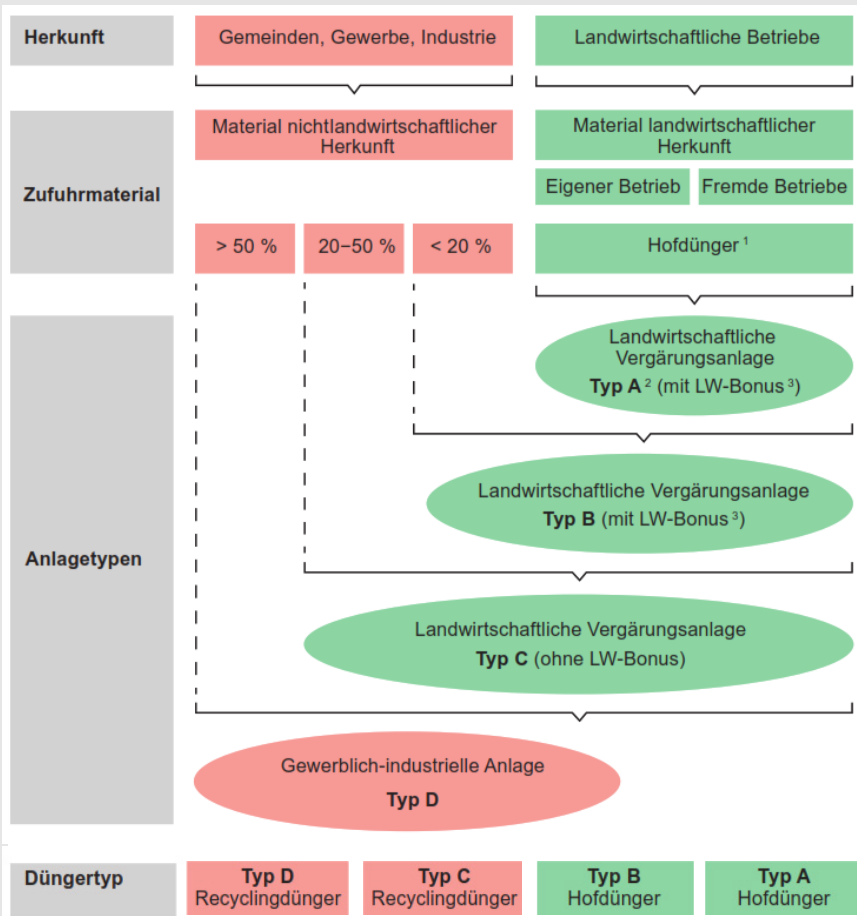


Abbildung 3: Übersicht über die verschiedenen Biogasanlagentypen, deren Input und der resultierende Düngeroutputs. Aus Richner und Sinaj (2017). Der LW-Bonus war bisher relevant für die kostenorientierte Einspeisevergütung (KEV) gemäss der Energieförderungsverordnung (2020)

**Düngerkategorien/Düngertypen**

Die in der Dünger-Verordnung (DüV) festgelegten Definitionen für Hofdünger, Recyclingdünger und Mineraldünger werden nachfolgend beschrieben. Wichtig ist, dass Vergärungsprodukte sowohl als Hofdünger oder als Recyclingdünger klassifiziert werden können (vgl. Abbildung 3):

- **Hofdünger:** Gülle, Mist, Mistwässer, Gülleseparierungsprodukte, Silosäfte und vergleichbare Abgänge aus der landwirtschaftlichen oder gewerblichen Nutztierhaltung oder dem Pflanzenbau des eigenen oder anderer Landwirtschaftsbetriebe, zusammen mit maximal 20 Prozent Material nicht landwirtschaftlicher Herkunft, in aufbereiteter oder nicht aufbereiteter Form.
- **Recyclingdünger:** Dünger pflanzlicher, tierischer, mikrobieller oder mineralischer Herkunft oder aus der Abwasserreinigung, wie:
  - **Kompost:** fachgerecht, unter Luftzutritt verrottetes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material;

- **Festes und flüssiges Gärgut:** fachgerecht unter Luftabschluss vergärtes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material; Gärgut ist flüssig, wenn der Gehalt an Trockensubstanz nicht mehr als 20 Prozent beträgt;
- **Unverrottetes pflanzliches Material:** wie Nebenprodukte aus Gemüserüstereien, Brennereien und Mostereien oder Extraktionsschrot, das in den Boden eingearbeitet wird;
- **Klärschlamm:** Schlamm in aufbereiteter oder nicht aufbereiteter Form aus der kommunalen Abwasserreinigung;
- **Mineraldünger:** Erzeugnisse, deren Nährstoffe durch Extraktion oder durch industrielle, physikalische und/oder chemische Verfahren gewonnen wurden oder in Form von Mineralien enthalten sind, sowie Kalkstickstoff, Cyanamid, Harnstoff und seine Kondensate und Anlagerungsverbindungen.

Unter den Begriff Mineraldünger fallen sowohl die klassischen Einnährstoff (N,P,K)- und Mehrnährstoffdünger (NPK, NP, NK, PK) als auch diverse weitere Düngertypen, wie z.B. der aus Abwasser oder Klärschlamm gewonnene mineralischer Recyclingdünger. Im vorliegenden Bericht wird der Einfachheit halber der Begriff «Mineraldünger» für Einnährstoff- und Mehrnährstoffdünger verwendet.

## Quellen

- Agridea (2017): Weisungen zur Handhabung von Vergärungsprodukten in der Suisse-Bilanz. Zusatzmodul 8 zur Suisse-Bilanz.
- BAFU und BLW (2016): Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1626: 71 S.
- Baum S, Baier U, Judex J und Biollaz S (2008): Methanverluste bei der Biogasaufbereitung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften und Paul Scherrer Institut.
- BFE (2011): Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. Schlussbericht. Bundesamt für Energie. ESU-services GmbH, Uster.
- BFE (2019): Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2018. Datentabellen. Eichler+Pauli, Liestal.
- 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.
- Richner W. & Sinaj S (2017). Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8 (6), Spezialpublikation, 276 S.

## 3 Energiebereitstellung

### 3.1 Was sind die Stärken und Schwächen der Energieerzeugung durch Biogasanlagen?

#### Fakten

Biogas hebt sich in vielerlei Hinsicht von anderen neuen erneuerbaren Energieträgern ab. Die grösste Stärke der Energieerzeugung aus Biogas in der Schweiz ist, dass Biogas eine ganzjährige, dezentrale, speicherbare und damit flexibel nutzbare erneuerbare Energiequelle darstellt. Der Bundesrat hat im August 2019 beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 ihre Treibhausgasemissionen auf netto null absenken soll. Dies bedeutet in vielen Bereichen, wie beispielsweise dem Personenverkehr und der Raumwärme, eine Elektrifizierung und den starken Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion. Es gibt aber Bereiche, wie den strassenbasierten Güterverkehr oder diverse Prozessanwendungen, die weiterhin auf gasförmige oder flüssige Energieträger angewiesen sind. Für diese Bereiche stellt Biogas eine der wenigen erneuerbaren Optionen dar.

Biogas kann einerseits lokal mittels Blockheizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Andererseits kann Biogas, wenn es in der Nähe bestehender Gasleitungen produziert und zu Biomethan aufbereitet wird, mit der bereits existierenden Infrastruktur transportiert und für alle entsprechenden Nutzungen eingesetzt werden. Dies sind heute typischerweise Wärmeerzeugung, Prozesswärme für die Industrie und die Betankung von Fahrzeugen sowie Gas fürs Kochen. Alternativ kann das aufbereitete Biomethan direkt vor Ort über eine Zapfsäule abgegeben und beispielsweise als Treibstoff verwendet werden.

Die Ökobilanz von in der Schweiz erzeugtem Biogas für die Wärmeproduktion oder Transport ist im Vergleich zu fossilen Energieträgern besser (vgl. Kapitel 4.1). Ausserdem leisten Biogasanlagen einen Beitrag zur lokalen Wertschöpfung in der Schweiz.

Umgekehrt hat die Energieerzeugung aus Biogas auch Schwächen. Da die Substrate auf organischen Abfälle und Hofdünger beschränkt sind, weist Biogas ein begrenztes Potenzial auf, welches zurzeit aber – insbesondere beim Hofdünger - noch nicht ausgeschöpft ist (vgl. Kapitel 3.3).

Zudem ist Biogas relativ teuer. Die Stromgestehungskosten einer landwirtschaftlichen Biogasanlage lagen 2016 bei 20 bis 49 Rp./kWh (inkl. Wärmegutschriften, BFE 2017). Werden die Erlöse aus dem Wärmeverkauf nicht mitgerechnet, lagen die Kosten etwas höher bei 23 bis 55 Rp./kWh (Bauer et al. 2018). Damit kostete die Stromerzeugung aus Biomasse im Jahr 2016 mehr als diejenige aus Windenergie (13 bis 21 Rp./kWh), Photovoltaik (8 bis 31 Rp./kWh) oder Kleinwasserkraft (12 bis 28 Rp./kWh) (BFE 2017). Es wird zudem erwartet, dass die Stromgestehungskosten von Windenergie und Photovoltaik künftig noch weiter sinken werden. Schätzungen für 2035 liegen für Photovoltaik bei 4 bis 22 Rp./kWh, bei Windenergie bei 10 bis 17 Rp./kWh (Zahlen für die Schweiz, BFE 2017). Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist kaum mit einem weiteren Rückgang der Stromgestehungskosten zu rechnen. Das BFE (2017) rechnet auch im Jahr 2035 mit Stromgestehungskosten von 18 bis 50 Rp./kWh (inkl. Wärmegutschriften, 20 bis 56 Rp./kWh ohne Wärmegutschriften, Bauer et al. 2017). Wird Biogas nicht verstromt, sondern ins Gasnetz eingespeist, fallen die Kosten für das

Blockheizkraftwerk weg. Dafür entstehen höhere Kosten für die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan. Voraussetzung dafür ist ein Anschluss an das Gasnetz. Gemäss Aussagen von Marktakteuren ist die Aufbereitung relativ teuer und lohnt sich bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen selten (BFE 2020). Letzteres stimmt mit den Ergebnissen in Bauer et al. (2017) überein, welche aufzeigten, dass industrielle Biogasanlagen einen relevanten Beitrag zur Biomethanproduktion leisten, landwirtschaftliche Biogasanlagen bisher hingegen kaum.

Biogasanlagen können durch Geruchsemissionen die Nachbarschaft belästigen, was aber durch eine umsichtige Standortabklärung und Vorkehrungen im Betrieb begrenzt werden kann (Steiner und Keck 2018, Keck et al. 2015). Hingegen sind die Geruchsemissionen bei Ausbringung der Vergärungsprodukte im Vergleich zu unvergorenem Ausgangsmaterial deutlich geringer (DLG 2017).

### Fazit

Biogas ist eine erneuerbare, speicherbare und damit flexible nutzbare Energiequelle. Biogas ist somit eine wertvolle Ergänzung zu den anderen erneuerbaren Energien und kann einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Schweiz leisten. Das Potenzial der Biogasproduktion ist begrenzt, das Potenzial wird zurzeit aber noch nicht ausgeschöpft. Ausserdem hat Biogas derzeit relativ hohe Gesteungskosten, da die Kosten der Anlage hauptsächlich der Biogas- resp. Energieproduktion angerechnet werden.

Biogasanlagen leisten neben der Energieproduktion auch weitere wichtige Dienstleistungen, insb. Entsorgungsdienstleistung, Klimaschutzdienstleistung, Aufwertung von Hofdünger als Dünger und Bodenverbesserer und Beitrag zur Kreislaufschliessung von Nährstoffen. Darauf wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

### Quellen

- BFE (2020): Investitionsbeiträge für Biomasseanlage. EBP. (*in Bearbeitung*)
- Bauer, C., S. Hirschberg (eds.), Y. Bäuerle, S. Biollaz, A. Calbry-Muzyka, B. Cox, T. Heck, M. Lehnert, A. Meier, H.-M. Prasser, W. Schenler, K. Treyer, F. Vogel, H.C. Wieckert, X. Zhang, M. Zimmermann, V. Burg, G. Bowman, M. Erni, M. Saar, M.Q. Tran (2017). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies. PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland.
- BFE (2017): Potenzial, Kosten und Umweltauswirkung von Stromproduktionsanlagen – Synthese der Studie Bauer et al. 2017.
- DLG (2017): Gärreste im Ackerbau effizient nutzen. DLG-Merkblatt 397. DLG e.V., Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt am Main.
- Keck M, Schrade S, Keller M, Frei M und Steiner B (2015): Geruchsemissionen einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Tierhaltung. Agrarforschung Schweiz 6 (11-12), 494-499.
- Steiner B. und Keck M. (2018): Grundlagen zu Geruch und dessen Ausbreitung für die Bestimmung von Abständen bei Tierhaltungsanlagen. Umwelt, Agroscope Science, Nr. 59.

