



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Juni 2009

Vorstudie für eine Methode zur Bewertung der Entsorgungs- und Nutzungsverfahren von biogenen Abfällen und Hofdünger

Entwicklung der Methodik und Anwendung
auf ausgewählte Technologien

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 31 322 56 11; Fax +41 31 323 25 00

Auftragnehmer:

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich
www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

ESU-services Ltd., fair consulting in sustainability, Kanzleistrasse 4, CH-8610 Uster
www.esu-services.ch / +41 44 940 61 91

Autoren:

Michèle Bättig, econcept AG
Georg Klingler, econcept AG
Reto Dettli, econcept AG
Rolf Frischknecht, ESU-services GmbH
Matthias Tuchs Schmid, ESU-services GmbH

Begleitgruppe:

Lukas Gutzwiller, Bundesamt für Energie, Energiewirtschaftliche Grundlagen EWG, Vorsitz
Daniel Binggeli, Bundesamt für Energie
Marc Chardonens, Amt für Umwelt, Kanton Freiburg
Bruno Guggisberg, Bundesamt für Energie
Christian Ludwig, EPFL, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, Lausanne
Kaarina Schenk, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall und Rohstoffe
Samuel Stucki, PSI, Labor für Energie und Stoffkreisläufe, Villigen PSI

Bezugsort der Publikation: www.ewg-bfe.ch und www.energieforschung.ch

Projekt Nr.:102183

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms "Energiewirtschaftliche Grundlagen" des Bundesamts für Energie BFE erstellt.

Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Inhalt

| | | |
|----------|---|------------|
| | Zusammenfassung | i |
| | Résumé | xvi |
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Ausgangslage | 1 |
| 1.2 | Zielsetzung und Fragestellung | 3 |
| 1.3 | Eingrenzung | 4 |
| 1.4 | Berichtsaufbau | 5 |
| 2 | Entsorgungs- und Nutzungswege von biogenen Abfällen und Hofdünger | 7 |
| 2.1 | Energienutzungspotenziale und Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse | 7 |
| 2.2 | Auswahl der zu untersuchenden Biomassefraktionen und Verfahren | 10 |
| 2.3 | Beschreibung der ausgewählten Biomassefraktionen und Verfahren | 12 |
| 2.3.1 | Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben | 12 |
| 2.3.2 | Klärschlamm | 14 |
| 2.3.3 | Hofdünger | 16 |
| 2.3.4 | Restholz | 17 |
| 2.3.5 | Altholz | 18 |
| 2.4 | Energieinhalt der Biomassefraktionen und Gesamtnutzungsgrad | 19 |
| 2.4.1 | Übersicht | 19 |
| 2.4.2 | Energieinhalt der Biomassefraktionen | 19 |
| 2.4.3 | Gesamtnutzungsgrade Biomasse | 20 |
| 3 | Grundlagen und Entwicklung der Methodik | 23 |
| 3.1 | Die Multikriterienanalyse | 23 |
| 3.1.1 | Grundprinzip | 23 |
| 3.1.2 | Bewertungsebene | 24 |
| 3.2 | Bewertungskriterien und Nutzenfunktionen | 27 |
| 3.2.1 | Bewertungskriterien | 27 |
| 3.2.2 | Nutzenfunktionen | 28 |
| 3.2.3 | Bereich Umwelt | 28 |
| 3.2.4 | Bereich Ökonomie | 31 |
| 3.2.5 | Bereich Gesellschaft | 37 |
| 3.3 | Ermittlung der Gewichtungsfaktoren | 41 |
| 3.3.1 | Vorgehen zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren | 41 |
| 3.3.2 | Ergebnisse der Befragung | 42 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.3.3 | Rückmeldungen zur Gewichtungsumfrage | 46 |
| 3.4 | Zusammenfassender Überblick | 49 |
| 4 | Testanwendung der Multikriterienanalyse | 51 |
| 4.1 | Testanwendung auf ausgewählte Biomassefraktionen und Verfahren | 52 |
| 4.1.1 | Gesamtübersicht | 52 |
| 4.1.2 | Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben | 54 |
| 4.1.3 | Klärschlamm | 56 |
| 4.1.4 | Hofdünger | 58 |
| 4.1.5 | Restholz | 60 |
| 4.1.6 | Altholz | 62 |
| 4.1.7 | Direkte Umweltwirkungen vs. Gutschriften | 64 |
| 4.1.8 | Klimaschutzeffizienz der Verfahren | 66 |
| 4.2 | Sensitivitätsanalysen | 68 |
| 4.2.1 | Unterschiedliche Gewichtungen | 68 |
| 4.2.2 | Unterschiedliche Gutschriften | 71 |
| 4.2.3 | Methode der ökologischen Knappheit anstelle der zehn Einzelkriterien im Bereich Umwelt | 72 |
| 4.2.4 | Kehrichtverbrennung mit hoher thermischer Energieausbeute | 73 |
| 4.3 | Diskussion der Anwendungsbeispiele | 75 |
| 4.3.1 | Vorbemerkungen und Einschränkungen | 75 |
| 4.3.2 | Diskussion der Ergebnisse | 76 |
| 4.3.3 | Diskussion der Sensitivitätsanalysen | 78 |
| 4.3.4 | Datenqualität, Datenlücken und weiterer Analysebedarf | 79 |
| 4.4 | Diskussion der entwickelten Multikriterienanalyse | 80 |
| 4.4.1 | Breite Abstützung der Methodik | 80 |
| 4.4.2 | Breite Anwendbarkeit der Methodik | 81 |
| 4.4.3 | Möglichkeit einer Vereinfachung der Methodik | 84 |
| 5 | Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 87 |
| 5.1 | Schlussfolgerungen | 87 |
| 5.1.1 | Die Methodik | 87 |
| 5.1.2 | Die Testanwendung | 88 |
| 5.2 | Empfehlungen | 90 |
| 5.2.1 | Anpassung der Rahmenbedingungen | 90 |
| 5.2.2 | Forschungs- und Entwicklungsbedarf | 91 |
| | Anhang | 95 |
| | Literatur | 153 |

Zusammenfassung

Zielsetzung und Fragestellung

Entwickeln einer Bewertungsmethode. Hauptziel der Studie war es, eine Bewertungsmethode für die unterschiedlichen Entsorgungs- und Nutzungsarten biogener Abfälle und Hofdünger zu entwickeln¹. Die erarbeitete Methodik sollte dabei breit abgestützt und breit anwendbar sein. Breit abgestützt heisst, dass die verschiedenen Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten für Abfallbiomasse und Hofdünger anhand möglichst aller relevanten Kriterien aus den Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft bewertet werden. Breit anwendbar bedeutet, dass mit Hilfe der Methodik sehr unterschiedliche Entsorgungs- und Nutzungswege bewertet werden können. Für diese komplexe Art von Bewertung wurde im Rahmen dieser Studie eine Multikriterienanalyse entwickelt, da eine solche einerseits umfassend und andererseits transparent und nachvollziehbar ist.

Beispielhafte Anwendung der Methode. Ein weiteres Ziel der Studie war die Anwendung der entwickelten Methode auf eine Auswahl von Entsorgungswegen von biogenen Abfällen und Nutzungswegen von Hofdünger. Dadurch sollten erste bewertende Aussagen aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht zu den untersuchten Verfahren gemacht werden. Zudem sollte die Methode getestet und mögliche Hinweise für eine Weiterentwicklung und Verfeinerung gefunden werden.

Schlussfolgerungen. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse sollen die Schlussfolgerungen zur Methode mit Empfehlungen zu den beiden folgenden Fragestellungen ergänzt werden: (1) Welcher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht für eine optimale Nutzung biogener Abfälle und Hofdünger? (2) Welche energie- und umweltpolitischen Rahmenbedingungen müssen angepasst werden, um die Nutzung biogener Abfällen und Hofdünger zukünftig zu optimieren?

Vorgehen. In einem ersten Schritt wurden verschiedene Entsorgungs- und Nutzungswege für Biomassefraktionen diskutiert sowie die Anwendungsbeispiele für die vorliegende Studie ausgewählt. Im zweiten und wichtigsten Schritt wurde die Multikriterienanalyse entwickelt, die im dritten Schritt auf die ausgewählten Entsorgungsmöglichkeiten angewendet wurde. Auf Basis der Erkenntnisse aus dieser ersten Anwendung wurden abschliessend Schlussfolgerungen und Empfehlungen formuliert.

Entsorgungs- und Nutzungswege verschiedener Biomassefraktionen

Basierend auf einer Auslegeordnung von Verfahren zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger wurden fünf Biomassefraktionen und insgesamt 24 Ver-

¹ Begrifflich korrekt werden biogene Abfälle entsorgt, Hofdünger wird genutzt. Wo immer möglich, unterscheiden wir die Begriffe im Text entsprechend.

fahren für eine erste beispielhafte Anwendung der zu entwickelnden Multikriterienanalyse ausgewählt.

Auswahl Biomassefraktionen. Als Auswahlkriterium für die Biomassefraktionen wurde das «energetische Nutzungspotenzial» verwendet. Die fünf Biomassefraktionen mit dem grössten energetischen Nutzungspotenzial sind: (1) Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben, (2) Klärschlamm, (3) Hofdünger, (4) Restholz und (5) Altholz.

Auswahl Verfahren. Pro Biomassefraktion wurden zwischen vier bis sechs Entsorgungs- bzw. Nutzungsverfahren für einen ersten Anwendungstest der Methode ausgewählt. Zur Auswahl dieser Technologien wurden drei Kriterien verwendet: (1) Die heute gängigen Entsorgung- und Nutzungswege; (2) neue, vielversprechende Entsorgungs- und Nutzungsverfahren, die sich teilweise noch im Pilotstadium befinden (z.B. hydrothermale Vergasung oder Holzvergasung/Methanisierung); (3) die Verfügbarkeit von Daten (Sach- und Ökobilanzdaten und Informationen zur Wirtschaftlichkeit). Durch diese Auswahl soll ein Vergleich von heute gängigen mit zukünftigen, vielversprechenden Verfahren ermöglicht werden.

Folgende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Biomassefraktionen mit dem grössten gesamtschweizerischen, energetischen Nutzungspotenzial und den ausgewählten Entsorgungs- und Nutzungswegen, anhand derer die in der vorliegenden Studie entwickelte Multikriterienanalyse getestet wurde.

| Biomassefraktion | Nr. | Verfahren / Technologien | Wichtigste energetische und stoffliche Endprodukte |
|--|-----|--|--|
| Biogene Abfälle aus HH, Gewerbe und Dienstleistung | 1 | Verbrennung in KVA | Strom, Wärme |
| | 2 | Methangärung in Biogasanlage mit BHKW | Strom, Wärme, Gärgut |
| | 3 | Methangärung in Biogasanlage mit Gasaufbereitung | Biogas (Treibstoff), Gärgut |
| | 4 | Kompostierung | Kompost |
| Klärschlamm | 5 | Verbrennung im Zementwerk ¹⁾ | Wärme für Zementherstellung |
| | 6 | Methangärung mit BHKW und Verbrennung des Faulschlammes in KVA | Strom, Wärme |
| | 7 | Methangärung mit Gasaufbereitung und Verbrennung des Faulschlammes in KVA | Biogas (Treibstoff) |
| | 8 | Methangärung mit BHKW und Verbrennung des Faulschlammes in Monoverbrennung | Strom, Wärme |
| | 9 | Methangärung mit BHKW und Verbrennung des Faulschlammes in Monoverbrennung | Biogas (Treibstoff) |
| Hofdünger | 10 | Austragung auf Feld | Dünger |
| | 11 | Methangärung (nur Hofdünger) mit BHKW | Strom, Wärme, Dünngülle |
| | 12 | Methangärung (mit Co-Substraten) mit BHKW | Strom, Wärme, Dünngülle |
| | 13 | Hydrothermale Vergasung | Synth. Erdgas (Treibstoff), Dünger |
| Restholz | 14 | Stoffliche Entsorgung zu Spanplatten | Spanplatten |
| | 15 | Verbrennung in Holzfeuerung (50 kWth) | Wärme |
| | 16 | Verbrennung in Holzkraftwerk (6.4 MWth) | Strom, Wärme |
| | 17 | Alkoholgärung (Holz zu Ethanol) | Ethanol (Treibstoff) ²⁾ |
| | 18 | Holzvergasung/Methanisierung | Synth. Erdgas (Treibstoff) |
| | 19 | Hydrothermale Vergasung | Synth. Erdgas (Treibstoff) |
| Altholz | 20 | Stoffliche Entsorgung zu Spanplatten | Spanplatten |
| | 21 | Verbrennung in KVA | Strom, Wärme |
| | 22 | Verbrennung in Holzkraftwerk (6.4 MWth) | Strom, Wärme |
| | 23 | Alkoholgärung (Holz zu Ethanol) | Ethanol (Treibstoff) ²⁾ |
| | 24 | Holzvergasung/Methanisierung | Synth. Erdgas (Treibstoff) |

Tabelle 1: Übersicht der in der vorliegenden Studie ausgewählten Biomassefraktionen und deren Entsorgungs- und Nutzungswege, an welchen die entwickelte Multikriterienanalyse ein erstes Mal angewandt wurde.

¹⁾: Aus Gründen der Datenverfügbarkeit wurde in dieser Studie die Verwertung von *Rohschlamm* in Zementwerken beurteilt, obwohl heute in der Regel der Klärschlamm vor dem Einsatz im Zementwerk ausgefault wird.

²⁾: Zellulose als Nebenprodukt ist nicht berücksichtigt.

Die Multikriterienanalyse

Für die vergleichende Bewertung der Auswirkungen verschiedener Entsorgungs- und Nutzungswege auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft wurde eine Multikriterienanalyse entwickelt. Diese setzt sich aus drei Teilschritten zusammen:

- 1 Bewertungskriterien:** Ein Set von Kriterien zu den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft bestimmt, nach welchen Gesichtspunkten die Entsorgungs- und Nutzungswege bewertet werden.

- 2 **Nutzenfunktionen:** Anhand von Nutzenfunktionen wird die Bewertung pro Kriterium in einen Nutzwert zwischen 0 und 1 überführt, um die verschiedenen Bewertungen untereinander vergleichbar zu machen. Es werden zwei Arten von Nutzenfunktionen unterschieden: Eine mit linearer Skala zwischen der tiefsten und höchsten Bewertung sowie eine mit ordinaler Skala.
- 3 **Gewichtungsfaktoren:** Jeder der drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft sowie jedes darin enthaltene Kriterium erhält ein bestimmtes Gewicht. In der vorliegenden Studie wurde die Gewichtung mittels einer breit abgestützten Expertenbefragung vorgenommen.

Bewertungsebene. Die Bewertung der verschiedenen Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten kann entweder bezogen auf die Edukte (biogene Abfälle und Hofdünger) erfolgen oder bezogen auf die gewonnenen Produkte (Kompost, Biogas, Strom, Fernwärme, Treibstoff etc.). Im vorliegenden Projekt geht es darum, zu bewerten, welche Entsorgungs- bzw. Nutzungsart einer bestimmten Biomassefraktion, z.B. biogene Abfälle aus Haushalten, am sinnvollsten ist. D.h. konkret: Soll Grüngut kompostiert, zusammen mit dem übrigen Kehrriecht in einer KVA entsorgt oder in einer Biogas-Anlage vergärt werden? Die Bewertung wird deshalb bezogen auf das Edukt durchgeführt - in Kombination mit dem jeweiligen Entsorgungs- bzw. Nutzungsverfahren. Die Bezugsgrösse der Bewertung ist 1 Tonne zu verwertende Biomasse (Feuchtsbstanz).

Gutschriften-Betrachtung. Die verschiedenen Entsorgungs- und Nutzungsverfahren produzieren Produkte, die vermarktet werden können. Es handelt sich hierbei um Energieträger wie Strom, Wärme und Biogas und stoffliche Produkte wie Kompost, Hofdünger oder Spanplatten. Diese Produkte (z.B. Wärme aus einem Altholz-Heizkraftwerk) stehen in ökonomischem, ökologischem und z.T. auch gesellschaftlichem Wettbewerb mit Konkurrenzprodukten herkömmlicher Produktion (z.B. Wärme aus einem Erdgas-Kondensationskessel). Für alle erzeugten Produkte werden deshalb ökologische und zum Teil ökonomische sowie gesellschaftliche Gutschriften erteilt. Diese Gutschriften werden auf der Basis von Ökobilanzdaten und ökonomischen Daten von identischen Produkten aus «konventioneller» Produktion (so genannte Standardprozesse) ermittelt. Da wir davon ausgehen, dass diese «Standardprodukte» durch die aus Biomasse erzeugten Produkte substituiert werden, werden die bei der Herstellung der Standardprodukte verursachten Umweltbelastungen den analysierten Verfahren gut geschrieben.

| Produkt | Umschreibung Standardprozess für das Ermitteln der Umwelt-Gutschriften |
|-------------|--|
| Spanplatten | 1 m ³ Spanplatte, Innenanwendung durchschnittliches Werk in Deutschland, Stand Mitte der neunziger Jahre |
| Strom | 1 kWh Strom aus einem modernen Gas- und Dampfkraftwerk, Brennstoff Erdgas |
| Wärme | 1 MJ Wärme aus einer kondensierenden und modulierenden Erdgasfeuerung |
| Treibstoff | 1 Fahrzeugkilometer mit einem Erdgas-Pkw zurückgelegt |
| Kompost | 1 kg Nährsubstanz mit Mineraldünger ausgebracht |

Tabelle 2: Umschreibung der Standardprozesse als Ausgangslage zur Bestimmung der Gutschriften.

Zusammenfassender Überblick. Die folgende Tabelle 3 gibt einen Überblick über die in der Multikriterienanalyse verwendeten Kriterien und Indikatoren sowie die in einer Expertenbefragung ermittelten Gewichtungsfaktoren.

| Nr. | Kriterium | Indikator | Gewichtungsfaktoren |
|--|---|---|---------------------|
| BEREICH UMWELT | | | 45% |
| U1 | Klimaänderung | Treibhauspotenzial | 26% |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 24% |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotential | 5% |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 10% |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 5% |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotential | 5% |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 9% |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 7% |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | 5% |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen | 4% |
| Alternatives Bewertungskriterium Umwelt | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | 30% |
| O1 | Entsorgungskosten | Entsorgungspreis | 27% |
| O2 | Sammel- und Transportkosten | Sammel- und Transportpreis | 19% |
| O3 | Minimierung des wirtschaftlichen Risikos | (1) Erwartete Volatilität Edukt (2) Erwartete Volatilität Produkt (3) Höhe der Investitionskosten der Anlage (4) Amortisationsdauer der Anlage | 28% |
| O4 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | (1) Edukte-Unabhängigkeit der Anlage (2) Reaktionsfähigkeit der Anlage auf Schwankungen im Edukteangebot | 15% |
| O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung in der Region | 11% |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | 25% |
| G1 | Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen | (1) Geruchsemissionen (2) Visuelle Beeinträchtigung (3) Lärm durch Verkehr (4) Lärm durch Anlage | 35% |
| G2 | Gesellschaftliche Akzeptanz | (1) Einstellung gegenüber der Technologie (2) Bereitschaft für logistische Anpassungen | 17% |
| G3 | Gesellschaftliche Risiken | Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen | 9% |
| G4 | Risiken für Mitarbeitenden | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | 6% |
| G5 | Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | 18% |
| G6 | Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 15% |

Tabelle 3: Überblick über Kriterien, Indikatoren und Gewichtungsfaktoren der entwickelten Multikriterienanalyse zur Bewertung der Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger.

Vorgehen zur Anwendung der Multikriterienanalyse. Um verschiedene Verfahren einer Biomassefraktion mit der Multikriterienanalyse bewerten und dadurch untereinander vergleichen zu können, muss wie folgt vorgegangen werden:

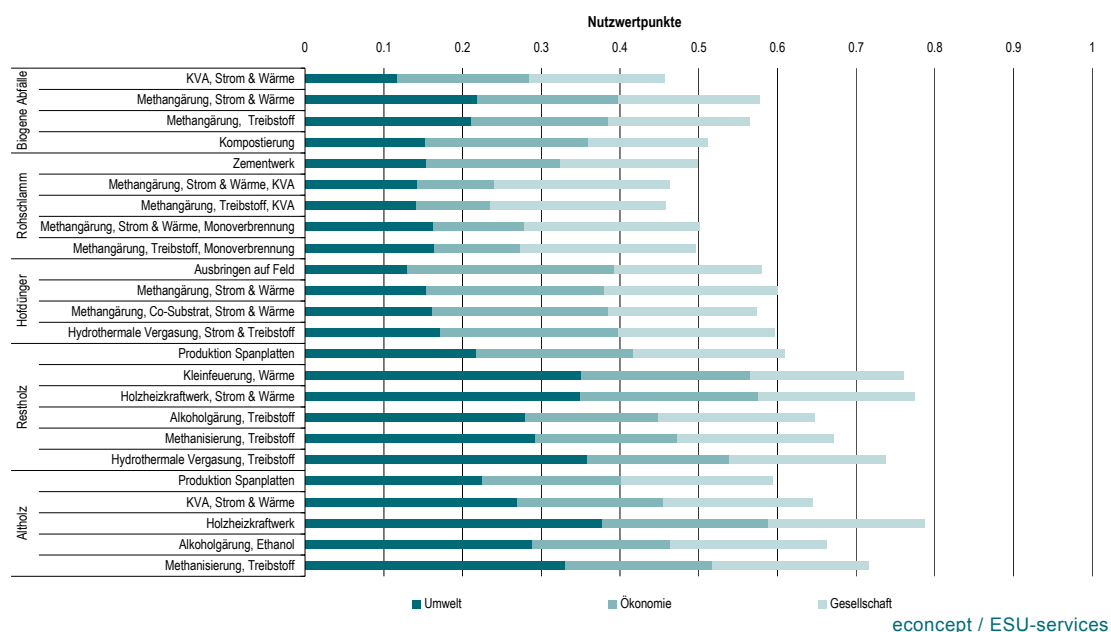
- 1 Quantifizierung oder qualifizierte Abschätzung der Ausprägung jedes Kriteriums bzw. Indikators für alle Entsorgungs- und Nutzungswege.
- 2 Errechnung der Nutzwerte der Kriterien anhand der Nutzenfunktion auf einen Wert zwischen 0 (kleinster Nutzen) und 1 (grösster Nutzen).
- 3 Gewichtung der Nutzwerte anhand der ermittelten Gewichtungsfaktoren.
- 4 Addition der gewichteten Nutzwerte aller Kriterien zu einem Nutzwert pro Verfahren.
- 5 Interpretation der Ergebnisse in den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft sowie Vergleich der Nutzwerte zwischen den Verfahren einer Biomassefraktion.

Testanwendung der Multikriterienanalyse auf ausgewählte Biomassefraktionen und Verfahren

Die Testanwendung der oben umschriebenen Multikriterienanalyse soll erste bewertende Aussagen aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht zu den untersuchten Entsorgungs- und Nutzungswegen aufzeigen sowie Hinweise für die Weiterentwicklung und Verfeinerung der Methode liefern.

Gesamtübersicht. Figur 1 zeigt eine Gesamtübersicht der Bewertung der in der vorliegenden Studie untersuchten 24 Entsorgungswege. Die Bezugsgrösse ist jeweils eine Tonne Edukt (Feuchtsubstanz der untersuchten Biomassefraktionen). Kriterien, Nutzenfunktionen und Gewichtung entsprechen den Angaben in Tabelle 3. Die Bewertung der Multikriterienanalyse liegt jeweils zwischen 0 und 1, wobei 0 die tiefste und 1 die höchste Bewertung ist.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger»



Figur 1: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Die Ergebnisse der Multikriterienanalyse aller hier bewerteten Verfahren variiert zwischen 0.45 und 0.79 Nutzwertpunkten, d.h. die Unterschiede betragen maximal 34 %-Punkte. Die untersuchten Verfahren befinden sich alle auf einem relativ hohen Nutzenniveau. Innerhalb der einzelnen Biomassekategorien sind die Unterschiede zwischen den untersuchten Verfahren teilweise gering. Es lassen sich jedoch zu allen Kategorien erste Schlüsse ziehen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Auswahl der untersuchten Verfahren pro Biomassekategorie bewusst eingeschränkt und somit nicht abschliessend ist. Im Weiteren wurden für die Bewertungen schweizerische Durchschnitte verwendet. Die Ergebnisse sind deshalb nur bedingt auf regionale Situationen (mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen, Technologien, Logistik etc.) übertragbar.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die fünf Biomassefraktionen diskutiert sowie weitere Auswertungen und die Sensitivitätsanalysen präsentiert.

Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung. Gemäss den Ergebnissen der vorliegenden Studie werden biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben mit Vorteil vergärt. Die direkte Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogas (unter der Voraussetzung, dass die mit dem Blockheizkraftwerk erzeugte Wärme zu mehr als 50 % an Dritte abgegeben werden kann) weist dabei leichte Vorteile gegenüber der Aufbereitung von Biogas und dessen Einspeisen ins Gasnetz auf. Neben dem Einsatz von Biogas als Treibstoff bietet sich auch dessen Nutzung im Wärmesektor an².

² Diese Variante wurde nicht bilanziert. Das Ergebnis einer Multikriterienanalyse «Methangärung, Brennstoff» dürfte jedoch leicht höher liegen als dasjenige des hier dokumentierten Entsorgungspfades «Methangärung, Treibstoff».

Dieser Weg wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht bewertet. Das gute Abschneiden der Vergärung kann hauptsächlich auf die hohe Bewertung im Bereich der Umwelt zurückgeführt werden.

Die Entsorgung biogener Abfälle in einer durchschnittlichen Schweizer KVA wird 5%-Punkte tiefer bewertet als die Kompostierung. Die KVA-Variante mit hoher Energieausnutzung hingegen schneidet besser ab als die Kompostierung. Dies zeigt, dass eine energetisch optimierte KVA das Resultat beeinflusst bzw. die Umwelt entlastet. In diesem Zusammenhang muss aber beachtet werden, dass die Verbesserung der Bodenqualität durch das Ausbringen von Kompost und die damit verbundene Hebung der Humusqualität nicht berücksichtigt wurde. Kontroverse Folgerungen aus Ökobilanzstudien zu diesem Thema (Städte Zürich und Basel) deuten darauf hin, dass Datenlage und Modellierung der Verwertungsverfahren noch unsicher und abschliessende Folgerungen noch nicht möglich sind.

Klärschlamm. Gemäss den Ergebnissen zu den untersuchten Verfahren sollte Klärschlamm entweder als Faulschlamm in einer Monoverbrennung verbrannt oder in entsprechend ausgerüsteten Zementwerken verwertet werden. Die Monoverbrennung wird, auch ohne Berücksichtigung einer potenziellen Phosphor-Rückgewinnung, gegenüber der KVA besser bewertet³. Die Unterschiede sind jedoch gering. Die Möglichkeit der Phosphor-Rückgewinnung aus der Asche einer Monoverbrennung konnte mangels Daten nicht berücksichtigt werden. Die hier entwickelte Methode erlaubt jedoch den Einbezug dieses Aspektes der Ressourcenschonung. Zur Trocknung von Klärschlamm sollte in erster Linie anderweitig nicht nutzbare oder nicht genutzte Abwärme eingesetzt werden. Dadurch kann der Nutzen der Entsorgung in der Monoverbrennung weiter gesteigert werden. Eine weitgehende Entwässerung des Klärschlammes ist zentral bei allen Verwertungsoptionen.

Hofdünger. Gemäss den Ergebnissen der vorliegenden Studie wird die Vergärung von Hofdünger mit anschliessender Nutzung des Biogases zur Strom- und Wärmeproduktion am höchsten bewertet. Praktisch gleich hoch bewertet wird die hydrothermale Vergärung, sofern sie entsprechend den Planungsdaten realisiert und betrieben werden kann. Die Unterschiede zu den anderen Verfahren sind gering. Mit der durchschnittlichen Experten-Gewichtung wird das Ausbringen von Hofdünger auf das Feld am tiefsten bewertet. Werden die wirtschaftlichen Kriterien höher gewichtet (Ökonomie-Cluster), ist das direkte Ausbringen von Hofdünger auf landwirtschaftliche Flächen der Vergärung ebenbürtig⁴.

Restholz. Gemäss Multikriterienanalyse wird die Energie von Restholz mit Vorteil direkt in Kleinfeuerungen und Holzheizkraftwerken genutzt. Diese Aussage gilt unabhängig

³ Wird der Klärschlamm in der KVA verbrannt, muss davon ausgegangen werden, dass der Phosphor später nicht mehr zurück gewonnen werden kann, da die Konzentration in der Schlacke zu niedrig ist.

⁴ Das Ausbringen von Hofdünger auf das Feld wird aus ökonomischer Sicht gut bewertet, da für diese Art der Nutzung die Sammelkosten und Investitionen gering sind, die Amortisationsdauer somit kurz ist und die erwartete Preisvolatilität des Produktes als gering beurteilt wird.

davon, welcher der drei Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft die höchste Bedeutung zugemessen wird. Gleichzeitig gilt sie aber nur im Rahmen der hier untersuchten Entsorgungswege. Die hydrothermale Vergasung von Restholz wird - sofern sie entsprechend den Planungsdaten realisiert und betrieben werden kann - praktisch gleich hoch bewertet wie die Kleinf Feuerung und das Holzheizkraftwerk. Die Verwertung von Restholz in der Spanplattenproduktion erzielt den tiefsten Nutzen, da lediglich die Aufwendungen der Holzbereitstellung eingespart werden können.

Altholz. Die Bewertung der Entsorgungswege von Altholz fällt ähnlich wie beim Restholz aus. So schneidet die Verbrennung von Altholz in entsprechend ausgerüsteten Holzheizkraftwerken am besten ab. Die Verwertung von Altholz in der Spanplattenproduktion erzielt den tiefsten Nutzen, da auch hier lediglich die Aufwendungen der Holzbereitstellung eingespart werden können. Dazwischen liegen die Methanisierung, die Alkoholgärung sowie die Verbrennung in der KVA.

Feuchtmasse und Energieinhalt der Biomasse. In der vorliegenden Multikriterienanalyse werden jeweils verschiedene Entsorgungs- und Nutzungswege für eine Tonne Feuchtmasse einer Biomassekategorie untereinander verglichen. Der Feuchtgehalt und damit auch der Energieinhalt pro Tonne Feuchtmasse der verschiedenen Fraktionen unterscheiden sich deutlich voneinander (vgl. Unterkapitel 2.4). Generell zeigt sich, dass Fraktionen mit hohem Energieinhalt (wie Rest- und Altholz) relativ problemlos und mit relativ hohem Nutzen verwertet werden können, wohingegen die Entsorgung bzw. Nutzung wässriger Abfallfraktionen (wie Klärschlamm) und Hofdünger technisch-physikalisch aufwändiger und damit auch weniger nutzbringend ist.

Kosteneffizienter Klimaschutz. In einer Zusatzarbeit wurden die in der vorliegenden Studie untersuchten Entsorgungs- und Verwertungswege mit energetischen Produkten betreffend ihrer Klimaschutzeffizienz weiter ausgewertet. Es wurden einerseits Klimawirkung (CO_2/kWh) und Umweltbelastungspunkte (UBP/kWh) und andererseits CO_2 -Vermeidungskosten (Fr./t CO_2) und Umweltbelastungspunkte (UBP/kWh) einander gegenüber gestellt. Die Ergebnisse sind der Zusatzstudie zu entnehmen.

Sensitivitätsanalysen. Um die Stabilität der Ergebnisse zu prüfen, wurden Sensitivitätsbetrachtungen mit unterschiedlichen Gewichtungen durchgeführt. Diese zeigen, dass die Ergebnisse bezüglich Gewichtungspräferenzen weitgehend stabil sind. In einzelnen Fällen sind jedoch deutliche Verschiebungen zu beobachten. Dies betrifft insbesondere die Entsorgung von Klärschlamm im Zementwerk und das Austragen von Hofdünger auf das Feld. Weitere Sensitivitätsanalysen zeigen, dass innerhalb einer Biomassefraktion die relativen Verhältnisse der Nutzwerte erhalten bleiben, unabhängig von der für Strom, Wärme, Treibstoff und weitere Verwertungsprodukte gewährten Umwelt-Gutschrift. Schliesslich machten die Analysen deutlich, dass es entscheidend ist, ob die Dimension Umwelt mit 10 Einzelindikatoren oder mit der Methode der ökologischen Knappheit (U11) bewertet wird.

Diskussion und Schlussfolgerungen zur entwickelten Multikriterienanalyse

Hauptziel der Studie war es, eine Bewertungsmethode für die unterschiedlichen Nutzungsarten biogener Abfälle und Hofdünger zu entwickeln. Die erarbeitete Methodik sollte dabei breit abgestützt und breit anwendbar sein. Bei der Diskussion dieser beiden Punkte werden folgende Schlüsse gezogen:

Breit abgestützter Kriteriensatz. Gesamthaft kann festgestellt werden, dass der bestehende Kriteriensatz eine gute, erste Grundlage bildet. Er ist inhaltlich breit abgestützt und deckt die wesentlichen Punkte aus den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft ab. Die Forderungen von involvierten ExpertInnen einerseits nach Vereinfachung des Kriteriensatzes und andererseits nach der Aufnahme weiterer Kriterien sind widersprüchlich, trotzdem aber bei einer zukünftigen Überarbeitung der Methode zu berücksichtigen bzw. zu diskutieren. Das Weglassen von Einzelkriterien in der vorliegenden Multikriterienanalyse würde in jedem Fall die Resultate von mindestens einzelnen der bewerteten Verfahren verändern, weshalb davon abgesehen wurde. Betreffend der Aufnahme weiterer Kriterien hat die Anwendung gezeigt, dass der momentane Kriteriensatz energetische Kriterien stärker berücksichtigt als solche betreffend Ressourcen und Stoffkreisläufe. Um diesen Fokus zu stärken, schlagen wir insbesondere eine Prüfung der Aufnahme der Kriterien «Bodenfruchtbarkeit» und «Schonung nicht energetischer Ressourcen» vor.

Breite Anwendung der Multikriterienanalyse. Im Weiteren lässt sich feststellen, dass die Multikriterienanalyse auf eine breite Palette von Biomassefraktionen und Verfahren mit einer hohen Variabilität bei der Energienutzung und beim Reifegrad der Technologien anwendbar ist. Die Testfallstudien mit schweizerischen Durchschnittswerten erlauben es aber nur bedingt, verallgemeinerbare Schlüsse zu ziehen. Da die Methode unterschiedlichste Technologien in konsistenter Weise beurteilen kann, stellt sie für fallspezifische Situationen ein ideales Werkzeug dar. Die Anwendung hat im Weiteren gezeigt, dass die Methode Ergebnisse liefert, die einerseits einfach interpretierbar sind und andererseits Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren aufzeigen. Zudem ist die Methode prinzipiell gut umsetzbar. Bei einer Überarbeitung der Multikriterienanalyse sollte eine stärkere Vereinheitlichung der Bewertungstiefe der Kriterien angestrebt werden, insbesondere eine erhöhte Detaillierungstiefe der ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien, um die Genauigkeit der Gesamtaussagen zu erhöhen.

Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Anwendung

Vorbemerkungen und Einschränkungen. Die Anwendung der Multikriterienanalyse in der vorliegenden Studie beruht auf ausgewählten Beispielen. Obwohl Wert darauf gelegt wurde, Technologien zu berücksichtigen, die für die Schweiz relevant sind oder es in Zukunft sein können, konnte nicht das ganze Spektrum aktuell angewandter und potenziell vielversprechender Technologien berücksichtigt werden. So wurden beispielsweise die Pyrolyse von Holz zur Erzeugung elektrischer Energie, die Co-Vergärung in der ARA,

die Nutzung der KVA als Holzkraftwerk und weitere Verfahren nicht analysiert. Bei Klärschlamm wurden Optionen mit Phosphor-Rückgewinnung ebenso wenig berücksichtigt wie Möglichkeiten der intensiven Abwärmenutzung bei der Schlamm Trocknung oder der Co-Vergärung biogener Abfälle. Der methodische Ansatz kann aber ohne weiteres auch auf die vorgenannten Technologien und Optionen angewendet werden. Es resultieren konsistente und damit vergleichbare Beurteilungen.

Die Umweltindikatoren basieren weitgehend auf den Sachbilanzen der Studie über Bioenergieträger (Jungbluth et al. 2007). Der Methanschlupf in Biogasanlagen, das unterschiedliche Emissionsverhalten bezüglich Ammoniak von Frischgülle und vergärter Gülle, wie auch das Ausbringen von Schadstoffen (Schwermetallen) mit Kompost, flüssigem und festem Gärgut (und Mineraldünger) wurde gemäss den Daten der vorgenannten Studie berücksichtigt. Das Ausbringen von organischen Schadstoffen mit Kompost beziehungsweise Gärgut konnte nicht berücksichtigt werden.

Im Weiteren muss berücksichtigt werden, dass sich die Erhebung auf gesamtschweizerische Durchschnitte bezieht. Es können daraus keine regionalspezifischen Schlüsse gezogen werden. Als illustratives Beispiel dafür dient die Entsorgung von Biomassefraktionen in einer KVA. Der Energienutzungsgrad einer KVA hat sich bei der Beurteilung als wichtiger Einflussfaktor erwiesen. Bei einer Anwendung der Methodik auf regionale Fragestellungen ist diesem und weiteren, regionalen Faktoren deshalb angemessen Rechnung zu tragen.

Schliesslich gilt es zu berücksichtigen, dass aufgrund des Datenmangels bei einzelnen Kriterien und Technologien die Qualität der Gesamtbewertungen teilweise beschränkt ist.

Höchst bewertete Verfahren pro Biomassefraktion. Gesamthaft zeigt sich, dass innerhalb der bewerteten Auswahl von Technologien und Verfahren die folgenden die höchsten Nutzen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft aufweisen:

Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung

- Methangärung mit Strom- und Wärmeproduktion
- Methangärung mit Treibstoffaufbereitung

Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist deutlich (durchschnittliche Energienutzung in KVA) beziehungsweise gering (hohe Energieausbeute in KVA). Die Datenlage und Modellierung ist unsicher.

Klärschlamm

- Zementwerk
- Methangärung (mit Strom- und Wärmeproduktion oder Treibstoffaufbereitung) mit anschliessender Monoverbrennung

Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist gering.

Hofdünger

- Methangärung mit Strom- und Wärmeproduktion

Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist gering.

Restholz

- Holzheizkraftwerk mit Strom- und Wärmeproduktion
- Kleinf Feuerung mit Wärmenutzung

Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist deutlich.

Altholz

- Holzheizkraftwerk mit Strom- und Wärmeproduktion

Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist deutlich.

Planungsdaten als Datengrundlage bei Pilotanlagen. Bei der Fraktion Hofdünger wird die hydrothermale Vergasung in der ähnlichen Grössenordnung wie die Methangärung bewertet. Auch beim Restholz schneidet die hydrothermale Vergasung nur wenig schlechter ab, als die Kleinf Feuerung. Die Bewertungen der hydrothermalen Vergasung beruhen jedoch auf Planungswerten. Auch die Bewertungen für Vergasung/ Methanisierung und Alkoholgärung beruhen auf Planungsdaten. Die Ergebnisse sind deshalb mit den grösseren Unsicherheiten behaftet als diejenigen der anderen Verfahren. Der Nutzen wurde in der Tendenz wahrscheinlich überschätzt.

Grösste Nutzenunterschiede bei Umwelt und Ökonomie. Die Anwendungsbeispiele zeigen, dass sich die grössten Nutzenunterschiede in den Bereichen Umwelt und Ökonomie ergeben. Dabei sind folgende Kriterien wichtig: Bei den Umweltaspekten sind es die Klimaänderung und die Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen. Daneben sind grössere Unterschiede bezüglich Human- und Ökotoxizität zu beobachten. Letztere sind mit einer grösseren Unsicherheit behaftet. Bei den ökonomischen Kriterien sind die grössten Unterschiede bei den Entsorgungs- und Sammelkosten sowie bei der Minimierung des wirtschaftlichen Risikos zu finden.

Nötige Anpassungen bei Investitionsentscheiden. Bei einer Anwendung der Bewertungsmethode auf eine konkrete regionale Situation, z.B. als Grundlage für einen Investitionsentscheid, sind möglichst die projektspezifischen Werte und Informationen bei den einzelnen Kriterien einzusetzen. Dazu gehören beispielsweise die Länge der Transportwege, der Umfang der Energienutzung, die Höhe der Entsorgungs- und Sammelkosten, die Integration der Anlage ins Landschafts- oder Ortsbild etc. Eine Abstützung auf durchschnittliche schweizerische Werte – wie sie in der vorliegenden Anwendung vorgenommen wurde – kann zu einer Verzerrung der Ergebnisse im Einzelfall führen.

Empfehlungen zur Anpassung der Rahmenbedingungen

Allgemeine Feststellungen und Empfehlungen. Die Ergebnisse der Anwendung zeigen, dass sich die untersuchten Verfahren auf einem relativ hohen Nutzenniveau aus Sicht der ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien befinden. Daraus lässt sich ableiten, dass die aktuellen Rahmenbedingungen für die Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger grundsätzlich die richtigen Anreize vermitteln, so dass vorwiegend nachhaltige Verfahren zur Anwendung oder vermehrten

Verbreitung gelangen. Die Angaben zur Bewertung der drei Pilotverfahren hydrothermale Vergasung, Alkoholgärung und Vergasung/Methanisierung sind mit den grössten Unsicherheiten behaftet. Können die Planungsdaten tatsächlich eingehalten werden, handelt es sich insbesondere bei der hydrothermalen Vergasung um eine vielversprechende Option, bei welcher sich eine präzisere Analyse lohnt.

Im Weiteren kann festgestellt werden, dass mit der Kostenbasierten Einspeisevergütung (KEV) die richtigen Anreize gesetzt werden, da die KEV Verfahren zur Strom- und Wärmeproduktion fördert, welche in der vorliegenden Studie sehr gut bewertet werden.

Effizienzsteigerungen bei allen Verfahren. Eine Erhöhung des ökologischen, ökonomischen und teilweise gesellschaftlichen Nutzens bringen Effizienzsteigerungen für Verfahren und Technologien. Gleichzeitig tragen sie auch zu den übergeordneten Schweizer Energiezielen bei. In diesem Sinne soll die Effizienz bei allen Verfahren und Technologien ständig gesteigert werden und ein primäres Entwicklungs- und Optimierungsziel sein.

Verbesserungspotenzial bei KVA. Insbesondere bei den KVA sind relevante Verbesserungspotentiale ersichtlich. Der Energienutzungsgrad beeinflusst die Beurteilung der KVA wesentlich. Die Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz der KVA sind deshalb fortzuführen, ohne aber andere Anforderungen beispielsweise bezüglich Aschequalität aus den Augen zu verlieren. Die Anforderungen an eine kostenorientierte Vergütung bei den KVA setzen Akzente in die richtige Richtung.

Separatsammlung biogener Abfälle. Betreffend biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung sollen weitere regionale Abklärungen durchgeführt werden, bevor die Methangärung und die dafür notwendigen Separatsammlungen weiter gefördert werden (siehe auch "Forschungs- und Entwicklungsbedarf"). Gegebenenfalls müssen neben den in der vorliegenden Studie bewerteten Aspekten auch weitere Fragen betreffend Transport, Logistik, Hygiene, Fehlwürfe, Art der Abfälle, Sammlung bei Privathaushalten und/oder Lebensmittelverarbeitern etc. berücksichtigt werden.

Phosphorrückgewinnung bei Faulschlamm. Zukünftig ist der Phosphor aus Klärschlamm zurückzugewinnen. Wird der Faulschlamm in einer Monoverbrennungsanlage entsorgt, soll deren Asche in gesonderten Kompartimenten abgelagert werden. Damit schafft man die Voraussetzungen für eine zukünftige, vergleichsweise einfache Phosphorrückgewinnung. Die Phosphorrückgewinnung kann aber auch vor der Verbrennung geschehen, was eine anschliessende Nutzung mit anderen Technologien erlaubt.

Keine Anreize notwendig betreffend Hofdünger. Betreffend Hofdünger ergeben sich aus den Resultaten der vorliegenden Studie keine Hinweise, die Rahmenbedingen, Anreize oder Vorschriften für die Nutzung zu ändern.

Anreize für Holzheizkraftwerke. Innerhalb der in der Studie verglichenen Verfahren wird die Entsorgung von Restholz und Altholz in Holzheizkraftwerken am besten bewertet. Daraus lässt sich schliessen, dass Holzheizkraftwerke, von welchen erst wenige bestehen, mittels Anreize gefördert werden sollten. Ob weitere Anlagen über monetäre Anreize

(KEV), freiwillige Massnahmen von Entsorgungsverbänden oder Vorschriften (z.B. Verbot Altholzexport) erfolgen soll, ist vertieft zu prüfen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Zur Weiterentwicklung und Optimierung der Methodik können prinzipiell zwei Bereiche mit Forschungs- und Entwicklungsbedarf unterschieden werden:

Optimierung der Datengrundlage. Erstens sollte in verschiedenen Bereichen die Datengrundlage der ausgewählten Verfahren basierend auf schweizerischen Durchschnittswerten verbessert werden. Dies könnte helfen, die vorhandenen Unsicherheiten bei der Bewertung zu verringern. Optimierungsbedarf bei der Datengrundlage wird in den folgenden Bereichen gesehen:

- Die Entsorgungskosten wurden in erster Annäherung als Entsorgungspreise gerechnet. Um genauere und aussagekräftigere Aussagen machen zu können, wäre die Erhebung der gesamten Entsorgungskosten (Eduktepreis, Betriebskosten, Produktpreis, Subventionen, Gewinne etc.) hilfreich. Im Rahmen der vorliegenden Studie war eine einheitliche Erhebung für alle 24 Entsorgungswege nicht möglich.
- Bei den sich in Pilotphasen befindlichen Technologien, beispielsweise der hydrothermalen Vergasung, fehlen im Vergleich zu den etablierten Verfahren Daten in einer vergleichbaren Qualität. Dies betrifft vor allem die Bereiche Umwelt und Ökonomie. Diese Datenlücken sollten geschlossen werden.

Regionale Studien. Zweitens wäre das Durchführen regionaler Studien auf der Basis der entwickelten Multikriterienanalyse hilfreich und sinnvoll als Ergänzung zur vorliegenden Studie basierend auf schweizerischen Durchschnittswerten. In regionalen Studien könnten die Informationen betreffend Länge der Transportwege, Logistik, Anlagentyp, Energienutzung, Entsorgungs- und Sammelkosten, lokale Akzeptanz etc. lokal erfasst werden. Die Resultate würden regionale Realitäten abbilden und echte Bewertungen unterschiedlicher Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten erlauben. Erst die Auswertung und der Vergleich verschiedener regionaler Studien mit der vorliegenden Studie würde abschliessende Empfehlungen ermöglichen, die unter Umständen für die ganze Schweiz Gültigkeit haben.

Technologische Forschung. Die technologische Forschung sollte in Bereichen verstärkt werden, die Entlastung bezüglich mehrerer Umweltprobleme gleichzeitig erreichen können. Die hydrothermale Vergasung von Hofdünger kann hier als Beispiel dienen. Einerseits liefert sie einen (effizienten) Beitrag zur Bereitstellung erneuerbarer Energieträger. Andererseits werden mit dieser Technologie anorganische Salze als Dünger bereitgestellt, die in der Anwendung mit weit geringeren Umweltauswirkungen verbunden sind als der herkömmliche Flüssig-Hofdünger.

Regionale Differenzierung der KVA. Um die regionale Situation der Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung präziser zu erfassen, würde sich eine Bewertung der in der Schweiz in Betrieb stehenden KVA auf Basis der hier entwickelten Methodik lohnen. Damit könnte aufgezeigt werden, in welchen Gemeinden sich eine Separatsammlung von biogenen Abfällen aus Nachhaltigkeitssicht lohnt, beziehungsweise welche Bedingungen, beispielsweise bezüglich Mindestnutzung thermischer Energie, an eine Vergärungsanlage im Einzugsgebiet einer spezifischen KVA zu stellen sind.

Neben der Weiterentwicklung der vorliegenden Studie sehen wir in folgenden Bereichen relevante Fragestellungen betreffend Nutzung von Biomasse:

Optimale Nutzungsart der verfügbaren Biomasse. In Zukunft wird die Frage nach der optimalen Nutzungsart von Biomasse allgemein (nicht nur biogene Abfälle und Hofdünger) weiter an Bedeutung gewinnen. Ebenfalls haben bereits die Papier- und Verpackungsindustrie sowie die Chemische Industrie in verschiedenen europäischen Ländern ihre Bedenken geäußert, dass eine vermehrte energetische Nutzung von Biomasse, d.h. von Holz, natürlichen Fetten oder Pflanzenölen, die ihrige Verwendung konkurriert.

Optimale Energiebereitstellung mittels verfügbarer Ressourcen. In Zusammenhang mit der Umsetzung konkreter energiepolitischer Ziele von Gemeinden, Kantonen und Ländern wird die Frage nach der optimalen Nutzung der vorhandenen Ressourcen immer mehr an Bedeutung gewinnen. Dabei geht es um die Frage: Mit welchem Verfahren lässt sich aus den zur Verfügung stehenden Energieträgern (inkl. Biomasse) am meisten nutzbare Energie in Form von Wärme, Strom oder Treibstoff gewinnen?

Résumé

Objectif et état de la question

Développement d'une méthode d'évaluation. L'étude avait pour but principal de développer une méthode d'évaluation des différents types d'élimination et d'utilisation des déchets biogènes et des engrais de ferme⁵. Cette méthode devait être suffisamment étayée et être largement applicable. Par suffisamment étayée, il faut comprendre que les différentes possibilités d'élimination et d'utilisation des déchets de la biomasse et des engrais de ferme doivent être évaluées, si possible, sur la base de tous les critères pertinents pour les domaines de l'environnement, de l'économie et de la société. Une application large signifie quant à elle que la méthode doit pouvoir permettre d'évaluer des modes d'élimination et d'utilisation très variés. Une analyse multicritère a été élaborée dans le cadre de cette étude afin de pouvoir réaliser cette évaluation complexe. Une telle analyse présente l'avantage d'être, d'une part, complète et, d'autre part, transparente et cohérente.

Exemple d'application de la méthode. L'étude avait également pour objectif d'appliquer la méthode développée à une sélection de modes d'élimination des déchets biogènes et d'utilisation des engrais de ferme afin d'obtenir de premières données écologiques, économiques et sociales concernant les procédés examinés. Par ailleurs, la méthode devait être testée et il convenait de déterminer quelles étaient les améliorations que l'on pouvait y apporter.

Conclusions. Les constats opérés doivent permettre de compléter les conclusions concernant la méthode par des recommandations se rapportant aux deux questions suivantes: (1) Quel est le besoin en matière de recherche et de développement, en vue d'une utilisation optimale des déchets biogènes et des engrais de ferme? (2) Quelles sont les conditions-cadres de politique énergétique et environnementale qui doivent être adaptées afin d'optimiser l'utilisation des déchets biogènes et des engrais de ferme?

Procédure. Dans un premier temps, différentes solutions d'élimination et d'utilisation de fractions de la biomasse ont été analysées et des exemples d'application de la présente étude ont été choisis. La deuxième et principale étape consistait à élaborer l'analyse multicritère devant être appliquée, dans un troisième temps, aux possibilités d'élimination choisies. Des conclusions et des recommandations ont ensuite été formulées sur la base des constats résultant de cette première application.

⁵ Pour être précis, les déchets biogènes sont éliminés et les engrais de ferme sont utilisés. Dans la mesure du possible, nous faisons la distinction dans la suite du texte.

Solutions d'élimination et d'utilisation de différentes fractions de la biomasse

A partir d'un éventail de procédés d'élimination des déchets biogènes et d'utilisation des engrais de ferme, cinq fractions de la biomasse et un total de 24 procédés ont été retenus en vue d'une première application-pilote de l'analyse multicritère à développer.

Choix des fractions de la biomasse. Le «potentiel énergétique d'utilisation» a été employé comme critère de sélection des fractions de la biomasse. Les cinq fractions suivantes de la biomasse se caractérisent par le potentiel énergétique d'utilisation le plus élevé: (1) déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des entreprises de services, (2) boues d'épuration, (3) engrais de ferme, (4) résidus ou déchets de bois et (5) bois de récupération.

Choix des procédés. Quatre à six procédés d'élimination et d'utilisation ont été retenus par fraction de la biomasse en vue d'une première application-test de la méthode. Ces technologies ont été sélectionnées sur la base de trois critères: (1) les modes d'élimination et d'utilisation couramment utilisés actuellement; (2) de nouveaux procédés d'élimination et d'utilisation très prometteurs qui sont, pour certains, encore en phase pilote (gazéification hydrothermale ou gazéification du bois/méthanisation, p. ex.); (3) la disponibilité des données (données spécifiques et données de l'écobilan ainsi qu'informations concernant la rentabilité). Cette sélection doit permettre de comparer les procédés actuels avec ceux qui semblent prometteurs.

Le Tableau 1 donne un aperçu des fractions de la biomasse présentant le potentiel énergétique d'utilisation le plus élevé à l'échelle de toute la Suisse et des solutions d'élimination et d'utilisation retenues afin de tester l'analyse multicritère développée dans le cadre de cette étude.

| Fraction de la bio-masse | No | Procédés / technologies | Principaux produits finaux énergétiques et matériels |
|--|----|--|--|
| Déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des services | 1 | Incinération en UIOM | Electricité, chaleur |
| | 2 | Fermentation méthanique dans une installation de biogaz avec CETE | Electricité, chaleur, digestat |
| | 3 | Fermentation méthanique dans une installation de biogaz avec préparation du gaz | Biogaz (carburant), digestat |
| | 4 | Compostage | Compost |
| Boues d'épuration | 5 | Incinération dans une cimenterie ¹⁾ | Chaleur pour produire du ciment |
| | 6 | Fermentation méthanique avec CETE et incinération des boues digérées en UIOM | Electricité, chaleur |
| | 7 | Fermentation méthanique avec préparation du gaz et incinération des boues digérées en UIOM | Biogaz (carburant) |
| | 8 | Fermentation méthanique avec CETE et incinération des boues digérées en mono-incinération | Electricité, chaleur |
| | 9 | Fermentation méthanique avec CETE et incinération des boues digérées en mono-incinération | Biogaz (carburant) |
| Engrais de ferme | 10 | Epannage sur les champs | Engrais |
| | 11 | Fermentation méthanique (uniquement engrais de ferme) avec CETE | Electricité, chaleur, lisier liquide |
| | 12 | Fermentation méthanique (avec co-substrats) avec CETE | Electricité, chaleur, lisier liquide |
| | 13 | Gazéification hydrothermale | Gaz naturel synth. (carburant), engrais |
| Résidus de bois | 14 | Elimination matérielle pour fabriquer des panneaux d'aggloméré | Panneaux d'aggloméré |
| | 15 | Incinération en chaudière à bois (50 kWth) | Chaleur |
| | 16 | Incinération en centrale à bois (6,4 MWth) | Electricité, chaleur |
| | 17 | Fermentation alcoolique (transformation du bois en éthanol) | Ethanol (carburant) ²⁾ |
| | 18 | Gazéification du bois/méthanisation | Gaz naturel synth. (carburant) |
| | 19 | Gazéification hydrothermale | Gaz naturel synth. (carburant) |
| Bois de récupération | 20 | Elimination matérielle pour fabriquer des panneaux d'aggloméré | Panneaux d'aggloméré |
| | 21 | Incinération en UIOM | Electricité, chaleur |
| | 22 | Incinération en centrale à bois (6,4 MWth) | Electricité, chaleur |
| | 23 | Fermentation alcoolique (transformation du bois en éthanol) | Ethanol (carburant) ²⁾ |
| | 24 | Gazéification du bois/méthanisation | Gaz naturel synth. (carburant) |

Tableau 4: Aperçu des fractions de la biomasse retenues dans la présente étude et de leurs possibilités d'élimination et d'utilisation qui ont permis une première application de l'analyse multicritère développée.

¹⁾: Pour des raisons de disponibilité des données, cette étude a évalué le recyclage des *boues brutes* dans les cimenteries, bien que les boues d'épuration soient actuellement généralement digérées et séparées avant l'utilisation en cimenterie.

²⁾: La cellulose n'est pas prise en compte comme sous-produit.

Analyse multicritère

Une analyse multicritère a été développée afin d'évaluer et de comparer les conséquences de différentes solutions d'élimination et d'utilisation pour l'environnement, l'économie et la société. Cette analyse comporte trois sous-étapes:

- 1 **Critères d'évaluation:** Un ensemble de critères relatifs à l'environnement, l'économie et la société déterminent selon quels points de vue les solutions d'élimination et d'utilisation sont évaluées.
- 2 **Fonctions d'utilité:** Sur la base de fonctions d'utilité, l'évaluation par critère est convertie dans une valeur située entre 0 et 1, afin de pouvoir comparer les différentes évaluations entre elles. On distingue deux types de fonctions d'utilité: une fonction d'utilité avec une échelle linéaire entre l'évaluation la plus basse et la plus élevée et une fonction d'utilité avec une échelle ordinale.
- 3 **Facteurs de pondération:** Chacun des trois domaines – environnement, économie et société – ainsi que chaque critère correspondant est pondéré. Dans cette étude, la pondération a été calculée sur la base d'une enquête effectuée auprès d'un grand nombre de spécialistes.

Niveaux d'évaluation. L'évaluation des différentes possibilités d'élimination et d'utilisation peut soit faire référence aux éduits (déchets biogènes et engrais de ferme), soit porter sur les produits qui en résultent (compost, biogaz, électricité, chaleur à distance, carburant, etc.). Le présent projet vise à déterminer le type d'élimination et d'utilisation le plus judicieux pour une fraction donnée de la biomasse (déchets biogènes des ménages, p. ex.). Concrètement, les déchets végétaux doivent-ils être compostés, pour être ensuite éliminés en UIOM avec les autres ordures ménagères ou faut-il plutôt les faire fermenter dans une installation de biogaz? L'évaluation porte donc sur l'éduit - en combinaison avec le procédé d'élimination et d'utilisation concerné. L'unité de référence de l'évaluation est une tonne de biomasse à recycler (substance humide).

Prise en compte des crédits. Les différents procédés d'élimination et d'utilisation génèrent des produits pouvant être commercialisés. Il s'agit d'agents énergétiques comme l'électricité, la chaleur et le biogaz et de produits matériels comme le compost, les engrais de ferme ou les panneaux d'aggloméré. Ces produits (chaleur d'une centrale thermique utilisant le bois de récupération, p. ex.) sont en compétition – sur les plans économique, écologique et parfois social - avec des produits concurrents générés de manière conventionnelle (chaleur d'une chaudière à condensation fonctionnant au gaz naturel, p. ex.). Des crédits écologiques, parfois économiques ou encore sociaux, sont donc attribués à tous les produits générés. Ces crédits sont calculés sur la base des données de l'écobilan et des données économiques de produits similaires résultant d'une production «conventionnelle» (processus dits standard). Comme nous partons du principe que ces produits «standard» seront remplacés par des produits issus de la biomasse, les nuisances pour l'environnement occasionnées par la production des produits standard sont imputées aux procédés analysés.

| Produit | Description de la procédure standard de calcul des crédits pour l'environnement |
|----------------------|--|
| Panneaux d'aggloméré | 1 m ³ de panneaux d'aggloméré, pour usage intérieur, usine de type moyen en Allemagne, état au milieu des années 90 |
| Electricité | 1 kWh d'électricité issue d'une centrale moderne à cycle combiné, utilisant le gaz naturel pour combustible |
| Chaleur | 1 MJ de chaleur issue d'une installation de combustion modulable à condensation, alimentée au gaz naturel |
| Carburant | 1 véhicule-kilomètre parcouru avec une voiture de tourisme roulant au gaz naturel |
| Compost | 1 kg de substance nutritive épandue avec un engrais minéral |

Tableau 5: Description des procédures standard de calcul des crédits.

Procédure d'application de l'analyse multicritère. Il convient d'opérer comme suit pour évaluer, à l'aide de l'analyse multicritère, différents procédés concernant une fraction de la biomasse et pouvoir les comparer entre eux:

- 1 Quantification ou estimation qualifiée des caractéristiques de chaque critère ou indicateur pour toutes les possibilités d'élimination et d'utilisation.
- 2 Calcul des valeurs d'utilité des critères sur la base de la fonction d'utilité, entre 0 (utilité la plus faible) et 1 (utilité la plus importante).
- 3 Pondération des valeurs d'utilité sur la base des facteurs de pondération définis.
- 4 Addition des valeurs d'utilité pondérées de tous les critères pour obtenir une valeur d'utilité par procédé.
- 5 Interprétation des résultats dans les domaines de l'environnement, de l'économie et de la société et comparaison de la valeur d'utilité des différents procédés d'une fraction de la biomasse.

Récapitulatif. Le Tableau 3 suivant donne un aperçu des critères et indicateurs utilisés dans l'analyse multicritère ainsi que des facteurs de pondération définis après enquête auprès de spécialistes.

| No | Critère | Indicateur | Facteur de pondération |
|---|---|--|------------------------|
| ENVIRONNEMENT | | | 45% |
| U1 | Changement climatique | Potentiel d'effet de serre | 26% |
| U2 | Préservation des agents énergétiques non renouvelables | Intrant énergétique cumulé, non renouvelable | 24% |
| U3 | Acidification | Potentiel d'acidification | 5% |
| U4 | Surfertilisation | Potentiel de surfertilisation | 10% |
| U5 | Smog estival | Potentiel de formation photochimique d'ozone | 5% |
| U6 | Toxicité pour l'être humain | Potentiel de toxicité pour l'être humain | 5% |
| U7 | Ecotoxicité | Potentiel d'écotoxicité aquatique | 9% |
| U8 | Utilisation du sol | Sol utilisé | 7% |
| U9 | Déchets mis à la décharge | Volumes | 5% |
| U10 | Déchets hautement radioactifs | Volumes | 4% |
| Critère d'évaluation alternatif concernant l'environnement | | | |
| U11 | Raréfaction écologique | Unités de charge écologique | |
| ECONOMIE | | | 30% |
| O1 | Coûts d'élimination | Prix de l'élimination | 27% |
| O2 | Coûts de ramassage et de transport | Prix du ramassage et du transport | 19% |
| O3 | Minimisation du risque économique | (1) Volatilité attendue de l'éduit (2) Volatilité attendue du produit (3) Niveau des coûts d'investissement de l'installation (4) Durée d'amortissement de l'installation | 28% |
| O4 | Flexibilité de l'installation à l'usage | (1) Indépendance de l'installation concernant les éduits (2) Réactivité de l'installation à des fluctuations de l'offre d'éduits | 15% |
| O5 | Répercussions pour l'économie régionale | Création de valeur ajoutée au niveau de l'économie régionale | 11% |
| SOCIETE | | | 25% |
| G1 | Acceptabilité locale par rapport aux nuisances | (1) Emissions d'odeurs (2) Nuisance visuelle (3) Bruit occasionné par la circulation (4) Bruit occasionné par l'installation | 35% |
| G2 | Acceptabilité sociale | (1) Attitude face à la technologie (2) Disposition favorable à des adaptations logistiques | 17% |
| G3 | Risques pour la société | Probabilité d'explosions et d'accidents | 9% |
| G4 | Risques pour les collaborateurs | Accidents et décès dus au travail | 6% |
| G5 | Conflits éventuels avec les principes fondamentaux de l'aménagement du territoire | Conflits éventuels avec les principes fondamentaux de l'aménagement du territoire | 18% |
| G6 | Sécurité de l'approvisionnement | Indépendance des agents énergétiques importés | 15% |

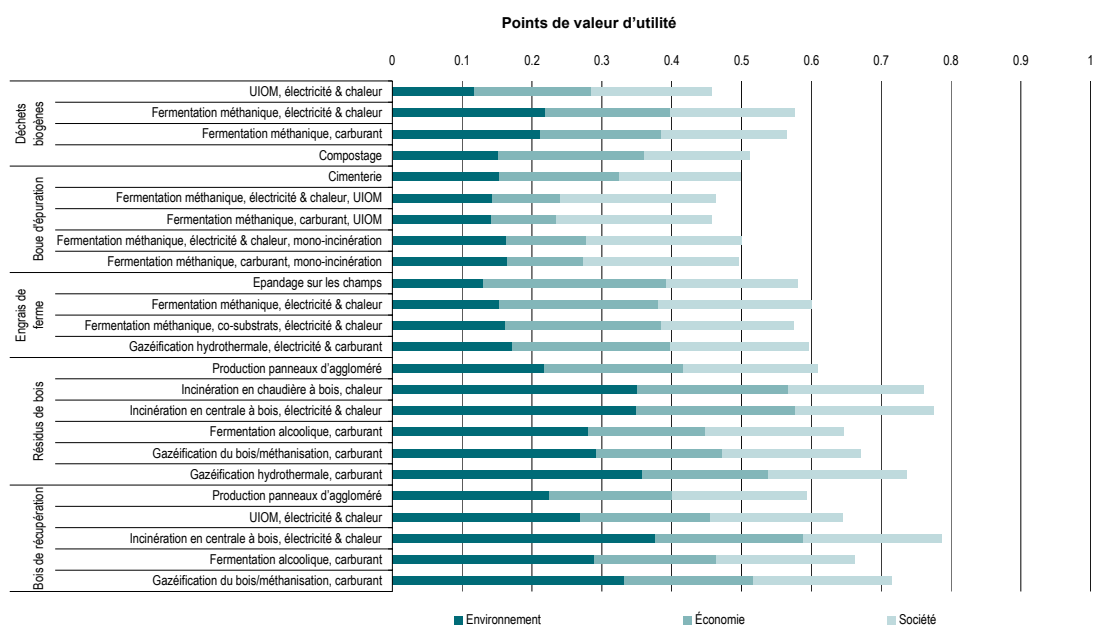
Tableau 6: Aperçu des critères, des indicateurs et des facteurs de pondération utilisés dans le cadre de l'analyse multicritère développée en vue d'évaluer l'élimination des déchets biogènes et l'utilisation des engrais de ferme.

Application-test de l'analyse multicritère pour des fractions données de la biomasse et des procédés précis

L'application-test de l'analyse multicritère décrite ci-dessus doit apporter de premières informations, sur les plans écologique, économique et social, concernant les possibilités d'élimination et d'utilisation étudiées. Elle indique également dans quelle mesure la méthode doit être améliorée et affinée.

Aperçu d'ensemble. La Figur 1 donne une vue d'ensemble de l'évaluation des 24 solutions d'élimination examinées dans le cadre de la présente étude. La valeur de référence est une tonne d'éduit (substance humide des fractions de la biomasse étudiées). Les critères, les fonctions d'utilité et la pondération ressortent des données indiquées au Tableau 3. L'évaluation de l'analyse multicritère se situe toujours entre 0 et 1, 0 correspondant au score le plus bas et 1 au score le plus haut.

«Résultat de l'analyse multicritère concernant l'élimination des déchets biogènes et l'utilisation des engrais de ferme»



econcept / ESU-services

Figure 2: Résultats de l'évaluation des technologies et procédés. Plus les valeurs d'utilité sont élevées, plus le procédé a une bonne évaluation; base de la pondération: moyenne de l'enquête auprès de spécialistes.

Les résultats de l'analyse multicritère de tous les procédés évalués ici varient entre 0,45 et 0,79 points de valeur d'utilité. En d'autres termes, les écarts atteignent au plus 34 points de pourcentage. Les procédés examinés se caractérisent tous par un niveau d'utilité relativement élevé. Au sein des différentes catégories de biomasse, les écarts entre les procédés étudiés sont parfois faibles. De premières conclusions peuvent toutefois être tirées pour toutes les catégories. Concernant l'interprétation des résultats, il

convient de noter que l'éventail de procédés étudiés par catégorie de biomasse a été restreint à dessein et n'est donc pas définitif. Par ailleurs, des moyennes suisses ont été utilisées pour les évaluations. Les résultats ne peuvent donc être appliqués qu'à certaines conditions à des situations régionales (avec des conditions-cadres, des technologies, etc. différentes).

Les résultats des 5 fractions de la biomasse sont présentés ci-après. Des évaluations complémentaires et des analyses de sensibilité sont également données.

Déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des services. D'après les résultats de la présente étude, il est plus judicieux d'éliminer les déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des services par fermentation. La production directe de courant et de chaleur à partir de biogaz présente à cet égard de légers avantages par rapport à la préparation de biogaz et à son injection dans le réseau de gaz (à condition que la chaleur produite par la CETE puisse bénéficier à plus de 50 % à des tiers). Le biogaz peut être utilisé comme carburant, mais aussi pour produire de la chaleur⁶. Cette possibilité n'a toutefois pas été évaluée dans la présente étude. Le bon résultat de la fermentation peut essentiellement s'expliquer par l'évaluation élevée dans le domaine de l'environnement.

L'élimination de déchets biogènes dans une UIOM suisse moyenne est évaluée avec 5 points de pourcentage de moins que le compostage. Avec un rendement énergétique plus élevé, l'élimination en UIOM produit en revanche de meilleurs résultats que le compostage. Il en découle qu'une UIOM optimisée sur le plan énergétique influe sur le résultat ou réduit la nuisance pour l'environnement. A cet égard, on remarquera que l'amélioration de la qualité du sol grâce à l'apport de compost et la qualité accrue de l'humus qui en résulte n'ont pas été prises en compte. Des conclusions controversées livrées par des études sur l'écobilan dans le cas nous intéressant (villes de Zurich et Bâle) indiquent que les données et la modélisation des procédés de recyclage ne sont pas encore sûrs et qu'il est impossible de tirer des conclusions définitives.

Boues d'épuration. D'après les résultats des procédés examinés, les boues d'épuration devraient soit être incinérées comme boues digérées dans le cadre d'une mono-incinération, soit être recyclées dans des cimenteries équipées en conséquence. La mono-incinération est mieux évaluée que l'élimination en UIOM, même sans tenir compte d'une récupération potentielle du phosphore⁷. Les écarts sont néanmoins minimes. Faute de données, la possibilité de récupérer du phosphore dans les cendres après mono-incinération n'a pu entrer en ligne de compte. La méthode développée ici permet cependant de prendre en compte cet aspect de la préservation des ressources. Les boues d'épuration devraient être séchées en priorité grâce à des rejets de chaleur ne pouvant servir à autre chose. L'avantage de l'élimination par mono-incinération s'en trouve encore

⁶ Cette variante n'a pas fait l'objet d'un bilan. Le résultat d'une analyse multicritère «Fermentation méthanique, combustible» devrait toutefois être légèrement plus élevé que celui de la solution étudiée ici «Fermentation méthanique, carburant».

⁷ Si les boues d'épuration sont incinérées en UIOM, il faut partir du principe que le phosphore ne pourra plus être récupéré ultérieurement, sa concentration dans le vitrifiat (résidus) étant trop faible.

accru. Un drainage poussé des boues d'épuration constitue un aspect essentiel de toutes les options de recyclage.

Engrais de ferme. D'après les résultats de la présente étude, la fermentation d'engrais de ferme avec utilisation consécutive du biogaz pour produire de l'électricité et de la chaleur obtient la meilleure évaluation. La gazéification hydrothermale bénéficie d'une évaluation presque aussi élevée, pour autant qu'elle puisse être réalisée et exploitée conformément à la planification. Les différences par rapport aux autres procédés sont faibles. Suite à la pondération moyenne donnée par les spécialistes, l'épandage des engrais de ferme sur les champs a l'évaluation la moins bonne. Si la pondération des critères économiques est plus élevée (cluster économique), l'épandage direct d'engrais de ferme sur des surfaces agricoles arrive à égalité avec la fermentation⁸.

Résidus de bois. D'après l'analyse multicritère, il est avantageux d'utiliser directement l'énergie des résidus de bois dans de petites chaudières et des centrales thermiques au bois. Cela est vrai quel que soit le domaine - environnement, économie ou société – considéré comme le plus important. Cette affirmation ne vaut néanmoins que dans le cadre des solutions d'élimination examinées ici. La gazéification hydrothermale des résidus de bois – dans la mesure où elle peut être réalisée et exploitée conformément à la planification – est évaluée presque à même hauteur que les petites chaudières et les centrales à bois. Le recyclage de résidus de bois en vue de produire des panneaux d'aggloméré se caractérise par la plus faible utilité, seules les dépenses pour se procurer du bois étant évitées.

Bois de récupération. L'évaluation des possibilités d'élimination du bois de récupération est semblable à celle des résidus de bois. L'incinération de bois de récupération dans des centrales à bois équipées en conséquence produit les meilleurs résultats. Le recyclage de bois de récupération en vue de produire des panneaux d'aggloméré se caractérise par la plus faible utilité, seules les dépenses pour se procurer du bois étant évitées dans ce cas également. La méthanisation, la fermentation alcoolique et l'incinération en UIOM se situent entre les deux.

Matière humide et contenu énergétique de la biomasse. La présente analyse multicritère compare différentes possibilités d'élimination et d'utilisation pour une tonne de matière humide d'une catégorie de biomasse. La teneur en humidité ainsi que le contenu énergétique par tonne de matière humide varie considérablement selon les diverses fractions de la biomasse (cf. sous-chapitre 2.4). D'une manière générale, il apparaît que les fractions présentant un contenu énergétique élevé (comme les résidus de bois et le bois de récupération) peuvent être recyclées sans trop de difficulté et affichent une utilité relativement élevée. Par contre, l'élimination ou l'utilisation de fractions aqueuses de déchets (comme les boues d'épuration) et des engrais de ferme se révèle plus complexe sur les plans technique et physique et présente donc une moindre utilité.

⁸ L'épandage des engrais de ferme sur les champs est bien évalué du point de vue économique, en raison des faibles coûts de ramassage et d'investissement nécessaires, de la courte durée d'amortissement et de la volatilité attendue des prix du produit que l'on estime minime.

Protection du climat efficace en termes de coûts. A titre complémentaire, les possibilités d'élimination et de valorisation étudiées ici avec des produits énergétiques ont également été évaluées sous l'angle de leur efficacité en termes de protection du climat. Les effets sur le climat (CO_2/kWh) et les unités de charge écologique (UCE/kWh), d'une part, et les coûts en vue d'éviter les émissions de CO_2 (Fr./t CO_2) et les unités de charge écologique (UCE/kWh), d'autre part, ont été confrontés sous forme graphique. Les résultats ressortent de l'étude complémentaire.

Analyses de sensibilité. Afin de vérifier la stabilité des résultats, des analyses de sensibilité ont été réalisées avec différentes pondérations. Il en ressort que les résultats sont en grande partie stables concernant les préférences de pondération. Dans quelques cas, on observe cependant des écarts sensibles. Il s'agit notamment de l'élimination des boues d'épuration dans les cimenteries et de l'épandage d'engrais de ferme. D'autres analyses de sensibilité montrent qu'au sein d'une même fraction de la biomasse, les proportions relatives des valeurs d'utilité restent les mêmes, indépendamment des crédits écologiques attribués pour l'électricité, la chaleur, les carburants et d'autres produits issus du recyclage. Les analyses révèlent enfin clairement que le fait que le domaine de l'environnement soit évalué avec 10 indicateurs différents ou avec la méthode de la raréfaction écologique (U11) est déterminant.

Discussion et conclusions concernant l'analyse multicritère développée

Le but principal de l'étude était de développer une méthode d'évaluation des différentes possibilités d'élimination et d'utilisation des déchets biogènes et des engrais de ferme. Cette méthode devait être suffisamment étayée et être largement applicable. Les conclusions concernant ces deux points sont les suivantes:

Ensemble de critères largement étayé. On constate, d'une manière générale, que l'éventail de critères utilisé constitue une bonne base de départ. Son contenu est largement étayé et couvre les principaux aspects des domaines de l'environnement, de l'économie et de la société. Les spécialistes consultés ne sont pas tous du même avis, certains demandant une simplification de l'éventail de critères, tandis que d'autres réclament l'ajout de critères supplémentaires. Il en sera néanmoins tenu compte lors d'une future révision de la méthode. L'abandon de certains critères dans la présente analyse multicritère modifierait les résultats d'au moins quelques-uns des procédés examinés. C'est pourquoi on y a renoncé. Concernant l'ajout de critères supplémentaires, l'application a montré que l'éventail de critères actuel privilégie les critères énergétiques par rapport à ceux relatifs aux ressources et aux cycles des matériaux. Pour renforcer cette orientation, nous proposons notamment de réfléchir à l'intégration des critères «Fertilité du sol» et «Préservation des ressources non énergétiques».

Large application de l'analyse multicritère. On remarque également que l'analyse multicritère peut être appliquée à un large ensemble de fractions de la biomasse et de procédés avec une variabilité élevée concernant l'utilisation de l'énergie et le degré de

développement des technologies. Les études de cas test, sur la base de valeurs moyennes suisses, ne permettent toutefois de tirer des conclusions généralisables qu'à certaines conditions. Comme la méthode peut évaluer des technologies très diverses de manière uniforme, elle représente un outil idéal pour étudier des situations spécifiques. Par ailleurs, l'application a révélé que la méthode livre des résultats simples à interpréter d'une part et indiquant les différences entre les différents procédés d'autre part. En principe, la méthode est facile à mettre en œuvre. En cas de révision de l'analyse multicritère, il faudrait essayer de standardiser davantage les minimas d'évaluation des critères, en particulier détailler davantage les minimas des critères économiques et sociaux, afin d'accroître la précision des énoncés généraux.

Conclusions concernant les résultats de l'application

Remarques préalables et restrictions. L'application de l'analyse multicritère dans le cadre de la présente étude repose sur des exemples précis. On a veillé à choisir des technologies importantes pour la Suisse ou susceptibles de le devenir. Il était toutefois impossible de prendre en compte tout l'éventail des technologies utilisées actuellement ou potentiellement prometteuses. La pyrolyse du bois en vue de produire de l'électricité, la co-fermentation en STEP, l'utilisation de l'UIOM comme centrale à bois et d'autres procédés n'ont ainsi pas été analysés. S'agissant des boues d'épuration, des options permettant de récupérer le phosphore n'ont pas été prises en compte, de même que des possibilités d'utilisation intensive des rejets de chaleur lors du séchage des boues ou de la co-fermentation des déchets biogènes. Rien ne s'oppose cependant à une application de l'approche méthodologique développée aux options et aux technologies susmentionnées. Il en résulte des appréciations cohérentes et comparables.

Les indicateurs écologiques reposent essentiellement sur les inventaires écologiques de l'étude sur les agents énergétiques biogènes (Jungbluth et al. 2007). La dispersion du méthane dans les installations de biogaz, les variations des émissions d'ammoniac selon qu'il s'agit de lisier frais ou de lisier fermenté, ainsi que l'épandage de substances polluantes (métaux lourds) avec le compost, les digestats liquides et solides (et les engrais minéraux) ont été prises en considération conformément aux données de l'étude susmentionnée. Il n'a pu être tenu compte de l'épandage de substances polluantes organiques avec le compost et les digestats.

Par ailleurs, il faut rappeler que l'enquête repose sur des moyennes à l'échelle Suisse. Il est donc impossible de tirer des conclusions spécifiques à une région, comme le démontre l'élimination des fractions de la biomasse en UIOM. Lors de l'évaluation, le degré d'utilisation d'énergie d'une UIOM s'est avéré un facteur important. Si l'on devait appliquer la méthode à l'échelle régionale, il faudrait en tenir compte, de même que d'autres facteurs régionaux.

On notera enfin que la qualité d'ensemble des évaluations pâtit parfois de l'absence de données pour certains critères et technologies.

Procédés présentant l'évaluation la plus élevée par fraction de biomasse. Sur l'ensemble des technologies et procédés évalués, ceux qui suivent présentent l'utilité la plus élevée pour l'environnement, l'économie et la société:

Déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des services

- Fermentation méthanique avec production d'électricité et de chaleur
- Fermentation méthanique avec valorisation sous forme de carburant

La différence par rapport aux autres procédés est soit considérable (utilisation moyenne de l'énergie en UIOM), soit minime (extrait énergétique élevé en UIOM). Les données et la modélisation ne sont pas sûres.

Boues d'épuration

- Cimenterie
- Fermentation méthanique (avec production d'électricité et de chaleur ou valorisation sous forme de carburant) suivie d'une mono-incinération

La différence par rapport aux autres procédés est faible.

Engrais de ferme

- Fermentation méthanique avec production d'électricité et de chaleur

La différence par rapport aux autres procédés est faible.

Résidus de bois

- Centrale à bois avec production d'électricité et de chaleur
- Petite chaudière avec utilisation de la chaleur

La différence par rapport aux autres procédés est marquée.

Bois de récupération

- Centrale à bois avec production d'électricité et de chaleur

La différence par rapport aux autres procédés est marquée.