## 3.2 Wie ist die Energieerzeugung saisonal verteilt?

### Fakten

Biogas aus Abfällen und Hofdünger kann rund ums Jahr produziert werden. Die Biogasproduktion ist zudem unabhängig von externen Faktoren wie Witterung oder Tageszeit. Sie bietet somit ganzjährig die Möglichkeit, die von den Witterungsbedingungen und Jahreszeiten abhängige Verfügbarkeit von Wind- und Sonnenenergie auszugleichen.

Die Auswertung der Herkunftsnachweise für Strom aus Biogas über die Jahre 2015 und 2016 zeigt eine über den Jahresverlauf recht gleichmässige Einspeisung (Abbildung 4, Swissgrid 2017). Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Wärmeproduktion ab einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (Abbildung 5, Biomasse Suisse 2019). Für industriell-gewerbliche Anlagen liegen keine öffentlich verfügbaren Daten vor, gemäss Aussagen von Branchenakteuren ist die Biogasproduktion weniger konstant. Dies ist bei Bedarf genauer zu ermitteln.

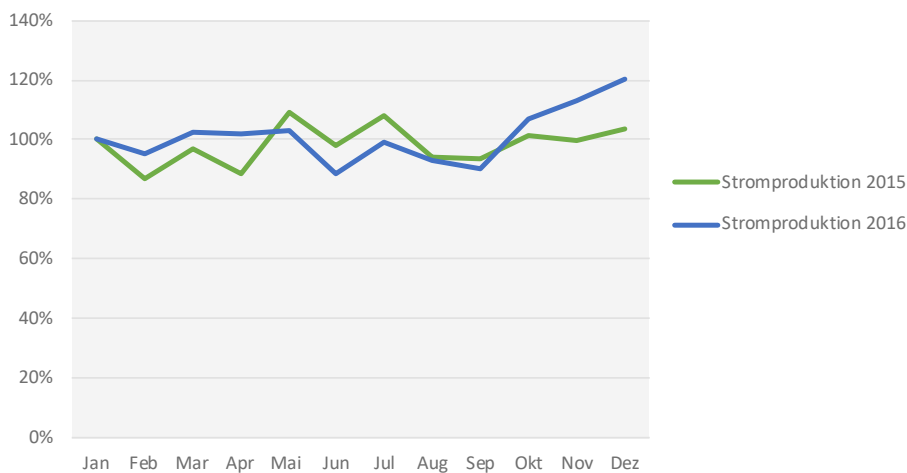


Abbildung 4: Die Stromproduktion zeigt eine über das Jahr gleichmässige Einspeisung (Swissgrid 2017).

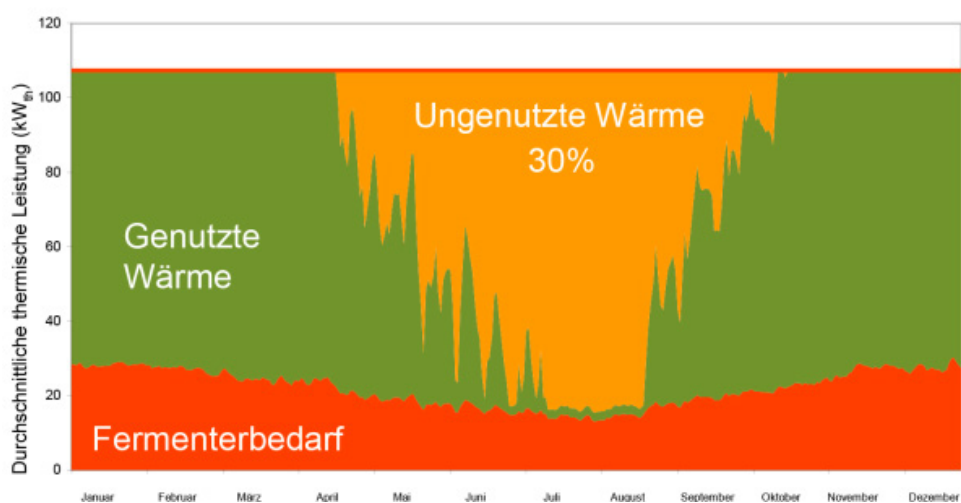


Abbildung 5: Wärmenutzungsbilanz einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Wärmeverwertung in einem öffentlichen Gebäude (Biomasse Suisse 2019). Die «ungenutzte Wärme» im Sommer bezieht sich auf das Gebäude und könnte anderweitig genutzt werden (z.B. Trocknungsanlagen).



Um flexibel auf kurzfristige oder langfristige Schwankungen in der Energienachfrage reagieren und somit einen Beitrag zur Systemstabilität leisten zu können, muss die Energie gespeichert und bei Bedarf abgegeben werden können. In Studien werden folgende Möglichkeiten getestet oder diskutiert:

- Speicherung von Biogas: Die saisonale Lagerung von Biogas ist aufgrund der volumenmäßig geringen Energiedichte aufwändig (Biomasse Suisse 2019). Die kurzfristige Lagerung ist jedoch eine erfolgsversprechende Lösung, um die tägliche Nachfrageschwankungen von Strom auszugleichen. So kann die Biogasproduktion auf Teillast oder im Taktbetrieb gefahren und das überschüssige Biogas gespeichert werden. Später kann das Biogas gezielt zu Volllastfenstern (3-10h) abgefahren und im BHKW verstromt werden. In einer Pilotstudie wurde dieses System und die dazu notwendige Steuerung erfolgreich getestet (BFE 2019).
- Speicherung von Wärme ab BHKW: Kurzzeitspeicher für Wärme werden bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen häufig eingesetzt, Saisonspeicher eher nicht (Biomasse Suisse 2019). Es wurden keine Angaben für industriell-gewerbliche Anlagen gefunden.
- Speicherung von Biomethan: Das Biomethan kann ins Gasnetz eingespeist oder in Tanks gelagert werden. Somit kann Biomethan den Energiebedarf sowohl zeitlich wie auch räumlich gelöst von der Biomasseverfügbarkeit decken (Bauer 2017). Dabei sind die gleichen Möglichkeiten und Grenzen bezüglich Lagerung gegeben wie bei Erdgas.
- Speicherung von Substraten/Biomasse: Es wurde keine Studie gefunden, welche die Möglichkeiten und Wirtschaftlichkeit bezüglich Lagerung von Substraten für eine saisonal angepasste Vergärung untersuchte. Lagerkapazitäten werden grundsätzlich in Baubewilligungen geregelt. Bei der Lagerung der Substrate ist zu beachten, dass das Material sich nicht zersetzt und so Emissionen entstehen, welche die Umwelt belasten und durch die Gerüche die Nachbarschaft stören. Zudem besteht die Gefahr, dass das Energiepotenzial vermindert wird. Die mangelnde Verfügbarkeit von Studien lässt darauf hindeuten, dass die saisonale, auf die Nachfrage ausgelegte Lagerung von Substraten mit den heutigen Anreizsystemen kein Thema ist.

## Fazit

Im Gegensatz zu anderen neuen erneuerbaren Energien kann Biogas aus Abfällen und Hofdünger konstant rund ums Jahr produziert werden, und die Produktion ist unabhängig von externen Faktoren wie Witterung oder Tag-Nacht-Zyklen. Die Energieproduktion ist saisonal wenig flexibel, kurzfristig aber schon und könnte so einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität bezüglich den täglichen Nachfrageschwankungen leisten. Ob unter anderen Anreizsystemen auch einen Beitrag zur saisonalen Flexibilität geleistet werden könnte, müsste untersucht werden. Biomethan hat bezüglich Flexibilität die gleichen Möglichkeiten und Grenzen wie Erdgas.

## Quellen

- Bauer, C., S. Hirschberg (eds.), Y. Bäuerle, S. Biollaz, A. Calbry-Muzyka, B. Cox, T. Heck, M. Lehnert, A. Meier, H.-M. Prasser, W. Schenler, K. Treyer, F. Vogel, H.C. Wieckert, X. Zhang, M. Zimmermann, V. Burg, G. Bowman, M. Erni, M. Saar, M.Q. Tran (2017). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies. PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland.
- Biomasse Suisse (2019): Leitfaden «Abwärmenutzung auf Biogasanlagen». Energie Schweiz, BFE, Bern.
- BFE (2019): OptiFlex: Optimierter Flexibilitätseinsatz im Verteilnetz. Fleco Power AG, EKT Energie AG und Adaptricity AG.
- Swisgrid (2017). Herkunftsnachweis von Strom. Daten erhalten auf Anfrage.

### 3.3 Wie gross ist das energetische Potenzial in der Schweiz?

#### Fakten

Es wird zwischen dem theoretischen, dem nutzbaren (nachhaltig) und dem zusätzlichen Potenzial unterschieden. Das theoretische Potenzial umfasst die maximal erschliessbare Menge an Biogas. Berücksichtigt man alle technischen, ökologischen, ökonomischen, rechtlichen und politischen Restriktionen, verbleibt das nachhaltige Potenzial. Das nachhaltige Potenzial wird weiter unterteilt in bereits genutztes und zusätzliches Potenzial. Das zusätzliche Potenzial zeigt somit auf, wieviel in Biomasse gespeicherte Energie zurzeit noch nicht ausgenutzt wird.

Im Rahmen einer gross angelegten Studie untersuchten Schweizer Forschungsinstitutionen die Biomethanpotenziale der Schweiz (Thees et al. 2017). Das nachhaltige Potenzial des Biomethanertrags aus nicht verholzter Biomasse (inkl. Klärschlamm) beträgt insgesamt 5.7 TWh/a. Würde das gesamte Potenzial in Blockheizkraftwerken verbrannt, ergäbe dies eine jährliche Produktion von 2.0 TWh Strom und 2.6 TWh Wärme (bei Wirkungsgraden von 35% und 45%). Dies ergäbe beim Strom einen Anteil von 3.5% des heutigen jährlichen Verbrauchs (57.6 TWh/a, BFE 2019a). Eine weitere aktuelle Studie schätzt das nachhaltige Potenzial aus nicht-verholzter Biomasse nur leicht höher (6.6 TWh/a) und bestätigt damit die Grössenordnung (E-Cube 2018).

Thees et al. (2017) schätzt das bereits genutzte Potenzial des Biomethanertrags auf 2.5 TWh/a. Dies ist höher als die Schätzung in der E-Cube-Studie (2019, 1.3 TWh/a) und ebenfalls höher als die tatsächliche Bruttobiogasproduktion 2018 gemäss Statistik (1.45 TWh/a, BFE 2019b).

Das geschätzte zusätzliche Potenzial unterscheidet sich entsprechend zwischen den Studien: Während Thees et al. (2017) schätzt, dass das heute bereits genutzte Potenzial verdoppelt werden könnte, schätzt E-Cube, dass eine Verfünffachung möglich ist. Auch wenn in Thees et al. (2019) das bereits genutzte Potenzial vermutlich überschätzt wird, legen jene Abschätzung nahe, dass das grösste zusätzliche Potenzial im Hofdünger, gefolgt von Grüngut und landwirtschaftlichen Nebenprodukten liegt (Abbildung 6).

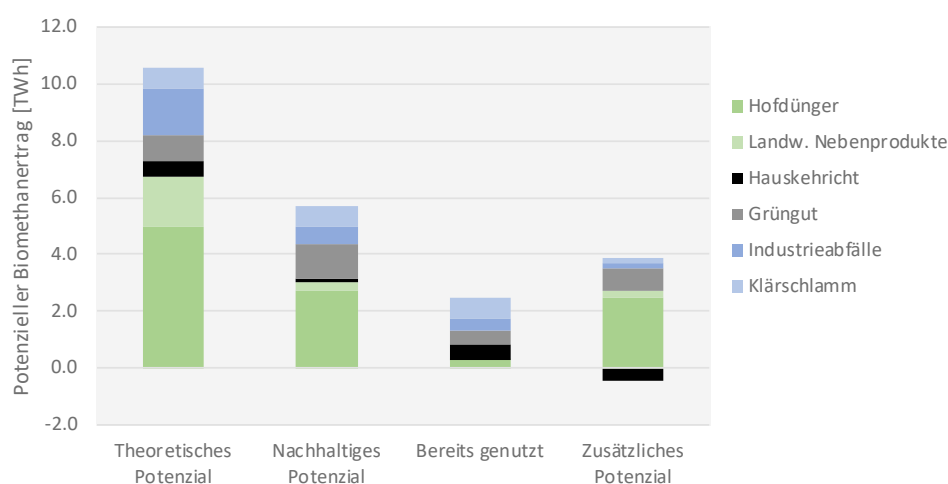


Abbildung 6 Potenzieller Biomethanertrag aus nicht-verholzter Biomasse (Daten aus Thees et al. 2017)

### Fazit

Das nachhaltige Potenzial liegt in der Schweiz bei rund 6 TWh, wovon je nach Studie zwischen 1.3 bis 2.5 TWh bereits genutzt wird. Dieser Umstand unterstreicht ein beträchtliches Zusatzpotenzial. Das grösste Potenzial liegt beim Hofdünger, gefolgt von Grüngut und landwirtschaftlichen Nebenprodukten.