Données de planification comme base de données pour les installations pilotes.

Concernant les engrais de ferme, la gazéification hydrothermale obtient une évaluation du même ordre de grandeur que la fermentation méthanique. Dans le cas des résidus de bois, la gazéification hydrothermale obtient des résultats presque aussi bons que l'élimination en petite chaudière. Les évaluations de la gazéification hydrothermale reposent toutefois sur des valeurs de planification, tout comme celles de la gazéification / méthanisation et de la fermentation alcoolique. Les résultats présentent donc de plus grandes incertitudes que pour les autres procédés. L'utilité a probablement été surestimée.

Écarts d'utilité les plus importants concernant l'environnement et l'économie. Les exemples montrent que les écarts d'utilité les plus importants concernent l'environnement et l'économie. Les critères suivants sont primordiaux à cet égard: au niveau de l'environnement, il s'agit du changement climatique et de la préservation des ressources énergétiques non renouvelables. On observe en outre de grandes différences concernant la toxicité pour l'être humain et pour l'environnement, une plus grande incertitude caractérisant toutefois ces deux aspects. S'agissant des critères économiques, les différences

les plus importantes portent sur les coûts d'élimination et de ramassage, ainsi que sur la minimisation du risque économique.

Adaptations nécessaires des décisions d'investissement. Si l'on applique la méthode d'évaluation à une situation régionale concrète, comme préalable à une décision d'investir p. ex., il convient de se fonder dans la mesure du possible sur des valeurs et informations spécifiques au projet concernant les différents critères. Il s'agira des distances de transport, du degré utilisation de l'énergie, du montant des coûts d'élimination et de ramassage, de l'intégration de l'installation dans le paysage ou le site, etc. Le fait de se fonder sur des valeurs moyennes suisses – comme c'est le cas dans la présente application – biaiserait les résultats dans certains cas.

Recommandations pour adapter les conditions-cadres

Constatations générales et recommandations. Les résultats de l'application montrent que les procédés examinés se situent à un niveau d'utilité relativement élevé du point de vue des critères écologiques, économiques et sociaux. On peut donc en conclure que les conditions-cadres actuelles pour l'élimination des déchets biogènes et l'utilisation des engrais de ferme contribuent à donner, en principe, de bonnes incitations, avec pour conséquence une utilisation majoritaire ou en progression de procédés durables. Les données pour l'évaluation des trois procédés-pilote de gazéification hydrothermale, de fermentation alcoolique et de gazéification / méthanisation présentent les plus grandes incertitudes. Dans l'hypothèse où les données de la planification seront effectivement respectées, la gazéification hydrothermale constituera notamment une option extrêmement prometteuse, méritant une analyse plus précise.

Par ailleurs, on observe que la rétribution du courant injecté à prix coûtant (RPC) apporte des incitations dans le bon sens. En effet, elle encourage des procédés de production d'électricité et de chaleur faisant l'objet d'une bonne évaluation dans la présente étude.

Hausse de l'efficacité pour tous les procédés. Une progression de l'utilité écologique, économique et parfois aussi sociale va de pair avec une hausse de l'efficacité pour les procédés et les technologies. Dans le même temps, elle participe aux objectifs énergétiques généraux de la Suisse. Dans cet esprit, il faut viser une amélioration et un développement constants de l'efficacité de tous les procédés et de toutes les technologies.

Potentiel d'amélioration des UIOM. On relève notamment des potentiels d'amélioration importants concernant les UIOM. Le degré d'utilisation de l'énergie influe grandement sur l'évaluation des UIOM. Les efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique des UIOM doivent donc être poursuivis, sans pour autant perdre de vue d'autres exigences, comme la qualité des cendres, p. ex. Les contraintes liées à une rétribution des UIOM en fonction des coûts fixent les priorités dans le bon sens.

Ramassage séparé des déchets biogènes. Concernant les déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des services, des précisions doivent être apportées au niveau

régional, avant d'aller plus avant dans la promotion de la fermentation méthanique et le ramassage séparé qu'elle nécessite (cf. aussi "Besoins en matière de recherche et de développement"). En plus des aspects évalués dans la présente étude, il convient, le cas échéant, de prendre en compte d'autres points relatifs au transport, à la logistique, à l'hygiène, aux essais infructueux, au type de déchets, à la collecte auprès des ménages privés et/ou des entités de transformation des denrées alimentaires, etc.

Récupération du phosphore dans les boues digérées. A l'avenir, le phosphore devra être récupéré dans les boues digérées. Si ces dernières sont éliminées par mono-incinération, les cendres en résultant devront être stockées dans des compartiments séparés. On créera ainsi les conditions nécessaires à une récupération du phosphore comparativement simple. La récupération du phosphore peut aussi intervenir avant l'incinération, ce qui permet une utilisation consécutive avec d'autres technologies.

Pas d'incitation nécessaire concernant les engrais de ferme. Concernant les engrais de ferme, les résultats de la présente étude semblent indiquer qu'il n'est pas nécessaire de modifier les conditions-cadres, les incitations ou les prescriptions.

Incitations pour les centrales à bois. Parmi les procédés comparés dans le cadre de l'étude, l'élimination des résidus de bois et du bois de récupération dans des centrales à bois obtient les meilleures évaluations. Il semble donc logique de promouvoir les centrales à bois, dont on ne compte encore qu'un faible nombre d'installations, par des incitations. Il convient d'examiner de manière plus approfondie si cela devra passer par des incitations financières (RPC), des mesures librement consenties par les organismes d'élimination ou des prescriptions (interdiction d'exportation pour le bois de récupération, p. ex.).

Besoins en matière de recherche et de développement

Dans l'optique d'un développement ultérieur et d'une amélioration de la méthode, on relève deux domaines distincts où l'on constate un besoin en matière de recherche et de développement:

Optimisation de la base de données. Dans un premier temps, les bases de données des procédés retenus – qui se fondaient sur des valeurs moyennes suisses - devraient être améliorées dans certains domaines. Cela pourrait permettre de réduire les incertitudes relevées lors de l'évaluation. Des optimisations des bases de données sont nécessaires dans les domaines suivants:

- En première approximation, les coûts de l'élimination ont été calculés en tant que prix de l'élimination. Pour pouvoir faire des affirmations plus précises et représentatives, il serait utile de connaître l'ensemble des coûts de l'élimination (prix des éduits, coûts d'exploitation, prix des produits, subventions, bénéfices, etc.). Dans le cadre de la présente étude, il n'était pas possible de rassembler les données pour les 24 possibilités d'élimination de manière uniforme.

- Concernant les technologies en phase pilote, comme la gazéification hydrothermale, p. ex., il manque des données d'une qualité comparable à celles existant pour les procédés déjà établis. Cela concerne surtout les domaines de l'environnement et de l'économie. Ces lacunes devraient bientôt être comblées.

Etudes régionales. Dans un deuxième temps, il serait utile de réaliser des études régionales en se basant sur l'analyse multicritère développée, à titre de complément de la présente étude qui repose sur des valeurs moyennes suisses. On pourrait recueillir ainsi des informations d'ordre local sur les distances de transport, la logistique, le type d'installation, l'utilisation de l'énergie, les coûts d'élimination et de ramassage, l'acceptabilité locale, etc. Les résultats permettraient d'avoir un aperçu des réalités locales et autoriseraient une réelle évaluation des différentes possibilités d'élimination et d'utilisation. Il est indispensable de procéder à une interprétation et une comparaison de plusieurs études régionales avec la présente étude pour pouvoir faire des recommandations définitives, pouvant éventuellement s'appliquer à toute la Suisse.

Recherche technologique. La recherche technologique doit être intensifiée dans les domaines où elle permettrait de diminuer l'importance des nuisances écologiques de divers ordres. La gazéification hydrothermale des engrais de ferme peut servir d'exemple ici. D'une part, elle participe (efficacement) à l'approvisionnement en agents énergétiques renouvelables. D'autre part, cette technologie fournit des sels inorganiques comme engrais. Or, l'utilisation de ces sels est nettement moins nuisible pour l'environnement que celle d'engrais de ferme liquides conventionnels.

Différenciation régionale des UIOM. Afin de cerner plus précisément la situation régionale concernant l'élimination des déchets biogènes des ménages, de l'artisanat et des services, il serait utile d'évaluer les UIOM en exploitation en Suisse sur la base de la méthode développée ici. Cela permettrait de voir dans quelles communes il serait judicieux, dans une optique de gestion durable, de collecter séparément les déchets biogènes. Cela permettrait également de voir quelles conditions doit remplir une installation de fermentation située dans la zone de collecte d'une UIOM, concernant l'utilisation minimale de l'énergie thermique, par exemple.

Outre le développement ultérieur de la présente étude, nous estimons que les domaines suivants posent des questions importantes concernant l'utilisation de la biomasse:

Utilisation optimale de la biomasse disponible. A l'avenir, la question de l'utilisation optimale de la biomasse en général (pas seulement des déchets biogènes et des engrais de ferme) va encore gagner en importance. Dans plusieurs pays européens, l'industrie du papier et du conditionnement ainsi que l'industrie chimique ont déjà fait part de leurs craintes concernant une possible concurrence pour eux suite à une utilisation énergétique accrue de la biomasse, c'est-à-dire du bois, des graisses naturelles ou des huiles végétales.

Approvisionnement énergétique optimal grâce aux ressources disponibles. En relation avec la mise en œuvre d'objectifs de politique énergétique concrets par les

communes, les cantons et les pays, la question de l'utilisation optimale des ressources disponibles va devenir de plus en plus cruciale. Le problème est le suivant: quel procédé permet de produire, à partir des agents énergétiques à disposition (y compris la biomasse), le plus d'énergie utilisable sous forme de chaleur, d'électricité ou de carburant?

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Schweizer Energieversorgung basiert überwiegend auf nicht erneuerbaren Energieträgern: Der **Primärenergiebedarf** der Schweiz (der gesamte Energieeinsatz zur Deckung des Schweizer Energiebedarfs inkl. Umwandlungsverluste) im Jahr 2006 wurde zu 46.4% mit Erdöl, zu 9.7% mit Erdgas und zu 24.6% mit Nuklearbrennstoffen bereitgestellt (BFE 2007a). Die restlichen knapp 20% des Primärenergiebedarfs stammen aus der Wasserkraft (10.1%) und anderen, hauptsächlich erneuerbaren, inländischen Quellen (9.2%).

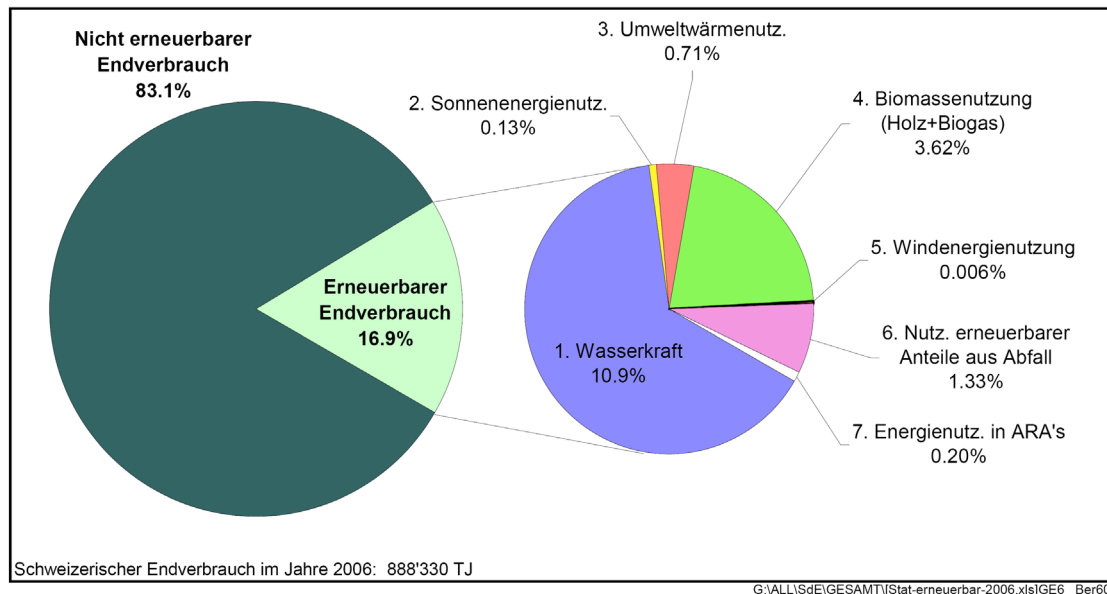
CH Primärenergieeinsatz

Die Schweiz ist somit stark von importierten fossilen und nuklearen Energieträgern abhängig. Neben der unerwünschten Auslandabhängigkeit, trägt die fossile Energiebereitstellung in einem hohen Masse zur Klimaproblematik und zur Belastung der Luftqualität bei. Die nukleare Stromerzeugung trägt zur nach wie vor nicht gelösten Entsorgungsfrage radioaktiver Abfälle und zu nicht versicherbaren Grossrisiken bei. Die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energieträger wird deswegen - neben einer massiven Steigerung der Energieeffizienz - in Zukunft immer wichtiger und notwendiger werden.

Neben der Wasserkraft ist heute die Biomassenutzung die zweitwichtigste erneuerbare Energiequelle der Schweiz. Gemessen am Schweizerischen **Endenergieverbrauch** trägt die Nutzung von Biomasse einen beachtlichen Anteil bei: Im Jahr 2006 wurden rund 5.15 % des Endenergieverbrauches der Schweiz aus Biomasse und den erneuerbaren Anteilen im Abfall gewonnen (thermisch und elektrisch, vgl. Figur 3).

CH Endenergieversorgung,
Biomassenutzung

Endverbraucheranteile erneuerbarer Energien



Figur 3: Endverbrauchsanteile erneuerbarer Energien, Schweiz 2006 (Quelle: BFE 2007a).

Gemäss einer Studie des BFE, in der das Biomassepotenzial der Schweiz untersucht wurde, liesse sich bis im Jahr 2040 ca. 14% des schweizerischen Endenergiebedarfs von 2006 mit einer ökologisch verträglichen Nutzung des Biomassepotenzials decken. Das theoretisch nutzbare Potenzial ist nochmals weitaus grösser (BFE 2004).

Potenzial der Nutzung von biogenen Abfällen und Hofdünger

Fast die Hälfte des bis 2040 ökologisch nutzbaren Biomassepotenzials besteht aus der Entsorgung von Abfallstoffen, wie biogene Abfälle aus Haushalten, Gastronomie und Industrie, Schlamm aus Kläranlagen oder Rest- und Altholz aus der Holzindustrie sowie aus der Nutzung von Hofdünger und Ernterückständen aus der Landwirtschaft, (BFE 2004). Davon wird wiederum über 40% des gesamten Potenzials der Nutzung von Hofdünger zugesprochen.

Das Energiepotential von biogenen Abfällen und Hofdünger in der Schweiz ist also bedeutend und kann je nach Verbesserungen der Technologien noch erhöht werden. Dabei steht eine Vielzahl von möglichen Verfahren zu Auswahl, welche entweder eine rein stoffliche, eine rein energetische oder eine kombinierte Nutzung bzw. Entsorgung erlauben.

Stoffliche vs. energetische Nutzung der biogenen Rest- und Abfallstoffe

Aufgrund der zahlreichen möglichen Verfahren und Technologien für biogene Abfälle und Hofdünger stellt sich grundsätzlich die Frage, ob eine energetische, eine stoffliche oder eine kombinierte Entsorgung bzw. Nutzung zu bevorzugen sei. Die Energieproduktion kann einen

wichtigen Beitrag zu den energiepolitischen Zielen einer nachhaltigen Energieversorgung und der Versorgungssicherheit (Verminderung der Abhängigkeit von Importen) leisten. Bei der Herstellung von stofflichen Produkten stehen die Schliessung der Nährstoffkreisläufe und die Substitution von Primärrohstoffen im Vordergrund. Beide Wege haben ihre Berechtigung. Deswegen wird in der vorliegenden Studie untersucht, welche Entsorgungswege für biogene Abfälle unterschiedlichster Art und welche Nutzungswege für Hofdünger aus einer umfassenden Nachhaltigkeitssicht zu bevorzugen sind.

1.2 Zielsetzung und Fragestellung

Erstes Ziel der vorliegenden Studie ist es, eine Bewertungsmethode für die unterschiedlichen Nutzungsarten biogener Abfälle und auch Hofdünger zu entwickeln. Die erarbeitete Methodik soll dabei breit abgestützt und breit anwendbar sein. Breit abgestützt heisst, dass die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten für Abfallbiomasse, Hofdünger und im Prinzip auch für andere Biomassefraktionen, die einem ähnlichen Nutzungskonflikt unterliegen, anhand aller relevanten Kriterien aus den Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft bewertet werden. Breit anwendbar bedeutet, dass mit Hilfe der Methodik sehr unterschiedliche Entsorgungs- und Nutzungswege bewertet werden können. Für diese komplexe Art von Bewertung ist eine Multikriterienanalyse geeignet, da sie transparent, nachvollziehbar und trotzdem umfassend ist. Das Entwickeln einer entsprechenden Methodik steht im Zentrum der vorliegenden Studie.

1. Entwickeln der Bewertungsmethode

In einem zweiten Schritt wird die entwickelte Methodik auf fünf ausgewählte Abfallkategorien⁹ und insgesamt 24 Verfahren angewendet. Pro ausgewählte Abfallkategorie werden zwischen vier und sechs unterschiedliche Verfahren bewertet. Ein Vergleich dieser Verfahren zeigt auf, welche Entsorgungsart für eine bestimmte Abfallfraktion bzw. welche Nutzungsart für Hofdünger aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht zu bevorzugen ist.

2. Anwendung der Bewertungsmethode

Abschliessend werden die Ergebnisse hinsichtlich der beiden Fragestellungen diskutiert: (1) Welcher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht für eine optimale Entsorgung und Nutzung biogener Abfälle und Hofdünger? (2) Welche energie- und umweltpolitischen Rahmen-

3. Bedarf für Forschung & Entwicklung und politische Rahmenbedingungen

⁹ (1) Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben, (2) Schlamm aus Kläranlagen, (3) Hofdünger und Ernterückstände, (4) Restholz und (5) Altholz.

bedingungen müssen angepasst werden, um die Entsorgung und Nutzung biogener Abfällen und Hofdünger zukünftig zu optimieren?

Aufgrund der Studienergebnisse werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen für zukünftige forschungsrelevante und politische Entwicklungen formuliert.

1.3 Eingrenzung

Fokus der Studie auf Methodenentwicklung

Die in der vorliegenden Studie entwickelte Methode und die präsentierten Anwendungsbeispiele sind ein erster Schritt, um auf die Frage nach der optimalen Nutzung biogener Abfälle und Hofdünger eine Antwort zu geben. **Der Fokus der Studie liegt dabei auf der Entwicklung der Methodik.** Die Anwendungen sind beispielhaft, und nicht vollständig. Es wurden nicht alle möglichen Verfahren berücksichtigt. Auch konnten nicht alle Aspekte der Entsorgung, insbesondere die stofflichen, abgebildet und in der Bewertung berücksichtigt werden. Dies betrifft unter anderem die Rückgewinnung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors (und damit des Ersatzes industriell hergestellten Phosphors)¹⁰. Auch die bodenverbessernden Eigenschaften von Kompost (aus Vergärung oder Kompostierung) konnten weder quantifiziert noch berücksichtigt werden, da entsprechende Forschungsarbeiten zum Zeitpunkt der Ausführung dieser Studie noch nicht abgeschlossen sind. Im Weiteren rechnen wir mit schweizerischen Durchschnittswerten (z.B. Entsorgung in durchschnittlicher schweizerischer KVA, durchschnittliche Transportwege etc.). Um regionale Schlüsse ziehen zu können, müssten die genauen Anlagentypen, Wege und weiteren Rahmenbedingungen in die Bewertung einfließen.

Erweiterung der Methode möglich

Neben regionalspezifischen Fragestellungen, wird in Zukunft die Frage nach der optimalen Nutzung von Biomasse allgemein (nicht nur biogene Abfälle) weiter an Bedeutung gewinnen. Dabei geht es z.B. auch um die Frage nach der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, deren Anbauflächen zum Teil in Konkurrenz zu Anbauflächen für die Nahrungsmittelproduktion stehen. Ebenfalls haben bereits die Papier- und Verpackungsindustrie sowie die Chemische Industrie in verschiedenen europäischen Ländern ihre Bedenken geäußert, dass eine vermehrte energetische Nutzung von Biomasse, d.h. von Holz, natürlichen Fetten oder Pflanzenölen, die ihrige Verwendung konkur-

¹⁰ Sind die rückgewinnbaren Mengen und die Aufwendungen der Rückgewinnung bekannt, kann diesem Aspekt im Rahmen der hier vorgestellten Methode Rechnung getragen werden.

riert. Mit der zunehmenden Nachfrage nach biogenen Rohstoffen muss auch die Frage nach der ‚optimalen‘ Bewirtschaftung des Waldes neu diskutiert werden. Ebenfalls werden laufend neue Verfahren entwickelt, die sich für die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse eignen. Die in der vorliegenden Studie entwickelte Methode ist so konzipiert, dass sie jederzeit mit neuen Kriterien ergänzt werden kann und somit auch auf diese und weitere Fragen Antwort geben kann.

1.4 Berichtsaufbau

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut:

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten von biogenen Abfällen und Hofdünger. Die ausgewählten Biomassefraktionen und Wege, auf welche die Methodik angewandt wird, werden präsentiert. Kapitel 2 enthält ebenfalls einen Überblick über den Energieinhalt der verwerteten Biomasse bzw. des Hofdüngers. Kapitel 2

In Kapitel 3 wird die Methodik beschrieben. Die wichtigsten Bausteine der Methodik sind die Bewertungskriterien, die Nutzenfunktionen und die Gewichtungsfaktoren. Das Kapitel schliesst mit einem zusammenfassenden Überblick über die entwickelte Methodik. Kapitel 3

In Kapitel 4 wird die Methodik auf die ausgewählten Abfallfraktionen und Verfahren angewandt. Die Ergebnisse gesamthaft und pro ausgewählte Abfallfraktion werden präsentiert und diskutiert. Das Kapitel enthält zudem eine umfassende Sensitivitätsanalyse und einen Abschnitt zum Thema ‚Datenlücken und weiterer Analysebedarf‘. Kapitel 4

Der Bericht schliesst mit den Schlussfolgerungen und Empfehlungen im Kapitel 5. Neben einer Gesamtbetrachtung wird Bezug genommen auf die Fragen nach dem zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie nach einer Verbesserung der energiepolitischen Rahmenbedingungen. Kapitel 5

2 Entsorgungs- und Nutzungswege von biogenen Abfällen und Hofdünger

2.1 Energienutzungspotenziale und Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse

In der vorliegenden Studie wird eine Bewertungsmethodik für die Entsorgung von biogenen Abfällen und die Nutzung von Hofdünger entwickelt. Unter biogenen Abfällen verstehen wir die in Haushalten, Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft und Landschaftspflege anfallenden organischen Rest- oder Abfallstoffe einschliesslich Rest- und Altholz. Unter dem Begriff Hofdünger fassen wir Gülle und Mist zusammen.

Definition biogene Abfälle und Hofdünger

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Schätzung der im Jahr 2040 ökologisch nutzbaren Mengen und des energetischen Nutzungspotenzials, gruppiert nach Ursprung und Biomassefraktion (BFE, 2004).

Anfallende Mengen und Energienutzungspotenzial

| Ursprung | Biomassefraktion | Geschätzte Mengen in t TS für 2040* | Energienutzungspotenzial für 2040* |
|--|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| Haushalte, Gewerbe, Dienstleistung und Industrie | Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistung (inkl. Gastronomie, ohne Papier/Karton ¹¹) | 500'000 t TS | 5.6 PJ |
| | Biogene Abfälle aus der Lebensmittelindustrie | 500'000 t TS | 1.5 PJ |
| | Biogene Abfälle aus der Fleischverarbeitungsindustrie | 40'000 t TS | 0.3 PJ |
| | Papier und Werkstoffindustrie, Papierschlämme und fester Abfall | 120'000 t TS | 1.9 PJ |
| | Rohschlamm ARA (öffentlich und Industrie) | 440'000 t TS | 5.9 PJ |
| Landwirtschaft und Landschaftspflege | Gülle, Mist (=Hofdünger) | 2'820'000 t TS | 21.0 PJ |
| | Stroh gesamt | 560'000 t TS | 2 PJ |
| | Reste aus der Landschaftspflege (Uferböschungen, Naturschutzflächen und Verkehrsflächen) | 119'200 t TS | 1.0 PJ |
| Holzwirtschaft | Restholz (ohne Rückstände aus der Forstwirtschaft) | 290'000 t TS | 5.1 PJ |
| | Altholz | 623'000 t TS | 7.7 PJ |
| TOTAL | | 6'012'200 t TS | 50.0 PJ |

* Anfallende Mengen 2040 und Ökologisches Energienutzungspotenzial 2040 (optimistische Schätzung) gemäss BFE 2004, S. 80 (t TS = Tonnen Trockensubstanz, PJ = Petajoule¹²)

Tabelle 7: Kategorisierung verschiedener Abfallfraktionen und deren geschätzte energetische Nutzungspotenziale im Jahr 2040 (Quelle: BFE 2004).

¹¹ Papier und Karton werden nicht mitbetrachtet, da ein Grossteil davon wiederverwertet wird und nicht für alternative Nutzungen zur Verfügung steht (Recyclingquote gemäss BAFU: 70%).

¹² Die Annahmen zur Umrechnung der anfallenden Abfallmengen in t TS und zum Energieinhalt pro t TS und Biomassefraktion können BFE 2004, S.45/46 entnommen werden.

| | |
|----------------------------------|--|
| Nutzungspotenziale | <p>Das geschätzte Energienutzungspotenzial biogener Abfälle und Hofdünger von insgesamt 50 PJ im Jahr 2040 entspricht rund 13'900 GWh. Als Vergleichsgrösse seien hier die fünf schweizerischen Atomkraftwerke erwähnt, die im Jahr 2004 zusammen 25'400 GWh Energie erzeugten. Die Biomassefraktion mit dem grössten Energienutzungspotenzial ist «Hofdünger» (21 PJ). Ebenfalls ein grosses Potential (mit je mind. 5 PJ) weisen biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung sowie Rohschlamm, Altholz und Restholz auf.</p> |
| Einschränkung beim Holzpotenzial | <p>Die beiden in Tabelle 1 aufgeführten Holzkategorien beinhalten nicht das gesamte Nutzungspotenzial. Der Einbezug der Ernterückstände aus der Forstwirtschaft würde das Energienutzungspotenzial des Restholzes von 5.1 PJ auf knapp 15 PJ erhöhen (BFE 2004). Eine vollständige Nutzung dieser Restholzfraktion ist jedoch umstritten, da dem Waldboden durch eine konsequente Entfernung des Holzes Nährstoffe entzogen werden. In der vorliegenden Studie wird deshalb das Potenzial der Ernterückstände aus der Forstwirtschaft nicht einbezogen.</p> |
| Entsorgungs- und Nutzungswege | <p>Die aufgeführten biogenen Abfälle und auch Hofdünger können auf unterschiedliche Art und Weise entsorgt bzw. genutzt werden. Nachfolgende Übersichtstabelle (Tabelle 8) zeigt eine Auswahl von möglichen Entsorgungs- und Nutzungswegen für die in Tabelle 7 aufgeführten Biomassefraktionen auf.</p> <p>Die in dieser Studie entwickelte Methodik (vgl. Kapitel 3) zur Bewertung verschiedener Entsorgungswege von biogenen Abfällen und Nutzungsmöglichkeiten von Hofdünger ist prinzipiell auf alle in Tabelle 8 aufgeführten Kategorien und deren energetische und stoffliche Verfahren anwendbar. Im vorliegenden Bericht wird die Methodik jedoch nicht auf alle, sondern auf ausgewählte Biomassefraktionen und Verfahren angewandt. Die Auswahl der zu untersuchenden Biomassefraktionen und Verfahren wird in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.</p> |

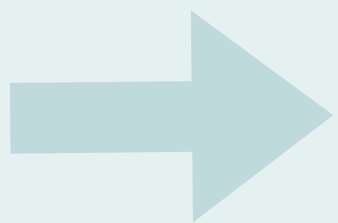
| Edukt | | | | | | | | | | | Entsorgungs- / Nutzungsweg | | Produkt | | | | |
|---|-----------------------------------|---|----------------------------------|--|---------------------|---|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|---|------------|---------|-------|---|-------------------------|--|
| Biogene Abfälle aus Haushalten (HH), Gewerbe, Dienstleistung (DL) und Industrie | | | | | | Stoffe aus Landwirtschaft und Landschaftspflege | | | Holzabfälle | |  | Treibstoff | Wärme | Strom | Stoffliches Produkt (inkl. Kompost/Dünger/Futter) | Zu deponierende Abfälle | |
| HH, Gewerbe und DL (Grünabfälle, org. Anteil im Siedlungsabfall, Gastroabfälle) | Abfälle aus Lebensmittelindustrie | Abfälle aus Fleischverarbeitungsindustrie | Papier/Karton HH, Gewerbe und DL | Papier- und Werkstoffindustrie, Papierschlämme und fester Abfall | Klärschlamm aus ARA | Gülle/Mist (Hofdünger) | Ernterückstände | Abfallbiomasse aus Landschaftspflege | Restholz (unbehandelt) ¹³ | Altholz | | | | | | | |
| x | x | (x) | x | | | x | x | x | x | x | Stoffliche Entsorgung / Nutzung | | | | x | | |
| | | | | | | | | | x | | Holzfeuerung | | x | (x) | | x | |
| x | x | x | x | x | x | | x | x | (x) | x | KVA | | x | x | | x | |
| | x | x | | x | x | | | | (x) | x | Zementofen | | x | | x | x | |
| | x | x | (x) | x | x | | | | | x | Industrie-/ Spezialfeuerungen | | x | x | | x | |
| x | x | x | | (x) | x | x | x | x | | | Methangärung | x | x | x | x | | |
| (x) | (x) | | (x) | (x) | | | (x) | (x) | x | x | Alkoholgärung | x | x | x | x | | |
| | | | | (x) | | | | (x) | x | x | Holzvergasung / Methanisierung | x | (x) | (x) | x | x | |
| (x) | (x) | | | (x) | (x) | x | | (x) | x | (x) | Hydrothermale Vergasung | x | x | x | x | x | |

Tabelle 8: Übersicht über biogene Abfälle und Hofdünger (Edukte), deren Entsorgungs- und Nutzungswege und die daraus entstehenden Produkte. Die x in den Kästchen zeigen die möglichen Entsorgungs- und Nutzungswege an. Ein (x) zeigt an, dass der betreffende Weg grundsätzlich möglich aber eher unüblich ist.

¹³Einteilung gemäss LRV (naturbelassenes Abfallholz und Restholz aus Holzverarbeitung)

2.2 Auswahl der zu untersuchenden Biomassefraktionen und Verfahren

Auswahlkriterium für Biomassefraktionen

Als Auswahlkriterium für diejenigen Biomassefraktionen, auf welche die in der vorliegenden Studie entwickelte Methode angewandt werden soll, verwenden wir deren energetisches Nutzungspotenzial. Tabelle 7 zeigt, dass folgende Biomassefraktionen die höchsten energetischen Nutzungspotenziale aufweisen:

1. Biogene Abfälle aus Haushalten (HH), Gewerbe, Dienstleistung
2. Klärschlamm
3. Hofdünger
4. Restholz
5. Altholz

Biogene Abfälle aus der Lebensmittelindustrie¹⁴, der Fleischverarbeitungsindustrie¹⁵, aus der Papier- und Werkstoffindustrie¹⁶ sowie die Abfallbiomasse aus der Landschaftspflege¹⁷ werden somit in dieser Studie nicht näher betrachtet. Ebenso wird die Veresterung von Altölen aus der Gastronomie zu Treibstoff nicht weiter betrachtet¹⁸.

Auswahlkriterien für Entsorgungs- und Nutzungswege

Von den fünf ausgewählten Biomassefraktionen werden je vier bis sechs unterschiedliche Entsorgungs- und Nutzungswege mit der Multi-kriterienanalyse analysiert und miteinander verglichen.

Die Biomassefraktionen können stofflich (z.B. Kompostierung zur Produktion von Humus, Nutzung als Dünger oder Nutzung von Holzabfällen in der Spanplattenindustrie) oder energetisch (z.B. Verbrennung oder Vergärung zur Produktion von Strom, Wärme und/oder Treibstoffen) entsorgt bzw. genutzt werden. Die Aspekte Metall-, Phosphor-, oder Stickstoff-Rückgewinnung wurden im Rahmen dieser Studie aus Gründen mangelnder Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt. Bei

¹⁴ Das ökologische Nutzungspotenzial dieser Abfallfraktion ist mit 1.5 PJ relativ niedrig (BFE 2004). Als Entsorgungswege kommen zu einem grossen Teil die gleichen Verfahren wie zur Behandlung von biogenen Abfällen aus HH, Gewerbe und DL in Frage, was zumindest einen qualitativen Vergleich zulässt.

¹⁵ Insgesamt fallen in der Schweiz jährlich ca. 220'000t Abfälle aus der Fleischverarbeitungsindustrie an. Gemäss BFE (2004) könnte aus dieser Menge jedoch nur 0.3 PJ nutzbare Energie gewonnen werden. Der vergärbare Anteil dieser Abfallfraktion kann als Co-Substrat in Biogasanlagen verwendet werden.

¹⁶ Das ökologische Nutzungspotenzial dieser Abfallfraktion ist mit 1.9 PJ relativ niedrig; und wird heute schon mehrheitlich genutzt (BFE 2004).

¹⁷ Das Energiepotenzial dieser Abfallfraktion beträgt ca. 4.5 PJ (BFE 2004). Die Entsorgung von Abfällen aus der Landschaftspflege wird nicht detailliert bewertet, sondern qualitativ anhand der Entsorgungswege von organischen Abfällen aus HH, Gewerbe und DL diskutiert.

¹⁸ Die anfallenden Abfallmengen sind gering (gemäss Praktischer Umweltschutz Schweiz fielen 2002 rund 15'000 t Speiseöle zur Entsorgung an).

Vorliegen der entsprechenden Informationen können diese Aspekte problemlos in die hier entwickelte Multikriterienanalyse einfließen.

Zur Zeit kommen eine Vielzahl von unterschiedlichen Entsorgungs- und Nutzungstechnologien zum Einsatz. Zur Auswahl dieser Technologien haben wir folgende Kriterien verwendet:

1. Die heute gängigen Entsorgungs- und Nutzungswege;
2. Neue, vielversprechende Entsorgungs- und Nutzungsverfahren, z.T. noch im Pilotstadium;
3. Die Verfügbarkeit von Daten (Sach- und Ökobilanzdaten und Informationen zur Wirtschaftlichkeit).

Die im Rahmen dieses Projektes analysierten Wege und Technologien werden in der folgenden Tabelle kurz umschrieben.

| Entsorgungs- und /Nutzungstechnologie | Umschreibung |
|---------------------------------------|--|
| Stoffliche Entsorgung bzw. Nutzung | In der vorliegenden Studie wird die stoffliche Entsorgung von biogenen Abfällen aus HH, Gewerbe und DL (Produktion von Kompost), von Alt- und Restholz (Verwendung in der Spanplattenproduktion) und die stoffliche Nutzung von Gülle und Mist (direkte Verwendung als Hofdünger) analysiert. |
| Holzfeuerung | Für die Verbrennung von Holz wird zwischen einer Kleinf Feuerung (50 kW _{th}) und einem Heizkraftwerk zur Produktion von Wärme und Strom (6.4 MW _{th} , 0.4 MW _{el}) unterschieden. Als Brennstoff wird Restholz eingesetzt (Altholz wird unter der Kategorie Industrie-/ Spezialfeuerungen behandelt). |
| KVA | Die Verbrennung in einer Kehr richtverbrennungsanlage (KVA) kommt grundsätzlich für alle biogenen Abfälle in Frage. Als Entsorgungsweg wird die KVA für biogene Abfälle aus HH, Gewerbe und Industrie, Klärschlamm und Altholz untersucht. Wir verwenden in der vorliegenden Studie eine KVA, die dem Schweizer Durchschnitt entspricht (0.281 kWh _e /kg und 0.60 kWh _{th} /kg Abfall, keine Schwermetallrückgewinnung). |
| Zementwerk | Die Verbrennung im Zementofen mit weitgehender Rauchgasreinigung wird für die Abfallkategorie Klärschlamm untersucht. |
| Industrie-/ Spezialfeuerungen | Unter dem Begriff Industrie- und Spezialfeuerungen fassen wir Feuerungen zur Verbrennung von spezifischen Abfällen zusammen. In dieser Studie untersuchen wir eine Schlammmonoverbrennung (9'000 Tonnen TS pro Jahr) und eine Altholz-Heizkraftwerk (6.4 MW _{th} , 0.4 MW _{el}). |
| Methangärung | Unter dem Begriff Methangärung fassen wir alle Gärverfahren zur Produktion von Biogas zusammen. Das Biogas wird entweder zu Treibstoff (Methan) aufbereitet oder direkt in einem lokalen BHKW in Strom und Wärme umgewandelt. Als Substrate werden biogene Abfälle aus HH, Gewerbe und DL, Rohschlamm und Hofdünger untersucht. Hofdünger wird auch in der kombinierten Vergärung mit anderen biogenen Substraten analysiert (Co-Vergärung). |
| Alkoholgärung | Unter dem Begriff der Alkoholgärung fassen wir alle Verfahren zur Produktion von Ethanol zusammen. In der vorliegenden Studie wird die Alkoholgärung aus Zellulose analysiert (Kapazität 275'000 Tonnen Rest- oder Altholz pro Jahr), d.h. eine Vergärung von Rest- und Altholz zur Produktion von Ethanol. |
| Holzvergasung / Methanisierung | Vergasung und Methanisierung von Rest- und Altholz erfolgt in einem mehrstufigen Verfahren (Fließbett, Kapazität ca. 50'000 Tonnen Holzinput pro Jahr), in welchem das Holz im ersten Teil des Reaktors vergast und danach die noch nicht konvertierte |

| Entsorgungs- und /Nutzungstechnologie | Umschreibung |
|---------------------------------------|---|
| | Biomasse im zweiten Teil vollständig verbrannt wird. Das Bettmaterial (Olivin-Gestein) wird im Verbrennungsreaktor erhitzt und fliesst dann in den Vergasungsteil zurück, um dort Vergasungswärme zu liefern. Das Verfahren befindet sich im Pilotstadium. |
| Hydrothermale Vergasung | Die hydrothermale Vergasung hat zum Ziel nasse Biomassesortimente vollständig zu Methan und CO ₂ zu vergasen und die Nährsalze zurück zu gewinnen. Die Technologie befindet sich im Pilotstadium. In der vorliegenden Studie untersuchen wir die beiden Substrate Gülle (Anlagengrösse 5.2 MW Synthesegas) und Restholz (35.6 MW Synthesegas). |

Tabelle 9: Kurzcharakterisierung der untersuchten Entsorgungs- und Nutzungswege für biogene Abfallstoffe und Hofdünger

Die technischen Details zu den verschiedenen Entsorgungs- und Nutzungsverfahren sind im Anhang 2.1 zu finden. Im nachfolgenden Kapitel werden die fünf Biomassefraktionen und die jeweiligen Verfahren detailliert beschrieben.

2.3 Beschreibung der ausgewählten Biomassefraktionen und Verfahren

2.3.1 Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben

Definition und Grundlagen

Bei dieser Abfallfraktion handelt es sich um kompostier- bzw. vergärbare Abfälle in den Siedlungs- und Gastronomieabfällen sowie in den Abfällen aus Gewerbe- und Dienstleistungsbetrieben. Für alle kompostier- bzw. vergärbaren Abfälle kommen prinzipiell die gleichen Entsorgungswege in Frage (Kompostierung, Verbrennung, Vergärung, etc.). Für die organischen Abfälle aus der Gastronomie ist die Verfütterung an Tiere ein zusätzlich möglicher Entsorgungsweg.¹⁹

Die Zusammensetzung der untersuchten Abfälle basiert auf ausführlichen Messungen von Kompost im Kanton Zürich. Der Wassergehalt

¹⁹ Gemäss einer Schätzung von Schleiss und Engeli (2005) fallen jährlich ca. 300'000 Tonnen Speiseabfälle aus Gaststätten und Grossküchen an (wir verwenden dafür insgesamt den Begriff Gastronomie). Neben den oben beschriebenen Entsorgungswegen, werden diese Speiseabfälle zu 70% zu Tierfutter weiterverarbeitet. Die biogenen Abfälle aus der Gastronomie dürfen in der Schweiz trotz Verfütterungsverbot der EU weiterhin an Tiere verfüttert werden. Es gelten sehr strenge Hygienevorschriften, um sicherzustellen, dass keine Seuchengefahr von den Gastronomie-Abfällen ausgeht. In Zukunft könnte die Verfütterung verboten werden, da die Schweiz bezüglich Fleischproduktion aus rechtlicher Sicht die gleichen Anforderungen wie das EU-Recht zu erfüllen hat. Doch auch ohne Verbot wird beobachtet, dass die Konkurrenz um energetisch nutzbare, biogene Abfälle zunimmt, so dass davon auszugehen ist, dass diese Abfälle in Zukunft vermehrt energetisch genutzt werden.

beträgt 60 %, der Kohlenstoffgehalt 16.2 %. Die Sachbilanzdaten des ecoinvent Datenbestandes basieren auf diesen Zürcher Werten (Jungbluth et al. 2007).

Als Entsorgungswege für biogene Abfälle aus HH, Gewerbe und DL untersuchen wir die Entsorgung im Siedlungsabfall (und anschliessende Verbrennung in einer KVA), die Grüngutsammlung für die Kompostierung sowie die Grüngutsammlung mit anschliessender Vergärung. Ein weiterer möglicher Entsorgungsweg, die Verfütterung von Gastronomieabfällen wird nicht untersucht.

Entsorgungswege

Es wird geschätzt, dass etwa 27 % (bezogen auf die Feuchtmasse) des in Kehrriechsäcken entsorgten Siedlungsabfalls aus biogenen, d.h. aus vergär- oder kompostierbaren, Abfällen besteht (BUWAL 2003, S.30). Ein grosser Teil dieses Abfalls könnte über Separatsammlungen der Kompostierung oder Vergärung zugefügt werden²⁰.

Biogener Abfall in Siedlungsabfall

Gemäss Abfallstatistik vom Jahr 2004 werden mittels Grüngutsammlung 746'345 Tonnen biogene Abfälle gesammelt (BAFU 2006, S.49). Davon wurden 664'942 Tonnen kompostiert und 81'403 Tonnen vergärt. Das aus der Vergärung gewonnene Biogas wird entweder in einem BHKW in Strom und Wärme umgewandelt oder zu Treibstoff (Methan) aufbereitet. Der in Kompostieranlagen erzeugte Kompost und das in Vergärungsanlagen erzeugte feste und flüssige Gärgut werden als Dünger verwendet und ersetzen entsprechende Mengen an Mineraldünger und Stroh beziehungsweise Torf.

Biogene Abfälle in der Grüngutsammlung

Die folgende Tabelle fasst die in dieser Studie untersuchten Entsorgungswege zusammen.

| Biogene Abfälle aus HH, Gewerbe, DL: Entsorgungstechnologie / techn. Spezifikationen | Wichtigste Endprodukte |
|---|---------------------------------------|
| Verbrennung in KVA (Schweizer Durchschnitt) | Strom, Wärme, Asche / Filterreste |
| Methangärung in Biogasanlage mit BHKW (Jahreskapazität 10'000 Tonnen) | Strom, Wärme, Gärgut fest und flüssig |
| Methangärung in Biogasanlage mit Gasaufbereitung (Jahreskapazität 10'000 Tonnen) | Biogas, Gärgut fest und flüssig |
| Kompostierung (Jahreskapazität 10'000 Tonnen) | Kompost |

Tabelle 10: Die untersuchten Wege, bzw. Technologien zur Entsorgung von biogenen Abfällen aus HH, Gewerbe, DL.

²⁰ Wegen dem teilweise mangelhaften Reinheitsgrad ist jedoch eine vollumfängliche Kompostierung oder Vergärung nicht möglich.

Spezifikationen:
Möglichkeit der Co-
Vergärung

Die oben beschriebenen biogenen Abfälle können prinzipiell auch in landwirtschaftlichen Biogasanlagen und teilweise auch in Klärschlamm-Biogasanlagen vergärt werden (Co-Vergärung²¹). Die Co-Vergärung mit Hofdünger wird untersucht (vgl. Kapitel 2.3.3), diejenige mit Klärschlamm jedoch infolge mangelnder Informationslage bezüglich der Stoff- und Energieflüsse nicht.

2.3.2 Klärschlamm

Definition und
Grundlagen

In der Kategorie Klärschlamm wird zwischen Roh- und Faulschlamm unterschieden. Rohschlamm (oder Frischschlamm) fällt bei der Klärung von Abwässern an und wird meist – in einem ersten Schritt - in einem Faulungsprozess energetisch genutzt. Als Faulschlamm wird der nach der energetischen Entsorgung bzw. Faulung übrig bleibende Rest des Rohschlammes bezeichnet. Wir gehen von einer durchschnittlichen schweizerischen Klärschlammqualität aus, d.h. der Wassergehalt der beiden Schlammarten beträgt vor Entwässerung 95 %. Der Energieinhalt liegt bei rund 10.8 MJ pro kg TS. Bei einer Faulung des Klärschlammes werden 45 % der organischen Trockensubstanz vergärt. Das Rückgewinnen von Nährstoffen wie Phosphor und Stickstoff konnte im Rahmen dieser Studie mangels Daten nicht berücksichtigt werden.

Entsorgungswege

Beim Klärschlamm kommt seit dem Verbot der Ausbringung als landwirtschaftlicher Dünger nur noch eine Entsorgung über Verbrennungswege in Frage. In der vorliegenden Studie untersuchen wir drei Verbrennungsoptionen: Zementwerk, Kehrlichtverbrennungsanlage und Monoverbrennung. Mit Ausnahme der Entsorgung im Zementwerk gehen wir von einer Faulung des Rohschlammes aus, bevor der gefaute Schlamm dann in einer Kehrlichtverbrennungsanlage oder einer Monoverbrennung entsorgt wird²². Das bei der Faulung gewonnene Klärgas wird entweder zur Erzeugung von Strom und Wärme oder aufbereitet und als Treibstoff genutzt. Daraus ergeben sich die fünf in Tabelle 11 aufgeführten Entsorgungswege. Das Energiepotenzial auf Stufe Rohschlamm beträgt laut BFE (2004) 5.9 PJ.

²¹ Als Co-Substrate werden nährstoffarme fett- und stärkehaltige Substanzen (landwirtschaftliche Biomasse, Grünut, biogene Abfälle aus HH, Gewerbe und Industrie, Energie- und Fettreiche Schlämme aus der Lebensmittel- und Fleischindustrie etc.) eingesetzt.

²² Der in Zementwerken eingesetzte Klärschlamm wird üblicherweise ebenfalls zunächst ausgefault. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit wurde in dieser Studie jedoch die Verwertung von Rohschlamm in Zementwerken bilanziert und beurteilt.

| Klärschlamm: Entsorgungstechnologie / techn. Spezifikationen | Wichtigste Endprodukte |
|--|--|
| Entwässerter und getrockneter Rohschlamm in Zementwerk (inkl. Rauchgasreinigung) ¹⁾ | Wärme für Zementherstellung, Filterreste |
| Methangärung Rohschlamm mit BHKW, Verbrennung des entwässerten Faulschlammes in KVA | Strom, Wärme, Asche/ Filterreste |
| Methangärung Rohschlamm mit Gasaufbereitung, Verbrennung des entwässerten Faulschlammes in KVA | Biogas, Asche/ Filterreste |
| Methangärung Rohschlamm mit BHKW, Verbrennung des entwässerten Faulschlammes in Monoverbrennung | Strom, Wärme, Asche/ Filterreste |
| Methangärung Rohschlamm mit Gasaufbereitung, Verbrennung des entwässerten Faulschlammes in Monoverbrennung | Biogas, Asche/ Filterreste |

Tabelle 11: Die untersuchten Wege bzw. Technologien zur Entsorgung von Rohschlamm.

¹⁾: entspricht nicht der heute üblichen Praxis, den Klärschlamm vor dem Einsatz im Zementwerk auszufaulen.

Die Verbrennung von Klärschlamm in einem Zementwerk wurde unter Berücksichtigung eines Werkes mit weitergehender Rauchgasreinigung bilanziert. Der im Zementwerk eingesetzte Klärschlamm wird vor dem Entwässern und Trocknen nicht gefault. Dies entspricht nicht der gängigen Praxis und musste hier aus Gründen der Datenverfügbarkeit so angenommen werden.

Spezifikationen

Die Methangärung in Kläranlagen führt, teilweise über Reinigungsschritte, zu den drei Produkten Treibstoff, Strom und Wärme. Die Entsorgung von Faulschlamm in Kehrichtverbrennungsanlagen berücksichtigt die durchschnittliche Betriebsweise von Kehrichtverbrennungsanlagen in der Schweiz. Die Monoverbrennung wird basierend auf Erfahrungswerten in Deutschland modelliert.

Eine gute Entwässerung des Klärschlammes ist für eine effiziente Verwertung von zentraler Bedeutung. Für den Einsatz im Zementwerk wird der Klärschlamm mechanisch entwässert und anschliessend unter Einsatz externer Energieträger auf 92% Trockensubstanz getrocknet. Eine Verbrennung in der Kehrichtverbrennungsanlage benötigt eine mechanische Entwässerung auf 30 % Trockensubstanz. Für die Monoverbrennung wird der Klärschlamm mechanisch auf 30 % Trockensubstanz entwässert und anschliessend auf 45 % Trockensubstanz getrocknet. 10 % der zur Trocknung benötigten Energie stammt aus Abwärme.

Entwässerung und Trocknung des Klärschlammes

Prinzipiell können in Kläranlagen auch andere Substrate mitvergärt werden (Methangärung mit Co-Substraten: Co-Vergärung), was zu einer Steigerung der Energieausbeute führen kann. Die Co-Vergärung von biogenen Abfällen in Kläranlagen wird jedoch mangels zuverlässiger Ökobilanzinformationen im Rahmen dieses Projektes nicht beurteilt.

2.3.3 Hofdünger

Definition und Grundlagen

Die energetische Nutzung von Hofdünger (Gülle und Mist) erlebt zurzeit grosse Zuwachsraten. So ist die Zahl von landwirtschaftlichen Biogasanlagen allein im Jahr 2006 um 11.1% gestiegen (BFE 2007a). Diese Kategorie weist zudem das höchste Energiepotenzial aller Abfallfraktionen auf (vgl. Tabelle 7). Eine Co-Vergärung mit anderen Substraten (wie z.B. Ernterückständen und geeigneten Abfällen aus der Gastronomie) spielt eine wichtige Rolle zur Steigerung des Ertrages²³.

Die physikalischen Eigenschaften von Hofdünger, d.h. Gülle und Mist (Rindergülle bzw. Schweinegülle) sowie von Hofdünger und Co-Substraten (Fette und Öle, Abfälle aus Gaststätten, biogene Abfälle, Getreide), entsprechen schweizerischen Mittelwerten, wie sie in den Ökobilanzen der Vergärungsverfahren verwendet werden (Jungbluth et al. 2007; S. 204).

Nutzungswege

In der vorliegenden Studie werden vier Nutzungswege miteinander verglichen: Die direkte Austragung des Hofdüngers auf das Feld, die alleinige Vergärung des Hofdüngers, die Vergärung des Hofdüngers mit Co-Substraten und der erst in Versuchsanlagen laufende Prozess der Hydrothermalen Vergasung. Da die dezentrale Erzeugung von Treibstoffen aufgrund des aufwändigen Reinigungsschrittes und meist fehlender Infrastruktur (Anschluss an ein Gasnetz) heute von stark untergeordneter Bedeutung ist, wird die Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf die Erzeugung von Strom und Wärme bezogen. Es wird berücksichtigt, dass durch den Einsatz von Hofdünger (frisch oder vergärt) Mineraldünger und kohlenstoffhaltige Substrate (Stroh, Torf) eingespart werden können.

| Hofdünger: Nutzungstechnologie / techn. Spezifikationen | Wichtigste Endprodukte |
|--|-------------------------------------|
| Austragung aufs Feld (Hofdünger) | Dünger |
| Methangärung in Biogasanlage (Hofdünger) mit BHKW | Strom, Wärme, Dünngülle |
| Methangärung in Biogasanlage (Co-Vergärung von Hofdünger mit Co-Substraten) mit BHKW | Strom, Wärme, Dünngülle |
| Hydrothermale Vergasung (5.2 MW Synthesegas) | Synthetisches Erdgas, Strom, Dünger |

Tabelle 12: Die untersuchten Wege bzw. Technologien zur Nutzung von Hofdünger.

²³ Als Co-Substrate werden eingesetzt: nährstoffarme, fett- und stärkehaltige Substanzen (landwirtschaftliche Biomasse, Grüngut, biogene Abfälle aus HH, Gewerbe und Industrie, Energie- und Fettreiche Schlämme aus der Lebensmittel- und Fleischindustrie etc.).

Bei den Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme aus landwirtschaftlichem Biogas handelt es sich um dezentrale Einheiten mit einem Fermentationsbehälter von ca. 500 m³ Fassungsvermögen und BHKW Anlagen in der Grössenordnung von 50 bis 70 kW_{el}. Die katalytische, hydrothermale Vergasung ist erst im Versuchs- beziehungsweise Modellierungszustand. Grossanlagen im MW-Bereich zur Nutzung von Gülle wurden basierend auf Modellannahmen untersucht (Luterbacher 2007)²⁴.

Spezifikationen

2.3.4 Restholz

In dieser Kategorie werden Holzreste betrachtet, die noch unbehandelt sind (gemäss Luftreinhalteverordnung LRV naturbelassenes Holz und Restholz). Dies betrifft vor allem das anfallende Restholz aus der ersten (Sägereien) und teilweise auch der zweiten (z.B. Zimmereien, Schreinereien) Holzverarbeitungsstufe. Die chemische Zusammensetzung von Restholz entspricht derjenigen von unbehandeltem Holz aus holzverarbeitenden Betrieben wie sie in denecoinvent Datensätzen verwendet wird (Werner et al. 2007).

Definition und Grundlagen

Wie schon in Kapitel 2.1 erwähnt, könnte in dieser Kategorie auch das Restholz aus dem Wald bzw. die Ernterückstände aus der Forstwirtschaft behandelt werden, was das Nutzungspotenzial des Restholzes von 5.1 PJ auf knapp 15 PJ erhöhen würde (BFE 2004). In diesem Fall müssten die Entsorgungswege um die Belastung im Wald ergänzt werden. In der vorliegenden Studie konzentrieren wir uns bei der Methoden-anwendung auf das Restholz aus der Holzverarbeitungsindustrie.

Restholz eignet sich zur Energiegewinnung, kann aber auch für die Spanplattenproduktion genutzt werden. In der vorliegenden Studie werden die Spanplattenproduktion, die Verbrennung in einer Kleinfeuerung sowie in einem Heizkraftwerk, die Alkoholgärung, die Vergasung/Methanisierung sowie die Hydrothermale Vergasung untersucht.

Entsorgungswege

²⁴ Die Ökobilanz in der Studie basiert auf spezifischen Modellierungsannahmen. Die benötigten Rohdaten zur Durchführung einer konsistenten Ökobilanz lagen als Entwurf einer wissenschaftlichen Publikation vor.

| Restholz: Entsorgungstechnologie / techn. Spezifikationen | Wichtigste Endprodukte |
|--|--|
| Stoffliche Entsorgung zu Spanplatten | Spanplatten |
| Holzfeuerung (Wärmegewinnung in Kleinfeuerung, 50 kW _{th}) | Wärme, Asche/Filterreste |
| Holzheizkraftwerk (0.4 MW _e , 6.4 MW _{th}) | Strom, Wärme, Asche/Filterreste |
| Alkoholgärung (Holz zu Ethanol; 275'000 t Holz, 42'000 t Ethanol) | Ethanol (95/99.7 %) als Treibstoff, Strom, Asche |
| Holzvergasung/Methanisierung (28 MW Synthesegas) | Synthetisches Erdgas als Treibstoff, Asche |
| Hydrothermale Vergasung (35.6 MW Synthesegas) | Synthetisches Erdgas als Treibstoff, Strom |

Tabelle 13: Die untersuchten Wege bzw. Technologien zur Entsorgung von Restholz.

Spezifikationen Die stoffliche Entsorgung zu Spanplatten wird auf der Basis der bisherigen Ökobilanzdaten modelliert. Grundlage bilden die Energie- und Stoffflüsse einer deutschen Anlage. Die Nutzung in Kleinfeuerungen wird durch eine 50 kW_{th} Anlage repräsentiert. Die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung erfolgt in einem Heizkraftwerk mit weitergehender Rauchgasreinigung, einer elektrischen Leistung von 400 kW_{el} und einer thermischen Leistung von 6400 kW_{th}.

Die hier betrachtete Vergärungsanlage von Zellulose weist eine Kapazität von 275'000 Jahrestonnen Holzinput auf. Daraus können 42'000 Tonnen Ethanol (95 %) und 1'800 MWh Strom gewonnen werden.

Die Vergasung/Methanisierung erfolgt mittels eines Fließbettverfahrens mit einer Kapazität von 50 MW Holzinput und 28 MW Synthesegas-Output (Felder et al. 2007).

Die hydrothermale Vergasung von Holz führt zu synthetischem Methan, das als Treibstoff in Personenkraftwagen eingesetzt wird. Das Verfahren befinden sich noch im Labor- und Pilotstadium. Die bilanzierte Anlage weist eine Jahreskapazität von 85'000 Tonnen Restholz auf.

2.3.5 Altholz

Definition und Grundlagen In die Kategorie Altholz fallen behandelte Hölzer sowie ein Gemisch von solchen mit Restholz (gemäss LRV nicht als Brennstoff verwertbar). Die chemische Zusammensetzung von Altholz basiert auf Literaturangaben (Doka 2007, Jungbluth et al. 2007). Das Energiepotenzial übersteigt jenes vom Restholz aus der Holzverarbeitungsindustrie (vgl. Kapitel 2.1).

Entsorgungswege Für die Kategorie Altholz werden ähnliche Wege, wie beim Restholz untersucht. Im Unterschied zu den Entsorgungswegen von Restholz wird beim Altholz die Verbrennung in einer Kleinfeuerung (aus Grün-

den der Luftreinhaltung nicht erlaubt) und die Hydrothermale Vergasung nicht untersucht. Zusätzlich wird jedoch der Entsorgungsweg Kehrichtverbrennungsanlage betrachtet.

| Altholz: Entsorgungstechnologie / techn. Spezifikationen | Wichtigste Endprodukte |
|--|--|
| Stoffliche Entsorgung zu Spanplatten | Spanplatten |
| KVA Durchschnitt Schweiz | Strom, Wärme, Asche/Filterreste |
| Heizkraftwerk (0.4 MW _e , 6.4 MW _{th}) | Strom, Wärme, Asche/Filterreste |
| Alkoholgärung (Holz zu Ethanol; 275'000 t Holz, 42'000 t Ethanol) | Ethanol (95/99.7 %) als Treibstoff, Strom, Asche |
| Holzvergasung/Methanisierung (50 MW Holzinput/ 28 MW synthetisches Erdgas) | Synthetisches Erdgas als Treibstoff, Asche |

Tabelle 14: Die untersuchten Wege bzw. Technologien zur Entsorgung von Altholz.

Die Verbrennung im Heizkraftwerk muss spezifischen Anforderungen der Luftreinhaltung genügen und ist deshalb mit einer weitergehenden Rauchgasreinigung ausgerüstet. Für die Verbrennung in einer KVA verwenden wir die Schweizer Durchschnittsdaten. Für die anderen Entsorgungswege gelten die selben Spezifikationen wie beim Restholz (Kap. 2.3.4).

Spezifikationen

2.4 Energieinhalt der Biomassefraktionen und Gesamtnutzungsgrad

2.4.1 Übersicht

In diesem Unterkapitel werden einerseits die Energieinhalte der fünf untersuchten Biomassefraktionen dargestellt. Andererseits werden die Gesamtnutzungsgrade bezüglich Energieinhalt der auf 24 verschiedene Arten verwerteten Biomassefraktionen aufgezeigt. Hierbei handelt es sich um denjenigen Anteil der in der Biomassefraktion enthaltenen Energie, der letztlich in Form von Strom, Wärme beziehungsweise Treibstoff zur Verfügung gestellt wird. Die entlang der Prozesskette von extern zugeführte Energie (in Form von Strom, Diesel oder Erdgas) ist in den hier gezeigten Gesamtnutzungsgraden nicht enthalten.

2.4.2 Energieinhalt der Biomassefraktionen

Der Energieinhalt der untersuchten Biomassefraktionen variiert sehr stark. Dies ist im Wesentlichen auf den deutlich unterschiedlichen Wassergehalt zurückzuführen.

| Biomassefraktion | Unterer Heizwert [MJ/kg] | Anteil Trockensubstanz | Bemerkungen |
|--|--------------------------|------------------------|---|
| Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistung | 5.1 | 40 % | |
| Rohschlamm ARA (öffentlich und Industrie) | 0.54 | 5 % | Heizwert der organischen Substanz im Rohschlamm, bezogen auf die Feuchtsubstanz |
| Hofdünger | 0.98 / 3.9 * | 7.5 % / 20 % | Heizwert des Kohlenstoffs in der organischen Substanz, bezogen auf die Feuchtsubstanz |
| Restholz | 10.6 | 71.4 % | |
| Altholz | 14.0 | 83.3 % | |

* Wert für Hofdünger beziehungsweise für Hofdünger mit Co-Substrat

Tabelle 15: Heizwert (unterer) pro kg Feuchtmasse und Anteil Trockensubstanz der in dieser Studie untersuchten Biomassefraktionen.

2.4.3 Gesamtnutzungsgrade Biomasse

Definition und Grundlagen

Der Gesamtnutzungsgrad der Biomasse setzt die in Form von Wärme, Elektrizität und Treibstoff verfügbare Endenergie in Bezug zu der ursprünglich in der Biomassefraktion enthaltenen Energiemenge. Die Werte der Wärmeproduktion sind bezüglich Lieferung an der Hausübergabestation quantifiziert und berücksichtigen somit die Verluste im Fernwärmenetz. Nicht enthalten ist die extern zugeführte Energie in Form von Strom und fossilen Brenn- und Treibstoffen.

Der Gesamtnutzungsgrad der in diesem Bericht beispielhaft untersuchten Verfahren variiert recht stark (vgl. Tabelle 16). Bei einer stofflichen Entsorgung bzw. Nutzung (Kompost, Hofdünger, Zement, beziehungsweise Spanplatten) macht die Angabe einer Gesamteffizienz keinen Sinn.

Ausgangswerte der verschiedenen Eduktfraktionen

Die Energie in biogenen Abfällen kann von 10 % bis zu knapp einem Drittel ausgenutzt werden. Eine KVA mit einer hohen Energieausnutzung kann mehr als 50 % der im biogenen Abfall enthaltenen Energie verwerten.

Die Entsorgung von Klärschlamm zeigt einen Gesamtnutzungsgrad der in der Biomasse enthaltenen Energie von über 40 bis 98 %. Dieser ist bei der Entsorgung im Zementwerk sehr hoch, da praktisch der gesamte Energieinhalt des Klärschlammes im Zementofen genutzt wird. Allerdings wird relativ viel Fremdenergie benötigt, um den Klärschlamm zu entwässern und zu trocknen. Diese ist in den nachstehend gezeigten Ausgangswerten nicht enthalten. Die deutlichen Unterschiede zwischen Treibstoffbereitstellung und Strom- und Wärmeerzeugung nach

dem Vergären des Klärschlammes rühren daher, dass im Falle der Treibstoffbereitstellung lediglich der thermische Energiebedarf mit Biogas gedeckt, der benötigte Strom jedoch extern zugekauft wird.

Der Gesamtnutzungsgrad der Vergärung von Hofdünger ist vergleichbar mit demjenigen von biogenen Abfällen. Die hydrothermale Vergärung zeigt einen sehr hohen Gesamtnutzungsgrad der im Hofdünger enthaltenen Energie. Da zu diesem Verfahren lediglich Planungsdaten verfügbar waren, ist dieser Wert wie auch die in Kapitel 4 gezeigten Ergebnisse unter diesem Gesichtspunkt zu interpretieren.

Aufgrund des relativ hohen Trockensubstanzanteils ist der Gesamtnutzungsgrad der Entsorgung von Rest- und Altholz mit Ausnahme der durchschnittlichen, schweizerischen Kehrichtverbrennung durchwegs über 50 %.

Die in Tabelle 16 gezeigten Werte zeigen, wieviel der in der Biomasse enthaltenen Energie in Form von Endenergie (Strom, Wärme, Biogas) durch das jeweilige Entsorgungs- bzw. Nutzungsverfahren gewonnen werden kann. Die Werte stellen kein Ergebnis der Beurteilung der Technologien dar. Es handelt sich auch nicht um eine Gesamtenergiebilanz der Entsorgungswege. Diese wird im Rahmen der Dimension Umwelt als Kriterium U2 quantifiziert (kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar).

| Nr. | Entsorgungs- / Nutzungsverfahren | Strom [GJ/t] | Wärme [GJ/t] | Treibstoff [GJ/t] | Endenergie [GJ/t] | Nutzungsgrad [%] |
|--|--|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Biogene Abfälle aus HH, Gewerbe, DL | | | | | | |
| 1 | KVA (Durchschnitt Schweiz) | 0.146 | 0.373 | - | 0.519 | 10.2% |
| 1+ | KVA (hoher Energieertrag) | 0.172 | 2.755 | - | 2.927 | 57.4% |
| 2 | Methangärung, BHKW | 0.769 | 0.583 | - | 1.352 | 26.5% |
| 3 | Methangärung, Gasaufbereitung | - | - | 1.657 | 1.657 | 32.5% |
| 4 | Kompostierung | - | - | - | - | n.a. |
| Klärschlamm | | | | | | |
| 5 | Zementwerk | - | 0.543 | - | 0.543 | 98.3% |
| 6 | Methangärung, BHKW, KVA | 0.114 | 0.121 | - | 0.235 | 43.2% |
| 7 | Methangärung, Gasaufbereitung, KVA | - | - | 0.330 | 0.330 | 60.7% |
| 8 | Methangärung, BHKW, Monoverbrennung | 0.114 | 0.121 | - | 0.235 | 43.2% |
| 9 | Methangärung, Gasaufbereitung, Monoverbrennung | - | - | 0.330 | 0.330 | 60.7% |
| Hofdünger | | | | | | |
| 10 | Austragung auf Feld | - | - | - | - | n.a. |
| 11 | Methangärung, BHKW | 0.176 | 0.132 | - | 0.308 | 31.4% |
| 12 | Co-Vergärung, BHKW | 0.587 | 0.589 | - | 1.177 | 29.7% |
| 13 | Hydrothermale Vergasung | - | - | 0.733 | 0.733 | 74.8% |
| Restholz | | | | | | |
| 14 | Herstellung von Spanplatten | - | - | - | - | n.a. |
| 15 | Holzfeuerung | - | 8.485 | - | 8.485 | 80.0% |
| 16 | Holzheizkraftwerk | 0.878 | 6.508 | - | 7.386 | 69.7% |
| 17 | Alkoholgärung, Ethanol | - | - | 7.526 | 7.526 | 71.0% |
| 18 | Vergasung/Methanisierung | - | - | 5.800 | 5.800 | 54.7% |
| 19 | Hydrothermale Vergasung | - | - | 7.354 | 7.354 | 69.4% |
| Altholz | | | | | | |
| 20 | Herstellung von Spanplatten | - | - | - | - | n.a. |
| 21 | KVA (Durchschnitt Schweiz) | 1.300 | 2.192 | - | 3.492 | 25.0% |
| 21+ | KVA (hoher Energieertrag) | 0.471 | 7.551 | - | 8.022 | 57.3% |
| 22 | Holzheizkraftwerk | 0.832 | 8.089 | - | 8.921 | 63.8% |
| 23 | Alkoholgärung, Ethanol | - | - | 8.781 | 8.781 | 62.8% |
| 24 | Vergasung/Methanisierung | - | - | 7.656 | 7.656 | 54.7% |

Tabelle 16: Erzeugte Endenergie pro Tonne Edukt und daraus ermittelte Gesamtnutzungsgrade der untersuchten Verfahren. n.a.: nicht anwendbar.

3 Grundlagen und Entwicklung der Methodik

3.1 Die Multikriterienanalyse

3.1.1 Grundprinzip

Bei der Bewertung von Technologien und Verfahren zur optimalen Entsorgung biogener Abfälle und Nutzung von Hofdünger sind im vorliegenden Projekt zwei Aspekte besonders zu beachten: (1) Es sollen ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Kriterien in die Bewertung einfließen, d.h. alle Aspekte der Nachhaltigkeit sollen umfassend und möglichst gleichwertig berücksichtigt werden. (2) Im Weiteren sollen pro Biomassekategorie sehr unterschiedliche Technologien und Verfahren bewertet werden, die nicht direkt miteinander vergleichbar sind: zum Beispiel das Austragen von Gülle und die Vergärung von Gülle. Für diese Art von Bewertungen ist eine Multikriterienanalyse eine geeignete Methodik (siehe z.B. Scholz (2002) oder Hirschberg (2004)), weshalb sie im vorliegenden Projekt eingesetzt wird.

Kriterien für die Methodenwahl

Die Multikriterienanalyse setzt sich aus drei Teilschritten zusammen:

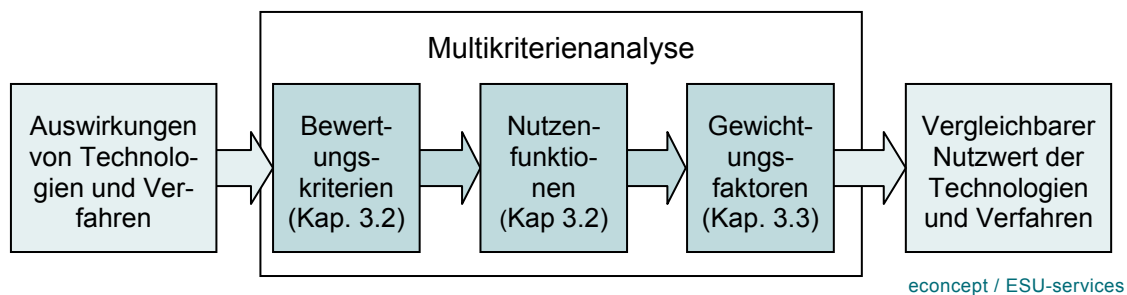
Teilschritte der Multikriterienanalyse

- 1 **Bewertungskriterien:** Ein Set von Kriterien wird definiert, nach welchem die Entsorgungs- und Nutzungsverfahren bewertet werden. Jedes Kriterium wird durch einen oder mehrere Indikatoren bestimmt.
- 2 **Nutzenfunktionen:** Anhand von Nutzenfunktionen wird die Bewertung pro Kriterium in einen Nutzwert überführt. Der Nutzwert liegt innerhalb eines definierten Bereichs (in der vorliegenden Studie zwischen 0 (kleinster Nutzen) und 1 (grösster Nutzen)). Dadurch werden die verschiedenen Bewertungen untereinander vergleichbar.
- 3 **Gewichtungsfaktoren:** Jedes Kriterium erhält ein bestimmtes Gewicht. Die gewichteten Nutzwerte können gesamthaft oder für ausgewählte Bereiche summiert werden.

Die Summe der gewichteten Nutzwerte erlaubt schliesslich einen Vergleich unterschiedlicher Verfahren nach ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten.

Das Verfahren der Multikriterienanalyse kann grafisch wie folgt dargestellt werden:

Schritte einer Multikriterienanalyse



Figur 4: Bewertung von Technologien und Verfahren mittels einer Multikriterienanalyse.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes, fließen die Daten der zu untersuchenden Verfahren und Technologien in die Multikriterienanalyse ein und werden nach den definierten Kriterien bewertet, in vergleichbare Nutzenwerte umgerechnet, gewichtet, summiert und zusammenfassend dargestellt. Dadurch entstehen vergleichbare Werte pro Verfahren und Technologie, die eine umfassende, numerische Bewertung erlauben.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Schritte detailliert erläutert und die Bewertungskriterien, Nutzenfunktionen und Gewichtungsfaktoren für die vorliegende Studie hergeleitet.

Das Entwickeln einer transparenten Beurteilungsmethodik ist eines der Hauptziele dieser Studie. Der Schwerpunkt wird dabei besonders auf die Bewertungskriterien und Nutzenfunktionen gelegt. Betreffend Gewichtungsfaktoren ist zu erwarten, dass diese aufgrund der Entwicklung der Rahmenbedingungen und Preise, der politischen Zielgrößen und persönlichen ExpertInnen-Einschätzungen einem größeren Wandel unterliegen als die Bewertungskriterien und Nutzenfunktionen. Ihre Gültigkeit ist daher mittel- bis längerfristig als beschränkt zu betrachten.

3.1.2 Bewertungsebene

Auswahl der Bewertungsebene

Die Bewertung der verschiedenen Verfahren und Technologien kann entweder bezogen auf die Edukte (biogene Abfälle und Hofdünger) erfolgen oder bezogen auf die aus der Entsorgung und Nutzung gewonnenen Produkte (Kompost, Biogas, Strom, Fernwärme, Treibstoff etc.). Im vorliegenden Projekt geht es darum, zu bewerten, welche Entsorgungs- und Nutzungsart einer bestimmten Biomassefraktion, z.B. Grüngut aus Haushalten, am sinnvollsten ist. D.h. konkret: Soll Grüngut kompostiert, zusammen mit dem übrigen Kehrriecht in einer KVA entsorgt oder in einer Biogas-Anlage vergärt werden?

Ein Vergleich bezogen auf die in den Entsorgungs- und Nutzungsanlagen erzeugten Produkte ist weniger sinnvoll. Aus Altholz beispielsweise kann synthetisches Erdgas und damit Treibstoff hergestellt werden. Altholz kann aber auch als Rohstoff in der Spanplatten-Herstellung oder in einem Heizkraftwerk zur Gewinnung von Wärme und Strom genutzt werden. Es entstehen also eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Produkte aus ein und demselben Edukt. Der Nutzen von 1 kWh synthetischem Erdgas lässt sich nur schwer mit demjenigen von 1 kWh Strom oder 1 kWh Wärme vergleichen und noch schwieriger mit demjenigen einer Spanplatte (alles mögliche Produkte aus Altholz). Zudem ist es nicht das Ziel dieser Studie, die verschiedenen Produkte gegeneinander auszuspielen. Viel eher geht es darum, die aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht bestmögliche Lösung für die Entsorgung bzw. Nutzung der Edukte zu finden.

In der vorliegenden Studie wird deshalb die Bewertung bezogen auf das Edukt durchgeführt - in Kombination mit dem jeweiligen Verfahren. Die Bezugsgrösse der Bewertung ist 1 Tonne Biomasse (Feuchtsubstanz).

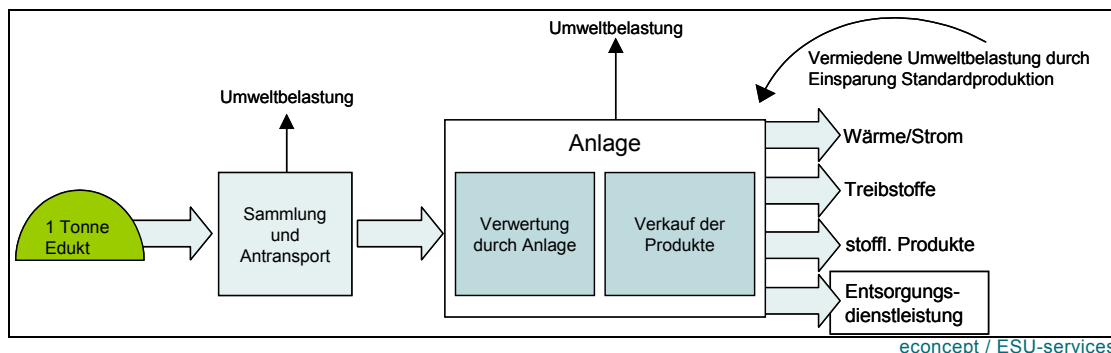
Bewertung pro
Tonne Edukt

Die unterschiedlichen Werte der erzeugten Produkte werden durch die Gutschriften-Betrachtung berücksichtigt (siehe Figur 5): Die verschiedenen Verfahren produzieren unterschiedliche Produkte, die vermarktet werden können. Diese Produkte (z.B. Wärme aus Altholz) stehen in ökonomischem, ökologischem und z.T. auch gesellschaftlichem Wettbewerb mit Konkurrenzprodukten herkömmlicher Produktion (z.B. Wärme aus einem Erdgas-Kondensationskessel). Für alle erzeugten Produkte werden deshalb ökologische und zum Teil ökonomische und gesellschaftliche Gutschriften erteilt, sofern sie nicht bereits im verwendeten Indikator enthalten sind. Diese Gutschriften werden auf der Basis von Ökobilanzdaten und ökonomischen Daten von identischen Produkten aus «konventioneller» Produktion (so genannte Standardprozesse) ermittelt. Die bei der Herstellung dieser konventionellen Produkte verursachte Umweltbelastung wird den hier analysierten Verfahren gut geschrieben²⁵. Da es sich bei der vorliegenden Studie um eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung handelt, interessiert der Gesamtumfang der Umweltentlastung und nicht deren Aufteilung zwischen dem Betreiber der Anlage und den AbnehmerInnen der erzeugten Produkte.

Einbezug der
Produkte in die
Bewertung mittels
Gutschriften

²⁵ Die Umweltbelastung der mit den untersuchten Verfahren erzeugten Produkte (Strom, Wärme, Treibstoff und stoffliche Produkte) ist somit identisch mit der Umweltbelastung der in Tabelle 17 und Tabelle 18 aufgelisteten Standardprodukte.

Entsorgung bzw. Nutzung einer Tonne einer der untersuchten Biomassefraktionen



Figur 5: Edukt, Produkte, erzeugte und vermiedene Umweltbelastung bei der Entsorgung bzw. Nutzung einer Tonne Edukt.

Standardprozesse für Gutschriften

Als Standardprozesse werden Konkurrenztechnologien auf Basis nicht erneuerbarer Energien ausgewählt, die heute alternativ zu den Entsorgungs- und Nutzungsverfahren zum Einsatz kommen würden und als relativ umweltfreundlich gelten (siehe Tabelle 17). Beim Strom ist dies ein Erdgas befeuertes, modernes GuD Kraftwerk, bei der Wärme ein kondensierender, modulierender Erdgas-Heizkessel (Einzelheizung). Bei der Treibstoffnutzung wird ein Erdgas-Pkw zu Grund gelegt und beim Kompost und Gärrückstand die mit Mineraldünger ausgebrachte Nährstoffmenge. Bei der Spanplattenherstellung muss aus Gründen der Datenverfügbarkeit die Sachbilanz einer durchschnittlichen Fabrik herangezogen werden.

| Produkt | Umschreibung Standardprozess für das Ermitteln der Umwelt-Gutschriften |
|-------------|---|
| Spanplatten | 1 m ³ Spanplatte, Innenanwendung durchschnittliches Werk in Deutschland, Stand Mitte der neunziger Jahre |
| Strom | 1 kWh Strom aus einem modernen Gas- und Dampfkraftwerk, Brennstoff Erdgas |
| Wärme | 1 MJ Wärme aus einer kondensierenden und modulierenden Erdgasfeuerung |
| Treibstoff | 1 Fahrzeugkilometer mit einem Erdgas-Pkw zurückgelegt |
| Kompost | 1 kg Nährsubstanz mit Mineraldünger ausgebracht |

Tabelle 17: Umschreibung der Standardprozesse als Ausgangslage zur Bestimmung der Gutschriften.

Alternative Prozesse für Sensitivitätsanalyse

In einer Sensitivitätsanalyse werden alternativ zu den oben genannten Standardprozessen zur Erzeugung von Strom, Wärme und Treibstoffen die in Tabelle 18 aufgeführten eingesetzt. Hierbei handelt es sich ebenfalls um Konkurrenztechnologien auf Basis nicht erneuerbarer Energien. Atomkraftwerke sind neben den GuD Kraftwerken die meist disku-

tierte Option im Bereich der Grosskraftwerke. Eine individuelle Heizölföuerung stellt nach wie vor eine gängige Option zur Wärmebereitstellung dar, während bei den Treibstoffen alternativ ein Dieselfahrzeug mit EURO 3 Standard zugrunde gelegt wird.

| Produkt | Umschreibung Standardprozess für das Ermitteln der Umwelt-Gutschriften |
|------------|--|
| Strom | 1 kWh Strom aus einem Kernkraftwerk |
| Wärme | 1 MJ Wärme aus einer Heizölföuerung |
| Treibstoff | 1 Fahrzeugkilometer mit einem Euro 3 Diesel Pkw zurückgelegt |

Tabelle 18: Umschreibung der Alternativen zu den Standardprozessen als Ausgangslage zur Bestimmung der Gutschriften in der Sensitivitätsanalyse.