### Quellen

- BFE (2019a): Schweizerische Gesamtenergiestatistik (2018). Bundesamt für Energie, Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen.
- BFE (2019b): Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2018. Datentabellen. Eichler+Pauli, Liestal.
- E-Cube Strategy Consultants (2018): Schweiz Erneuerbares Gas: Einspeisepotenzial von erneuerbarem Gas in das Schweizer Netz bis 2030. Studie im Auftrag der EnFK.
- Thees, O.; Burg, V.; Erni, M.; Bowman, G.; Lemm, R. (2017): Biomassepotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, Schlussbericht SCCER Biosweet, WSL Ber. 57: 299S.

## 4 Umweltauswirkungen

### 4.1 Was ist die Ökobilanz und Treibhausgasbilanz der energetischen Biogasprodukte?

#### Fakten

Es liegt zurzeit keine Studie vor, welche systematisch die Ökobilanz und Treibhausgasbilanz von aus Biogas erzeugtem Strom, Wärme und Treibstoffe berechnet und mit den relevanten Alternativen vergleicht. Zurzeit kann aber auf fünf öffentlich verfügbare Datenquellen resp. Studien zurückgegriffen werden, welche je nach Fokus gewisse Teilaspekte untersucht haben. Da die Studien sich in der Wahl des Fokus und der Systemgrenzen unterscheiden, sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu vergleichen. Ausserdem basieren sie z.T. auf einer veralteten Datengrundlage. Landwirtschaftliche Biogasanlagen leisten zusätzlich einen Beitrag zum Klimaschutz, indem Methanemissionen von Hofdünger während dessen Lagerung vermieden werden (vgl. Kapitel 4.5). Bisherige Ökobilanzen berücksichtigen diesen Aspekt meist nicht. Da diese Klimaschutzdienstleistung bereits durch den Verkauf von Zertifikaten beglichen werden, ist abzuklären, ob und in welcher Form diese Klimaschutzdienstleistung zusätzlich in die Ökobilanzen von Strom, Wärme und Treibstoff einfließen sollte.

Die wichtigsten Studien der letzten Jahre werden hier zusammengefasst, um folgende Schlussfolgerungen aufzuzeigen:

- Übersicht über die wichtigsten, derzeit öffentlich verfügbaren Studien bzgl. biogasbasiertem Strom, Wärme und Treibstoff
- Wie stark die Ökobilanz eines einzelnen Produktes (z.B. Wärme aus Biogas ab BHKW) zwischen den Studien variiert
- Kommen die Studien zu einem ähnlichen Schluss, ob das biogasbasierte Produkt (z.B. Wärme) besser oder schlechter ist als das Vergleichsprodukt (z.B. Wärme aus Heizöl)

Nachfolgend werden die Studien resp. Datenquellen kurz beschrieben:

- Ecoinvent (v3.5): Eine der weltweit meist gebrauchten Datenbank für Ökobilanzen und insbesondere in der Schweiz der Standard. Der Datensatz für die Biogasproduktion enthält aktuell einen Berechnungsfehler<sup>3</sup>. Die jetzigen Biogaswerte sind darum mit Vorbehalt zu nutzen. Die betroffenen Inventare werden 2019 / 2020 aktualisiert und sind voraussichtlich zukünftig in ecoinvent abrufbar. Die Ergebnisse waren zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Studie jedoch noch nicht publiziert und werden darum nicht dargestellt.

---

<sup>3</sup> Im Rahmen einer zum Zeitpunkt der Studie laufenden Aktualisierung wurde durch Ökobilanzexperten festgestellt, dass die berechneten direkten Emissionen zu hoch sind, einerseits aufgrund eines Tippfehler in der Originalliteratur (durch Co-Autorin jener Studie bestätigt) und andererseits aufgrund eines Umrechnungsfehlers bzgl. C- und OM-Gehalte in ecoinvent selber.

- Zah und del Duce (2015): Berechnung der Ökobilanz für die vorbildliche gewerblich-industrielle Biogasanlage Werdhölzli (Zürich). Die Studie berücksichtigte die Biogasproduktion, die Aufbereitung zu Biomethan und die Nutzung von Biomethan als Brenn- und Treibstoff.
- KBOB (2016): Liste mit Ökobilanzdaten für den Baubereich. Die Werte basieren auf einer älteren Version von ecoinvent (v2.2).
- BFE (2011): Vergleich von Biogas mit anderen Treibstoffen. Basierend auf ecoinvent v2.2.
- BAFU (2019): In der Vollzugsmitteilung für Klimaschutzprojekte werden Emissionsfaktoren festgelegt.

Die Ökobilanz und Treibhausgasbilanz von Wärme aus Biogas und Alternativen sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Wärme ab BHKW ist mit einer tieferen Umweltbelastung verbunden als durch die Verbrennung von Biogas (Heizkessel), da die Umweltbelastung beim BHKW auf die beiden Koppelprodukte Wärme und Strom aufgeteilt wird. Keine der vorliegenden Studie hat die Ökobilanz der Wärme aus Biogas mit Biomethan verglichen, ein aussagekräftiger Vergleich ist hier darum nicht möglich.

Wo Vergleiche innerhalb einer Studie möglich sind, schneidet Wärme aus Biogas oder Biomethan besser ab als Erdgas (Heizkessel) oder Heizöl. Dies sowohl bei Betrachtung der Umweltbelastung wie auch bei den Treibhausgasemissionen. Der Vergleich zwischen Wärme aus Biogas und Wärme aus Holzpellets sowie Wärme aus Biogas und Wärmepumpen fällt unterschiedlich aus, je nachdem was betrachtet wird. Es ist zu beachten, dass die Umweltauswirkungen der Produkte ab BHKW erstens auf die Produkte Wärme und Elektrizität aufgeteilt wird (siehe oben, das gleiche gilt für erdgasbetriebene BHKWs) und zweitens für Wärme pro kWh Endenergie und noch nicht Nutzenergie berechnet wurde. Bei Wärme ab Wärmepumpen ist zudem relevant, welcher Strommix angenommen wird - die Verwendung von erneuerbarem Strom würde deren Ökobilanz resp. Treibhausgasbilanz verbessern (keine vergleichbaren Daten verfügbar).

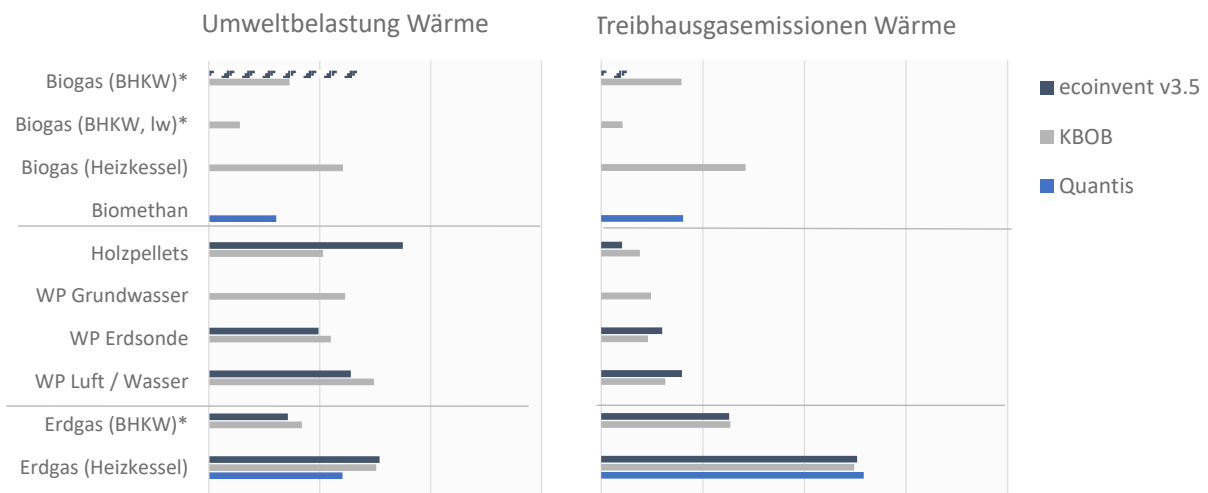


Abbildung 7 Übersicht über die Umweltbelastung (als UBP gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013) und Treibhausgasemissionen (als CO<sub>2</sub>-eq, gemäss GWP 100a) für Wärme aus Biogas und Vergleich mit den wichtigsten Alternativen. \*pro kWh Endwärme statt Nutzwärme. Gestrichelt: Fehlerhafte Werte in ecoinvent v3.5 (vgl. Text).

Beim Transport schneidet Biomethan in allen verfügbaren Studien besser ab als fossile Treibstoffe, sowohl bezüglich Umweltbelastung wie auch Treibhausgasbilanz (Abbildung 8). Es liegt keine Studie vor, welche Biogas betriebene Autos mit Elektroautos verglichen hat. Insgesamt fällt auf, dass die Umweltbelastung und Treibhausgasemission pro Treibstoff relativ stark zwischen den Studien schwanken, insbesondere bei der Beurteilung bezüglich Umweltbelastung. Ein wichtiger Faktor ist neben dem Treibstoff auch, mit wieviel Personen durchschnittlich gerechnet wurde. Während Quantis, KBOB und BFE die Bilanzen pro Person auswiesen, rapportierten ecoinvent pro Autokilometer. Für den Vergleich haben wir letztere in Personenkilometer umgerechnet unter der Annahme, dass das Auto durchschnittlich mit 1.6 Personen besetzt ist (Mobiltool Faktoren v2.0).

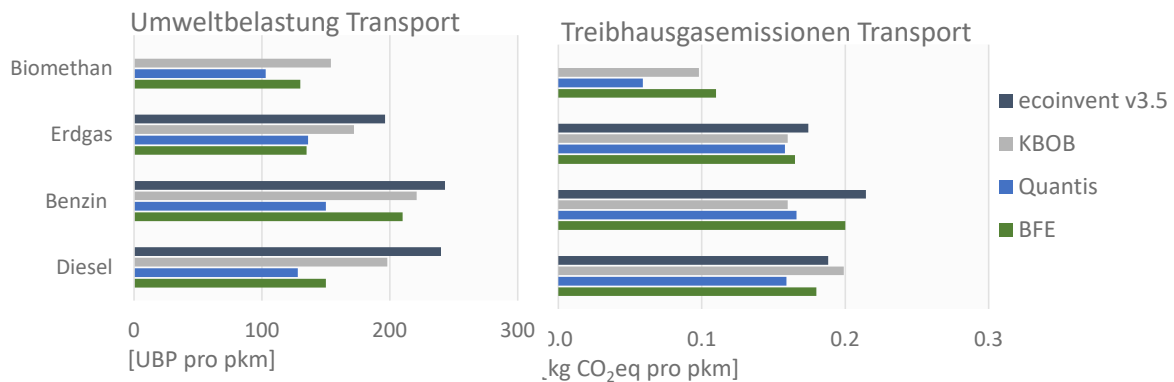


Abbildung 8 Übersicht über Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen für Transport (Auto) mit Biomethan als Treibstoff und Vergleich mit den wichtigsten Alternativen.