3.2 Bewertungskriterien und Nutzenfunktionen

3.2.1 Bewertungskriterien

Die Kriterien der entwickelten Multikriterienanalyse umfassen ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Aspekte aus Sicht der aktuellen Energie- und Umweltpolitik. Das Kriterienset wurde in einem mehrstufigen, iterativen Prozess auf der Basis bestehender Literatur sowie Diskussionen mit der Begleitgruppe und weiterer ExpertInnen aus den Fachgebieten Energiewirtschaft, Umwelt, Ökonomie, Gesellschaft und Politik entwickelt. Es wurde hierarchisch in zwei Ebenen strukturiert.

Kriterien in den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft

In der ersten Ebene werden die drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft unterschieden. Die Abgrenzungen zwischen den Bereichen sind nicht immer ganz scharf, sondern zum Teil fließend oder sogar überlappend (vgl. dazu z.B. Ludwig et al. 2003, Figur 8.2, S. 466; Cramer 2006). Dies verdeutlicht, dass auch alternative Bereiche auf der ersten Ebene ausgeschieden werden könnten (vgl. z.B. Cramer 2006, BUWAL 1998), was aber eine Verschiebung der Bewertungsschwerpunkte bedingen würde. Die erste Ebene bezieht sich in der hier entwickelten Methode auf die drei klassischen Bereiche der Nachhaltigkeit: Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft.

Erste Bewertungsebene

Die zweite Ebene umfasst die konkreten Bewertungskriterien. Figur 7 auf Seite 43 sowie Tabelle 37 auf Seite 50 geben eine Übersicht über die gesamte Liste der Bewertungskriterien. Tabelle 19, Tabelle 21 und Tabelle 27 geben einen Überblick über die Bewertungskriterien und den sie bestimmenden Indikatoren der Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft, welche in dieser Studie zu Anwendung kommen. Sie werden in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

Zweite und dritte Bewertungsebene

3.2.2 Nutzenfunktionen

Kenngrößen werden zu dimensionslosen Nutzwerten umgewandelt

Die Multikriterienanalyse bedingt, dass für jedes Beurteilungskriterium eine Nutzenfunktion zu definieren ist. Damit lassen sich die quantitativen und teilweise qualitativ vorliegenden Kenngrößen auf eine dimensionslose Grösse, den Nutzen, umrechnen. Dieser liegt in der vorliegenden Studie auf einer Skala zwischen '0' (=kleinster Nutzen, negativste Bewertung) und '1' (=grösster Nutzen, positivste Bewertung). Die so errechneten Nutzenfunktionen erlauben eine vergleichende Bewertung der untersuchten Verfahren.

Zwei Arten von Nutzenfunktionen

In den folgenden drei Kapiteln wird für jedes Kriterium die Nutzenfunktion beschrieben. Dabei werden zwei Arten von Nutzenfunktionen unterschieden:

Für die Umwelt-Kriterium und zwei der ökonomischen Kriterien wird die Nutzenfunktion anhand des Maximal- und des Minimalwerts der untersuchten Verfahren bestimmt. Dem aus Sicht des jeweiligen Kriteriums 'besten' Wert wird der grösste Nutzen, d.h. der Wert 1 zugeschrieben. Der kleinste Nutzen wird dem Wert 0 gleichgesetzt. Alle Ausprägungen der jeweiligen Kriterien die zwischen Minimal- und Maximalwert liegen werden linear in einen Nutzwert zwischen 0 und 1 umgerechnet.

Die Nutzwerte der weiteren ökonomischen und aller gesellschaftlichen Kriterien werden anhand einer ordinalen Skala bestimmt. Für jedes Kriterium bzw. jeden Indikator werden drei bis fünf Ausprägungen beschrieben, denen ein bestimmter Nutzwert zugeordnet wird.

3.2.3 Bereich Umwelt

Kriterien im Bereich Umwelt: Zwei alternative Ansätze

Die Bewertungskriterien im Bereich Umwelt beruhen einerseits auf einer Auswahl von einzelnen Umweltthemen wie Klimaerwärmung oder Sommersmog. Andererseits wird die Bewertung auf der Basis einer voll aggregierenden Ökobilanz-Bewertungsmethode vorgenommen. Die zu diesem Zweck verwendete Methode der ökologischen Knappheit 2006 basiert auf den Zielen der schweizerischen Umweltpolitik. Die beiden Ansätze sind als alternative Konzepte zu verstehen: entweder werden die zehn Umweltkriterien U1 bis U10 beigezogen oder das Umweltkriterium U11 (siehe Tabelle 19).

Begründung der Auswahl der Bewertungskriterien Umwelt

Die verwendeten Umweltkriterien repräsentieren die Bandbreite relevanter Umweltauswirkungen der zu beurteilenden Entsorgungs- und Nutzungsoptionen von biogenen Abfällen und Hofdünger. Die damit erzeugten Produkte (Strom, Wärme, Treibstoff, Bauprodukte und Produktionsmittel für die Landwirtschaft) unterscheiden sich von alternati-

ven Produktionsweisen in den im folgenden beschriebenen Umweltwirkungen.

Die Kriterien richten sich nach den Auswirkungen auf die Umwelt und nicht nach Kompartimenten. In die Luft emittierte Schadstoffe können einerseits vor allem die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. So können Kohlenwasserstoff Emissionen zu erhöhten Ozonkonzentrationen führen (Sommersmog). Andererseits können NO_x und NH₃ Emissionen durch ihre versauernde und überdüngende Wirkung unsere Ökosysteme beeinträchtigen. Deshalb erachten wir eine Gliederung nach den Kompartimenten Luft, Wasser, Boden als nicht zielführend. Das Einführen einer weiteren Gliederungsebene (beispielsweise das Zusammenfassen der beiden Kriterien U9 und U10 zu einem Kriterium "Abfälle") behindert ein flexibles und individuelles Gewichten der einzelnen Kriterien. Deshalb wird innerhalb der Umweltkriterien auf das Einführen einer weiteren Unterebene verzichtet.

Flache Hierarchie und Gliederung nach Umweltthemen

| BEWERTUNGSKRITERIEN BEREICH UMWELT | | | | |
|------------------------------------|---|--|-------------------------------|--------------------------|
| Nr. | Kriterium | Indikator | Einheit | Datenquelle |
| U1 | Klimaänderung | Treibhauspotenzial | kg CO ₂ eq/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | MJeq/t Edukt | Frischknecht et al. 2007 |
| U3 | Versauerung | Versauerungspotenzial | kg SO ₂ eq/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | kg PO ₄ eq/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | kg Ethylen-eq/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | m ² a/t Edukt | Guinée et al. 2001 |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | m ³ /t Edukt | |
| U10 | Hoch radioaktive Abfälle | Volumen | m ³ /t Edukt | |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | UBP 06/t Edukt | Frischknecht et al. 2008 |

Tabelle 19: Bewertungskriterien im Bereich Umwelt.

Klimaänderung

Dieses Kriterium misst inwiefern die untersuchten Verfahren zur Erhöhung oder Reduktion der Treibhausgas-Emissionen beitragen. Berücksichtigt werden die Emission von fossilem CO₂ und die Emission anderer klimawirksamer Gase wie z.B. Methan.

Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger

Dieses Kriterium misst ob und in welchem Umfang die Verfahren zur Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen, namentlich Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran, führen.

Versauerung

Dieses Kriterium misst inwiefern die Verfahren zur Versauerung von Böden und Gewässern beitragen. Obwohl in der Schweiz an Bedeutung verloren, stellt die Versauerung in manchen Gegenden Europas weiterhin ein wesentliches Umweltproblem dar.

Überdüngung

Bei der Entsorgung und Nutzung von Biomasse können Emissionen auftreten, die zu unerwünschter Überdüngung von Böden und Gewässern beitragen.

Sommersmog

Die photochemische Ozonbildung spielt in der Schweiz in den Sommermonaten weiterhin eine wichtige Rolle. Deshalb werden Emission von Kohlenwasserstoffen hinsichtlich ihrer Ozonbildung bewertet.

Humantoxizität

Die Humantoxizität wird massgeblich von den Feinstaub-Emissionen geprägt. Feinstaub ist insbesondere bei der Verbrennung fester biogener Brennstoffe und bei Diesel-Pkw's ein viel diskutierter Schadstoff.

Ökotoxizität

Als Vertreter der Vielzahl von Indikatoren ökotoxischer Wirkung (toxische Auswirkungen auf die Ökosysteme Böden, Meere, Sedimente) wird hier die ökotoxische Wirkung auf Binnengewässer verwendet.

Bodennutzung

Die verschiedenen Verfahren können sich in der Bodennutzung unterscheiden (Platzbedarf der Anlagen und Lager, etc.). Die mit einer allfälligen landwirtschaftlichen Produktion verbundene Landinanspruchnahme ist nicht Teil der zu beurteilenden Verfahren.

Deponierte Abfälle

Das Verwerten von biogenen Abfällen soll mit dazu beitragen, die Menge der zu deponierenden Abfälle zu reduzieren. Aus diesem Grund werden die in die verschiedenen Deponietypen zu lagernden Produktionsabfälle quantifiziert und getrennt bewertet, auch wenn das Deponievolumen an sich keine direkte Umweltbelastung darstellt.

Hoch radioaktive Abfälle

Die verschiedenen zu beurteilenden Verfahren benötigen Strom in unterschiedlichen Mengen. Einzelne Verfahren erzeugen Strom. Der

Indikator hoch radioaktive Abfälle wird aufgrund des hohen Kernenergieanteils des Schweizer Strommixes und der Stromgutschrift auf der Basis eines Kernkraftwerks mitgeführt.

Alternativ zu den oben genannten 10 Bewertungskriterien wird der Bereich Umwelt mit einem umfassenden Kriterium bewertet:

Methode der ökologischen Knappheit 2006

Diese Methode basiert auf den Zielen der Schweizerischen Umweltpolitik (Frischknecht et al. 2008). Die heutige Emissionssituation wird ins Verhältnis gesetzt zur angestrebten (meist deutlich tieferen) Emissionssituation. Dieses Verhältnis bildet im Wesentlichen die Grundlage der Bewertung der Schadstoffe und Ressourcen.

Nutzenfunktionen

Die Nutzenfunktion der 10 Umweltkriterien beziehungsweise des alternativen, eindimensionalen Kriteriums wird über die Minimal- und Maximalwerte der Ökobilanzergebnisse aller Verfahrenswege und Abfallkategorien definiert. Diese definieren die Bandbreite zwischen '0' und '1'. Dazwischen wird linear interpoliert. Die Umweltauswirkungen werden auf eine Tonne Feuchtsubstanz der Edukte bezogen.

| BEWERTUNGSKRITERIEN BEREICH UMWELT | | | | |
|---|---|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Nr. | Kriterium | Indikator | Minimum (0 Pkt.) | Maximum (1 Pkt.) |
| U1 | Klimaänderung | kg CO ₂ eq/t Edukt | 73 | -620 |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger | MJeq/t Edukt | 103 | -11200 |
| U3 | Versäuerung | kg SO ₂ eq/t Edukt | 2.47 | -0.08 |
| U4 | Überdüngung | kg PO ₄ eq/t Edukt | 1.59 | -0.159 |
| U5 | Sommersmog | kg Ethylen-eq/t Edukt | 0.068 | -0.065 |
| U6 | Humantoxizität | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt | 85 | -23 |
| U7 | Ökotoxizität | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt | 138 | -6.8 |
| U8 | Bodennutzung | m ² a/t Edukt | 26 | -970 |
| U9 | Deponierte Abfälle | m ³ /t Edukt | 0.0000119 | -0.0000071 |
| U10 | Hoch radioaktive Abfälle | m ³ /t Edukt | 0.00000076 | -0.00000013 |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | UBP 06/t Edukt | 608000 | -189000 |

Tabelle 20: Nutzenfunktionen im Bereich Umwelt; Standardprozesse für Gutschriften gemäss Tabelle 17.

3.2.4 Bereich Ökonomie

Bei der Bewertung nach ökonomischen Kriterien steht die Frage im Vordergrund, wie biogene Abfälle und Hofdünger wirtschaftlich optimal entsorgt bzw. genutzt werden können. Ein wichtiges Kriterium sind

dabei die Kosten: Die Entsorgungskosten²⁶ umfassen die Aufwendungen und Erträge der gesamten Entsorgung bzw. Nutzung, die Sammelkosten fassen den Aufwand für die Sammlung und den Transport der Biomasse zum Anlage zusammen. Weitere ökonomische Kriterien von Relevanz sind das wirtschaftliche Risiko und die Flexibilität der Anlage in der Nutzung sowie die Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die ausgewählten Kriterien und deren Indikatoren im Bereich Ökonomie. Nachfolgend werden die einzelnen Kriterien inkl. ihrer Nutzenfunktionen detailliert beschrieben.

²⁶ Die Entsorgungskosten beinhalten auch die Kosten für die Nutzung von Hofdünger. Aus Gründen der Einfachheit und Verständlichkeit wird der Begriff «Entsorgungskosten» verwendet, und nicht von «Entsorgungs- und Nutzungskosten» gesprochen.

| BEWERTUNGSKRITERIEN BEREICH ÖKONOMIE | | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|--|
| Nr. | Kriterium | Indikator | Einheit | Datenquelle |
| O1 | Entsorgungskosten | (1) Entsorgungspreis | Fr./t Edukt | BUWAL 2004 Biomasse Schweiz 2006 Schleiss 2005 Diverse Preislisten |
| O2 | Sammelkosten | (1) Preis für Sammlung und Transport der Biomasse | Fr./t Edukt | BUWAL 2004 Biomasse Schweiz 2006 Diverse Preislisten |
| O3 | Minimierung des wirtschaftlichen Risikos | (1) Erwartete Preis-Volatilität Edukt (2) Erwartete Preis-Volatilität Produkt (3) Höhe der Investitionskosten der Anlage (4) Amortisationsdauer der Anlage | Ordinale Skala Ordinale Skala Ordinale Skala Ordinale Skala | BUWAL 2002 ExpertInnenurteil |
| O4 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | (1) Edukte-Unabhängigkeit der Anlage (2) Reaktionsfähigkeit der Anlage auf Schwankungen im Edukteangebot | Ordinale Skala | ExpertInnenurteil |
| O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | (1) Volkswirtschaftliche Wertschöpfung in der Region | Ordinale Skala | ExpertInnenurteil |

Tabelle 21: Bewertungskriterien im Bereich Ökonomie.

Entsorgungskosten

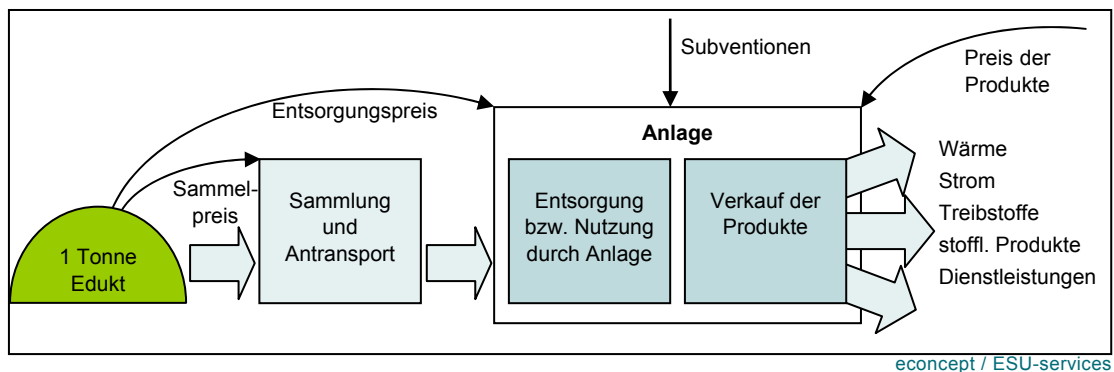
Als Indikator für die Entsorgungskosten wird der Entsorgungspreis verwendet. Unter den Entsorgungskosten werden die Kosten für die Entsorgung von biogenen Abfällen und die Nutzung von Hofdünger in energetische und stoffliche Produkte verstanden (ohne Sammelkosten). Aus Gründen der Einfachheit und Verständlichkeit wird der Begriff «Entsorgungskosten» verwendet, und nicht von «Entsorgungs- und Nutzungskosten» gesprochen.

In den Entsorgungskosten sind die Kosten der Anlage (Bau, Betrieb und Unterhalt der Anlage), die Einnahmen durch den Verkauf der Produkte, die Subventionen sowie der erzielte Gewinn enthalten. Je tiefer die Kosten, desto wirtschaftlicher kann die Anlage betrieben werden. Wir gehen von der Annahme aus, dass der Entsorgungspreis pro Tonne Edukt den tatsächlichen Netto-Gesamtkosten entspricht. D.h. dass darin alle Kosten und Erträge verrechnet sind. Diese Annahme ist jedoch nur bedingt gültig, da z.T. strategisch um Edukte geworben wird, sich der Markt noch nicht vollständig entwickelt hat oder Anlagen und Produkte staatlich subventioniert werden.

Die Preise für die Produkte (Strom, Wärme, Treibstoff etc.) sind bereits im Entsorgungspreis enthalten. Der Preis für die Produkte stellt deshalb kein eigenes Kriterium dar.

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über die wichtigsten Stoff- und Geldflüsse, die bei der Nutzung biogener Abfälle und Hofdünger entstehen.

Entsorgung bzw. Nutzung einer Tonne Biomasse



Figur 6: Stoffflüsse (⇨) und Geldflüsse (→) bei der Entsorgung bzw. Nutzung einer Tonne Edukt.

Die Werte in Tabelle 22 stellen Kosten aus der Sicht des Abfallbesitzers dar. Positive Werte sind die Preise, die der Abfallbesitzer für die Entsorgung bzw. Nutzung bezahlt. Negative Werte bedeuten, dass der Anlagenbetreiber für das Edukt bezahlt. Der höchste, aktuell zu bezahlende Preis ergibt '0' Punkte, der niedrigste '1' Punkt. Der niedrigste Preis kann negativ sein, d.h. dass der Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt einen Betrag bezahlt. Zwischen dem höchsten und tiefsten Preis steigt die Punktzahl linear mit abnehmendem Preis an.

| | 0 Pkt. | 1 Pkt. |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| O1 Entsorgungspreis | 650 Fr./Tonne Edukt | -75 Fr./Tonne Edukt |

Tabelle 22 Nutzenfunktion «Entsorgungskosten». Zwischen dem höchsten und niedrigsten Preis wird linear interpoliert.

Sammelkosten

Die Sammelkosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Sammlung und den Transport der biogenen Abfälle bis zur Anlage sowie einem allfällig daraus erzielten Gewinn. Je tiefer die Kosten, desto wirtschaftlicher ist die entsprechende Entsorgung bzw. Nutzung. Die Sammelkosten werden mittels Sammelpreis gemessen.

| | 0 Pkt. | 1 Pkt. |
|----------------|---------------------|-------------------|
| O2 Sammelpreis | 150 Fr./Tonne Edukt | 0 Fr./Tonne Edukt |

Tabelle 23: Nutzenfunktion «Sammelkosten». Zwischen dem höchsten und tiefsten Preis wird linear interpoliert.

Anhang A-2.2 gibt einen Überblick über die in der Studie verwendeten Entsorgungs- und Sammelpreise.

Minimierung des wirtschaftlichen Risikos des Verfahrens

Die Minimierung des wirtschaftlichen Risikos des Verfahrens wird von vier Sub-Indikatoren gemessen, die alle separat gewichtet werden:

(1) Erwartete Preis-Volatilität des Eduktes: Dieses Sub-Kriterium misst das erwartete Ausmass der Preisschwankungen biogener Abfälle. Hohe Preisschwankungen bei den Edukten erhöhen das wirtschaftliche Risiko.

(2) Erwartete Preis-Volatilität der Produkte: Dieser Sub-Kriterium misst das erwartete Ausmass der Preisschwankungen bei den erzeugten Produkten (z.B. Strom, Wärme, Treibstoff, Kompost etc.). Je höher die erwartete Volatilität der verkauften Produkte, desto höher das wirtschaftliche Risiko.

(3) Höhe der absoluten Investitionskosten: Als Investitionskosten werden hier Ausgaben bei der Anschaffung langfristiger Sachanlagen gerechnet. Je höher diese absoluten Kosten ausfallen, desto höher das Risiko für den Anlagebetreiber.

(4) Die Amortisationsdauer gibt die Zeit an, in der die Anschaffungsausgaben einer Investition amortisiert werden. Je länger die Amortisationsdauer, desto höher das Risiko der Anlage.

| | 0 Pkt. | 0.25 Pkt. | 0.5 Pkt. | 0.75 Pkt. | 1 Pkt. |
|---|--------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 03.1 Erwartete Preis-Volatilität Edukt | Hoch | - | Mittel | - | Tief |
| 03.2 Erwartete Preis-Volatilität Produkte | Hoch (für alle Produkte) | Je ein Produkt mittel und hoch | Mittel | Je ein Produkt tief und mittel | Tief (für alle Produkte) |
| 03.3 Höhe Investitionskosten | Hoch | - | Mittel | - | Tief |
| 03.4 Amortisationsdauer | Mehr als 10 Jahre | - | Zw. 5 und 10 Jahren | - | Kleiner 5 Jahre |

Tabelle 24: Nutzenfunktion «Minimierung wirtschaftliches Risiko».

Flexibilität der Anlage in Nutzung

Die Flexibilität der Anlagen in der Nutzung ist wichtig, da dadurch gewährleistet wird, dass bei Preisänderungen und Edukte-Lieferengpässen, die Anlage trotzdem gewinnbringend ausgelastet werden kann. Die Flexibilität der Anlage wird mittels zweier Indikatoren beurteilt:

(1) Unabhängigkeit von einzelnen Edukten: Dieses Sub-Kriterium misst, ob die Anlage nur mit einem bestimmten Edukt bzw. Edukte-Mix läuft oder ob sie auf eine breite Edukte-Palette ausgelegt ist. Je mehr

Edukte der Entsorgung bzw. Nutzung zugeführt werden können, desto flexibler ist die Anlage in der Nutzung.

(2) Reaktionsfähigkeit der Anlage auf Schwankungen im Edukteangebot: Dieses Sub-Kriterium bewertet die Antworten auf folgende Fragen: Gibt es Lagerhallen für die Edukte? Kann die Anlage kurzfristig abgeschaltet werden? Kann die Anlage mit Teillast betrieben werden? Welchen Wirkungsgrad hat die Anlage unter Teillast? Je besser auf Schwankungen im Edukteangebot reagiert kann, desto flexibler ist die Anlage in der Nutzung.

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|--|---|--|---|
| O4.1 Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | Tief Entsorgung bzw. Nutzung von 1 Edukt möglich | Mittel Entsorgung bzw. Nutzung von rund 3 Edukten möglich | Hoch Entsorgung bzw. Nutzung von mind. 5 Edukten möglich |
| O4.2 Reaktionsfähigkeit der Anlage auf Schwankungen im Edukteangebot | Tief - keine Lagerung von Edukten möglich - Wechsel zwischen verschiedenen Eduktefraktionen nur mittels grosser Anpassungen möglich | Mittel | Hoch - Lagerung von Edukten - Einfacher Wechsel zw. verschiedenen Edukten - Teillastbetrieb möglich etc. |

Tabelle 25: Nutzenfunktion «Flexibilität der Anlage in Nutzung».

Auswirkung auf regionale Volkswirtschaft

Die Auswirkung auf die regionale Volkswirtschaft wird anhand der Auswirkung auf die regionale, volkswirtschaftliche Wertschöpfung abgeschätzt. Die Wertschöpfung setzt sich zusammen aus den erbrachten Leistungen (= Entsorgungsleistung, Werte der Produkte Strom, Wärme, Treibstoff etc.) abzüglich der zur Leistungserstellung erbrachten Vorleistung (= Kosten für die biogenen Abfälle, inkl. Sammlung und Transport). Die Wertschöpfung misst den geschaffenen Mehrwert, der durch eine Anlage in der Region geschaffen wurde. Mit einer Zunahme der Wertschöpfung geht auch eine Zunahme der regionalen Arbeitsplätze einher. Je höher die Wertschöpfung, desto besser für die regionale Volkswirtschaft.

| | 0 Pkt. | 0.25 Pkt. | 0.5 Pkt. | 0.75 Pkt. | 1 Pkt. |
|---|---|-----------|---|-----------|---|
| O5 Volkswirtschaftliche Wertschöpfung in der Region | Die Entsorgung/ Nutzung führt zu einer Abnahme der Wertschöpfung infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. | - | Die Entsorgung/ Nutzung führt zur keiner Veränderung der Wertschöpfung im Vergleich zur Standardproduktion. | - | Die Entsorgung/ Nutzung führt zu einer Zunahme der Wertschöpfung infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. |

Tabelle 26: Nutzenfunktion «Auswirkung auf die regionale Volkswirtschaft».

3.2.5 Bereich Gesellschaft

Damit sich neue Technologien etablieren können, müssen sie von der Gesellschaft akzeptiert werden. Akzeptanz und geringe Risikoeinschätzung sind gesellschaftliche Kriterien, die auf lokaler Ebene, aber auch gesamtgesellschaftlich von Bedeutung sind. Ebenfalls in die Bewertung einbezogen werden raumplanerische Aspekte sowie die Versorgungssicherheit.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die ausgewählten Kriterien und deren Indikatoren im Bereich Gesellschaft. Nachfolgend werden die einzelnen Kriterien inkl. ihrer Nutzenfunktionen beschrieben.

| BEWERTUNGSKRITERIEN BEREICH GESELLSCHAFT | | | | |
|--|---|---|----------------|---|
| Nr. | Kriterium | Indikator | Einheit | Datenquelle |
| G1 | Lokale Akzeptanz lokaler Beeinträchtigungen | (1) Geruchsemissionen (2) Visuelle Beeinträchtigung (3) Lärm durch Verkehr (4) Lärm durch Anlage | Ordinale Skala | ExpertInnenurteil |
| G2 | Gesellschaftliche Akzeptanz | (1) Einstellung gegenüber der Technologie (2) Bereitschaft für logistische Anpassungen | Ordinale Skala | ExpertInnenurteil |
| G3 | Gesellschaftliche Risiken | (1) Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen | Ordinale Skala | ExpertInnenurteil |
| G4 | Risiken für Mitarbeitende | (1) Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | Ordinale Skala | PSI, ExpertInnenurteil |
| G5 | Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | (1) Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | Ordinale Skala | ExpertInnenurteil |
| G6 | Versorgungssicherheit | (1) Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | Ordinale Skala | BiomasseSchweiz 2006 ExpertInnenurteil |

Tabelle 27: Bewertungskriterien im Bereich Gesellschaft

Lokale Akzeptanz durch lokale Beeinträchtigungen

Bei der lokalen Akzeptanz ist ausschlaggebend, ob sich die lokale Bevölkerung durch eine Anlage beeinträchtigt fühlt. Die Beeinträchtigung hängt im Wesentlichen ab von den folgenden Dimensionen:

(1) Geruch: Dieses Sub-Kriterium bewertet die Stärke der Geruchsemissionen, die durch die Anlage erzeugt werden. Mit abnehmenden Geruchsemissionen steigt die lokale Akzeptanz gegenüber der Anlage.

(2) Visuelle Beeinträchtigung: Dieses Sub-Kriterium bewertet, wie gut sich die Anlage in das Landschafts- und Ortsbild einfügt. Je besser sich die Anlage ins Landschafts- und Ortsbild einfügt, desto stärker wird sie von der lokalen Bevölkerung akzeptiert.

(3) Lärm durch Verkehr: Dieses Sub-Kriterium bewertet Art und Menge des zusätzlichen Verkehrsaufkommen, welches durch den Antransport der biogenen Abfälle entsteht. Je kleiner das zusätzliche Verkehrsaufkommen, desto grösser die lokale Akzeptanz gegenüber der Entsorgung bzw. Nutzung.

(4) Lärm durch Anlage: Dieses Kriterium bewertet die Stärke der Lärmemissionen, die durch die Anlage selbst erzeugt werden. Je kleiner die Lärmemissionen der Anlage, desto grösser die lokale Akzeptanz gegenüber der Anlage.

| | 0 Pkt. | 0.25 Pkt. | 0.5 Pkt. | 0.75 Pkt. | 1 Pkt. |
|-------------|---|---|--|--|---|
| G1.1 Geruch | Starker Geruch, viele betroffene Personen | Starker Geruch, wenig betroffene Personen | Leichter Geruch, viele betroffene Personen | Leichter Geruch, wenig betroffene Personen | Keine Geruchsemissionen bzw. keine betroffenen Personen, da Anlage allein stehend |

Tabelle 28: Nutzenfunktion «Lokale Akzeptanz», Subkriterium Geruch.

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|--------------------------------|---|---|--|
| G1.2 Visuelle Beeinträchtigung | Anlage fügt sich nicht ins Landschafts- und Ortsbild ein | - | Anlage fügt sich gut ins Landschafts- und Ortsbild ein |
| G1.3 Lärm Verkehr | Der Antransport der Edukte geschieht täglich mittels Lastwagen. | Der Antransport der Edukte geschieht wöchentlich mittels Lastwagen oder mit dem Zug | Die Abfälle fallen direkt vor Ort an, es entsteht kein zusätzliches Verkehrsaufkommen. |
| G1.4 Lärm Anlage | Lärmemissionen am Tag max. 65, in der Nacht max. 55 dB(A) ²⁷ | Lärmemissionen am Tag max. 60, in der Nacht max. 50 dB(A) ²⁸ | Keine Lärmemissionen |

Tabelle 29: Nutzenfunktion «Lokale Akzeptanz», Subkriterien 2 bis 4.

²⁷ Immissionsgrenzwert für Industrie- und Gewerbelärm in der Empfindlichkeitsstufe III (nach Lärmschutzverordnung).

²⁸ Planungswert für Industrie- und Gewerbelärm in der Empfindlichkeitsstufe III (nach Lärmschutzverordnung).

Gesellschaftliche Akzeptanz

Die gesellschaftliche Akzeptanz wird von zwei Kriterien bestimmt:

(1) Einstellung gegenüber der Technologie: Dieses Sub-Kriterium bewertet, ob die Bevölkerung gegenüber der Technologie eher positiv, indifferent oder negativ eingestellt ist. Je positiver die Einstellung gegenüber der Technologie, desto grösser die gesellschaftliche Akzeptanz.

(2) Logistische Anpassungen: Dieses Sub-Kriterium bewertet, ob logistische Anpassungen für die Entsorgung und Nutzung von Biomasse notwendig sind (z.B. Einführung einer Grünabfuhr) und wie gut diese von der Bevölkerung akzeptiert werden. Je weniger logistische Anpassungen notwendig sind und je besser diese akzeptiert werden, desto grösser ist die gesellschaftliche Akzeptanz.

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|--|---|--|--|
| G2.1 Einstellung gegenüber der Technologie | Negative Einstellung der Bevölkerung gegenüber der Technologie | indifferent | Allgemein positive Einstellung der Bevölkerung gegenüber der Technologie |
| G2.2 Logistische Anpassungen | Es braucht grosse log. Anpassungen bzw. sie werden kaum akzeptiert. | Es braucht geringfügige log. Anpassungen bzw. sie werden nach anfänglichem Widerstand gut akzeptiert | Es braucht keine logistischen Anpassungen bzw. sie werden akzeptiert |

Tabelle 30: Nutzenfunktion «Gesellschaftliche Akzeptanz».

Gesellschaftliches Risiko

Die gesellschaftlichen Risiken der Nutzung biogener Abfälle und Hofdünger fliessen in die Bewertung ein, indem sie mit den Risiken der Standardprozesse zur Erzeugung derselben Produkte (vgl. Tabelle 17) verglichen werden. Der Standardprozess für Strom beispielsweise ist «Strom aus einem modernen Gas- und Dampfkraftwerk». Führt die Stromproduktion in einer Vergärungsanlage zu einer Reduktion der Explosionen und Unfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion, sinkt das gesellschaftliche Risiko.

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|--|--|---|--|
| G3 Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen | Die Entsorgung/Nutzung führt zu einer Zunahme der Explosionen und Unfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. | Die Entsorgung/Nutzung führt zur selben Anzahl an Explosionen und Unfällen wie durch die Vermeidung der Standardproduktion verhindert werden. | Die Entsorgung/Nutzung führt zu einer Reduktion der Explosionen und Unfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. |

Tabelle 31: Nutzenfunktion «Gesellschaftliches Risiko».

Risiko der Angestellten

Wie in allen Produktionsbetrieben tragen die Mitarbeitenden ein Unfall- und Todesfallrisiko. Dieses Risiko wird mit dem Risiko für die Herstellung der Standard-Produkte verglichen (vgl. Tabelle 17). Der Standardprozess für Strom beispielsweise ist «Strom aus einem modernen Gas- und Dampfkraftwerk». Führt die Stromproduktion in einer Vergärungsanlage zu einer Reduktion der Unfälle und Todesfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion, sinkt gesamthaft das Risiko der Angestellten (und umgekehrt).

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|---|---|---|---|
| G4 Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | Die Entsorgung/Nutzung führt zu einer Zunahme der Unfälle und Todesfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. | Die Entsorgung/Nutzung führt zur selben Anzahl an Unfällen und Todesfällen wie durch die Vermeidung der Standardproduktion verhindert werden. | Die Entsorgung/Nutzung führt zu einer Reduktion der Unfälle und Todesfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. |

Tabelle 32: Nutzenfunktion «Risiko für die Angestellten».

Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung

Bei den potenziellen Konflikten mit Grundsätzen der Raumplanung wird die Zonenkonformität bewertet. Das raumplanerische Konfliktpotenzial ist von Fall zu Fall abzuschätzen: Eine Biogasanlage mit Co-Vergärung in der Landwirtschaftszone hat ein grösseres Konfliktpotenzial als eine solche in der Industriezone, da gewisse Bestimmungen, wie z.B. maximaler Anteil nicht landwirtschaftlicher Biomasse, maximale Fahrdistanzen für den Biomassetransport etc. einzuhalten sind.

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|--|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| G5 Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | Grosse potenzielle Konflikte | Potenzielle Konflikte absehbar. | Keine potenziellen Konflikte |

Tabelle 33: Nutzenfunktion «Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung».

Versorgungssicherheit

Eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung ist ein Ziel des schweizerischen Energiegesetzes. Das Kriterium Versorgungssicherheit misst, ob das Verfahren – infolge Vermeidung von Standardprodukten (vgl. Tabelle 17) – die Versorgungssicherheit erhöht. Eine Erhöhung der Versorgungssicherheit bedeutet eine Steigerung der Unabhängigkeit von importierten Energieträgern und wird erreicht durch eine prozentuale Zunahme von einheimischen und erneuerbaren Energieträgern.

| | 0 Pkt. | 0.5 Pkt. | 1 Pkt. |
|---|--|--|---|
| G6 Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | Die Entsorgung/Nutzung senkt die Unabhängigkeit von Energieimporten infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. | Die Entsorgung/Nutzung verändert die Unabhängigkeit von Energieimporten durch die Vermeidung der Standardproduktion nicht. | Die Entsorgung/Nutzung steigert die Unabhängigkeit von Energieimporten infolge Vermeidung der Standardproduktion nach Tabelle 17. |

Tabelle 34: Nutzenfunktion «Unabhängigkeit von importierten Energieträgern». Stoffliche Produkte werden nicht nach diesem Kriterium bewertet.

In der Schweizerischen Abfallpolitik gelten die drei Grundsätze «vermeiden – vermindern – verwerten». Im Leitbild für die Schweizerische Abfallpolitik (Bundesamt für Umweltschutz 1986) ist kein Hinweis zu finden, ob die stoffliche Entsorgung und Nutzung der energetischen vorzuziehen ist. Hingegen gilt folgender Grundsatz:

'Ein Abfall ist der stofflichen Wiederverwertung zuzuführen, wenn dadurch eine kleinere Umweltbelastung als aus der Beseitigung der Abfälle und der entsprechenden Neuproduktion entsteht. Zudem soll die Wiederverwertung längerfristig betriebswirtschaftlich gesichert sein.'

In die Bewertung wurde somit kein Kriterium aufgenommen, welches stoffliche vs. energetische Nutzung der Abfälle bewertet.