Werte für Strom aus Biogas sind rar (Abbildung 9). Gemäss KBOB ist der Strom ab BHKW mit grösseren Treibhausgasemissionen behaftet als der Schweizer Strommix, bezüglich Umweltbelastung aber vergleichbar. Die erneuerbaren Energien Wasserkraft und Photovoltaik schneiden besser ab als Biogas, Kohle deutlich schlechter. Bei Erdgas kommt es darauf an, was verglichen wird. Der

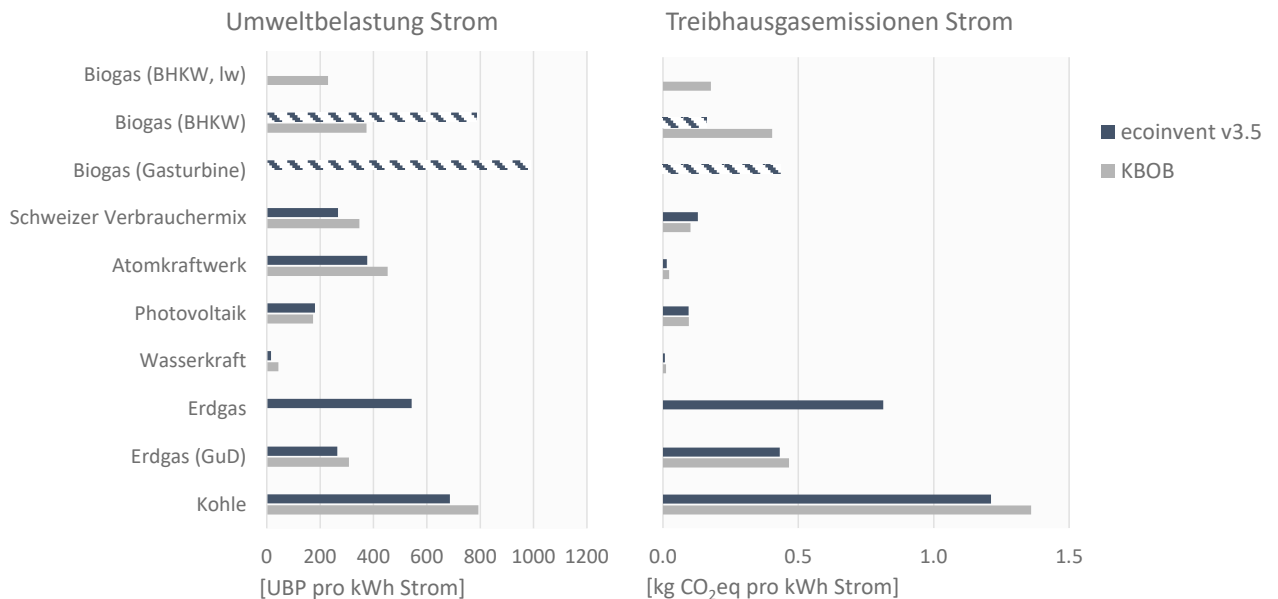


Abbildung 9 Übersicht über Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen für Strom aus Biogas und Vergleich mit den wichtigsten Alternativen.

Wert aus ecoinvent für Biogas ist mit einem Rechenfehler behaftet (siehe oben). Wie bereits oben erwähnt, ist bei Strom ab BHKW die Aufteilung der Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen zwischen Strom und Wärme zu beachten.

### Wissenslücken

- Obwohl verschiedene Studien die Ökobilanz und Treibhausgasbilanz von Biogasprodukten berechnet haben, fehlt zurzeit eine aktuelle, systematische und einheitliche Übersicht mit Vergleich der Alternativen.

### Fazit

Es liegt zurzeit keine Studie vor, welche systematisch die aktuelle Ökobilanz und Treibhausgasbilanz von Biogasprodukten berechnet und mit allen relevanten Alternativen vergleicht. Zurzeit werden die Biogasinventare für ecoinvent aktualisiert, so dass ein aktuellerer Vergleich zukünftig möglich sein sollte.

Zurzeit kann auf fünf Datenquellen resp. Studien zurückgegriffen werden, welche je nach Fokus gewisse Teilaspekte untersucht haben, aber teilweise auf veralteten Daten basieren. Insgesamt zeichnet sich ab, dass Wärme aus und Transport mit Biogas besser abschneiden als Wärme aus oder Transport mit fossilen Energieträgern. Die einzig zurzeit verfügbare Datenquelle bezüglich Elektrizität listet für Biogas höhere Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen als für erneuerbare Strom aus Photovoltaik und Wasserkraft, aber deutlich geringer als für Strom aus Kohle.

Biogasanlagen erbringen neben der Erzeugung von Strom, Wärme und Treibstoff weitere Dienstleistungen wie Entsorgungsdienstleistung, Klimaschutzdienstleistung und Schliessung von Nährstoffkreisläufen (vgl. übrige Kapitel). Alle Resultate sind darum stets in diesem Kontext zu berücksichtigen.

### Quellen

- BAFU (2019): CO<sub>2</sub>-Abgabebefreiung ohne Emissionshandel. Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO<sub>2</sub>-Verordnung. 3. aktualisierte Auflage, Mai 2019. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1316: 87S.
- BFE (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates, ESU-services Ltd., Uster, Switzerland. Commissioned by Swiss Federal Office for Energy, Bern, Switzerland.
- Ecoinvent (v3.5): Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230.
- KBOB (2016): Empfehlungen für Ökobilanzdaten im Baubereich.
- Mobiltool-Faktoren (v2.0). Umweltdaten & Emissionsfaktoren von mobiltool. Verfügbar unter <https://www.mobiltool.ch/de/tools/mobiltool-faktoren-25.html?tag=18>. Zuletzt abgerufen: 26.02.2020
- Zah, R, Del Duce A (2015): Ökobilanz des Vergärwerks und der Biogas-Aufbereitungsanlage Werdhölzli. Schlussbericht. Quantis.



## 4.2 Wie ist die Ökobilanz der Vergärungsprodukte im Vergleich zu anderen Düngermitteln?

### Fakten

Es gibt zurzeit keine verfügbaren Ökobilanzstudien zu den Vergärungsprodukten Gärgülle und Gärgut. Die Vor- und Nachteile von Gärgülle und Gärgut im Vergleich zu anderen Hof- und Recyclingdünger sowie Mineraldünger werden in Kapitel 5.1 aufgezeigt. In einer Ökobilanz werden die einzelnen Vor- und Nachteile nach standardisierten Methoden bewertet und gewichtet. Hier werden kurz die wichtigsten, zu berücksichtigenden Überlegungen zusammengefasst.

Bei der Ökobilanz der Vergärungsprodukte als Dünger sind grundsätzlich zwei Prozesse wichtig:

- Die Umweltbelastung für die Herstellung des Düngers
- Die Emissionen während und nach der Ausbringung des Düngers.

Die Umweltbelastung für die «Herstellung» der Vergärungsprodukte als Dünger hängt von der Wahl der Systemgrenzen ab. Hofdünger fällt in der Tierproduktion sowieso an, so dass die damit verbundenen Emissionen der Tierproduktion angerechnet werden und keine «Herstellungsemissionen» anfallen (ecoinvent v3.5). Die Emissionen während der Vergärung des Hofdüngers wird der Biogasproduktion angerechnet (ecoinvent v3.5). Somit kann die «Herstellung» des vergärten Hofdüngers als belastungsfrei ausgewiesen werden. Zusätzlich könnte geltend gemacht werden, dass vergärter Hofdünger weniger lang gelagert wurde und somit ansonsten während der Lagerung anfallende Methanemissionen reduziert werden konnten (vgl. Kapitel 4.5). Ob und in welchem Rahmen das umgesetzt werden würde, ist genauer zu betrachten, u.a. auch da diese Emissionsreduktionen bereits im Rahmen von Klimaschutzprojekten geltend gemacht werden.

Bei gewerblich-industriellen Anlagen wird die Umweltbelastung der Vergärung von Bioabfällen zwischen Biogasproduktion und der Abfallbehandlung der Bioabfälle aufgeteilt (ecoinvent v3.5). Somit könnte die Herstellung des Gärguts ebenfalls als belastungsfrei ausgewiesen werden.

Da Gärgülle und Gärgut sowieso anfallen, ist davon auszugehen, dass die anrechenbaren Umweltbelastung für die «Herstellung» der Gärgülle und Gärgut deutlich geringer ausfallen als für die Herstellung von Mineraldünger. Sollten sich Gärgülle und Gärgut jedoch zu begehrten Produkten entwickeln (steigende Nachfrage), wäre die Wahl der Systemgrenzen und der Zuordnung der Emissionen zu überprüfen.

Die Emissionen während und nach der Ausbringung der Vergärungsprodukte als Dünger werden in Kapitel 5.1 beschrieben. Die Treibhausgasemissionen von Recyclingdüngern werden zurzeit in einem Forschungsprojekt der FiBL mit HAFL und ETH genauer untersucht (FiBL 2018).

Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die Methoden der Ökobilanzierung die Emissionen gewichtet und den verschiedenen Produkten / Prozessen zuordnet. Grundsätzlich sind die Emissionen während der Ausbringung dem Dünger oder der betrachteten Kultur zuzuordnen, durch die Vergärung verursachte Mehremissionen wurden aber bisher der Biogasproduktion angerechnet (BFE 2011). Zusätzlich könnten beim Einsatz von festem Gärgut und Gärmist als Bodenverbesserer Gutschriften für die organische Substanz gemacht werden (Fuchs und Schleiss 2009).

### Wissenslücken

Es gibt zurzeit keine öffentlich zugängliche Ökobilanz für Gärgut und Gärgülle als Dünger.

### Fazit

Es liegen keine Ökobilanzen für Gärgülle und Gärgut vor. Es ist zu erwarten, dass die Dünger bezüglich Umweltbelastung während der «Herstellung» gut abschneiden, da er sowieso anfällt und allfällige Emissionen voraussichtlich der Tierproduktion und Biogasproduktion zugeordnet werden. Die Bilanz bzgl. Düngerausbringung ist schwieriger abzuschätzen und muss berechnet werden. Grundsätzlich ist beim Vergleich der verschiedenen Dünger auch der ganzheitliche Kontext zu beachten, d.h. welche Substrate fallen sowieso an, aus welchen Gründen, und wie werden die natürlichen Ressourcen möglichst schonend genutzt.

### Quellen

- BFE (2011): Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. Schlussbericht. Bundesamt für Energie. ESU-services GmbH, Uster.
- Ecoinvent (v3.5): Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230.
- Fibl (2018): Klimawirkung von Recyclingdüngern und Pflanzenkohle: Emissionen von Lachgas, Methan und Ammoniak in einem Feldversuch. Forschungsprojekt mit HAFL und ETH, finanziert durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Energie (BFE). Projektdauer: 2018-2022.
- Fuchs JG, Schleiss K (2009): Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit: Ökologische Bewertung der organischen Substanz. FIBL Schweiz.

### 4.3 Wie stark kann der Methanschluß reduziert werden?

#### Fakten

Methanverluste sollen in der Biogasproduktion vermieden werden, da sie den Ertrag schmälern, ein Sicherheitsrisiko darstellen, und es sich bei Methan um ein potentes Treibhausgas handelt.

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes wird zurzeit der Methanschluß in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (inkl. BHKW) quantifiziert und das Reduktionspotenzial abgeschätzt (Scharfy 2019). Erste Ergebnisse der Komponentenmessung an drei landwirtschaftlichen Biogasanlagen wiesen – auf die Anlage hochgerechnet - Methanemissionen von 0.03 bis 0.6% der Methanproduktion auf. Die Emissionsquellen unterschieden sich je nach Anlage, es waren entweder Gärrestlager, Fermenter, Nachgärer oder die Abluft aus dem BHKWs betroffen. Weitere Messkampagnen und die Abschätzung des Reduktionspotenzial stehen noch aus.

Bereits im Jahr 2013 untersuchte eine BFE-Studie die Methanverluste an allen Stellen entlang der landwirtschaftlichen Biogasproduktionskette (inkl. BHKW, BFE 2013). Die Methanemissionen wurden identifiziert, aber aufgrund methodischer Herausforderungen nicht quantifiziert. Die beobachteten Methanverlustquellen waren heterogen und hatten diverse Ursachen. Die meisten Verlustquellen waren auf bauliche Mängel oder fehlende Wartung zurückzuführen und wären somit vermeidbar. Zusätzlich könnten aber auch betriebsbedingte Emissionen anfallen (z.B. Verluste über das Überdruckventil bei Biogasüberproduktion) und die Emissionen insgesamt dominieren. Diese Emissionen können durch eine Betriebsoptimierung reduziert werden.

Zusätzlich werden in den Kompensationsprojekten von landwirtschaftlichen Biogasanlagen die Methanverluste pro landwirtschaftliche Biogasanlage abgeschätzt, diese Daten sind aber nicht öffentlich verfügbar. Es werden bereits Massnahmen umgesetzt, um die Methanverluste zu vermeiden resp. zu reduzieren. (Ökostrom 2019).

Eine Studie quantifizierte im Jahre 2007 die Methanverluste für eine Biogasaufbereitungsanlage im Kanton Luzern (Baum 2008). Die Methanverluste betragen 2.6% der insgesamt aufbereiteten Methanfracht. 88% davon fielen während der normalen Produktionsphase an, 2% resp. 10% auf die Anfahr- resp. Ausfahrprozesse. Mithilfe von technischen und betrieblichen Massnahmen wäre eine Reduktion der Methanverluste auf 0 bis 1% möglich. Dies hätte damals aber die Grenzen des ökonomisch Tragbaren erreicht. Die SVGW hat in ihrem Regelwerk 13 (Richtlinie für die Einspeisung von erneuerbaren Gasen) den Grenzwert von 2.5% festgelegt.