3.3 Ermittlung der Gewichtungsfaktoren

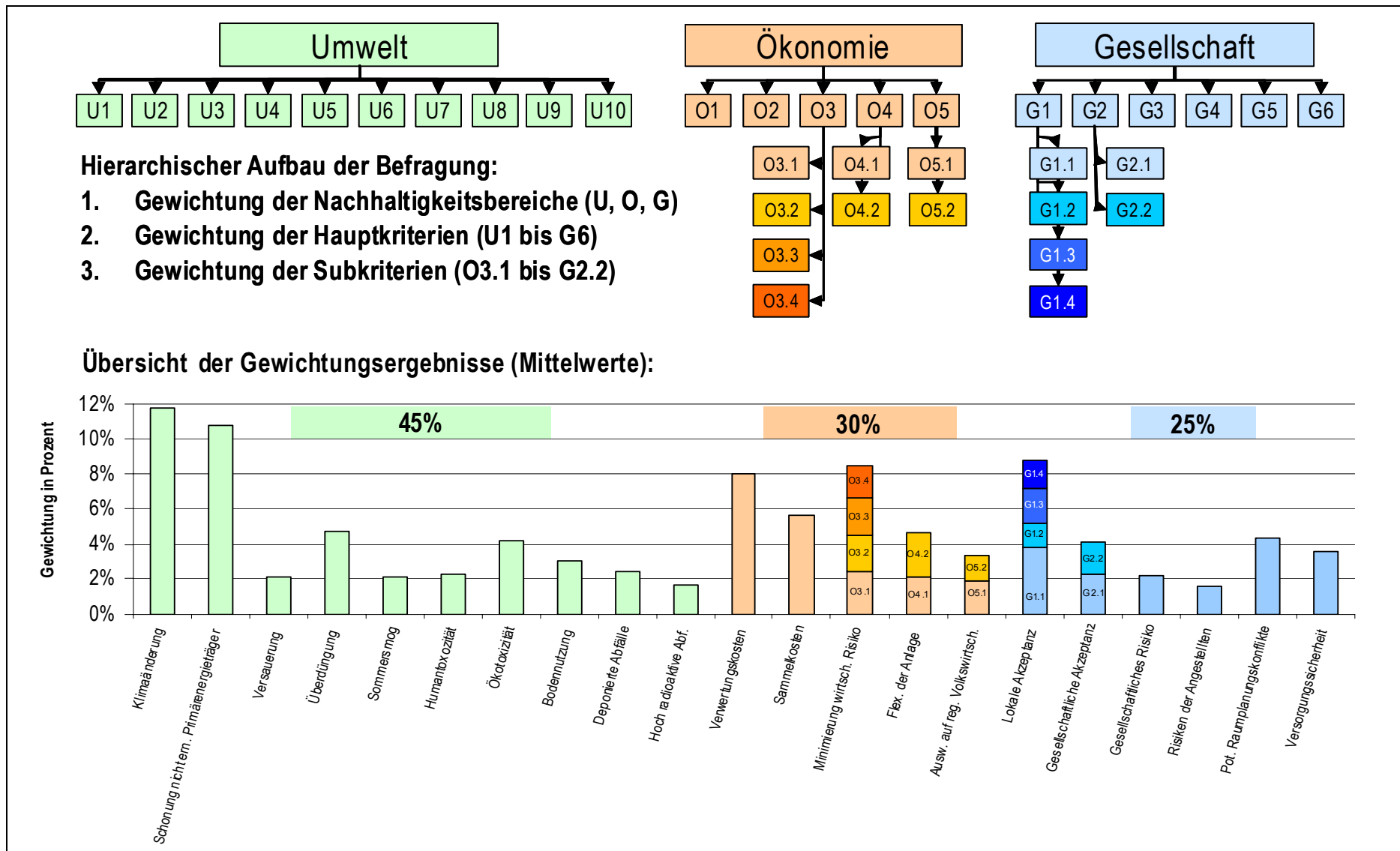
Damit die unterschiedlichen Entsorgungs- und Nutzungswege einer Biomassefraktion untereinander verglichen werden können, haben wir ein Set von ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Bewertungskriterien definiert sowie für jedes Kriterium eine Nutzenfunktion bestimmt (vgl. Kapitel 3.2). Anschliessend liessen wir die ausgewählten Bewertungskriterien von zahlreichen Interessenvertreterinnen und Fachexperten untereinander gewichten. Das Vorgehen und die Ergebnisse dieser Befragung wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Gewichtungsfaktoren werden mittels Befragung erhoben

3.3.1 Vorgehen zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren

Zur Festlegung der Gewichtung der definierten Bewertungskriterien wurde eine breite Auswahl von 135 Expertinnen und Experten mittels einer Online-Befragung um ihre Einschätzung gebeten. Angefragt wurden Personen aus Bundes- und kantonalen Fachstellen, Fachverbänden, Energiewirtschaft, Abfallwirtschaft, Umweltverbänden, KonsumentInnenorganisationen sowie weitere, unabhängige Fachleute.

| | |
|------------------------|---|
| Aufbau des Fragebogens | <p>Der Fragebogen zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren der Kriterien wurde hierarchisch aufgebaut, d.h. zuerst wurden die drei Nachhaltigkeitsbereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft (U, O, G) gewichtet, im Anschluss die Kriterien (U1 bis U10, O1 bis O5 und G1 bis G6) sowie die Subkriterien (O3.1, O3.2 und weitere sowie G1.1, G1.2 und weitere) der jeweiligen Bereiche. Nachfolgende Figur 7 zeigt den Aufbau der Gewichtung und die zusammengefassten Ergebnisse in einer Übersicht.</p> |
| Vorgehen der Befragung | <p>Zur Vereinfachung wurde die Online-Gewichtung der Kriterien in zwei Schritte unterteilt. Im ersten Schritt wurden die angeschriebenen Personen gefragt, ob ein Kriterium relevant sei für die Bewertung der Entsorgungs- und Nutzungswege von Biomassefraktionen. Im zweiten Schritt mussten dann nur die für relevant befundenen Kriterien gewichtet werden, indem jeweils 100 Prozentpunkte auf die Kriterien jedes Nachhaltigkeitsbereiches U, O und G verteilt werden konnten. Da die Zuordnung der Kriterien zu den Nachhaltigkeitsbereichen nicht immer eindeutig ist, wurde zusätzlich für jedes Kriterium gefragt, ob die Zuordnung zum Nachhaltigkeitsbereich nachvollziehbar sei oder geändert werden sollte. Der vollständige Fragebogen findet sich im Anhang 1.</p> <p>Die angeschriebenen Expertinnen und Experten wurden per Mail kontaktiert und gebeten innerhalb einer Frist von drei Wochen den Fragebogen über einen Link anzuwählen und auszufüllen. Eine Woche vor Ablauf der Frist wurden alle, die noch nicht teilgenommen hatten, nochmals aufgefordert den Fragebogen auszufüllen.</p> |
| | <h3>3.3.2 Ergebnisse der Befragung</h3> |
| Rücklauf | <p>Von den angeschriebenen 135 Experten haben 62 den Fragebogen vollständig ausgefüllt, wobei die Antworten zweier Personen nur teilweise verwendet werden konnten. Somit liegt der Rücklauf an auswertbaren Antworten bei 44%, was für Umfragen dieser Art relativ hoch ist. Nicht alle Experten haben alle Kriterien gewichtet. Die Anzahl auswertbarer Antworten beträgt für einzelne Kriterien im geringsten Fall 52.</p> |
| Gewichtungsergebnisse | <p>Dem Bereich Umwelt wurde im Durchschnitt über alle Befragten das höchste Gewicht zugeteilt (45%). An zweiter Stelle folgt der Bereich Ökonomie (30%) und am wenigsten gewichtet wurde der Gesellschaftsbereich (25%). Die von uns vorgenommene Zuordnung der Kriterien zu den Nachhaltigkeitsbereichen wurde von allen Umfrageteilnehmern bestätigt. Nachfolgende Figur 7 zeigt neben dem Aufbau der Befragung die aus der Umfrage resultierende durchschnittliche Gewichtung der Kriterien.</p> |

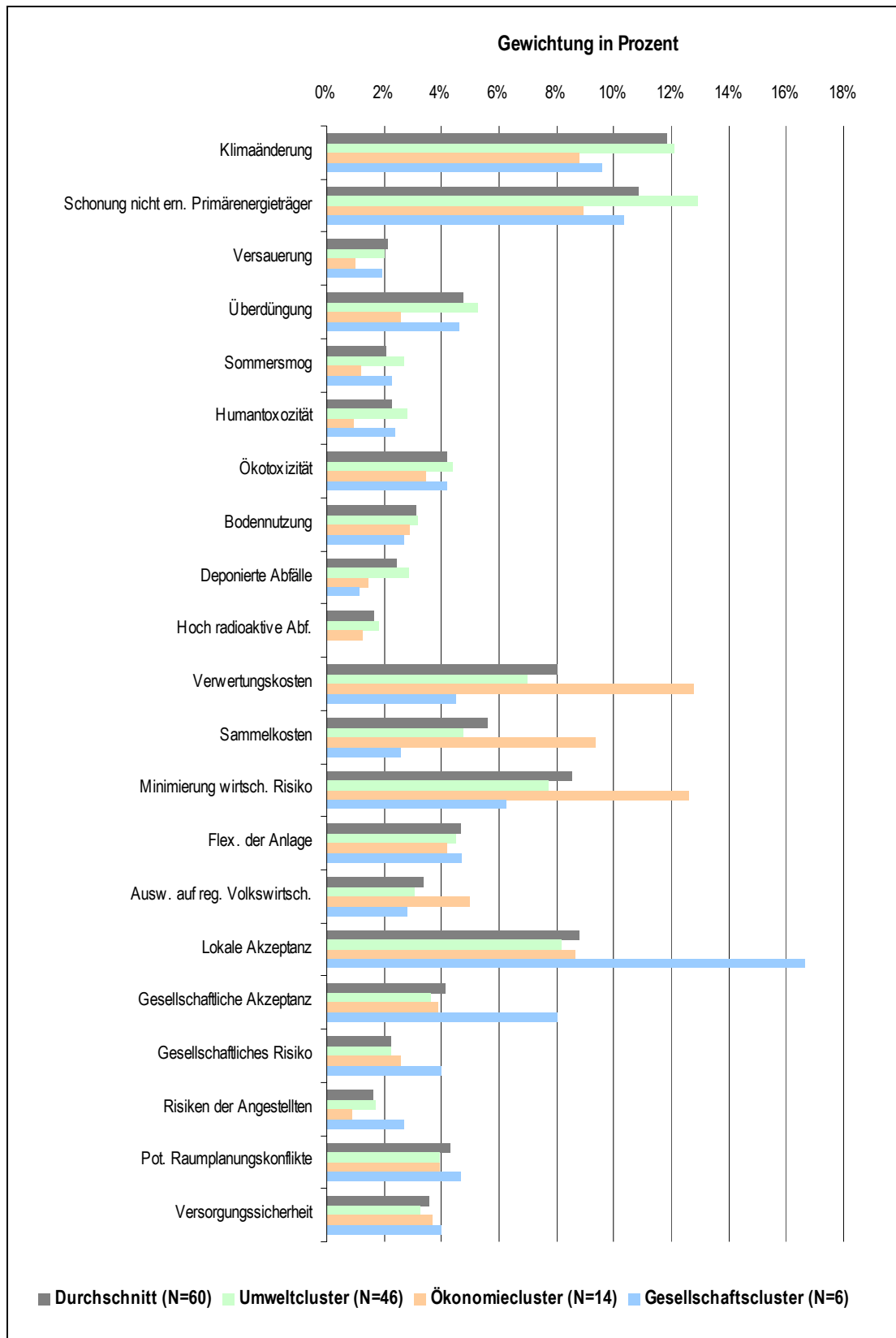


Figur 7: Aufbau der Gewichtungs-Befragung und Übersicht über die durchschnittliche Gewichtung der Nachhaltigkeitsbereiche und der einzelnen Kriterien (N=60).

| | |
|--|---|
| Relevanz der Kriterien | Die Gewichtungsbefragung hat neben der starken Gewichtung des Umweltbereichs gezeigt, dass die Einzelkriterien sehr unterschiedlich gewichtet werden. |
| Kriterien mit einem Gewicht $\geq 8\%$ | Mit über 10% werden die Kriterien Klimaänderung und Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger gewichtet. Die Marke von 8% erreichen im ökonomischen Bereich die Kriterien Entsorgungskosten und Minimierung des wirtschaftlichen Risikos, im Gesellschaftsbereich das Kriterium lokale Akzeptanz. |
| Kriterien mit einem Gewicht $\geq 4\%$ | Zwischen 4% und 8% werden die folgenden Kriterien gewichtet: Überdüngung und Ökotoxizität im Umweltbereich, Sammelkosten und Flexibilität der Anlage in der Nutzung im Ökonomiebereich sowie gesellschaftliche Akzeptanz und potentielle Raumplanungskonflikte im Gesellschaftsbereich. |
| | Die Ergebnistabellen der Gewichtungsbefragung mit den exakten Werten pro Kriterium finden sich im Anhang A-1. |
| Gewichtungscluster | Um sichtbar zu machen, ob divergierende Einschätzungen der Wichtigkeit der Nachhaltigkeitsbereiche und einzelner Kriterien vorliegen, haben wir neben der durchschnittlichen Gewichtung Gewichtungscluster gebildet und separat ausgewertet. Zur Clusterbildung haben wir jeweils alle Antworten, die einen der drei Bereiche höher oder gleich hoch wie die anderen Bereiche gewichten, zusammengefasst ausgewertet. So konnte ein Umwelt-, ein Ökonomie- und ein Gesellschaftscluster gebildet werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Sample für die drei Cluster sehr unterschiedliche Grössen aufweisen. So konnten 46 Antworten dem Umweltcluster, 14 Antworten dem Ökonomiecluster und nur 6 Antworten dem Gesellschaftscluster zugeordnet werden. Die Anzahl verwendbare Antworten für die drei Cluster beträgt insgesamt 66, da einzelne Antworten zwei Clustern zugeordnet werden konnten. |

| Gewichtungscluster | Umwelt | Ökonomie | Gesellschaft |
|----------------------------|--------|----------|--------------|
| Umweltcluster (N=46) | 50% | 27% | 23% |
| Ökonomiecluster (N=14) | 32.5% | 44% | 23.5% |
| Gesellschaftscluster (N=6) | 39% | 21% | 40% |

Tabelle 35: Durchschnittliche Gewichtung der drei Nachhaltigkeitsbereiche nach Gewichtungsclustern



Figur 8: Durchschnittliche Gewichtung der Bewertungskriterien sowie für die drei Gewichtungscluster (die Antworten eines Gewichtungsclusters zusammen ergeben jeweils 100%).

Die Analyse der Gewichtungskuster zeigt, dass sich das Muster der für relevant gehaltenen Kriterien in allen Clustern mehr oder weniger ausgeprägt wiederholt, obwohl die Kriterien der drei Nachhaltigkeitsbereiche unterschiedlich stark gewichtet werden. Das heisst z.B., dass die Kriterien Klimaänderung, Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen, Entsorgungskosten, Minimierung des wirtschaftlichen Risikos und auch die lokale Akzeptanz in allen drei Clustern relativ zu den anderen Kriterien des selben Nachhaltigkeitsbereichs das höchste Gewicht erhalten.

3.3.3 Rückmeldungen zur Gewichtungsumfrage

Verständlichkeit und Einfachheit des Fragebogens

Die Fragen zur Verständlichkeit und Einfachheit des Fragebogens zeigten deutlich, dass zwar die Mehrheit der befragten Personen den Fragebogen verständlich und einfach fand, dennoch gab ca. ein Drittel der Befragten an, dass der Fragebogen nicht bis eher nicht verständlich oder einfach auszufüllen war. Das selbe Bild zeigt sich bei der Frage, ob die im Fragebogen gebotenen Informationen ausreichend waren, um den Fragebogen gewissenhaft ausfüllen zu können. 35.5% der Befragten, also ein gutes Drittel fanden, die gebotenen Informationen seien nicht ausreichend gewesen. Tabelle 36 fasst die Ergebnisse der Fragen zur Verständlichkeit und dem Umfang der dargebotenen Informationen zusammen.

| Frage | Trifft zu | Trifft eher zu | Trifft eher nicht zu | Trifft nicht zu |
|---|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| Der Fragebogen war verständlich und einfach auszufüllen. | 19.4% (N=12) | 50.0% (N=31) | 22.6% (N=14) | 8.1% (N=5) |
| Die gebotenen Informationen waren ausreichend, um die Fragen gewissenhaft bzw. gut beantworten zu können. | 32.3% (N=20) | 32.3% (N=20) | 27.4% (N=17) | 8.1% (N=5) |

Tabelle 36: Auswertung der Kontrollfragen zur Verständlichkeit des Fragebogens und zu den dargebotenen Informationen im Fragebogen.

- Analyse der Kommentare zur Online-Befragung: Diese Auswertung zur Verständlichkeit und Einfachheit des Fragebogens zeigt, dass die Befragung eher komplex und eventuell nicht immer verständlich genug beschrieben war. Eine Analyse der im Fragebogen angebrachten Kommentare gibt weiteren Aufschluss darüber, wo die Befragten Probleme bei der Umfrage hatten. Es können im Wesentlichen zwei Kritikpunkte unterschieden werden:
- Zwei Hauptkritikpunkte: Als grundsätzliche Kritik am Vorgehen der Befragung zu den Gewichtungsfaktoren wurde mehrfach darauf verwiesen, dass eine Gewich-

tung von Kriterien ohne Kenntnisse über deren Auswirkungen nur schwer oder nicht vollzogen werden kann. So würde z.B. das Kriterium Überdüngung nur dann eine hohe Gewichtung verdienen, wenn die Entsorgung bzw. Nutzung der von uns untersuchten Biomassefraktionen auch tatsächlich in einer hohen Masse zur Überdüngung beitragen würde. Es wurde auch darauf verwiesen, dass die Gefahr bestünde, dass ohne Kenntnisse der Auswirkungen der Kriterien nach einem allgemeinen Trend bewertet würde. So wäre es nicht überraschend, wenn das Kriterium Klimaänderung, das momentan in aller Munde ist, das höchste Gewicht erhalten würde.

Zweitens wurde mehrfach rückgemeldet, dass es nicht sinnvoll sei, die von uns vorgeschlagenen Verfahren der fünf Biomassefraktionen zusammen zu bewerten, denn jede Fraktion und jeder Weg brauche eine differenzierte Betrachtung. So hätte z.B. nur schon die Auswahl der zu vergleichenden Anlagengrößen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Wahl der Gewichtung der Kriterien. Am ausgeprägtesten war die Kritik in Bezug auf die gemeinsame Bewertung von biogenen Abfällen und Hofdünger.

Wir anerkennen die Schwierigkeit einer Bewertung von Kriterien, ohne die tatsächlichen Auswirkungen zu kennen, da dieses Vorgehen u.U. sehr theoretisch und wenig anwendungsorientiert erscheint. Wir weisen aber darauf hin, dass die Auswirkungen der Kriterien im Prinzip keine Rolle für die Gewichtung spielen dürften. Viel eher soll die Bewertung innerhalb der drei Nachhaltigkeitsbereiche allgemein gültig sein, unabhängig von der späteren Bewertung. Dies gilt auch für den zweiten Kritikpunkt, d.h. aus einer ganzheitlichen Sicht sollten die Nachhaltigkeitskriterien für alle betrachteten Biomassefraktionen gleich gewichtet werden. Der Unterschiedlichkeit der betrachteten Biomassefraktionen wird einerseits durch die Bewertung mittels Nutzenfunktionen (falls ein Verfahren in einem Kriterium geringe negative oder gar positive Auswirkungen hat, erhält es einen hohen Nutzwert zugewiesen) und andererseits durch die Gewichtung Rechnung getragen. Dies ist gerade eine der Stärken der gewählten Methodik, d.h. der Multikriterienanalyse.

Stellungnahme zu den Kritikpunkten

Anregung zum Umfang des Kriteriensatzes

Von verschiedenen Befragten wurden der Einbezug weiterer Bewertungskriterien vorgeschlagen oder der Umfang des Kriteriensatzes diskutiert:

Mehrfach kam die Rückmeldung, dass der von uns vorgeschlagene Kriteriensatz zu umfassend sei. Das habe zur Folge, dass die Methode nur von Fachleuten verstanden werden könnte und dass gerade die

lokale und die gesellschaftliche Akzeptanz unter der zu komplexen Methodik leiden würde, da die Betroffenen nicht mehr einfach verstehen könnten, um was es geht.

Vorgeschlagene
neue Kriterien

Vereinzelt wurde auch die Aufnahme von neuen Kriterien angeregt. Nachfolgend werden die Vorschläge neuer Kriterien für die drei Nachhaltigkeitsbereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft aufgeführt. Generell wurde von zwei Personen angemerkt, dass die Einflussfaktoren der Politik, insbesondere der Landwirtschaftspolitik fehlen würden. Sie bestimme massgeblich die Erwartungen und Entwicklungen des Marktes (kantonale Regelungen, etc.).

Umwelt

Von drei Personen wurde vorgeschlagen, die «Bodenverbesserung/Bodenqualität», sowie die «Bodenfruchtbarkeit» als Kriterien aufzunehmen, um damit die Stabilität des landwirtschaftlichen Produktionssystems zu gewährleisten. Weiter war eine Person der Meinung, dass aufgrund des Nachhaltigkeitsgedanken ein Kriterium «Geschlossene Nährstoffkreisläufe» eingebaut werden sollte, das garantiert, dass die Nährstoffe dem natürlichen Kreislauf möglichst nicht entzogen werden. Ebenfalls ist diese und eine weitere Person der Meinung, dass die «Regionalität» als Umweltkriterium in die Bewertung eingehen sollte, weil gerade die Transportkosten eine bedeutende Rolle für die Umwelt von Relevanz sind. Als fehlendes Kriterium wurde auch «Wintersmog» genannt, das ebenso wichtig sei wie «Sommersmog».

Ökonomie

Als zusätzliches Ökonomiekriterium wird von einer Person die «Modularität, bzw. Skalierbarkeit der Technologie» vorgeschlagen. Eine weitere Person würde ein Kriterium bezüglich der «Effizienz der Verfahren» einführen und Verfahren bevorzugen, die eine hohe ökonomische Effizienz aufweisen.

Gesellschaft

Einer Person fehlen die «soziokulturellen Aspekte» im Bereich Gesellschaft, die durch eine dezentrale Kompostierung in Siedlungen ausgelöst werden können. Dazu wurden die Stichworte «Integration», «Sicherheit» und «Bildung bezüglich der Kreisläufe der Natur» genannt.

Gesamthaft stellen wir fest, dass Anregungen zur Aufnahme von neuen Kriterien in die Bewertungsmethode nur vereinzelt vorgebracht wurden. Dennoch betrachten wir es als wichtig, dass die vorgeschlagenen Zusatzkriterien zum Zeitpunkt einer Weiterentwicklung der in dieser Studie vorgestellten Methodik genauer überprüft werden sollen.

3.4 Zusammenfassender Überblick

In den Kapiteln 3.1 bis 3.3. wird die entwickelte Multikriterienanalyse zur Bewertung von Technologien und Verfahren zur Nutzung von biogenen Abfällen und Hofdünger hergeleitet und beschrieben. Sie setzt sich aus drei Teilen zusammen:

- 1 Bewertungskriterien (Kapitel 3.2)
- 2 Nutzenfunktionen (Kapitel 3.2)
- 3 Gewichtungsfaktoren (Kapitel 3.3)

Die folgende Tabelle 37 gibt einen Überblick über die entwickelte Multikriterienanalyse. Sie fasst die Kriterien, Nutzenfunktionen und Standard-Gewichtungsfaktoren zusammen.

| Nr. | Kriterium | Indikator | Nutzenfunktion | Gewichtung |
|----------------------------------|--|---|--|------------|
| BEREICH UMWELT | | | | 45% |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 26% |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 24% |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotential | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 5% |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 10% |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 5% |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotential | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 5% |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 9% |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 7% |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 5% |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | 4% |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | Lineare Skala, vgl. Tabelle 13 | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | 30% |
| O1 | Entsorgungskosten | Entsorgungspreis | Lineare Skala, vgl. Tabelle 16 | 27% |
| O2 | Sammel- und Transportkosten | Sammel- und Transportpreis | Lineare Skala, vgl. Tabelle 17 | 19% |
| O3 | Minimierung des wirtschaftlichen Risikos | (1) Erwartete Volatilität Edukt (2) Erwartete Volatilität Produkt (3) Höhe der Investitionskosten der Anlage (4) Amortisationsdauer der Anlage | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 18 | 28% |
| O4 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | (1) Edukte-Unabhängigkeit der Anlage (2) Reaktionsfähigkeit der Anlage auf Schwankungen im Edukteangebot | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 19 | 15% |
| O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung in der Region | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 20 | 11% |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | 25% |
| G1 | Lokale Akzeptanz durch Beeinträchtigungen | (1) Geruchsemissionen (2) Visuelle Beeinträchtigung (3) Lärm durch Verkehr (4) Lärm durch Anlage | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 22 und 23 | 35% |
| G2 | Gesellschaftliche Akzeptanz | (1) Einstellung gegenüber der Technologie (2) Bereitschaft für logistische Anpassungen | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 24 | 17% |
| G3 | Gesellschaftliche Risiken | Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 25 | 9% |
| G4 | Risiken für Mitarbeitenden | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 26 | 6% |
| G5 | Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | Potenzielle Konflikte mit Grundsätzen der Raumplanung | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 27 | 18% |
| G6 | Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | Ordinale Skala, vgl. Tabelle 28 | 15% |

Tabelle 37: Überblick über Kriterien, Nutzenfunktionen und Gewichtungsfaktoren der entwickelten Multikriterienanalyse zur Bewertung der Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger.

4 Testanwendung der Multikriterienanalyse

Die in Kapitel 3 beschriebene Multikriterienanalyse wird auf 24 ausgewählte Verfahren der fünf Biomassefraktionen biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistung (Verfahren 1-4, siehe Tabelle 16), Klärschlamm (5-9), Hofdünger (10-13), Restholz (14-19) und Altholz (20-24) angewandt. Die Biomassefraktionen und ausgewählten Verfahren sind in Kapitel 2 beschrieben. Das vorliegende Kapitel 4 ist wie folgt aufgebaut:

Das Kapitel 4.1 fasst die Ergebnisse der Testanwendung der Multikriterienanalyse zusammen: Kapitel 4.1.1 enthält eine Gesamtübersicht über die Bewertung aller fünf Biomassefraktionen. Die Ergebnisse zu den Verfahren der fünf Biomassefraktionen werden in den Unterkapiteln 4.1.2 bis 4.1.6 vertieft erläutert. In Unterkapitel 4.1.7 werden ausgewählte Umweltwirkungen der 24 Verfahren detailliert diskutiert. Dabei werden die direkten Umweltwirkungen der Verfahren den Einsparungen von Umweltwirkungen durch die erzeugten Produkte (= Gutschriften) gegenübergestellt. In Unterkapitel 4.1.8 werden zwei Kriterien, der Entsorgungspreis und die Treibhausgas-Emissionen, einander gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung erlaubt eine Diskussion der Klimaschutzwirkung unter dem Blickwinkel der Kosteneffizienz. Alle Ergebnisse innerhalb des Kapitels 4.1 basieren im Umweltbereich auf den Umweltkriterien U1 bis U10 und berücksichtigen als Gutschriften die Umweltauswirkungen der Standardprozesse gemäss Tabelle 17.

Gesamtübersicht
Basisvariante:
10 Umweltkriterien
Standardprozesse,
durchschnittliche
Gewichtung

Unterkapitel 4.2 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Sensitivitätsanalysen. Einerseits werden die Verfahren mit den drei Bewertungsclustern Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft sowie mit einer Gleichgewichtung der drei Bereiche bewertet (Kapitel 4.2.1). In einer zweiten Betrachtung im Kapitel 4.2.2 werden für die Gutschriften alternative Standardprozesse eingesetzt (gemäss Tabelle 18), um den Umweltnutzen der stofflichen beziehungsweise energetischen Verfahren zu quantifizieren. Im Kapitel 4.2.3 wird das Umweltkriterium U11 «Methode der ökologischen Knappheit» anstelle der 10 Umweltkriterien U1-U10 verwendet. Schliesslich wird im Kapitel 4.2.4 eine KVA mit hoher Energieausnutzung eingesetzt (Entsorgungsweg bei biogenen Abfällen und bei Altholz) anstelle der durchschnittlichen Schweizer KVA.

Sensitivitäten:
(1) Unterschiedliche Gewichtungen
(2) alternative Standardprozesse
(3) Methode der ökologischen Knappheit
(4) energieoptimierte KVA

Diskussion der Anwendungsbeispiele

In Kapitel 4.3 werden die Ergebnisse der Testanwendung sowie deren Sensitivitätsanalysen diskutiert. Unterkapitel 4.3.4 schliesst mit einer Diskussion der Datenqualität, der Datenlücken und dem Aufzeigen von weiterem Analysebedarf.

Diskussion der entwickelten Multikriterienanalyse

In Kapitel 4.4 wird schliesslich die entwickelte Multikriterienanalyse basierend auf den Erkenntnissen der Anwendung diskutiert. Im Zentrum stehen die breite Abstützung sowie Anwendbarkeit der Methodik sowie die Möglichkeit einer Vereinfachung der Multikriterienanalyse.

Wir möchten betonen, dass die hier gezeigten Ergebnisse eine begrenzte Auswahl der verfügbaren Biomassefraktionen und Verfahren umfassen. Bedeutende Technologien, wie beispielsweise die Pyrolyse von Restholz, oder lokal spezifische Entsorgungen, wie zum Beispiel das Co-Verbrennen von Klärschlamm mit Schlämmen einer Papierfabrik, konnten im Rahmen dieses Projektes nicht quantifiziert und beurteilt werden. Die ausgewählten Edukte und Technologien dienen einerseits dem Austesten der entwickelten Multikriterienanalyse und geben andererseits eine Einschätzung zu den ausgewählten Verfahren, die für die Schweiz von Relevanz sind. Wo nicht anders vermerkt, handelt es sich bei allen Technologien um schweizerische Durchschnitte. Die Bewertungen können je nach lokalen Rahmenbedingungen, eingesetzter Technologie und Logistik stark variieren.

4.1 Testanwendung auf ausgewählt Biomassefraktionen und Verfahren

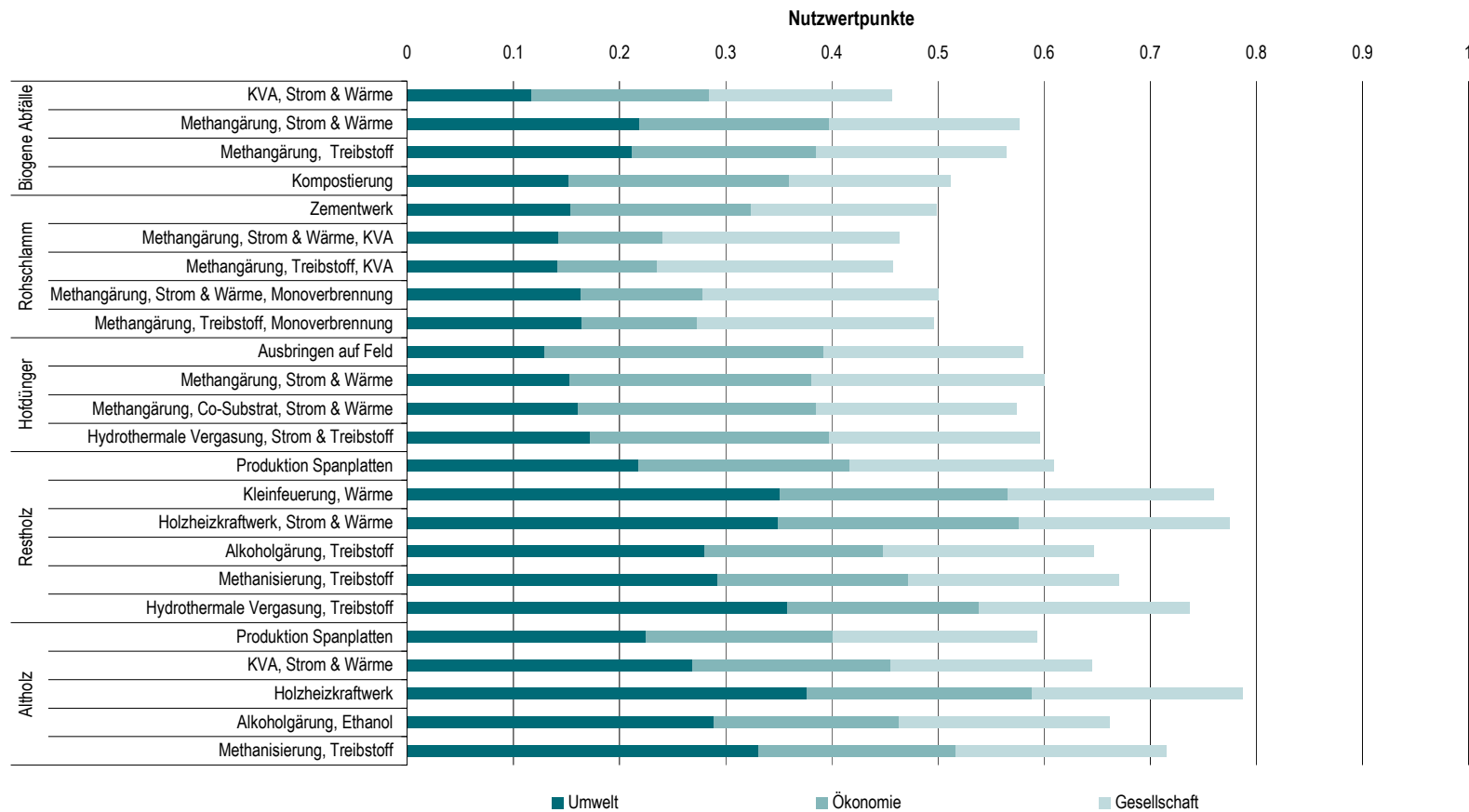
4.1.1 Gesamtübersicht

Figur 9 zeigt eine Gesamtübersicht der Ergebnisse. Die Bezugsgrösse ist jeweils eine Tonne Edukt (Feuchtsubstanz der untersuchten Biomassefraktionen). Kriterien, Nutzenfunktionen und Gewichtung entsprechen den Angaben in Tabelle 37. Die Bewertung der Multikriterienanalyse liegt jeweils zwischen 0 und 1, wobei 0 die tiefste und 1 die höchste Bewertung bzw. Nutzen ist. Dies gilt auch für die folgenden Unterkapitel 4.1.2 bis 4.1.8.

Bedeutung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen

Die Ergebnisse der Multikriterienanalyse aller bewerteten Verfahren variieren zwischen 0.45 und 0.79 Nutzwertpunkten. Dies entspricht einem Unterschied von maximal 34 %-Punkten. Die Nutzwerte der Dimensionen Umwelt und Wirtschaft weisen eine grössere Variation auf, währenddem sich der gesellschaftliche Nutzen der verschiedenen Entsorgungs- und Nutzungspfade weniger stark unterscheidet.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger»



Figur 9: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Insgesamt erzeugen einzelne Entsorgungswege von Rest- und Altholz den grössten Nutzen pro Tonne Edukt, gefolgt von den Verfahren für Hofdünger, biogene Abfällen aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistungen sowie Rohschlamm. Daran lässt sich erkennen, dass die Entsorgung der Rest- und Altholzfraktion technisch weniger aufwändig ist und ein Grossteil der Energie im Edukt genutzt werden kann. Rest- und Altholz weisen zudem auch den grössten Energieinhalt der untersuchten Biomassefraktionen auf. In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der fünf untersuchten Biomassefraktionen einzeln diskutiert.

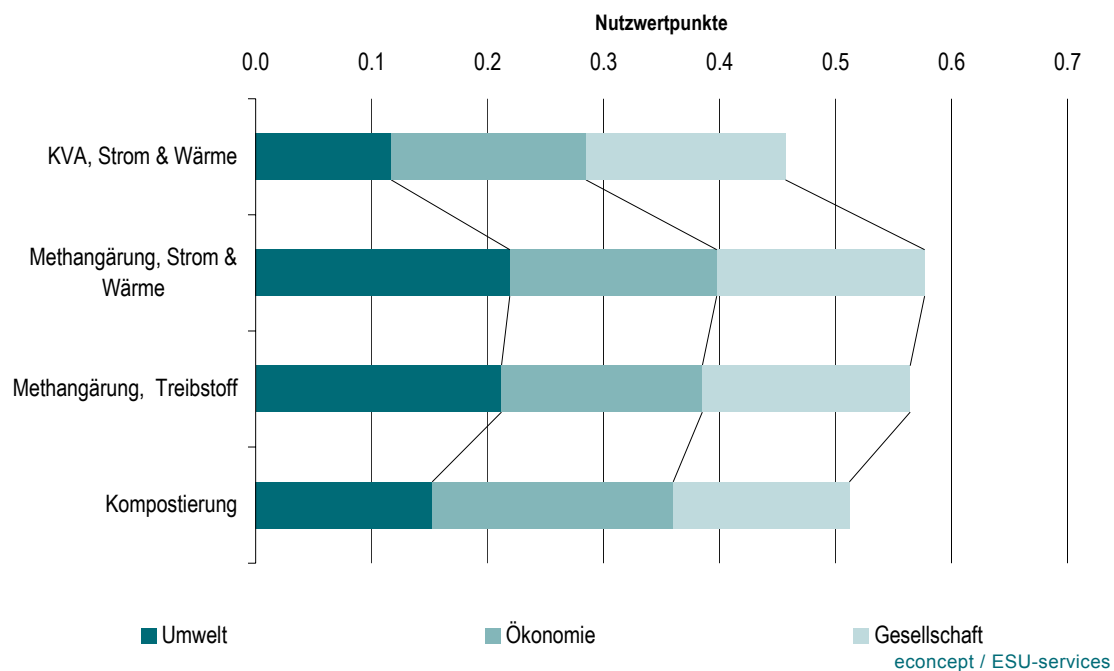
4.1.2 Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben

| | |
|-----------------------------|--|
| Untersuchte Entsorgungswege | Die in der vorliegenden Studie untersuchten Entsorgungswege von biogenen Abfällen sind die Verbrennung in einer KVA, die Vergärung in einer industriellen Biogasanlagen sowie die Kompostierung. Bei der Vergärung unterscheiden wir zwei Varianten: Das Biogas aus der Vergärungsanlage kann entweder zu Strom und Wärme oder zu Treibstoff verarbeitet werden. |
| Nachhaltigkeitsbewertung | Die Ergebnisse der Multikriterienanalyse zeigen, dass aus Nachhaltigkeitssicht biogene Abfälle mit Vorteil vergärt und an Ort und Stelle zu Wärme und Strom umgewandelt werden. Ein leicht geringerer Nutzen wird bei einer Vergärung mit anschliessender Treibstoffbereitstellung erzielt, gefolgt von einer Kompostierung ohne Energiegewinnung und einer Entsorgung in einer Kehrichtverbrennungsanlage mit durchschnittlichem Schweizer Strom- und Wärmeertrag. Für den vergleichsweise kleinen Gesamtnutzen der KVA ist die geringe Energienutzung in einer durchschnittlichen Schweizer KVA verantwortlich (vgl. dazu auch Kapitel 4.2.4). |
| Umwelt | Die Methangärung mit anschliessender Nutzung des Biogases zur Strom- und Wärmeerzeugung weist nicht nur in der Gesamtbewertung sondern auch in Bezug auf den Umweltbereich den grössten Nutzen auf. Ein leicht geringerer Nutzen weist die Vergärung mit Aufbereitung des Biogases zu Treibstoff auf, gefolgt vom Verbrennen in einer Kehrichtverbrennungsanlage und dem Kompostieren (ohne Energienutzung). Der grösste Umweltnutzen ist in den Bereichen Überdüngung und Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen, Klimawandel und Ökotoxizität zu beobachten. Mit Ausnahme von Versauerung und Sommersmog weist die Vergärung in allen Umweltkriterien leichte bis deutliche Vorteile gegenüber der Kehrichtverbrennung auf. Die Kompostierung weist gegenüber der Vergärung leichte Vorteile in den |

Kriterien Ökotoxizität und hochradioaktive Abfälle (tieferer Strombedarf) auf.

Das Ergebnis einer Bewertung der Umweltauswirkungen mithilfe des Kriteriums U11 «Methode der ökologischen Knappheit 2006» zeigt für die Kompostierung und die Kehrlichtverbrennung deutlich tiefere Umweltnutzen (siehe Figur 23).

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen aus Haushalten, Dienstleistungen und Gewerbe»



Figur 10: Ergebnis der Multikriterienanalyse für Technologien zur Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens. Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Aus wirtschaftlicher Sicht weist die Kompostierung (ohne Energienutzung) den grössten Nutzen auf. Die drei anderen Entsorgungsarten weisen fast den gleichen ökonomischen Nutzen auf. Der Unterschied zwischen der Kompostierung und den drei anderen Entsorgungswegen beträgt rund 0.04 Nutzwertpunkte (rund 13% in Bezug auf den Ökonomiebereich). Dieser Unterschied beruht auf dem grössten, ökonomischen Nutzen der Kompostierung (im Vergleich zu den drei anderen Entsorgungswegen) bei den drei Kriterien Entsorgungspreis, erwartete Volatilität Produktepreise und Investitionskosten. Gesamthaft weisen die Entsorgungskosten (O1) und die Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft (O5) den grössten Einfluss auf den ökonomischen Nutzen bei der Entsorgung biogener Abfällen auf. Mit dem kleinsten

Ökonomie

Nutzwert werden die beiden Kriterien Investitionskosten (O3.3) und die Amortisationsdauer (O3.4) bei der Entsorgung in einer KVA bewertet.

Gesellschaft Aus gesellschaftlicher Sicht erzeugen die beiden Vergärungswege mit anschliessender Nutzung des Biogases als Treibstoff bzw. zur Erzeugung von Strom und Wärme den grössten Nutzen. Die Verbrennung in einer Kehrrichtverbrennungsanlage wird mit einem lediglich wenig geringeren Nutzen bewertet. Die Kompostierung weist den geringsten gesellschaftlichen Nutzen auf, wobei der Unterschied zum Entsorgungsweg mit dem höchsten Nutzen 0.03 Nutzwertpunkte beträgt (rund 12% in Bezug auf den Gesellschaftsbereich). Im Gesellschaftsbereich sind es die Geruchs-Emissionen, die bei der Kompostierung den Ausschlag für den geringeren Nutzen geben. Der Lärm durch die Anlage, die Einstellung gegenüber der Technologie, die Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen sowie die arbeitsbedingten Unfälle und Todesfälle werden jeweils für alle vier Anlagen sehr ähnlich beurteilt, wobei die KVA einen leicht geringeren Nutzen erzielt als die anderen Anlagen.

4.1.3 Klärschlamm

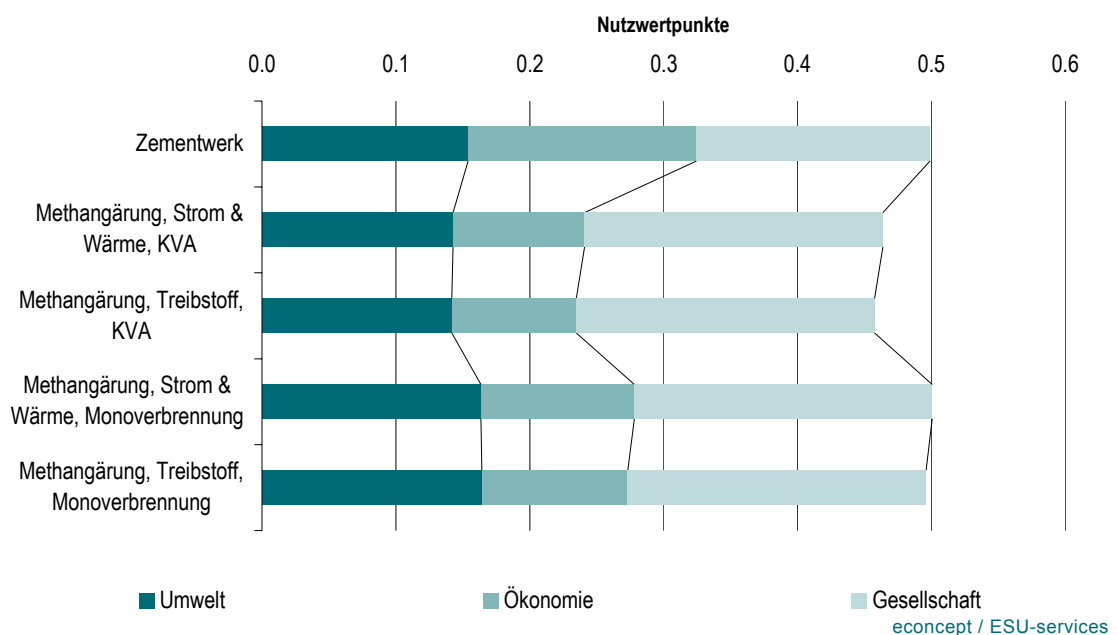
Untersuchte Entsorgungswege Die Multikriterienanalyse wurde auf folgende Entsorgungswege für Klärschlamm angewandt: Ausfäulung des Klärschlammes und anschliessende Verbrennung in KVA oder Monoverbrennung oder ein direkter Einsatz des Klärschlammes ohne Faulung im Zementwerk. Das beim Faulungsprozess entstehende Klärgas kann entweder in Strom und Wärme umgewandelt oder zu Treibstoff aufbereitet werden. Wenn der im Zementwerk eingesetzte Klärschlamm zuvor ebenfalls ausgefault wird, erhöht sich der Gesamtnutzen dieses Entsorgungsweges. Diese Variante der Klärschlamm Entsorgung wurde im Rahmen dieses Projektes nicht analysiert.

Nachhaltigkeitsbewertung Die Bewertung der Klärschlamm Entsorgungswege wird von den gesellschaftlichen Kriterien geprägt. Aus Nachhaltigkeitssicht werden die Entsorgung im Zementwerk sowie Methangärung mit anschliessender Monoverbrennung am besten bewertet, wobei die Unterschiede zur Methangärung mit anschliessender Verbrennung in KVA gering sind (0.04 Nutzwertpunkte oder 4 %-Punkte). Wie bei der Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Industrie ist der Nutzen einer direkten Energiegewinnung aus Klärgas mittels BHKW leicht grösser als dessen Aufbereitung und Einsatz als Treibstoff.

Umwelt Die verschiedenen Technologien und Entsorgungswege unterscheiden sich auch bezüglich Umweltauswirkungen nur geringfügig (0.02 Nutzwertpunkte oder knapp 4 % bezogen auf das Nutzwertmaximum des

Umweltbereichs). Vergärung mit anschliessender Monoverbrennung des ausgefaulten Schlammes sowie Zementwerk weisen einen geringfügig höheren Umweltnutzen aus. Dies liegt an leicht tieferen Auswirkungen bezüglich Überdüngung und an leicht kleineren Mengen zu deponierender Abfälle dieser Entsorgungswege. Der Umweltnutzen wird durch Ökotoxizität, Überdüngung, Versauerung, Humantoxizität und Klimawandel geprägt (Reihenfolge entsprechend der Grösse des Beitrags).

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von Klärschlamm»



Figur 11: Ergebnis der Multikriterienanalyse für Technologien zur Entsorgung von Klärschlamm. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Auch bei diesem Edukt werden die Ergebnisse bezüglich Umweltnutzen beim Anwenden des alternativen Kriteriums «Methode der ökologischen Knappheit» (U11), mit verstärkten Unterschieden, bestätigt.

Aus ökonomischer Sicht weist die Verbrennung im Zementwerk einen deutlich grösseren Nutzen auf als die anderen Entsorgungswege, welche sich nur geringfügig voneinander unterscheiden. Dies ist vor allem auf die geringeren Entsorgungskosten zurückzuführen. Die Kriterien «Volatilität der Eduktepreise», «Reaktionsfähigkeit der Anlagen auf Schwankungen im Edukteangebot» sowie «Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft» werden bei fast allen Entsorgungswegen den grössten Nutzen bewertet. Auch die Edukte-Unabhängigkeit der

Ökonomie

Anlagen und die volkswirtschaftliche Wertschöpfung werden für alle Entsorgungswege mit einem hohen Nutzen beurteilt.

Gesellschaft Bei Betrachtung der Nutzwerte des Bereichs Gesellschaft fällt auf, dass diese teilweise deutlich grösser ausfallen als die Nutzwerte der Bereiche Umwelt und Ökonomie. Dies liegt zum Teil auch daran, dass die Umweltwirkungen bezogen auf eine Tonne Feuchtschubstanz bewertet wurden, was sich bei der Umwelt auswirkt, bei der Gesellschaft hingegen nicht. Die beiden Entsorgungswege mit anschliessender Entsorgung über eine Kehrichtverbrennungsanlage sowie die beiden Wege mit anschliessender Monoverbrennung erzielen aus gesellschaftlicher Sicht den gleichen Nutzen. Die Entsorgung im Zementwerk wird mit einem um 0.05 Punkte geringeren Nutzen als die anderen Entsorgungswege bewertet (rund 20% bezogen auf den Gesellschaftsbereich). Dieser Unterschied ist die Kriterien «Einstellung gegenüber der Technologie», «Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen», «Risiken der Angestellten» sowie «Unabhängigkeit von importierten Energieträgern» zurückzuführen.

4.1.4 Hofdünger

Untersuchte Nutzungswege In der vorliegenden Studie wurden folgende Nutzungswege für Hofdünger untersucht: Das Ausbringen von Hofdünger auf die Felder (unter anderem als Ersatz für Mineraldünger und Torf), das Vergären von Hofdünger alleine oder mit Co-Substrat mit anschliessender Umwandlung des Biogases in Strom und Wärme und Ausbringen der nutzbaren Reststoffe auf das Feld, sowie die hydrothermale Vergasung von Hofdünger und der Einsatz des so erzeugten synthetischen Erdgases als Treibstoff.

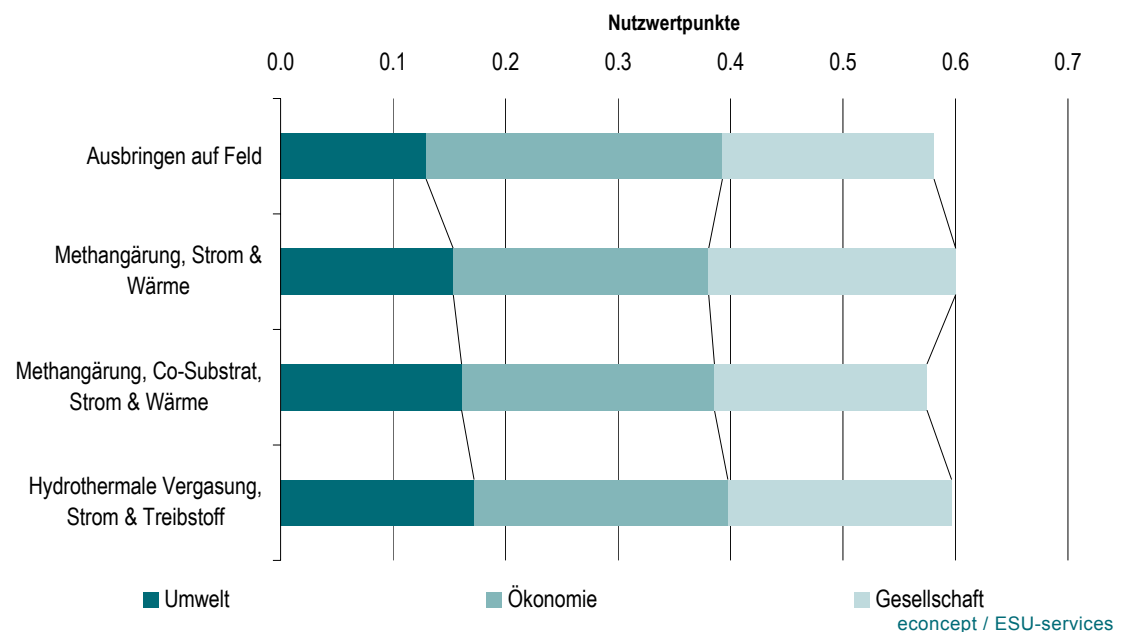
Nachhaltigkeitsbewertung Die Unterschiede zwischen den Nutzungswegen in der Gesamtbewertung sind relativ gering (0.03 Nutzwertpunkte oder 3 %-Punkte). Die Methangärung von Hofdünger ohne Co-Substrat generiert den höchsten Nutzen, die hydrothermale Vergasung wird mit nur unwesentlich weniger Nutzwertpunkten bewertet. In den drei Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft werden Bewertungsunterschiede sichtbar. Der Umweltnutzen ist bei allen vier untersuchten Nutzungswegen eher tief.

Umwelt Die hydrothermale Vergasung weist den höchsten Umweltnutzen auf (allerdings quantifiziert auf Basis von Planungs- und Modellierungsdaten), gefolgt von den Vergärungsverfahren (mit und ohne Co-Substrat) und dem direkten Ausbringen der Gülle aufs Feld. Der Unterschied zwischen tiefstem und höchstem Umweltnutzen beträgt 0.04 Nutzwertpunkte (knapp 9 % bezogen auf das Nutzwertemaximum des Umwelt-

bereichs). Ökotoxizität, Humantoxizität und deponierte Abfälle liefern die grössten Beiträge zum gesamten Umweltnutzen der untersuchten Technologien.

Der Umweltnutzen der hydrothermalen Vergasung, quantifiziert mit der Methode der ökologischen Knappheit ist deutlich grösser als derjenige der anderen drei Technologien. Dies kann teilweise damit begründet werden, dass die Sachbilanz bezüglich Schadstoffemissionen weniger detailliert ist als diejenige der anderen Verfahren und die Anlagedaten aus Prozesssimulationsprogrammen stammen.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Nutzung von Hofdünger »



Figur 12: Ergebnis der Multikriterienanalyse zu den Technologien für die Nutzung von Hofdünger. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Aus ökonomischer Sicht erzielt die Ausbringung der Gülle auf das Feld den höchsten Nutzen. Die anderen drei Nutzungswege unterscheiden sich nur sehr geringfügig, wobei die hydrothermale Vergasung aus ökonomischer Sicht mit 0.04 Nutzwertpunkten weniger als die Ausbringung auf das Feld den geringsten Nutzen aufweist. Bis auf die Kriterien Entsorgungskosten, Edukte-Unabhängigkeit der Anlage sowie volkswirtschaftliche Wertschöpfung weist das Ausbringen auf das Feld bei allen anderen Ökonomiekriterien den höchsten Nutzen auf. Die hydrothermale Vergasung erzielt als Pilotanlage vor allem bei den Kriterien Investitionskosten und Amortisationsdauer einen geringeren

Ökonomie

Nutzen als die anderen Verfahren und wird deswegen insgesamt mit einem tieferen Nutzen bewertet.

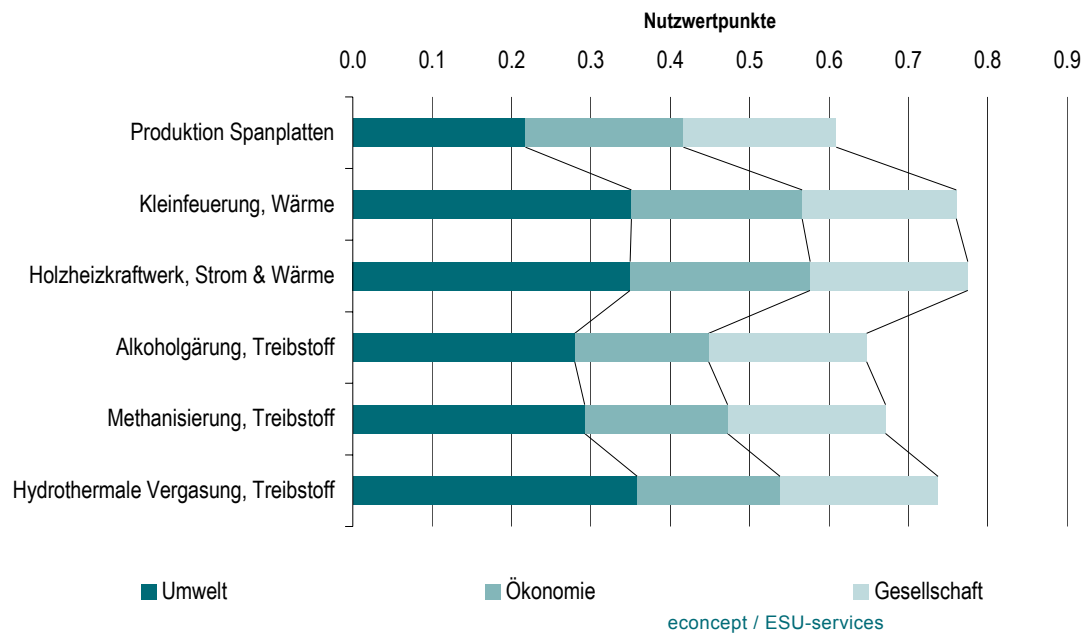
Gesellschaft Die Methangärung von Gülle ohne Co-Substrate erzielt aus gesellschaftlicher Sicht den höchsten Nutzen. Die Unterschiede zu den anderen drei Verfahren liegen zwischen 8% und 12% in Bezug auf den Gesellschaftsbereich. Für den höchsten Nutzen der Methangärung sind die Bewertungen bei folgenden Kriterien verantwortlich: Geruchsemissionen (Ausbringen auf das Feld mit geringstem Nutzen), logistische Anpassungen (im Vergleich zu Vergärung mit Co-Substraten und hydrothermale Vergasung, die einen geringeren Nutzen aufweisen), Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen (hydrothermale Vergasung mit geringstem Nutzen) sowie potenzielle Raumplanungskonflikte (Vergärung mit Co-Substraten mit geringstem Nutzen).

4.1.5 Restholz

Untersuchte Entsorgungswege Die Multikriterienanalyse wurde auf folgende sechs Entsorgungswege für Restholz angewandt: Stoffliche Nutzung in der Spanplattenproduktion, Verbrennung in Kleinf Feuerungen und Heizkraftwerken, Herstellung von Ethanol durch Alkoholgärung sowie Herstellung eines synthetischen Erdgases mittels Methanisierung und hydrothermalen Vergasung.

Nachhaltigkeitsbewertung Die Bewertung mittels der Multikriterienanalyse zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Entsorgungswegen von Restholz. Die Energieerzeugung in Kleinf Feuerungen und in Holzheizkraftwerken weist den grössten Nutzen auf, gefolgt von der hydrothermalen Vergasung, Methanisierung, Alkoholgärung und schliesslich der stofflichen Entsorgung (Spanplattenherstellung). Der Umweltnutzen ist bei allen untersuchten Entsorgungswegen höher bewertet als der ökonomische und gesellschaftliche Nutzen. Dies ist unter anderem auf den hohen Energieinhalt von Holz zurück zu führen.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von Restholz»



Figur 13: Ergebnis der Multikriterienanalyse zu den Technologien für die Entsorgung von Restholz. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Der Umweltnutzen variiert um 0.14 Nutzwertpunkte (rund 31% bezogen auf das Nutzwertmaximum des Umweltbereichs) und ist am höchsten bei der hydrothermalen Vergasung und ähnlich hoch für die Kleinf Feuerung und das Holzheizkraftwerk. Ein hoher Nutzen in den Bereichen Klimaänderung und Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger ist hauptverantwortlich für diese hohe Bewertung. Im Bereich Flächennutzung weist die Entsorgung im Spanplattenwerk den höchsten Nutzen auf. Ansonsten bietet die stoffliche Nutzung (Spanplattenherstellung) bei einem relativ geringen Mehraufwand einen ebenfalls eher bescheidenen Umweltnutzen.

Die Methode der ökologischen Knappheit bestätigt einerseits den klar höchsten Umweltnutzen der hydrothermalen Vergasung. Andererseits sind die Unterschiede zwischen stofflicher und energetischer Nutzung bei weitem nicht mehr so deutlich.

Aus ökonomischer Sicht erzielt die Entsorgung des Restholzes in einem Holzheizkraftwerk den höchsten Nutzen, gefolgt von der Entsorgung in einer Kleinf Feuerung und der Produktion von Spanplatten, welche beide einen nur wenig geringeren Nutzen aufweisen. Die Entsorgung in den drei Pilotanlagen (Alkoholgärung, Methanisierung und hydrothermale Vergasung) weist aus ökonomischer Sicht den geringsten Nutzen auf. Dies ist vor allem auf die Kriterien «Höhe der Investi-

onskosten» und «Amortisationsdauer» zurückzuführen. Bei der Produktion von Spanplatten sind die Sammelkosten ausschlaggebend für den geringeren Nutzen im Vergleich zur Entsorgung in einem Heizkraftwerk und in Kleinfeuerungen.

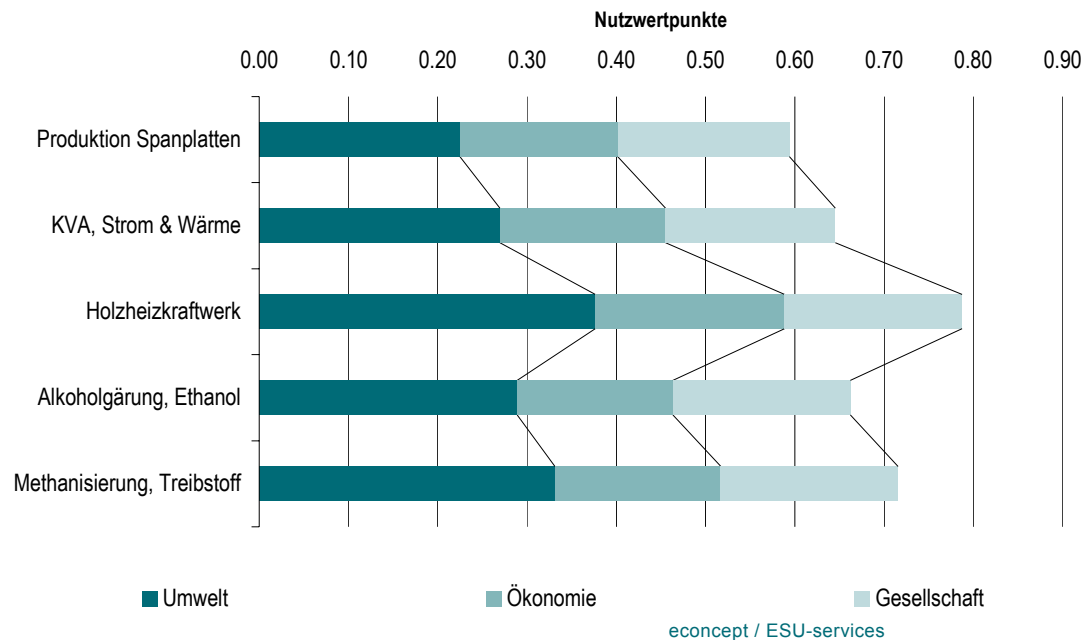
Gesellschaft Der gesellschaftliche Nutzen der verschiedenen Entsorgungswege unterscheidet sich nur sehr geringfügig. Die Entsorgung in einer Spanplattenfabrik erzielt vor allem wegen dem fehlenden Beitrag zur Steigerung der Unabhängigkeit von importierten Energieträgern einen geringeren Nutzen als die anderen Entsorgungswege. Die Entsorgung von Restholz in Kleinfeuerungen weist gegenüber den anderen Entsorgungswegen bei den Geruchs-Emissionen den geringsten Nutzen auf.

4.1.6 Altholz

Untersuchte Entsorgungswege In Bezug auf Altholz wurden die folgenden Entsorgungswege mittels der Multikriterienanalyse bewertet: Stoffliche Nutzung in der Spanplattenherstellung, Entsorgung in der KVA, Verbrennung in einem Heizkraftwerk mit einer weitergehenden Rauchgasreinigung sowie die Herstellung von Treibstoffen mittels Alkoholgärung (zu Ethanol) und Methanisierung (zu synthetischem Erdgas).

Nachhaltigkeitsbewertung Das Verwerten von Altholz mit direkter Energiegewinnung stellt erhöhte Anforderungen an die Rauchgasreinigung. Dadurch wird einerseits der ökonomische Nutzen eines Holzheizkraftwerkes geschmälert, andererseits aber der Umweltnutzen erhöht. Aus Nachhaltigkeitssicht weist die direkte energetische Entsorgung von Altholz in einem Heizkraftwerk den höchsten Nutzen auf, gefolgt von der Methanisierung, der Alkoholgärung, der KVA und schliesslich der stofflichen Nutzung. Der Vergleich zwischen dem mit Restholz betriebenen Holzheizkraftwerk und dem Altholzheizkraftwerk zeigt einen etwas höheren Umweltnutzen zugunsten des Altholzheizkraftwerks. Dies ist bedingt durch den höheren Trockensubstanzanteil im Altholz, der eine höhere Energieausbeute pro Tonne Edukt (Feuchtmasse) ermöglicht.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von Altholz»



Figur 14: Ergebnis der Multikriterienanalyse zu den Technologien für die Entsorgung von Altholz. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung.

Der Umweltnutzen der fünf Entsorgungsverfahren unterscheidet sich deutlich (0.16 Nutzwertpunkte oder 36 % bezogen auf das Nutzwertmaximum des Umweltbereichs). Die Reihenfolge ist dieselbe wie diejenige bezüglich Nachhaltigkeit. Auch hier beeinflussen die Bereiche Klimaänderung und Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen das Ergebnis massgeblich.

Die Bewertung des Umweltnutzens mit der Methode der ökologischen Knappheit ergibt ein deutlich anderes Ergebnis. Der Umweltnutzen der Entsorgung in der KVA ist deutlich tiefer und auch der Umweltnutzen der Entsorgung im Altholzkraftwerk ist aufgrund einer Höherbewertung der Dioxin- und Zinkemissionen reduziert. Demgegenüber wird der Umweltnutzen der Entsorgung in der Spanplattenproduktion höher bewertet.

Wie bei der Betrachtung der Entsorgungswege von Restholz erzielt auch beim Altholz die Entsorgung in einem Heizkraftwerk aus ökonomischer Sicht den grössten Nutzen. Die anderen vier Entsorgungswege unterscheiden sich geringfügig voneinander. Wiederum erzielen die Pilotanlagen und auch die KVA bezüglich Investitionskosten und die Amortisationsdauer den geringsten Nutzen. Zudem werden die Entsorgungskosten für die Verbrennung in einer KVA und die volkswirtschaft-

liche Wertschöpfung durch die Produktion von Spanplatten mit einem deutlich geringeren Nutzen bewertet als die jeweils anderen vier Entsorgungswege.

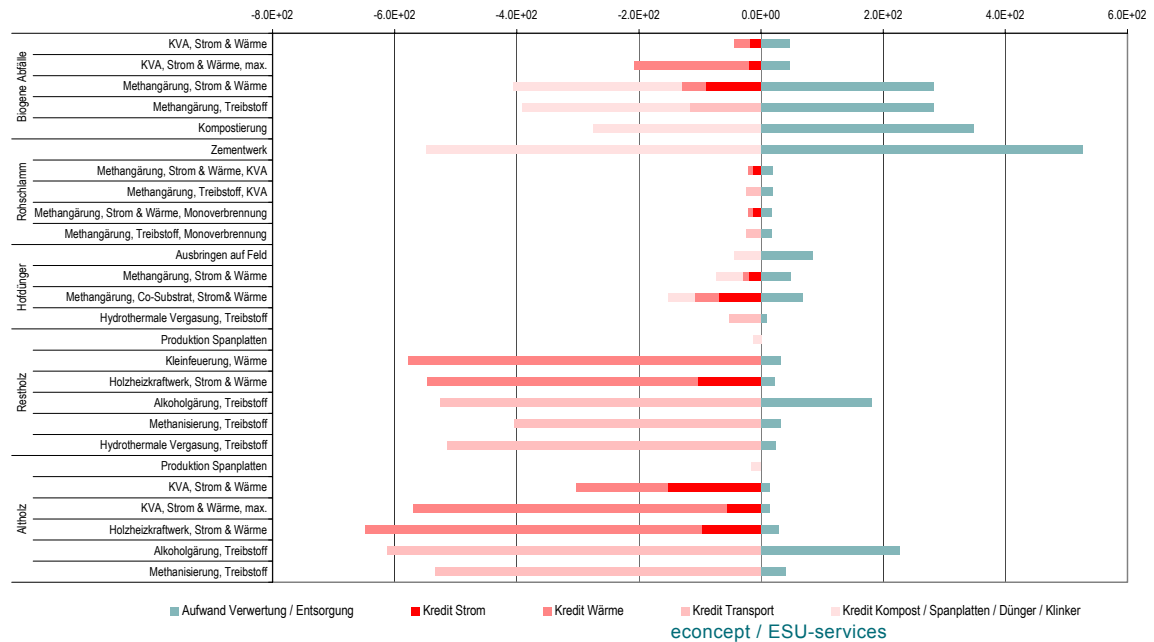
Gesellschaft Im gesellschaftlichen Bereich unterscheidet sich der Nutzen der verschiedenen Entsorgungswege nur gering. Gleich wie beim Restholz erzielt die Entsorgung in einer Spanplattenfabrik vor allem wegen dem geringen Nutzen für die Unabhängigkeit von importierten Energieträgern einen leicht geringeren Nutzen als die anderen Entsorgungswege.

4.1.7 Direkte Umweltwirkungen vs. Gutschriften

In diesem Abschnitt werden die Verfahren bezüglich der beiden Kriterien «Klimaänderung» und «Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen» diskutiert. Hierbei werden die Auswirkungen der Verfahren (= direkte Umweltwirkungen) den Einsparungen von Standardprozessen durch die erzeugten Produkte (= Gutschriften) gegenübergestellt. Als Standardprozesse - die durch die Entsorgung biogener Abfälle und Nutzung von Hofdünger substituiert werden - werden Konkurrenztechnologien auf Basis nicht erneuerbarer Energien ausgewählt, die heute alternativ zum Einsatz kommen würden und als relativ umweltfreundlich gelten (siehe Tabelle 17).

Treibhausgas-Emissionen Beim Kriterium Klimaänderung variieren die Treibhausgas-Emissionen im Saldo zwischen -620 und 73 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ pro Tonne Edukt (siehe Figur 15). Die Verfahren Zementwerk, Kompostierung, Alkohol- und Methangärung verursachen die höchsten direkten Treibhausgasemissionen, verzeichnen gleichzeitig aber auch hohe Emissions-Gutschriften für das Vermeiden der herkömmlichen Produktion von Strom, Wärme, Treibstoff, Zement beziehungsweise Torf. Die direkte Nutzung von Holz in Feuerungen oder Kraftwerken verursacht tiefe Treibhausgas-Emissionen und die höchsten Gutschriften für Wärme und Strom. Die sehr feuchten Fraktionen Hofdünger und Klärschlamm weisen insgesamt tiefe Treibhausgas-Emissionen pro Tonne Feuchtsubstanz auf (sowohl beim Aufwand wie bei den Gutschriften).

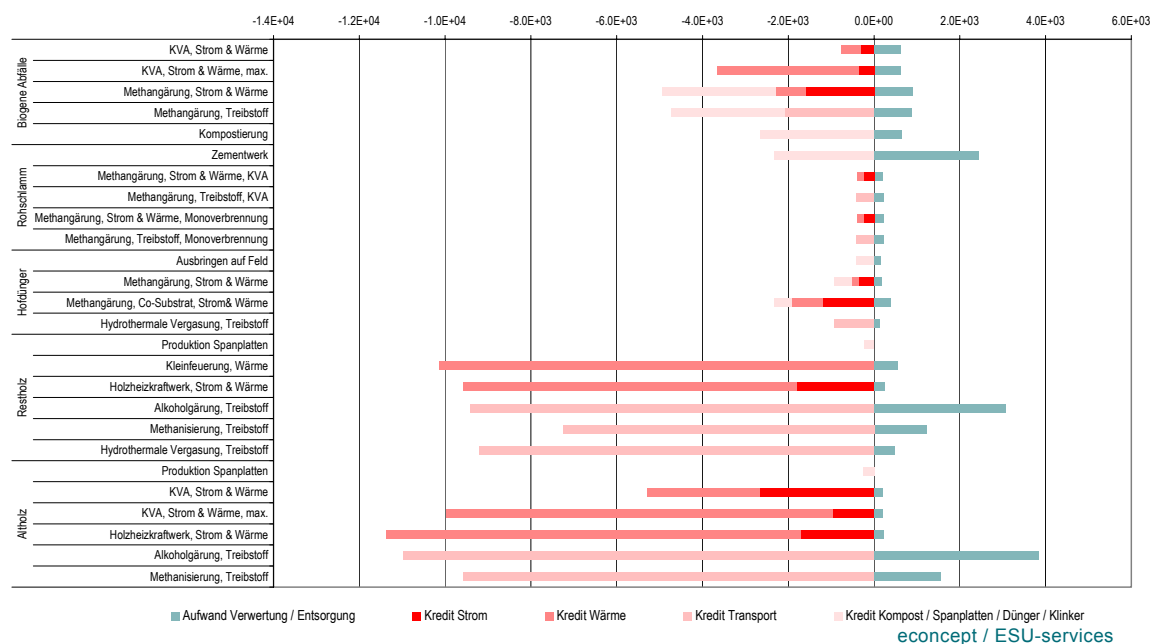
«Treibhausgas-Emissionen der Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger»



Figur 15: Treibhausgas-Emissionen in kg CO₂-eq / Tonne für alle 24 Entsorgungs- und Nutzungswege. Die Grafik zeigt einerseits die direkten Umweltwirkungen (blau, positive Werte) und andererseits die vermiedenen Treibhausgas-Emissionen (rot, negative Werte) durch das Erzeugen energetischer und/oder stofflicher Produkte (Gutschriften für Einsparungen gemäss Tabelle 17).

Für das Kriterium Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieträger zeigt sich ein ähnliches Bild: Im Saldo variiert der kumulierte Energieaufwand, nicht erneuerbar, zwischen -11'200 und gut +100 MJ-eq pro Tonne Edukt (siehe Figur 16). Die Verfahren Alkoholgärung, Zementwerk und Methanisierung weisen den höchsten Energiebedarf pro Tonne Edukt aus. Die Holzfraktionen erzielen durch Erzeugen von Strom, Wärme oder Treibstoff die weitaus grösste Einsparung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen gefolgt von den biogenen Abfällen aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungen. Aufgrund des hohen Wassergehaltes sind die spezifischen Energieaufwände und die Gutschriften bei Klärschlamm und Hofdünger tief. Wird Hofdünger mit Co-Substrat vergärt, vermindert sich der Wassergehalt, weshalb der Energieertrag pro Tonne Feuchtsubstanz merklich ansteigt.

«Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar der Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger»



Figur 16: Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar in MJ-eq / Tonne für alle 24 Entsorgungs- und Nutzungswege. Die Grafik zeigt einerseits die direkten Umweltwirkungen (blau, positive Werte) und andererseits den vermiedenen kumulierten Energieaufwand (rot, negative Werte) durch das Erzeugen energetischer und/oder stofflicher Produkte.

4.1.8 Klimaschutzeffizienz der Verfahren

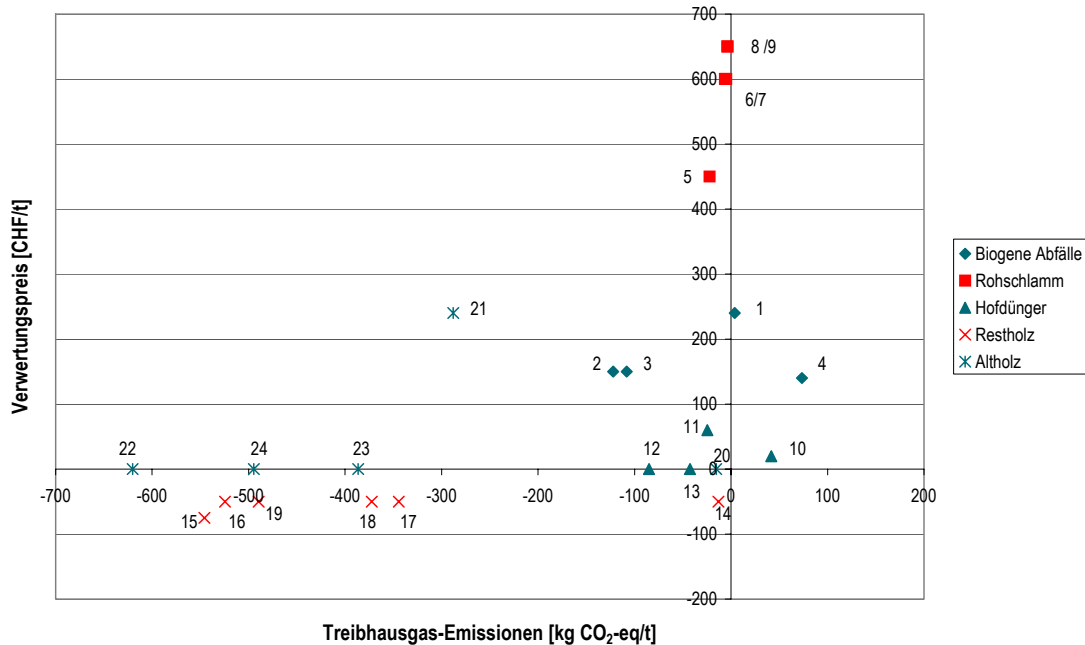
Eine interessante Betrachtung ergibt sich durch die Gegenüberstellung der beiden Kriterien Klimaänderung und Entsorgungskosten. Dadurch werden diejenigen Verfahren erkennbar, die pro eingesetztem Franken die grösste Reduktion bezüglich Treibhausgas-Emissionen ermöglichen.

Rest- und Altholz Bei negativen Entsorgungspreisen (d.h. zusätzlichen Erträgen) resultieren bei der Entsorgung von Restholz mit Ausnahme der Spanplattenherstellung (14) beträchtliche Einsparungen an Treibhausgasemissionen. Auch mit der Entsorgung von Altholz lassen sich die Treibhausgas-Emissionen deutlich reduzieren, allerdings zu gegenüber Restholz höheren Kosten. Bei der Spanplattenproduktion ist zu beachten, dass die energetische Entsorgung von Spanplatten, die zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist, in der vorliegenden Betrachtung nicht berücksichtigt wurde.

Klärschlamm Am anderen Ende der Skala – gegenüber von Rest- und Altholz - zeigen sich die Klärschlamm-Entsorgungswege, die mit hohen Entsorgungskosten nur geringe Emissionsminderungen erzielen. Die Entsor-

gung von Klärschlamm entfaltet seine günstigste (insgesamt bescheidene) Klimaschutzwirkung im Zementofen.

«Treibhausgas-Emissionen und Entsorgungspreise der Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger»



econcept / ESU-services

Figur 17: Treibhausgas-Emissionen und Entsorgungspreise der analysierten Verfahren. Negative Werte bedeuten Einsparungen an Treibhausgas-Emissionen beziehungsweise Nettoentsorgungserlöse (d.h. der Anlagebetreiber bezahlt für die Biomasse). Die grossen Preisunterschiede beim Altholz entstehen dadurch, dass beim Weg 21 Altholz in einer KVA zu deren Preiskonditionen entsorgt wird, bei den anderen Verfahren die marktüblichen Altholzpreise bezahlt werden. Die Nummern bezeichnen die Entsorgungs- bzw. Nutzungspfade entsprechend Tabelle 16.

Bei den biogenen Abfällen liegen Treibstoffaufbereitung (3) sowie Strom- und Wärmeproduktion (2) aus industriellen Vergärungsanlagen etwa gleich auf, mit leichten Vorteilen bezüglich Klimaschutz zugunsten der Strom- und Wärmeproduktion. Die Entsorgung in der KVA (1) ist zwar teurer, ermöglicht aber gleichzeitig eine grössere Reduktion der Treibhausgas-Emissionen. Das Kompostieren (4) führt bei im Vergleich zum Vergären etwas niedrigeren Entsorgungspreisen zu zusätzlichen Treibhausgas-Emissionen.

Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe, Dienstleistung

Bei der Nutzung des Hofdüngers ermöglichen die beiden kostenneutralen Optionen hydrothermale Vergasung (13) und Vergärung mit Co-Substraten (12) die grösste Minderung der Treibhausgas-Emissionen. Das direkte Ausbringen aufs Feld (10), d.h. die stoffliche Nutzung, ist aus Sicht des Klimaschutzes keine gute Option.

Hofdünger

4.2 Sensitivitätsanalysen

Zur Überprüfung der Robustheit der Daten, werden vier unterschiedliche Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Erstens werden unterschiedliche Gewichtungen angewandt: Einerseits die drei Cluster aus der Gewichtungsbefragung (vgl. Kapitel 3.3), die je eine der drei Dimensionen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft speziell stark gewichten, und andererseits eine Gleichgewichtung. Zweitens werden für die Umweltgutschriften die in Tabelle 18 aufgeführten alternativen Standardprozesse angewendet. Drittens wird anstelle der 10 Einzelindikatoren Umwelt (U1-10) das Kriterium U11 «Methode der ökologischen Knappheit 2006» (U11) verwendet. Und schliesslich wird aufgezeigt, welchen Effekt eine KVA mit hoher thermischer Energieausnutzung auf das Bewertungsergebnis der Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung sowie von Altholz hat.

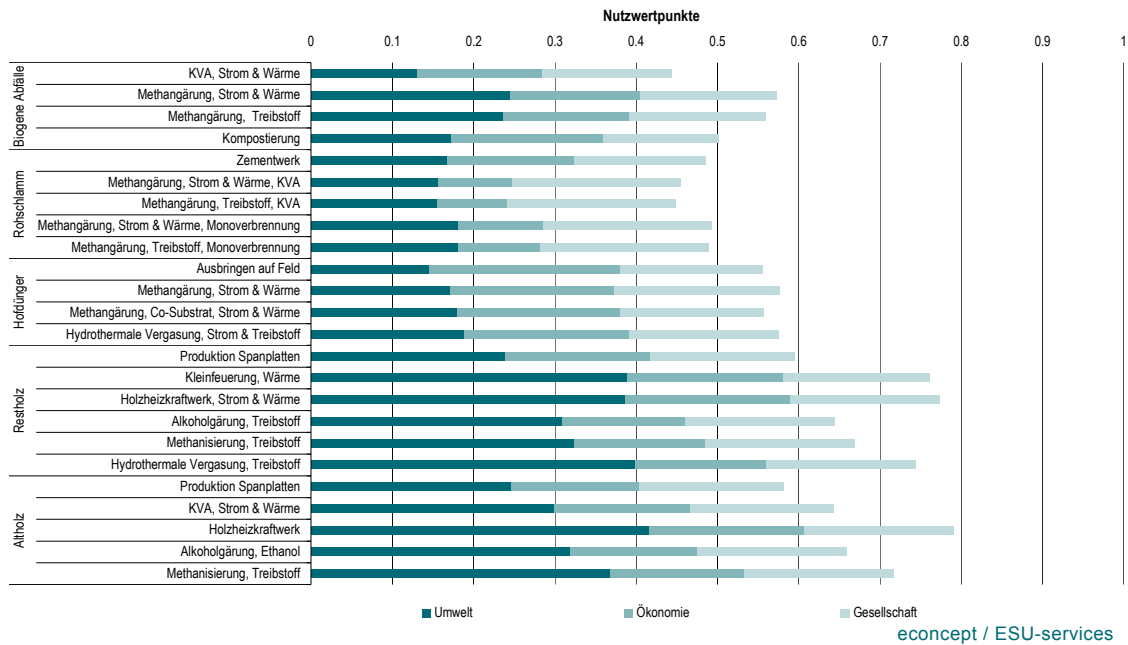
4.2.1 Unterschiedliche Gewichtungen

Um die Sensitivität der Ergebnisse bezüglich der Gewichtung zu testen werden neben dem durchschnittlichen Gewichtungssset die Cluster der Expertenbefragung in den drei Dimensionen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft (vgl. Kapitel 3.3) sowie eine Gleichbewertung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen verwendet.