#### Wissenslücken

- Es liegt keine Studie vor, welche die derzeitigen Methanemissionen in gewerblich-industriellen Anlagen und deren Reduktionspotenzial quantifiziert hat. Eventuell liegen bald Studien aus Deutschland vor (Scharfy 2019).
- Die derzeitigen Methanemissionen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen und deren Reduktionspotenzial werden derzeit im Rahmen eines Forschungsprojektes quantifiziert.

## Fazit

Für landwirtschaftliche Biogasanlagen werden die Methanemissionen und deren Reduktionspotenzial derzeit im Rahmen eines Forschungsprojektes untersucht. Erste Messungen schätzen die Methanemissionen auf 0.03 bis 0.6% der Methanproduktion, Angaben zum Reduktionspotenzial liegen noch keine vor. Im Rahmen von Kompensationsprojekten gibt es ebenfalls Messungen, diese Werte sind aber nicht öffentlich verfügbar. Für industriell-gewerbliche Biogasanlagen gibt es derzeit keine Studien. Eine Studie bezifferte 2008 die Methanemissionen in einer Biogasaufbereitungsanlage auf 2.6%, das Reduktionspotenzial wurde auf 0 bis 1% geschätzt, was aber damals an die Grenze des ökonomisch Tragbaren geführt hätte. Die SVGW hat in ihren Einspeiserichtlinie den Grenzwert von 2.5% festgelegt.

## Quellen

- Baum S, Baier U, Judex J und Biollaz S (2008): Methanverluste bei der Biogasaufbereitung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften und Paul Scherrer Institut.
- BFE (2013): Methanverluste bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen.
- Ökostrom (2019): Klimaschutzprojekte von Ökostrom Schweiz. <https://oekostromschweiz.ch/klimaschutz/klimaschutzprojekte-von-oekostrom-schweiz/>. Letzter Zugriff: 13.11.2019.
- Scharfy (2019): Bewertung und Reduktion von Methanemissionen landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Vortrag an der Bioenergieforschungstagung des BFE.

## 4.4 Wie tragen Biogasanlagen dazu bei, den stofflichen Kreislauf bei organischen Abfällen zu schliessen?

### Fakten

Biogasanlagen verwerten organische Abfälle und Hofdünger und leisten somit einen Beitrag, den stofflichen Kreislauf von Nährstoffen zu schliessen. Denn während der Vergärung wird der Kohlenstoff zu Biogas umgewandelt, die übrigen Nährstoffe verbleiben aber in den Vergärungsprodukten und können als Dünger und Bodenverbesserer eingesetzt werden.

Abbildung 10 zeigt, wie die heute separat gesammelten biogenen Abfälle und Hofdünger verwertet werden. Zusätzlich gezeigt sind die geschätzten Mengen biogener Abfälle, welche mit der Kehrrichtsorgung gesammelt und in der Kehrrichtverbrennungsanlage (KVA) verbrannt werden.

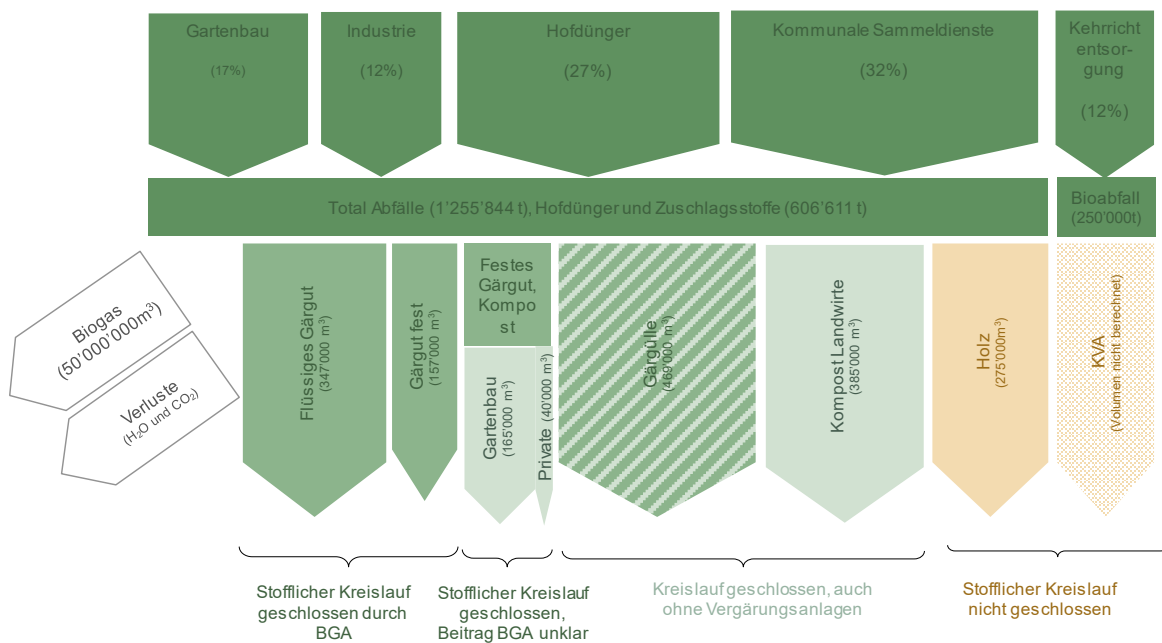


Abbildung 10 Biogene Abfälle und deren Verwertung. Ebenfalls gezeigt ist die Rolle der Biogasanlagen, ob sie zur Schliessung der stofflichen Kreisläufe beitragen (grün), der stoffliche Kreislauf auch ohne sie geschlossen ist (hellgrün) oder wäre (gestreift). Basierend auf Mandaliev und Schleiss (2016).

Der Beitrag von Biogasanlagen ist insbesondere dann relevant, wenn die organischen Abfälle ansonsten in der KVA verbrannt werden. Noch immer werden jährlich rund 250'000 t biogene Abfälle in der KVA verbrannt. Jene Ressourcen werden zwar thermisch genutzt, die Nährstoffe werden jedoch dem stofflichen Kreislauf entzogen.

Neben den Biogasanlagen tragen auch Kompostieranlagen dazu bei, dass biogene Abfälle im stofflichen Kreislauf gehalten werden. Sie tragen jedoch nicht zu einer energetischen Nutzung der Ressourcen dabei.

Gemäss Mandaliev und Schleiss 2016 werden grössere Holzabfälle meist aussortiert und dann energetisch genutzt. Es ist darum davon auszugehen, dass für jene Gruppe der stoffliche Kreislauf nicht geschlossen wird.

Hofdünger wird im Regelfall sowieso ausgebracht, und die Vergärung entspricht einer zwischengeschalteten Behandlung. Während der stoffliche Kreislauf somit auch sonst geschlossen wäre, optimieren die Biogasanlagen den Kreislauf bezüglich energetischer Nutzung.

### **Fazit**

Biogasanlagen verwerten organische Abfälle und tragen zur Schliessung von Nährstoffkreisläufen bei. Der Beitrag ist insbesondere dann relevant, wenn die organischen Abfälle ansonsten in der KVA thermisch verwertet werden. Noch immer werden jährlich rund 250'000 t biogene Abfälle in der KVA thermisch verwertet und die Nährstoffe darum dem stofflichen Kreislauf entzogen. Alternativ können die Abfälle auch kompostiert und die Nährstoffe ebenfalls im Kreislauf gehalten werden, das energetische Potenzial wird dann aber nicht genutzt.

Beim Hofdünger entspricht die Vergärung in Biogasanlagen einem Zwischenschritt im stofflichen Nährstoffkreislauf, der den stofflichen Kreislauf bezüglich energetischer Nutzung der Ressourcen optimiert.

### **Quellen**

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

## 4.5 Wie teuer ist die Treibhausgasreduktion durch Biogasanlagen im Vergleich zu anderen Klimaschutzmassnahmen?

Es liegt keine Studie vor, welche systematisch die Kosten der Treibhausgasreduktion (THG-Reduktion) durch Biogasanlagen berechnet und sie mit andere Klimaschutzmassnahmen vergleicht.

Grundsätzlich können Biogasanlagen in verschiedenen Weisen zur THG-Reduktion beitragen (Abbildung 11).

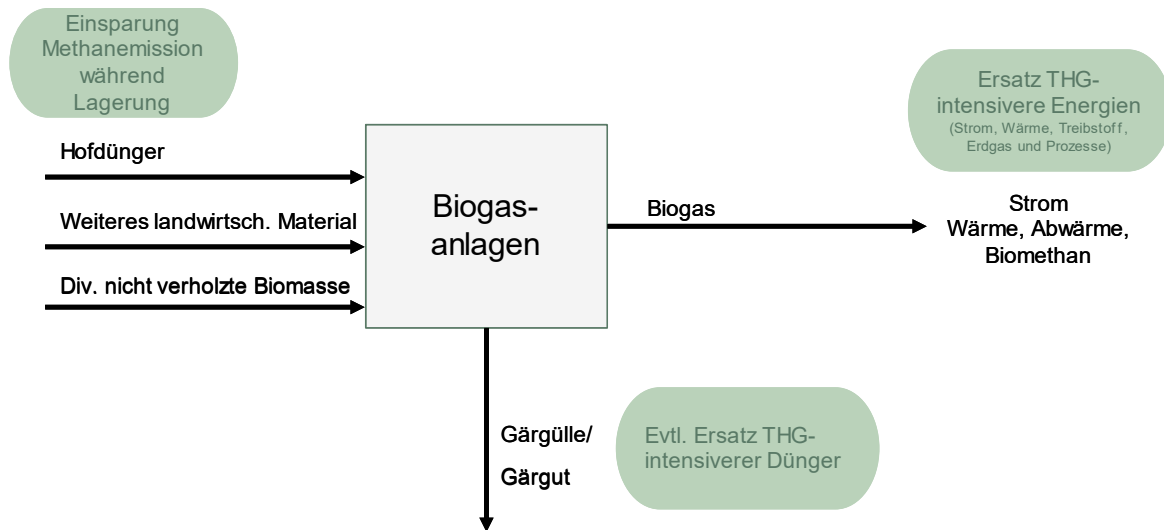


Abbildung 11 Biogasanlagen bieten mehrere Möglichkeiten zur THG-Reduktion. Beim Ersatz von THG-intensiven Düngern ist zu berücksichtigen, dass der unvergärte Hofdünger ebenfalls ausgebracht wird.

Die Ansatzpunkte unterscheiden sich bezüglich der bereits laufenden Aktivitäten:

- Klimaschutzprojekte mit landwirtschaftlichen Biogasanlagen machen geltend, dass die Methanemissionen während der Hofdüngerlagerung vermieden werden (Ökostrom 2019).
- Des Weiteren können Biogas und seine Produkte emissionsintensivere Produkte (Strom, Wärme, Treibstoff oder den Gaseinsatz in industriellen Prozessen) ersetzen. Zurzeit wird in Klimaschutzprojekten der Einsatz von Biogas als emissionsarme Energie nicht geltend gemacht, da die Stromeinspeisung über die kostenorientierte Einspeisevergütung abgegolten wird. Da diese demnächst ausläuft und das CO<sub>2</sub>-Gesetz aktuell in der Totalrevision ist, könnte sich die Lage diesbezüglich verändern.
- Ökobilanzdaten zu Vergärungsprodukten als Dünger fehlen zurzeit (vgl. Kapitel 4.2). Sollte sich zeigen, dass Vergärungsprodukte besser als Vergleichsprodukte abschneiden, könnte auch hier eine Klimaschutzmassnahme geltend gemacht werden. Es ist zu beachten, dass unvergärte Hofdünger ebenfalls ausgebracht wird.

In Tabelle 1 werden, wo quantifizierbar, die Kosten / Erlöse<sup>4</sup> für die THG-Reduktion mit oder um Biogasanlagen aufgeführt. Für den Vergleich werden die Kompensationsmassnahmen des BAFU aufgeführt und wo öffentlich verfügbar, die Kosten der THG-Reduktion aufgezeigt.

Klimaschutzmassnahmen	Erläuterung	Kosten/ Erlöse <sup>1</sup> pro reduzierte t CO <sub>2</sub>
<b>Klimaschutzmassnahmen mit Biogas</b>		
Methanemissionen aus Hofdüngerlagerung vermeiden	Kompensationsprojekt, Preise sind nicht öffentlich verfügbar.	KliK-Vergütung beträgt in der Regel 80 bis 120 CHF/t CO <sub>2</sub> .
<b>Generelle Klimaschutzmassnahmen</b>		
Kompensationsprojekte	Es gibt diverse Kompensationsprojekte in den Bereichen Energieeffizienz, Wechsel der Energieträger, direkte Vermeidung von Treibhausgasemissionen oder Senken von Treibhausgasen.	KliK-Vergütung beträgt in der Regel 80 bis 120 CHF/t CO <sub>2</sub> .
CO <sub>2</sub> -Abgabe	Seit 2008 wird eine Lenkungsabgabe auf fossile Brennstoffe wie Heizöl oder Erdgas erhoben. Sie beträgt heute 96 CHF/t CO <sub>2</sub> . Abgabebefreiungen sind möglich (BAFU-CO <sub>2</sub> -Abgabe 2019).	-
Emissionshandel	Handel mit Emissionsrechten und Emissionsminderungszertifikaten.	Volatil, aktuell ca. 24 CHF/tCO <sub>2</sub> (Stand Nov 19), vorher rund 5 CHF/tCO <sub>2</sub> (2013-2017) (Börse-Online 2019)
Gebäude	Das Gebäudeprogramm	159 CHF/tCO <sub>2</sub> (Gebäudeprogramm 2019)
Gebäude	Kantonale Vorschriften im Energiebereich	-

<sup>4</sup> Je nach Perspektive handelt es sich um Erlöse (jemand erhält Geld) oder Kosten (die Kosten werden durch Steuerzahler oder Unternehmen getragen)



CO <sub>2</sub> -Emissionsvorschriften für Fahrzeuge	Festlegung der Obergrenze, wieviel CO <sub>2</sub> pro Kilometer ausgestossen werden darf.	-
Klimaprogramm Bildung und Kommunikationsmassnahmen	Ziel ist, andere gesetzliche Massnahmen zu verstärken und freiwilligen Klimaschutz zu fördern.	-
Technologiefonds	Förderfonds des Bundes, um Innovationen zu fördern, die Treibhausgase oder den Ressourcenverbrauch reduzieren, den Einsatz erneuerbarer Energie begünstigen und die Energieeffizienz erhöhen.	-

Tabelle 1: Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgase und Abschätzung der damit verbundenen Kosten.

### Fazit

Biogasanlagen reduzieren den Ausstoss von Treibhausgasen, indem sie Methanemissionen während der Lagerung des Hofdüngers senken und indem Biogas fossile Energieträger ersetzt. Es sind keine Literaturstudien verfügbar, welche die Kosten resp. Erlöse pro reduzierte t CO<sub>2</sub> quantifizieren. Vergleichbare Daten zeigen, dass andere Kompensationsmassnahmen typischerweise zwischen 25 CHF/t CO<sub>2</sub> und 160 CHF/t CO<sub>2</sub> kosten.

### Quellen

- BAFU-CO<sub>2</sub>-Abgabe(2019): <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimapolitik.html> Letzter Zugriff: 13.11.2019.
- Börse-online (2019). <https://www.boerse-online.de/rohstoffe/co2-emissionsrechte>. Letzter Zugriff: 13.11.2019.
- Gebäudeprogramm (2019): Jahresbericht 2018.
- Ökostrom (2019). Klimaschutzprojekte von Ökostrom Schweiz. <https://oekostromschweiz.ch/klimaschutz/klimaschutzprojekte-von-oekostrom-schweiz/>. Letzter Zugriff: 13.11.2019.

## 5 Herstellung von organischem Dünger

### 5.1 Welche Stärken und Schwächen hat die Verwendung von Vergärungsprodukten als Dünger?

#### Fakten

Bei der Vergärung von organischen Abfällen und Hofdünger entstehen Vergärungsprodukte, welche als Dünger und Bodenverbesserer eingesetzt werden. Die Vergärungsprodukte Gärgülle und Gärgut werden als Hof- und Recyclingdünger klassifiziert (vgl. Kapitel 2). Für eine gesamtheitliche Betrachtung der Stärken und Schwächen der Vergärungsprodukte müssen die Eigenschaften einerseits mit unvergärten organischen Hof- und Recyclingdünger und andererseits mit Mineraldünger verglichen werden.

Tabelle 2 zeigt für verschiedene Kriterien die Vor- und Nachteile von Hof- und Recyclingdünger im Vergleich zu Mineraldünger auf. Die Vergärprodukte werden zusammen mit anderen Hof- und Recyclingdünger abgehandelt, da es sich oft um die gleichen Stärken und Schwächen gegenüber Mineraldünger handeln, die allen gemeinsam sind. Wo relevant, wird spezifisch auf Stärken und Schwächen von Gärgut (flüssiges und festes Gärgut) und Gärgülle (Gärmist und Gärdünngülle) eingegangen (blaue Schrift).

Kriterium	Beurteilung von Hof- & Recyclingdünger
<b>Stoffliche Kreisläufe schliessen</b>	<b>Stärke:</b> Hof- und organische Recyclingdünger tragen zur Schliessung lokaler Nährstoffkreisläufe bei.
<b>Herstellungsaufwand</b>	<b>Stärke:</b> Hof- und Recyclingdünger fallen als Abfallprodukt an und werden weiterverwendet. Dadurch wird die energieaufwändige Herstellung von Mineraldünger vermieden resp. reduziert und die begrenzten Phosphorressourcen geschont.
<b>Stickstoffeffizienz</b>	<p><b>Schwäche:</b> In Hof- und organischen Recyclingdünger ist ein Teil des Stickstoffes direkt pflanzenverfügbar, ein anderer Teil ist organisch gebunden und wird erst mit der Zeit (nach der Mineralisierung) pflanzenverfügbar. Bei Mineraldünger werden in der Regel N-Formen eingesetzt, welche rascher pflanzenverfügbar und gezielter einsetzbar sind.</p> <p><b>Stärke:</b> Der organisch gebundene Stickstoff kann als Lageraufbau im Boden betrachtet werden, welcher über Jahrzehnte zur Bodenfruchtbarkeit beiträgt (Jarosch et al. 2018).</p> <p><b>Stärke:</b> Die Vergärung des Hofdüngers erhöht den Anteil pflanzenverfügbarer Stickstoff und reduziert den Anteil organisch gebundenen Stickstoff, was einer Aufwertung entspricht und die Dosierung besser kalkulierbar macht (Richner &amp; Sinaj 2017, Jarosch et al. 2018). So wird die N-Ausnutzungseffizienz um 10 bis 25% gegenüber dem Hofdünger</p>

	erhöht (Richner & Sinaj 2017, Bosshard et al. 2010), sie liegt aber immer noch tiefer als bei Mineraldünger (63 bis 70% in Bosshard et al. 2010). Die langfristige, über 80 Jahre geschätzte N-Ausnutzungseffizienz von Gärgülle liegt bei 64 bis 83% (Jarosch 2018).
<b>Bodenfruchtbarkeit</b>	<p><b>Stärke:</b> Festes Gärgut wird wie Kompost als Bodenverbesserer eingesetzt (Richner &amp; Sinaj 2017, Grüngutbranche 2010). Sie wirken sich positiv auf den Humushaushalt aus (Zihlmann et al. 2019), verbessern die Bodenstruktur (Richner &amp; Sinaj 2017), erhöhen den pH und die mikrobielle Aktivität im Boden (Kupper und Fuchs 2008) und können mikrobielle Gegenspieler von verschiedenen bodenbürtigen Krankheitserregern fördern (Richner &amp; Sinaj 2017). Insgesamt ist die Qualität des Komposts oder festem Gärgut entscheidend für eine gute bodenverbessernde Wirkung (Richner &amp; Sinaj 2017).</p>
<b>Schadstoffe, Krankheitserreger und Unkrautinaktivierung</b>	<p><b>Stärke:</b> Hof- und Recyclingdünger enthalten kein Uran. Dies ist bei mineralischen P-Dünger oft der Fall (Richner &amp; Sinaj 2017).</p> <p><b>Stärke:</b> Bei fachgerechter Kompostierung und Vergärung wird Unkraut wie Erdmandelgras oder Japanknöterich inaktiviert (Fuchs et al 2017).</p> <p><b>Stärke:</b> Durch die Vergärung in thermophilen Anlagen werden Krankheitserreger wie <i>E.coli</i> oder <i>Salmonellen</i> eliminiert, was einer Hygienisierung des Ausgangsmaterials entspricht. In mesophilen Anlagen wird die Anzahl Keime kaum reduziert, es findet jedoch auch keine Vermehrung statt (Fuchs et al. 2014).</p> <p><b>(alle):</b> Sowohl Hof-, Recycling- als auch Mineraldünger enthalten Schwermetalle. Die Anwender verfügen im Normalfall hierzu keine Angaben – die Verantwortung liegt bei den Produzenten. In Kompostierungs- und Vergärungsanlagen werden die Schadstoffgehalte periodisch von den Kantonen überprüft (Richner &amp; Sinaj 2017).</p> <p><b>Schwäche:</b> Hof- und Recyclingdünger können organische Schadstoffe wie Antibiotika, hormonähnliche Stoffe oder sonstige organische Schadstoffe enthalten. Über die Auswirkungen dazu ist noch wenig bekannt (Richner &amp; Sinaj 2017).</p> <p>Eine Studie aus dem Jahr 2007 schloss, dass auch in Anbetracht der Unsicherheiten die Dünger- und Bodenverbessererwirkung bei Kompost und Gärgut das Risiko von potenziellen Schadeffekten durch organische Schadstoffe und Pflanzenschutzmittel deutlich überwiegt (Kupper und Fuchs 2008).</p> <p><b>Schwäche:</b> Kompost und Gärgut aus industriell-gewerblichen Biogasanlagen können Plastik enthalten (Schleiss 2017).</p>

<p><b>Umweltbelastung während und nach Ausbringen</b></p>	<p><b>(alle)</b> Durch bedarfsgerechte und angepasste Ausbringtechnik können die Umweltbelastungen beträchtlich reduziert werden (Richner &amp; Sinaj 2017).</p> <p><b>Schwäche:</b> Das Potenzial für Umweltgefährdung<sup>a</sup> während und nach der Ausbringung von Hof- und Recyclingdünger werden höher als bei Mineraldünger eingeschätzt (Richner &amp; Sinaj 2017), da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Dosierung schwieriger ist, da 1) der organische gebundene Stickstoff zuerst im Boden mineralisiert werden muss und 2) die Nährstoffgehalte weniger genau bekannt und weniger konstant sind als bei Mineraldünger und 3) mehrere Nährstoffe enthalten, welche teilweise nicht zwingend benötigt werden.</li> <li>• Hof- und Recyclingdünger oft in flüssiger Form anfallen und darum zusätzlichen Verlustrisiken durch Abschwemmung und Versickerung unterliegen können.</li> </ul> <p><b>(neutral)</b> Durch die Vergärung steigt der pH und der Partialdruck von Ammoniak, was bei unsachgemässer Lagerung und Ausbringung die gasförmigen Stickstoffverluste erhöht. Auf der anderen Seite sickert die vergäerte Gülle aufgrund der geringeren Viskosität schneller in den Boden ein, was die gasförmigen Verluste vermindert (DLG 2017). Insgesamt kommt es somit stark auf die Bedingungen und Ausbringungstechnik an, ob die gasförmigen Stickstoffverluste höher, geringer oder gleich ausfallen wie bei unvergorenem Hofdünger.</p>
<p><sup>a</sup>Berücksichtigt wurden: Boden (Eintrag von Schadstoffen und physikalische Bodenbelastung), Grundwasser (Belastung mit Nitrat (NO<sub>3</sub>), Chlor, Sulfat, Krankheitserregern und weiteren Stoffen), Oberflächengewässer (Belastung mit Phosphor und Stickstoff, Krankheitserregern und weiteren Stoffen) und Luft (Emission von Ammoniak und Lachgas).</p>	

Tabelle 2: Vor und Nachteile von Hofdünger und Recyclingdünger im Vergleich zu Mineraldünger. Ausführung spezifisch für Gärgut und Gärgülle sind in blauer Schrift dargestellt.

### Wissenslücken

- Die langfristige N-Ausbringungseffizienz von Vergärungsprodukten ist schwierig zu quantifizieren, da einerseits die Daten noch fehlen (neue Technologie) und andererseits die N-Gehalte in den Düngern so unterschiedlich sind. In Jarosch et al. (2018) wurde die NAE über 80 Jahre auf 80% geschätzt, es ist jedoch je nach Szenario und Rahmenbedingungen mit grossen Schwankungen zu rechnen.
- Die Auswirkungen durch eine potenzielle Anreicherung von Veterinärpharmaka, organischen Schadstoffen, hormonähnlichen Schadstoffen in Hof- und Recyclingdünger können noch nicht abschliessend beurteilt werden.

## Fazit

Hof- und Recyclingdünger tragen im Gegensatz zu Mineraldünger zur Kreislaufschliessung bei. Gleichzeitig kann die energieintensive Produktion der Mineraldünger vermieden und die begrenzten Phosphorressourcen geschont werden.

Festes Gärgut wie auch Kompost werden als Bodenverbesserer eingesetzt und erhöhen die Bodenfruchtbarkeit. Gärgülle weist im Vergleich zum unbehandelten Hofdünger einen höheren Gehalt an direkt pflanzenverfügbarem Stickstoff auf, was einer Aufwertung des Düngers entspricht. Hof- und Recyclingdünger enthalten mehrere Nährstoffe gleichzeitig und die Zusammensetzung ist oft weniger genau bekannt, während die Nährstoffe bei Mineraldüngern spezifisch zusammengestellt werden.

## Quellen

- Biomasse-suisse (2019): <https://www.biomassesuisse.ch/de/stoffkreislaeufe-schliessen>. Letzter Zugriff : 18.11.2019.
- Bosshard C, Flisch R, Mayer J, Basler S, Hersener J-L, Meier U, Richner W (2010): Verbesserung der Stickstoffeffizienz von Gülle durch Aufbereitung. *Agrarforschung Schweiz* 1 (10): 378-383, 2010.
- DLG (2017): Gärreste im Ackerbau effizient nutzen. DLG-Merkblatt 397. DLG e.V., Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt am Main.
- Fuchs J, Baier U, Berner A, Philipp W, Schleiss K (2014): Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz. Im Auftrag des BFE, BLW, BAFU und BVET.
- Fuchs J, Dierauer H, Klaiss M, Ludwig M, Hölzel B, Baier U, Collet L (2017): Studie zur Persistenz von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) und Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) in Kompostierungs- und Vergärungsprozessen. FiBl und zhaw.
- Grüngutbranche (2010): Schweizerische Qualitätsrichtlinie 2010 der Branche für Kompost und Gärgut.
- Jarosch K, Richner W, Mayer M (2018): Stickstoffausnutzungseffizienz von Biogasgülle. *Agrarforschung Schweiz*, Heft 3.
- Kupper T., Fuchs J. (2007): Kompost und Gärgut in der Schweiz. Studie 1: Organische Schadstoffe in Kompost und Gärgut. Studie 2: Auswirkungen von Kompost und Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit. *Umwelt-Wissen* Nr. 0743. Bundesamt für Umwelt, Bern. 124 S.
- Richner W. & Sinaj S (2017). Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz GRUD 2017). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 276 S.
- Schleiss, Konrad. 2017. "Bericht zur Analyse von Fremdstoffen in Kompost und festem Gärgut der Kompostier- Und Vergärungsanlagen in der Schweiz gemäss ChemRRV." UMWEKO GmbH, Grenchen.
- Zihlmann U, Weisskopf P, Chervet A, Seitz B (2019): Humus in Ackerböden – vermehren statt verzehren. Agridea, Lindau.

## 5.2 Können Biogasanlagen regionale oder lokale Nährstoff-überschüsse reduzieren?

### Fakten

Die maximal auszubringenden Düngermengen auf Feldern sind gesetzlich festgelegt, um Böden, Gewässer und die Umgebung vor zu hohen Nährstoffeinträgen zu schützen. Einige tierintensive Betriebe müssen daher Hofdünger abgeben, während andere Ackerbaubetriebe Dünger nachfragen.

Biogas- und Kompostieranlagen können als Zwischenhändler fungieren, welche Hofdünger von Abgeberbetrieben annehmen und Hof- oder Recyclingdünger an die Annehmerbetriebe liefern. Die Betriebe können zwar auch direkt den Hofdünger verschieben, über Biogasanlagen könnte die Verschiebung jedoch effizienter ablaufen (klare Kontaktstelle). Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) positioniert auf ihrer Webseite Biogasanlagen aus diesem Grund als effiziente Vermittlerstelle zwischen Annehmer- und Abgeberbetrieben (BLW 2019).

Die Rolle von Biogasanlagen in der Verschiebung von Hof- und Recyclingdünger kann aus den Daten des BLW grob abgeschätzt werden. Das BLW erfasst die Verschiebungen von Hofdünger (Mist, Gülle und Produkte aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen) und Recyclingdünger (Kompost und Produkte aus gewerblich-industriellen Biogasanlagen) mit dem Internetprogramm HODUFLU (BLW 2019) und wertet die Daten regelmässig im Agrarbericht aus. Gemäss Agrarbericht (2016) fielen im Jahr 2015 23 Millionen Tonnen Hofdünger an. Davon wurden nur 10% über HODUFLU verschoben, die restlichen 90% wurden auf den Betrieben selbst ausgebracht. Aktuellere Zahlen stehen diesbezüglich nicht zur Verfügung.

Eine Auswertung für das Jahr 2017 zeigt, dass Hofdüngerlieferungen aus der Tierhaltung die in HODUFLU erfassten Nährstoffverschiebungen dominierten (63%), gefolgt von Recyclingdünger aus gewerblich-industriellen Anlagen (18%), Hofdünger von landwirtschaftlichen Biogasanlagen (8%) und Kompost (6%) (Agrarbericht 2018, Abbildung 12).

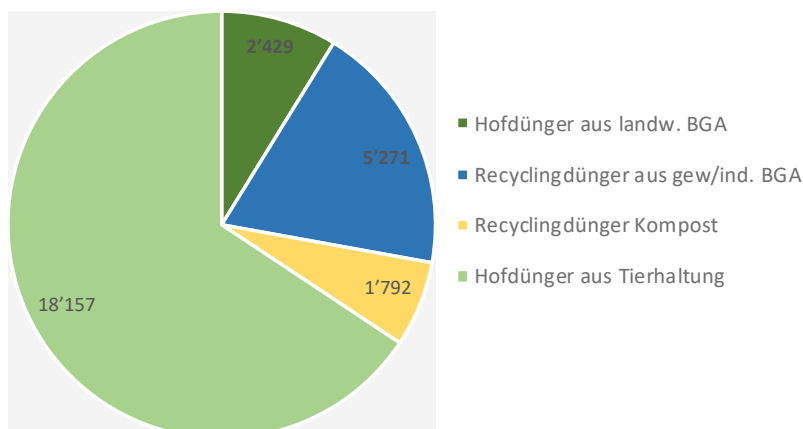


Abbildung 12: Als Hof- und Recyclingdünger verschobene Nährstoffmengen [t Nges + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen (landw. BGA), aus gewerblich-industriellen Biogasanlagen (gew/ind. BGA), aus der Tierhaltung und als Kompost. Aus Agrarbericht 2018.

Diese Daten lassen darauf schliessen, dass ein Grossteil des Hofdüngers immer noch direkt zwischen Bauernhöfen verschoben wird, aber ein Teil den Weg über Biogasanlagen macht und danach ausgebracht wird. Aus den Daten ist nicht ersichtlich, ob die über Biogasanlagen laufenden Verschiebungen zu einer besseren lokalen Verteilung der Nährstoffe führen, oder ob Biogasanlagen den Hofdünger annehmen und an den gleichen Betrieb wieder zurückgeben. Letzteres würde keinen Beitrag zu einer besseren Verteilung der Nährstoffe leisten. Auswertungen aller Nährstoffflüsse zeigen, dass die mit Abstand grössten Verschiebungen innerhalb der Kantone stattfanden (Agrarbericht 2016).

Des Weiteren werden Nährstoffe durch Recyclingdünger aus gewerblich-industriellen Biogasanlagen in die Landwirtschaft eingebracht. Somit findet das Gärgut Abnehmer in der Landwirtschaft (vgl. Kapitel 6.2, dort wird auch auf Erlöse eingegangen). Mittels der Suisse-Bilanz (BLW 2019) wird sichergestellt, dass die Nährstoffbilanz auf den Parzellen ausgeglichen ist und nicht mit einer Vergrösserung der Nährstoffeinträge zu rechnen ist.

### Wissenslücken

- Aus den Daten ist noch nicht ersichtlich, wie häufig die Gärgülle wieder vom ursprünglichen Betrieb zurückgenommen werden. Falls dies der Fall wäre, würde dies nicht einer Verteilung der Nährstoffe im Sinne einer Überschussreduktion entsprechen.

### Fazit

Biogasanlagen tragen gemeinsam mit Kompostierungsanlagen zur Verschiebung von Hof- und Recyclingdünger bei. Es ist aus den Daten aber noch nicht ersichtlich, ob sie auch zu einer besseren Verteilung der Nährstoffe beitragen.

Biogasanlagen können zur Reduktion von lokalen Nährstoffüberflüssen beitragen, falls sie Hofdünger effizienter von den einen Betrieben abnehmen und nach der Vergärung an andere Betriebe abgeben. Aus den verfügbaren Daten ist noch nicht ersichtlich, ob Biogasanlagen diese Rolle einnehmen, oder ob die Gärgülle wieder an den gleichen Betrieb zurückgegeben wird.

Gärgut aus gewerblich-industriellen Anlagen bringen Nährstoffe in die Landwirtschaft. Die Daten zeigen somit, dass das Gärgut in der Landwirtschaft Abnehmer findet (vgl. Kapitel 6.2). Da mittels der Suisse-Bilanz sichergestellt wird, dass das Gärgut vor allem anderweitige Dünger (Mineraldünger oder unvergärter Hofdünger) ersetzt, führt der Eintrag nicht zu erhöhten Nährstoffeinträgen, sondern trägt zur Schliessung von Kreisläufen bei.

### Quellen

- Agrarbericht (2016): Kapitel Datenmanagement - HODUFLU. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 3003 bern. Verfügbar auf [www.agrarbericht.ch](http://www.agrarbericht.ch)
- Agrarbericht (2018): HODUFLU Datenauswertung. <https://2017.agrarbericht.ch/de/politik/datenmanagement/hoduflu-datenauswertung>. Letzter Zugriff: 29.11.2019.

- BLW (2019a): Hoduflu. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/datenmanagement/agate/hoduflu.html>. Letzter Zugriff: 29.11.2019.
- BLW (2019b): Ausgeglichene Düngerbilanz und Bodenuntersuchungen (DZV Art. 13). <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/oekologischer-leistungsnachweis/ausgeglichene-duengerbilanz.html> . Letzter Zugriff: 28.6.2020.



## 5.3 Wie viel Mineraldünger könnten durch Vergärungsprodukte ersetzt werden?

### Fakten

Es finden sich keine Studien aus der Schweiz oder Europa, die das Potenzial für den Ersatz von Mineraldünger durch Vergärungsprodukte ausweisen.

Hofdünger stellt gemäss Agrarbericht des BLW (2016, 2019) mit jährlich ca. 86'000 t Stickstoff heute eine der wichtigsten Quellen für Nährstoffe in der Landwirtschaft dar, gefolgt von Mineraldüngern mit jährlich ca. 52'000 t Stickstoff. Kompost ist mit jährlich ca. 3'000 t Stickstoff dagegen eine kleine Quelle von Nährstoffen. Gärgut wird nicht ausgewiesen.

Das Ausbringen von vergärem Hofdünger ersetzt keinen Mineraldünger zusätzlich, da der Hofdünger auch unvergärt ausgebracht worden wäre.

Das Ausbringen von den übrigen vergärten Substraten könnte einen Teil des Mineraldüngers ersetzen. Es liegen keine Studien vor, welche dieses Potenzial abgeschätzt haben. Es ist jedoch zu beachten, dass beim Einsatz von Mineraldünger die benötigten Nährstoffe genau dosiert und zusammengesetzt werden. Bei Verwendung von Gärgut ist dies – wie auch bei anderen Hof- und Recyclingdünger - nicht möglich, sondern es wird die enthaltene Kombination der Nährstoffe ausgebracht (vgl. Kapitel 5.1).

### Fazit

Vergärte organische Abfälle im Gärgut oder als Co-Substrat in der Gärgülle können Mineraldünger ersetzen, es liegt jedoch keine Studie vor, welche das Potenzial abschätzt. Es ist zu beachten, dass die Nährstoffgehalte im Gärgut und in der Gärgülle in der Regel weniger genau bekannt sind, während mit Mineraldünger die benötigten Nährstoffe genau bemessen werden können. Das Ausbringen von vergärem Hofdünger ersetzt keinen Mineraldünger, da der Hofdünger im Normalfall auch unvergoren ausgebracht worden wäre.

### Quellen

- BLW (2016): Agrarbericht 2016. Stickstoff in der Landwirtschaft. Die verschlungenen Wege des Stickstoffs
- BLW (2019): Agrarbericht 2019. Entwicklung der gelieferten Mengen Nährstoffe aus Hof- und Recyclingdünger. <https://www.agrarbericht.ch/de/betrieb/datenmanagement/hoduflu-datenauswertung>

## 6 Querschnittsthemen

### 6.1 Wie kann man die Kosten von Biogasanlagen auf die verschiedenen Produkte aufteilen?

#### Fakten

Eine Biogasanlage kann durch den Verkauf von Wärme, Strom, Biomethan, Vergärungsprodukte (Gärgülle und Gärgut), sowie die Einsparung von Treibhausgasemissionen Erträge erzielen. Zudem sind bei gewerblich industriellen Biogasanlagen die Entsorgungsgebühren für Grüngut und biogenen Abfällen aus Gewerbe und Industrie wichtige Erträge, die durchschnittlich rund 80% der Gesamterträge ausmachen (BFE 2020).

Zurzeit gibt es kein klar definiertes und standardisiertes Vorgehen, um die Kosten der Biogasanlage auf die verschiedenen Produkte aufzuteilen. Müssen die Gestehungskosten eines einzelnen Produktes (z.B. Strom) berechnet werden, werden oft die Kosten der Anlage aufgelistet und alle Erlöse ausser den Erlösen aus dem betrachteten Produkt (z.B. Erlöse durch Klimazertifikate, Wärmeverkauf, Düngerverkauf, etc..) abgezogen (z.B. BFE 2017 oder BFE 2020). Dieser Ansatz kann aber nicht für alle Produkte durchgespielt werden, da es so zu Doppelzahlungen kommen würde.

Um die Kosten auf verschiedene Produkte aufzuteilen, könnte grundsätzlich ein gleichteiliger Kostenschlüssel (z.B. gleicher Kostenbetrag für jedes Produkt) oder ein prozentualer Kostenschlüssel verwendet werden (z.B. nach Ertragsanteil).

In der Ökobilanzierung müssen Umweltbelastungen öfters auf verschiedene Produkte verteilt werden. Dort werden nachfolgende Methoden verwendet (Klöpfer und Grahl 2009):

- **Ökonomische Allokation:** Unter Berücksichtigung des Verkaufspreises und der Mengen je Produkt (d.h. Ertragsanteil) werden die Umweltbelastungen auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt. Diese Methode widerspiegelt direkt die Motivation, die unterschiedlichen Produkte herzustellen.
- **Allokation nach physikalischen Eigenschaften** wie Exergie, Masse, Nährwert oder Volumen. Der Vorteil ist, dass die Aufteilung an physikalische Grössen gebunden ist und nicht den Schwankungen der Marktpreise ausgesetzt ist. Der Nachteil ist, dass u.U. die resultierende Allokation von der Gesellschaft nicht akzeptiert wird. Ausserdem kann es schwierig sein, eine physikalische Grösse zu finden, die für alle Produkte passt. Insbesondere hier bei Biogasanlagen stellt sich diese Problematik.
- **Substitutionsansatz:** Bei der Substitution werden die Umweltwirkungen von denen des Prozesses abgezogen, welche entstehen würden, wenn die gleiche Menge des entsprechenden anderen Produktes auf eine andere Art erzeugt werden sollte.

Als Letztes könnte man sich überlegen, die ökologischen und sozialen Benefits der einzelnen Produkte gegenüber den Konkurrenzprodukten zu quantifizieren und darauf basierend eine Förderwürdigkeit festzulegen, und den Kostenschlüssel darauf auszulegen.

### **Wissenslücken**

Es liegt derzeit kein standardisiertes, klar definiertes und gebräuchliches Konzept vor, wie die Kosten der Biogasproduktion auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt werden sollen. Hierzu könnten in der Ökobilanzierung verwendete Ansätze geprüft werden.

### **Fazit**

Es liegt derzeit kein klares Konzept vor, wie die Kosten der Biogasproduktion auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt werden könnten oder sollten. Der gebräuchlichste Ansatz fokussiert auf der Berechnung der Gestehungskosten eines einzelnen Produktes. Dies resultiert aber unter Umständen in unfairen Ergebnissen, da alle ungedeckten Kosten diesem einen Produkt angerechnet werden. Um die Kosten auf mehrere Produkte zu verteilen, muss ein Kostenschlüssel angewendet werden. Hierzu könnten grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten in Frage kommen, z.B. ein konstanter Zahlungsschlüssel oder prozentualer Zahlungsschlüssel basierend auf z.B. Zahlungsbereitschaft oder physikalischen Kriterien. Letzteres ist bei Biogasanlagen wohl nicht möglich.

### **Quellen**

- BFE (2017): Potenzial, Kosten und Umweltauswirkung von Stromproduktionsanlagen – Synthese.
- BFE (2020): Investitionsbeiträge für Biomasseanlage. EBP. (*in Bearbeitung*)
- Klöpfer und Strahl (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

## 6.2 Wie hoch ist die Zahlungsbereitschaft für die verschiedenen Produkte?

### Fakten

Studien aus dem Ausland sind für die Schweiz nicht anwendbar, da z.B. in Deutschland für Konsumenten der Anbau von Energiepflanzen für die Biogasherstellung eines der grösseren Akzeptanzprobleme darstellt.

Eine Gegenüberstellung von Handelspreisen für Biogas- und Referenzprodukte können trotzdem erste wertvolle Hinweise liefern. In Tabelle 3 werden die Handelspreise für Biogasprodukte und Vergleichsprodukte aufgeführt. Zusätzlich aufgeführt sind die Gestehungskosten. Die Handelspreise sind – wo nicht anders vermerkt – auf Stufe Endkonsument und beinhalten weitere Kosten und Margen innerhalb der Wertschöpfungskette. Sie sind somit nicht direkt vergleichbar mit den Gestehungskosten. Gestehungskosten geben jedoch erste wertvolle Hinweise bezüglich des Kostendeckungsgrads.

Verschiedene Energieversorger bieten ihren Kunden Biogas und Wärme aus Biogas als Produkt an, was auf einen existierenden Markt und vorhandene Zahlungsbereitschaft zu den angegebenen Preisen schliessen lässt. Die recherchierten Preise für biogasbasierte Produkte sind höher als die Preise der vergleichbaren Produkte aus fossilen Quellen.

Ein anderes Bild zeigt sich bei Preisen für Dünger: Es lassen sich kaum Preisangaben für Dünger aus der Vergärung finden. Recherchierte Preise für vereinzelte Spezialprodukte sind wenig aussagekräftig und werden daher nicht aufgeführt. Die HODUFLU-Auswertung in Kapitel 5.2 zeigt, dass Gärgut aus industriell-gewerblichen Biogasanlagen Abnehmer in der Landwirtschaft findet, online werden jedoch keine Preise bekannt gegeben. Gemäss Aussagen von Marktakteuren erzielen Betreiber von landwirtschaftlichen Biogasanlagen einen kleinen Teil der Erlöse aus dem Verkauf der Vergärungsprodukte (BFE 2020). Dies lässt insgesamt darauf schliessen, dass die Vergärungsprodukte Abnehmer finden, es ist aber unklar zu welchen Erlösen.

Bei Strom aus Biogas liegen keine Handelspreise vor, jedoch zeigt der Vergleich der Gestehungskosten mit den Verkaufspreisen auf Stufe Anlagenbetreiber sowie den KEV-Zuschüssen, dass die Zahlungsbereitschaft auf dem Markt die Stromgestehungskosten nicht decken, bei der öffentlichen Hand jedoch eine Zahlungsbereitschaft resp. ein energiepolitischer Förderungswille vorhanden ist. Jedoch läuft die KEV per 2022 aus (vgl. Kapitel 1.1).

Produkt	Handelspreise Biogasprodukte (Stufe Endkonsument) <sup>a</sup>	Handelspreise Referenzprodukte (Stufe Endkonsument) <sup>a</sup>	Gestehungskosten
Biogas (aufbereitet)	Biogas (100%) für Prozesse & Haushalt: 13–22 Rp./kWh, inkl. MwSt. (energie360° 2019A)	Erdgas für Haushaltsanwendungen: im Schnitt 10 Rp./kWh, inkl. MwSt (VSG 2020, basierend auf Auswertung Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) des BFS)	Lw-BGA und IG-BGA und Aufbereitung: 8-27 Rp./kWh (Bauer 2017)  Lw-BGA mit Aufbereitung (Kostenschätzung für Schätzung Erschliessungspotenzial): 13 – 73 Rp./kWh <sup>b</sup> (VSG 2018)
Wärme aus Biogas	Wärme Haushalt 100% Biogas: 15 Rp./kWh, inkl. MwSt. (energie360° 2019A)	Wärme Haushalt Erdgas: 9.4 Rp./kWh, inkl. MwSt (energie360° 2019B)	40 Rp./kWh (geschätzt für 2030) (Agro Clean Tech 2012)
Strom aus Biogas	k.A. für Haushalte  Verkaufspreis der Anlagenbetreiber (Lw-BGA & IG-BGA): 6.5 Rp./kWh, davon 0.5Rp./kWh HKN (BFE 2020)  KEV für BGA mit BHKW: meist 17-54 Rp./kWh (BFE 2018)	Strom Haushalt: 18 Rp./kWh, inkl. MwSt (VSG 2020, basierend auf Auswertung Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) des BFS)	20-49 Rp./kWh (Lw-BGA) <sup>c</sup> (BFE 2017)
Dünger	k.A.	Abhängig vom Produkt	k.A.

<sup>a</sup> Falls nicht anders erwähnt, handelt es sich um die Verkaufspreise für Endkonsumenten. Dieser enthält neben den Gestehungskosten auch weitere Kosten (z.B. Netzinfrastrukturkosten) und Margen der Zwischen- und Endhändler.

<sup>b</sup> Je grösser die Anlage und je näher der Netzanschluss, desto tiefer die Gestehungskosten

<sup>c</sup> 23-55 Rp./kWh ohne Wärmegutschriften

Tabelle 3 Vergleich der Preise von Biogasprodukten mit Preisen für Alternativprodukte. Lw-BGA: Landwirtschaftliche Biogasanlage. IG-BGA: industriell-gewerbliche Biogasanlage.

## Fazit

Biogas und Wärme aus Biogas werden von verschiedenen Anbietern vermarktet, und die Preise der Biogasprodukte liegen höher als bei den Referenzprodukten. Dies weist auf eine bestehende Zahlungsbereitschaft hin. Handelspreise für Vergärungsprodukte liessen sich keine finden. Jedoch bietet Axpo Biogas AG auf der Website Vergärprodukte an, gemäss Auswertung in Kapitel 5.2 gibt es Abnehmer von Gärgut in der Landwirtschaft, und Marktakteuren sagen aus, dass landwirtschaftliche Biogasanlagen einen kleinen Teil der Erlöse aus dem Verkauf der Vergärungsprodukte erzielen.

## Quellen

- Agro Clean Tech (2012): Energieproduktion, Energieeffizienz und Klimaschutz in der Schweizer Landwirtschaft: Potenzialanalyse.
- Bauer, C., S. Hirschberg (eds.), Y. Bäuerle, S. Biollaz, A. Calbry-Muzyka, B. Cox, T. Heck, M. Lehnert, A. Meier, H.-M. Prasser, W. Schenler, K. Treyer, F. Vogel, H.C. Wieckert, X. Zhang, M. Zimmermann, V. Burg, G. Bowman, M. Erni, M. Saar, M.Q. Tran (2017). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies. PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland.
- BFE (2017): Potenzial, Kosten und Umweltauswirkung von Stromproduktionsanlagen – Synthese. PSI – Paul Scherrer Institut.
- BFE (2018): Liste aller KEV-Bezüger im Jahr 2018. Verfügbar auf <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/foerderung/erneuerbare-energien/einspeiseverguetung.html>. Letzter Zugriff: 24.11.2020
- BFE (2020): Investitionsbeiträge für Biomasseanlage. EBP. *(in Bearbeitung)*
- VSG (2018): Erneuerbare Gasstrategie für die Schweiz. 30% erneuerbare Gase im Schweizer Wärmemarkt bis 2030. Hanser Consulting AG.
- VSG (2020): Ökologische Bewertung von Heizsystemen. EBP & carbotech. *(Bericht in Bearbeitung, Auszug aus Teil EBP)*.
- energie360° (2019A): PREISLISTE ERDGAS/BIOGAS. Gültig ab 1. April 2019. [https://www.energie360.ch/fileadmin/Downloadcenter\\_DE/Preislisten/Preisliste\\_ErdgasBiogas\\_April19\\_energie360.pdf](https://www.energie360.ch/fileadmin/Downloadcenter_DE/Preislisten/Preisliste_ErdgasBiogas_April19_energie360.pdf). Letzter Zugriff: 3.11.2019.
- energie360° (Stand 2019B): So setzt sich der Gaspreis zusammen. <https://www.energie360.ch/de/energie-360/wissen/erdgas-biogas/gaspreise/>. Letzter Zugriff: 3.11.2019.