Im Vergleich zwischen den Gewichtungsklustern Umwelt (Figur 18), Wirtschaft (Figur 19) und Gesellschaft (Figur 20) mit der durchschnittlichen Bewertung (Figur 9) zeigen sich lediglich sehr geringe Unterschiede. Die Reihenfolge bezüglich Gesamtnutzen der Entsorgungswege der Abfallfraktionen biogene Abfälle für HH, Gewerbe und Dienstleistungen, Restholz und Altholz bleiben gleich. Dies gilt auch für die Verfahren der Fraktionen Rohschlamm und Hofdünger, mit Ausnahme der Entsorgung von Rohschlamm im Zementwerk und des direkten Austrags von Hofdünger auf das Feld. Der Gesamtnutzen dieser beiden Verfahren reagiert sensibel auf die Wahl des Gewichtungssets. Eine starke Gewichtung des gesellschaftlichen Nutzens führt zu einem im Vergleich zu den anderen Verfahren tieferen Gesamtnutzen.

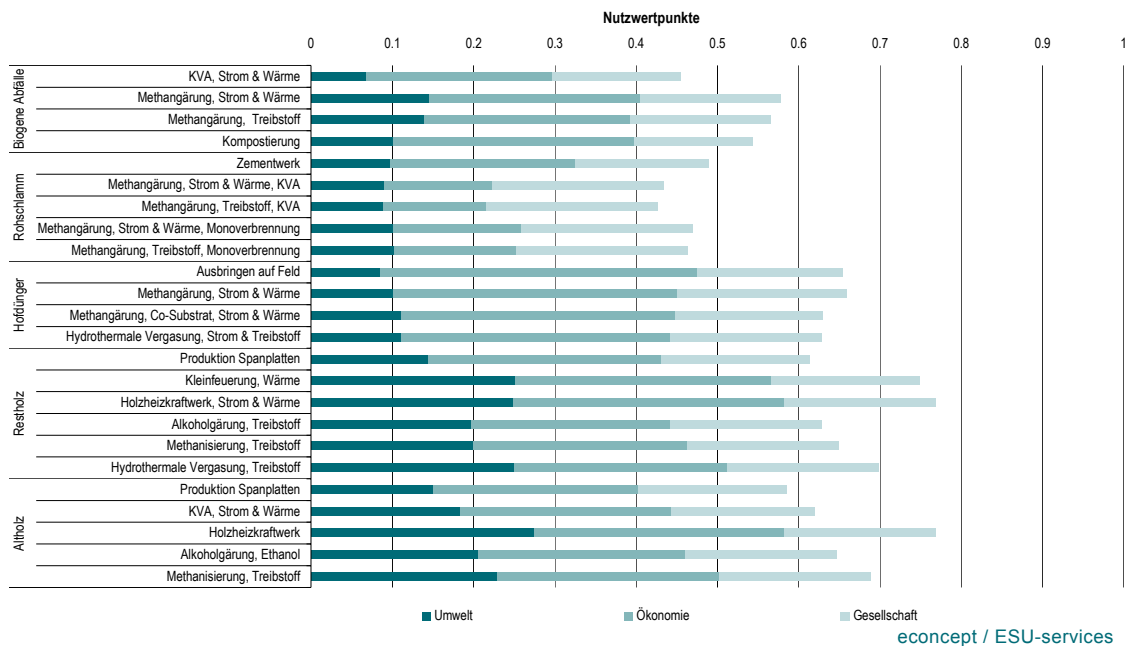
Dies lässt den Schluss zu, dass die Ergebnisse bezüglich Gewichtungspräferenz weitgehend stabil sind. Natürlich können reine Umweltbeziehungsweise Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führen. Im Rahmen einer umfassenden Betrachtung, in welcher alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden, ist die Variabilität jedoch deutlich geringer.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger, Gewichtungsschwerpunkt Umwelt»



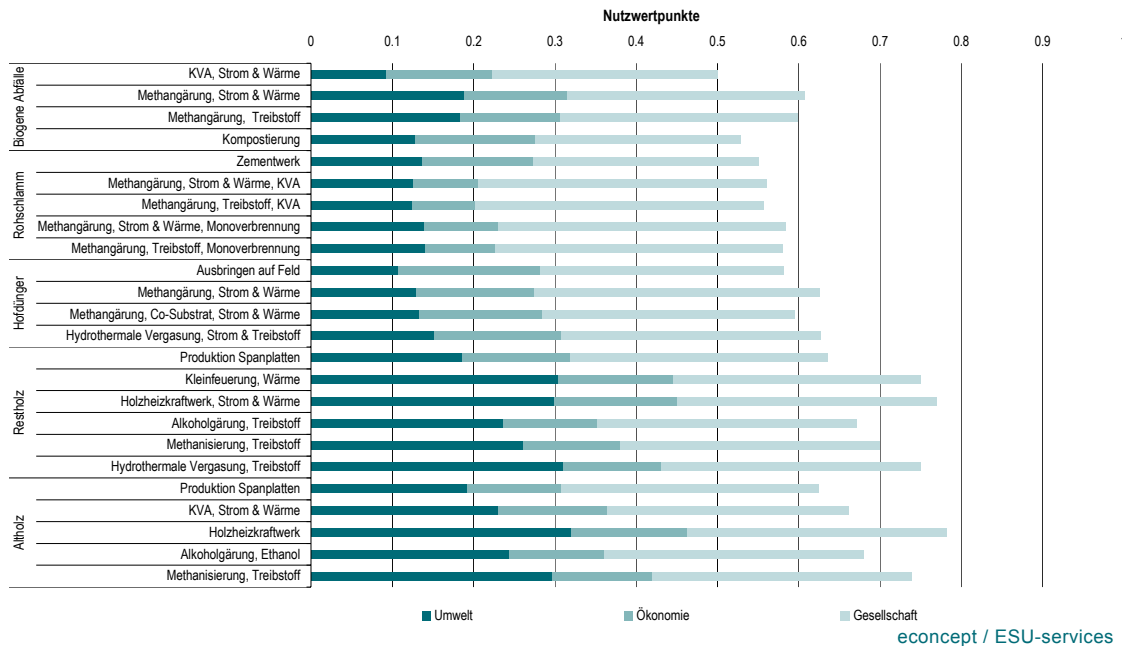
Figur 18: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Schwerpunkt Umwelt.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger, Gewichtungsschwerpunkt Wirtschaft»



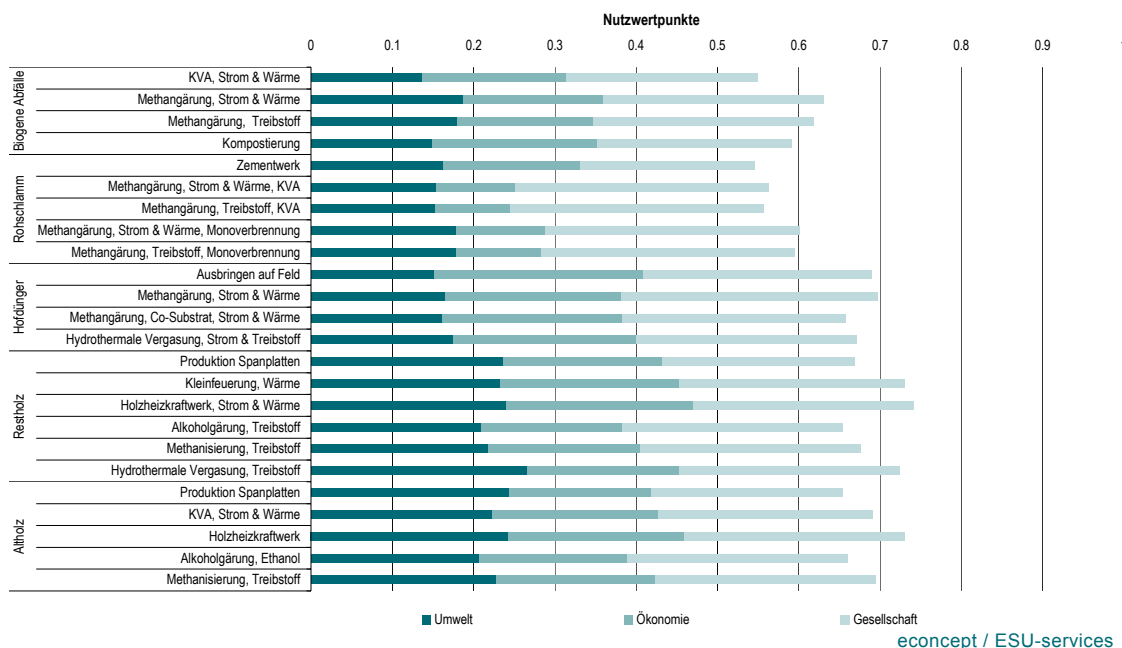
Figur 19: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Schwerpunkt Ökonomie.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger, Gewichtungsschwerpunkt Gesellschaft»



Figur 20: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Schwerpunkt Gesellschaft.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger, Gleichgewichtung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit»



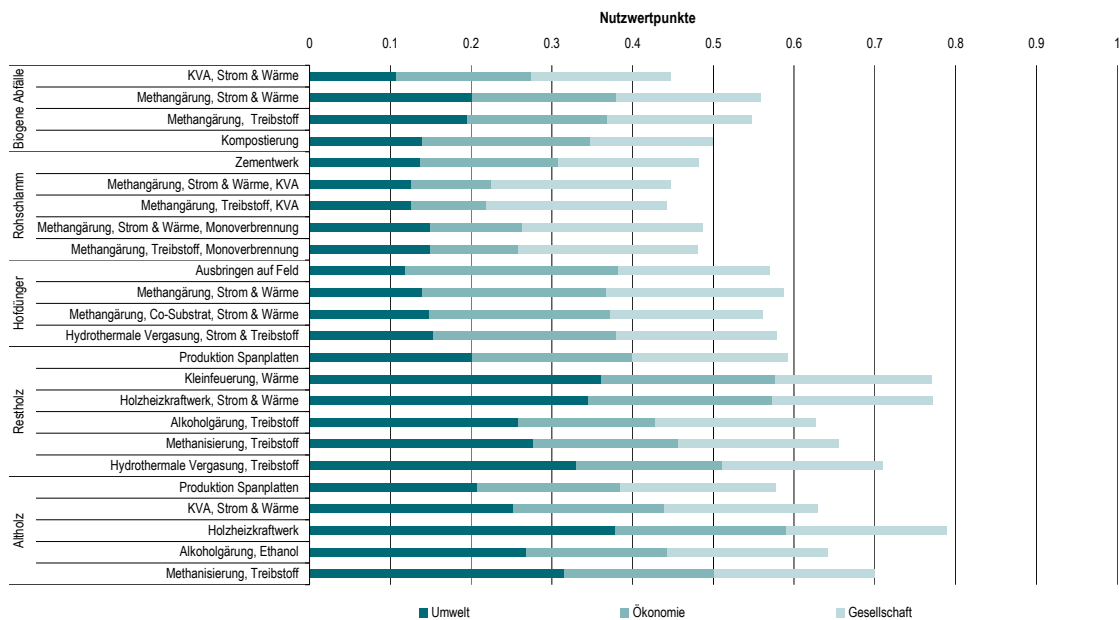
Figur 21: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Gleichgewichtung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit.

4.2.2 Unterschiedliche Gutschriften

Für die Umweltkriterien wird im vorliegenden Unterkapitel ein Gutschriften-Szenario gerechnet. Während in den vorhergehenden Kapiteln die Energiegutschriften mit der Umweltbelastung einer Erdgasfeuerung für Wärme, einem Erdgas-betriebenen Gas- und Dampfkraftwerk für die Stromerzeugung und mit Erdgas-betriebenen Fahrzeugen quantifiziert wurden (vgl. Tabelle 17), werden hier nun die Umweltbelastung einer Heizöl-Heizung, eines Kernkraftwerkes und von Diesel-betriebenen Fahrzeugen zur Ermittlung der Gutschriften herangezogen (vgl. Tabelle 18). Im Umweltbereich werden die Kriterien U1-U10 verwendet, die Gewichtung entspricht dem Durchschnitt der Expertenbefragung.

Figur 22 zeigt die Ergebnisse auf Basis der alternativen Standardprozesse. Die Bewertung der Verfahren verschiebt sich geringfügig. An der Gesamtbeurteilung ändert sich nur wenig.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger, Umweltgutschriften auf Basis alternativer Standardprozesse»

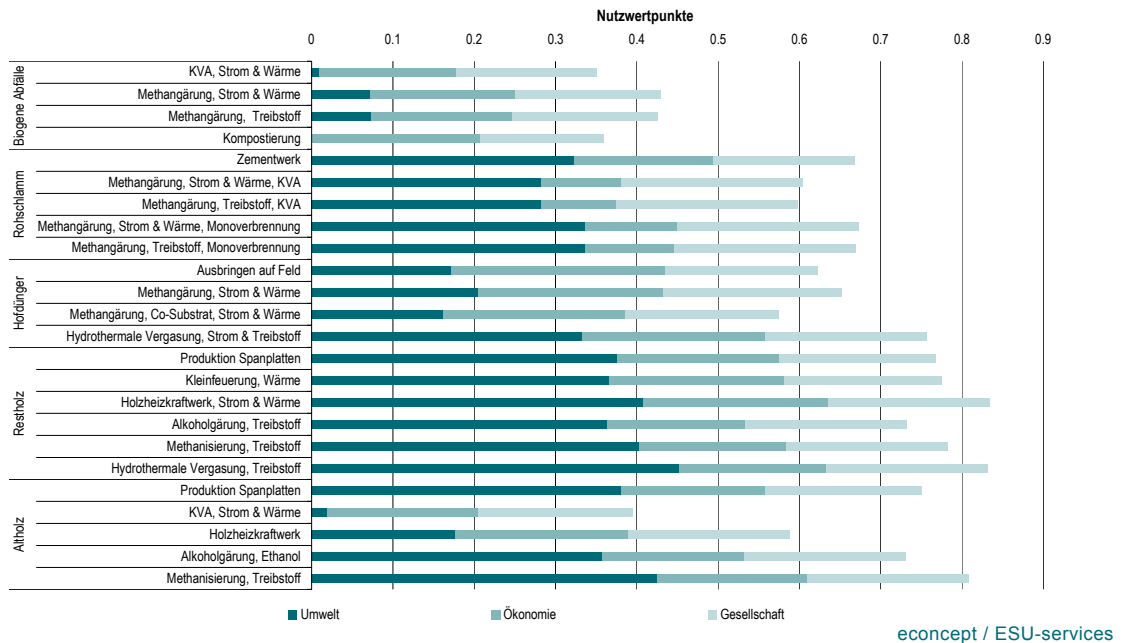


Figur 22: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung; Umweltgutschriften auf Basis alternativer Standardprozesse.

4.2.3 Methode der ökologischen Knappheit anstelle der zehn Einzelkriterien im Bereich Umwelt

| | |
|--|---|
| Effekt durch das Kriterium U11 | Anstelle der zehn Einzelkriterien wird das Kriterium U11 «Methode der ökologischen Knappheit 2006» (UBP 2006) verwendet, um die Dimension Umwelt zu bewerten. Es zeigen sich deutliche Verschiebungen im Umweltbereich aber auch in der Gesamtbeurteilung. Einerseits umfassen die Nutzwerte der Dimension Umwelt nun den gesamten Bereich von 0 bis 0.45, da der Nutzwert «Umwelt» über <i>einen</i> Indikator abgebildet wird. Andererseits gewinnen mit der «Methode der ökologischen Knappheit 2006» Umwelteffekte an Bedeutung, die in der Expertengewichtung eher wenig Bedeutung erhielten. Die grössten relativen Veränderungen zeigen sich bezüglich Entsorgung von Rest- und Altholz sowie bei der Nutzung von Hofdünger. |
| Rest- und Altholz | Die stoffliche Entsorgung von Rest- und Altholz zeigt einen deutlich höheren Gesamtnutzen und liegt neu im Mittelfeld der jeweils betrachteten Entsorgungstechnologien, da dem Klimaschutz und der Schonung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen in der Methode der ökologischen Knappheit geringeres Gewicht beigemessen werden. Die Entsorgung von Altholz in der KVA oder einem Altholzkraftwerk generiert einen deutlich tieferen Umwelt- und Gesamtnutzen als bei Anwendung der Umweltkriterien U1 bis U10. Dies liegt an der deutlichen Höherbewertung einzelner Schadstoffe wie Dioxine oder Zink durch die Methode der ökologischen Knappheit. |
| Hofdünger | Die hydrothermale Vergasung von Hofdünger wird mit der Methode der ökologischen Knappheit deutlich günstiger beurteilt und weist einen deutlich höheren Umwelt- und Gesamtnutzen auf im Vergleich zu den übrigen Hofdünger-Verfahren. |
| Klärschlamm | Der Umweltnutzen der Rohschlamm Entsorgung ist generell deutlich höher als bei Anwendung der Umweltkriterien U1 bis U10. Die relative Beurteilung zwischen den Entsorgungswegen ändert sich jedoch nicht. |
| Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistungen | Die Gesamtnutzen der Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistungen liegen etwas näher beisammen. Insbesondere (durchschnittliche) KVA und Kompostieren unterscheiden sich im Nutzwert nur noch geringfügig. |

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger, Umweltdimension bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006»



Figur 23: Bewertungsergebnisse der Technologien und Verfahren; Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung; Kriterium Umwelt: Methode der ökologischen Knappheit 2006.

4.2.4 Kehrlichtverbrennung mit hoher thermischer Energieausbeute

Die abschliessende Sensitivitätsanalyse bezieht sich auf den Unterschied einer durchschnittlichen schweizerischen KVA und einer KVA mit deutlich erhöhter Nutzung der thermischen Energie. Es werden die Auswirkungen auf die beiden Eduktekategorien biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung sowie Altholz aufgezeigt. Anstelle des schweizerischen Durchschnitts wird die Netto Energieproduktion der KVA Basel mit hoher Wärmeauskopplung verwendet. Dadurch erhöhen sich die Ausnutzung der Energie und somit auch die vermiedenen Umweltauswirkungen deutlich.

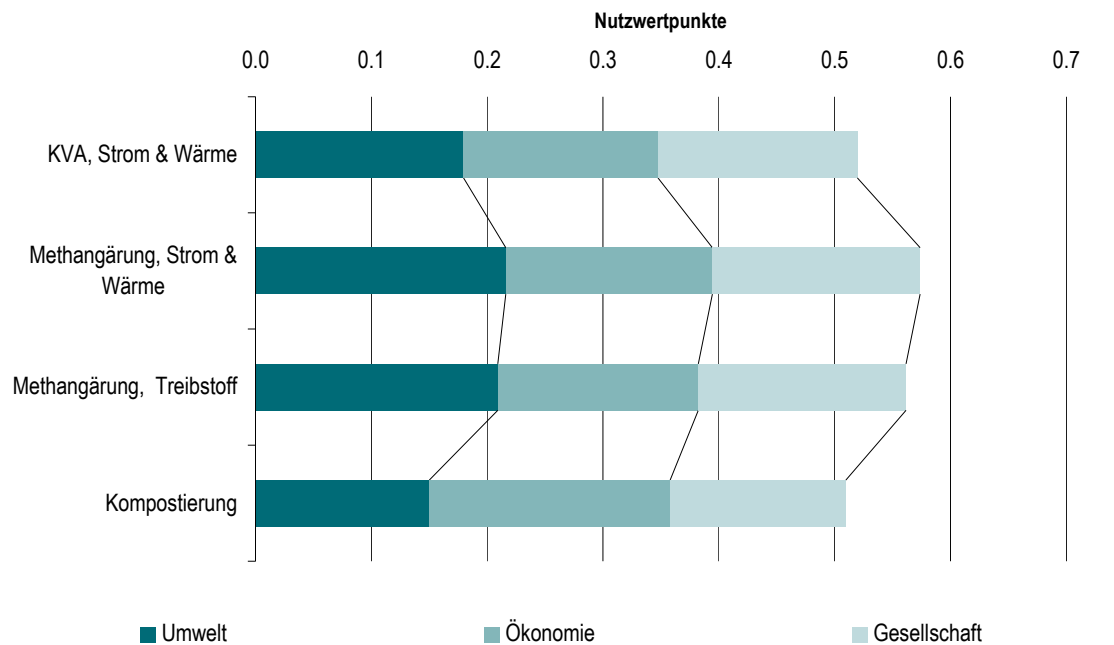
Figur 24 zeigt die Ergebnisse für biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung. Unter den hier festgelegten Rahmenbedingungen (Gutschriften basierend auf Erdgas-Heizung und Erdgas-Kraftwerk für die Stromerzeugung) erhöht sich der Umweltnutzen der Entsorgung in der KVA zwar deutlich, bleibt aber etwas geringer als der Nutzen der Entsorgung in einer Vergärungsanlage. Der Nutzwert der KVA-Variante zum Klimaschutz ist zwar etwas grösser als bei der Vergärung, dies wird aber durch tiefere Nutzwerte bei den Kriterien Überdüngung und aquatischer Ökotoxizität kompensiert.

Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung

Altholz

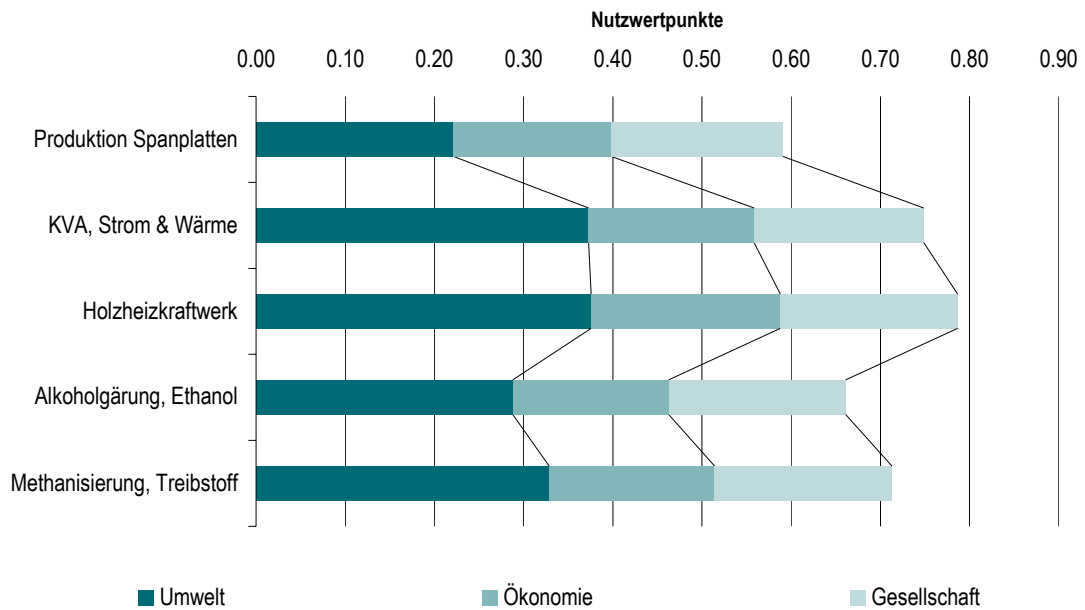
Figur 25 zeigt die Ergebnisse für Altholz. Bei hoher Energieauskopp- lung in der KVA hat sich der Umweltnutzen dieses Entsorgungsweges deutlich erhöht. Die beiden Entsorgungswege Holzheizkraftwerk und KVA werden nur ähnlich gut bewertet. Der etwas höhere Nutzen der KVA beim Kriterium Humantoxizität wird durch den tieferen Nutzen bei den Kriterien Klimaschutz und Schonung nicht erneuerbarer Primär- energieträger kompensiert. Die Gesamtbewertung der Entsorgung von Altholz in einer KVA mit hoher Energieausbeute liegt etwas tiefer als diejenige für den Entsorgungsweg Altholzkraftwerk.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von biogenen Abfällen unter Berücksichtigung einer KVA mit hoher Energieausbeute»



Figur 24: Ergebnis der Multikriterienanalyse für Technologien zur Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung; KVA mit hoher Energieausbeute.

«Ergebnis der Multikriterienanalyse zur Entsorgung von Altholz unter Berücksichtigung einer KVA mit hoher Energieausbeute»



econcept / ESU-services

Figur 25: Ergebnis der Multikriterienanalyse für Technologien zur Entsorgung von Altholz. Je höher die Nutzwerte, desto besser die Beurteilung des Verfahrens; Basis der Gewichtung: Durchschnitt der Expertenbefragung; KVA mit hoher Energieausbeute

4.3 Diskussion der Anwendungsbeispiele

4.3.1 Vorbemerkungen und Einschränkungen

Die Anwendung der Methodik im Kapitel 4.1 ist beispielhaft. Sie wurde nicht an allen verfügbaren, sondern an ausgewählten Biomassefraktionen und Verfahren angewandt. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Insbesondere die beschränkte Auswahl an Verfahren lässt keine abschliessende Bewertung zu, auf welche Weise eine Biomassefraktion in Zukunft am besten verwertet werden soll.

Beispielhafte Anwendung

Im Weiteren beruhen die Ergebnisse im Kapitel 4.1 auf schweizerischen Durchschnittswerten (z.B. Entsorgung in durchschnittlicher schweizerischer KVA, durchschnittliche Transportwege etc.). Es gibt bezüglich Energienutzung und Umwelteffizienz grosse Unterschiede zwischen einzelnen Anlagen. So erzeugt beispielsweise die KVA Basel mit 1 kWh Energie im Abfall 0.69 kWh Wärme und 0.034 kWh Strom, die KVA Sion keine Wärme und 0.084 kWh Strom. Um regionale Schlüsse ziehen zu können, müssten deshalb die spezifischen regionalen Daten, d.h. genauen Anlagecharakteristiken, Transportwege,

Anwendung auf schweizerische Durchschnitte

Umfang der Energienutzung und weiteren Rahmenbedingungen in die Multikriterienanalyse einfließen.

Ökologische
Knappheit 2006
versus individuelle
Umweltindikatoren

In dieser Studie werden in der Dimension Umwelt einerseits ein Set von 10 Umweltindikatoren und andererseits die vollaagrierende Methode der ökologischen Knappheit 2006 (UBP) angewendet. Die einzelnen Umweltkriterien werden von den in diesem Projekt befragten Personen anders gewichtet, als dies in der Methode der ökologischen Knappheit der Fall ist. Da die Entwicklung der Multikriterienanalyse inklusive der ExpertInnenbefragung einen wesentlichen Teil dieses Projektes darstellen, verwenden wir die 10 Umweltindikatoren in den Basisvarianten.

4.3.2 Diskussion der Ergebnisse

Gesamtergebnis

Die Ergebnisse der Multikriterienanalyse aller hier bewerteten Verfahren variiert zwischen 0.45 und 0.79 Nutzwertpunkten, d.h. die Unterschiede betragen maximal 34 %-Punkte. Die untersuchten Verfahren befinden sich alle auf einem relativ hohen Nutzenniveau. Innerhalb der einzelnen Biomassekategorien sind die Unterschiede zwischen den verglichenen Entsorgungs- und Nutzungswege teilweise gering. Es lassen sich jedoch zu allen Kategorien erste Schlüsse ziehen.

Biogene Abfälle
aus Haushalt,
Gewerbe und
Dienstleistung

Gemäss den Ergebnissen der vorliegenden Studie werden biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben mit Vorteil vergärt. Die direkt Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogas (unter der Voraussetzung, dass die mit dem Blockheizkraftwerk erzeugte Wärme zu mehr als 50 % an Dritte abgegeben werden kann) weist dabei leichte Vorteile gegenüber der Aufbereitung von Biogas und dessen Einspeisen ins Gasnetz auf. Neben dem Einsatz von Biogas als Treibstoff bietet sich auch dessen Nutzung im Wärmesektor an²⁹. Dieser Weg wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht bewertet. Das gute Abschneiden der Vergärung kann hauptsächlich auf die hohe Bewertung im Bereich der Umwelt zurückgeführt werden.

Die Entsorgung biogener Abfälle in einer durchschnittlichen Schweizer KVA wird 5% tiefer bewertet als die Kompostierung. Die KVA-Variante mit hoher Energieausnutzung (vgl. Abschnitt 4.2.4) hingegen schneidet besser ab als die Kompostierung, aber nicht besser als die Methanisierung. Dies zeigt, dass eine energetisch optimierte KVA das Resultat beeinflusst bzw. die Umwelt entlastet. In diesem Zusammenhang muss aber beachtet werden, dass die Verbesserung der Bodenqualität durch

²⁹ Diese Variante wurde nicht bilanziert. Das Ergebnis einer Multikriterienanalyse «Methangärung, Brennstoff» dürfte jedoch leicht höher liegen als dasjenige des hier dokumentierten Entsorgungspfades «Methangärung, Treibstoff».

das Ausbringen von Kompost und die damit verbundene Hebung der Humusqualität nicht bilanziert wurde. Um den Nutzen von Kompost umfassender bewerten zu können, müsste die Bodenfruchtbarkeit als Kriterium in den Kriteriensatz aufgenommen werden.

Gemäss den Ergebnissen der Multikriterienanalyse sollte Klärschlamm Klärschlamm entweder als Faulschlamm in einer Monoverbrennung verbrannt oder in entsprechend ausgerüsteten Zementwerken verwertet werden. Die Monoverbrennung wird, auch ohne Berücksichtigung einer potenziellen Phosphor-Rückgewinnung, gegenüber der KVA besser bewertet³⁰. Die Unterschiede sind jedoch gering. Um die zukünftige Möglichkeit der Phosphorrückgewinnung aus Asche einer Monoverbrennung berücksichtigen zu können, müsste ein Kriterium zum Thema Ressourcenzrückgewinnung in den Kriteriensatz aufgenommen werden. Zur Trocknung von Klärschlamm sollte in erster Linie anderweitig nicht nutzbare oder nicht genutzte Abwärme eingesetzt werden. Dadurch kann der Nutzen der Entsorgung in der Monoverbrennung weiter gesteigert werden.

Gemäss den Resultaten der vorliegenden Studie wird die Vergärung von Hofdünger mit anschliessender Nutzung des Biogases zur Strom- und Wärmeproduktion am höchsten bewertet. Praktisch gleich hoch bewertet wird die hydrothermale Vergasung, sofern sie entsprechend den Planungsdaten realisiert und betrieben werden kann. Die Unterschiede zu den anderen Verfahren sind gering. Mit der durchschnittlichen Experten-Gewichtung wird das Ausbringen von Hofdünger auf das Feld am tiefsten bewertet. Werden die wirtschaftlichen Kriterien höher gewichtet³¹ (Ökonomie-Cluster), ist das direkte Ausbringen von Hofdünger auf landwirtschaftliche Flächen der Vergärung ebenbürtig.

Gemäss Multikriterienanalyse wird die Energie von Restholz mit Vorteil Restholz direkt in Kleinf Feuerungen und Holzheizkraftwerken genutzt. Diese Aussage gilt unabhängig davon, welcher der drei Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft die höchste Bedeutung zugemessen wird, gleichzeitig gilt sie aber nur im Rahmen der hier untersuchten Entsorgungswege. Die hydrothermale Vergasung von Restholz wird - sofern sie entsprechend den Planungsdaten realisiert und betrieben werden kann - praktisch gleich hoch bewertet wie die Kleinf Feuerung und das

³⁰ Wird der Klärschlamm in der KVA verbrannt, muss davon ausgegangen werden, dass der Phosphor später nicht mehr zurück gewonnen werden kann, da die Konzentration in der Schlacke zu niedrig ist.

³¹ Das Ausbringen von Hofdünger auf das Feld wird aus ökonomischer Sicht gut bewertet, da für diese Art von Nutzung die Sammelkosten und Investitionen tief sind, die Amortisationsdauer somit kurz ist, die erwartete Preisvolatilität des Produktes als gering bewertet wird etc.

| | |
|-------------------------------|--|
| | Holzheizkraftwerk. Die Spanplattenproduktion erhält die tiefste Anzahl Nutzwertpunkte. |
| Altholz | Die Bewertung der Entsorgungswege von Altholz fällt ähnlich wie beim Restholz aus. So schneidet die Verbrennung von Altholz in entsprechend ausgerüsteten Holzheizkraftwerken am besten ab. Die Spanplattenproduktion erhält die tiefste Anzahl Nutzwertpunkte. Dazwischen liegen die Methanisierung, die Alkoholgärung sowie die Verbrennung in der KVA. |
| Feuchtmasse und Energieinhalt | In der vorliegenden Multikriterienanalyse werden jeweils verschiedene Entsorgungs- und Nutzungswege für eine Tonne Feuchtmasse einer Biomassekategorie untereinander verglichen. Der Feuchtgehalt und damit auch der Energieinhalt pro Tonne Feuchtmasse der verschiedenen Fraktionen unterscheiden sich deutlich voneinander (vgl. Unterkapitel 2.4). Generell zeigt sich, dass Fraktionen mit hohem Energieinhalt (wie Rest- und Altholz) relativ problemlos und mit relativ hohem Nutzen verwertet werden können, wohingegen die Entsorgung bzw. Nutzung wässriger Abfallfraktionen (wie Klärschlamm) und von Hofdünger aufwändiger und damit auch weniger nutzbringend ist. |
| Kosteneffizienter Klimaschutz | Unter dem Blickwinkel eines kosteneffizienten Klimaschutzes sind energetische Verfahren den stofflichen überlegen. Dabei ist zu beachten, dass die energetische Entsorgung von Spanplatten, die zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist, in der vorliegenden Betrachtung nicht berücksichtigt wurde. Die Entsorgung von Rest- und Altholz ermöglicht über alle 24 untersuchten Verfahren den kosteneffizientesten Klimaschutz. Die direkten Nutzungen (Feuerung, Heizkraftwerk) sind bei einem gleichzeitigen Nettoertrag (Restholz), beziehungsweise einer kostenneutralen Entsorgung (Altholz) deutlich im Vorteil gegenüber Vergasungs- oder Vergärungsverfahren. Die Vergärung von biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung leistet ebenfalls einen hohen Beitrag zum Klimaschutz, ist aber nicht kostenneutral. Das Mitvergären von Co-Substraten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zahlt sich im Vergleich zur reinen Hofdünger-Vergärung betreffend Kosten und Klimaschutz aus. Die Entsorgung von Klärschlamm ist sehr kostenintensiv, entfaltet aber seine günstigste (insgesamt bescheidene) Klimaschutzwirkung im Zementofen. |

4.3.3 Diskussion der Sensitivitätsanalysen

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass die Ergebnisse bezüglich Gewichtungspräferenzen weitgehend stabil sind. In einzelnen Fällen sind jedoch deutliche Verschiebungen zu beobachten. Dies betrifft insbesondere die Entsorgung von Klärschlamm und die Nutzung von Hof-

dünger. Dort führt eine starke Gewichtung des gesellschaftlichen Nutzens zu einem deutlich tieferen Gesamtnutzen der Verfahren Zementwerk (Klärschlamm) beziehungsweise Direktaustrag (Hofdünger). Werden die ökonomischen Kriterien stärker gewichtet, steigt der Gesamtnutzen der Direktaustragung von Hofdünger deutlich.

Die Sensitivitätsanalyse betreffend Gutschriften zeigt, dass die Wahl der für die Höhe der Gutschriften massgeblichen Standardprozesse unbedeutend für die relativen Verhältnisse der Nutzwerte innerhalb einer Biomassefraktion ist. Demgegenüber ist es entscheidend, ob die Dimension Umwelt mit 10 Einzelindikatoren oder mit der Methode der ökologischen Knappheit (U11) quantifiziert wird. Einerseits werden in den beiden Fällen verschiedene Schadstoffe und Umweltwirkungen unterschiedlich bewertet und andererseits führt der Einzelindikator U11 nach der Methode der ökologischen Knappheit zu deutlich grösseren Unterschieden innerhalb des Umweltbereichs als die 10 Einzelkriterien.

4.3.4 Datenqualität, Datenlücken und weiterer Analysebedarf

In diesem Unterkapitel wird aufgezeigt, wo Lücken bei der Datengrundlage bestehen, wo vereinfachte Annahmen getroffen wurden und wo weiterer Analysebedarf besteht. Ebenfalls wird aufgezeigt, welche der nicht analysierten Technologien die grössten Potenziale aufweisen und sich deshalb weitere Untersuchungen lohnen.

Obwohl Wert darauf gelegt wurde, Technologien zu berücksichtigen, die für die Schweiz relevant sind oder sein können, konnten wir nicht das ganze Spektrum potenziell vielversprechender Technologien berücksichtigen. So wurde beispielsweise die Pyrolyse von Holz zur Erzeugung elektrischer Energie, die Co-Vergärung in der ARA, die Nutzung der KVA als Holzkraftwerk und weitere Verfahren nicht berücksichtigt. Bei Klärschlamm wurden Optionen mit Phosphor-Rückgewinnung ebenso wenig berücksichtigt wie Möglichkeiten der intensiven Abwärmenutzung bei der Schlamm Trocknung oder der Co-Vergärung biogener Abfälle. Der methodische Ansatz kann aber ohne weiteres auch auf die vorgenannten Technologien angewendet werden. Es resultieren konsistente und damit vergleichbare Beurteilungen.

Entsorgungswege biogener Abfälle aus lebensmittelverarbeitenden Industrien wie beispielsweise Molke oder gebrauchtes Speiseöl wurden beim Austesten der Methode nicht berücksichtigt. Die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Methodik eignet sich aber zur Beurteilung auch dieser Abfallfraktionen.

Bei den landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen sind Informationen über den Stand der Technik (Lagerung, Ausbringen der Gülle) und die Ausnutzung der erzeugten Wärme von Bedeutung. Da es sich hierbei um einen sich schnell wandelnden Sektor handelt, sind die notwendigen statistischen Informationen regelmässig nachzuführen. Die hier entwickelte Multikriterienanalyse erlaubt ein effizientes Nachführen beziehungsweise Neubeurteilen dieser Verfahren und Technologien.

4.4 Diskussion der entwickelten Multikriterienanalyse

Mit der in der vorliegenden Studie entwickelten Multikriterienanalyse können unterschiedliche Verfahren zur Entsorgung biogener Abfälle und Nutzung von Hofdünger nach nachhaltigen Kriterien bewertet und somit untereinander verglichen werden.

Ziel der Arbeit war es, eine Methodik zu erarbeiten, die breit abgestützt und breit anwendbar ist. Breit abgestützt heisst, dass die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten für Abfallbiomasse und Hofdünger anhand aller relevanten Kriterien aus den Bereichen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft bewertet werden. Breit anwendbar bedeutet, dass mit Hilfe der Methodik sehr unterschiedliche Entsorgungs- und Nutzungswege bewertet werden können. Diese beiden Punkte werden im Folgenden diskutiert:

4.4.1 Breite Abstützung der Methodik

Das gewählte Set von Bewertungskriterien basiert auf einer breiten Literaturstudie und wurde zusammen mit diversen ExpertInnen aus den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft entwickelt und diskutiert. In der ExpertInnenbefragung zur Gewichtung wurde die Auswahl grossmehrheitlich bestätigt. Von verschiedenen Befragten wurden der Einbezug weiterer Bewertungskriterien vorgeschlagen oder der Umfang des Kriteriensatzes diskutiert.

Komplexität des Kriteriensatzes

Mehrfach kam die Rückmeldung, dass der Kriteriensatz zu umfassend sei. Das habe zur Folge, dass die Methode nur von Fachleuten verstanden werden könnte. Das vorgegebene Ziel der breiten Abstützung der Methode mit allen relevanten Kriterien aus den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft zieht jedoch unweigerlich eine gewisse Komplexität nach sich.

Vorgeschlagene neue Kriterien

Vereinzelt wurde auch die Aufnahme von neuen Kriterien angeregt. Generell wurde von zwei Personen angemerkt, dass die Einflussfaktoren der Politik, insbesondere der Landwirtschaftspolitik fehlen würden.

Sie bestimme massgeblich die Erwartungen und Entwicklungen des Marktes. Von drei Personen wurde vorgeschlagen, die «Bodenverbesserung/Bodenqualität», sowie die «Bodenfruchtbarkeit» als Kriterien aufzunehmen, um damit die Stabilität des landwirtschaftlichen Produktionssystems zu gewährleisten. Weiter war eine Person der Meinung, dass aufgrund des Nachhaltigkeitsgedanken ein Kriterium «Geschlossene Nährstoffkreisläufe» eingebaut werden sollte. Ebenfalls ist diese und eine weitere Person der Meinung, dass die «Regionalität» als Umweltkriterium in die Bewertung eingehen sollte. Als fehlendes Kriterium wurde auch «Wintersmog» genannt, das ebenso wichtig sei wie «Sommersmog». Als zusätzliches Ökonomiekriterium wird von einer Person die «Modularität, bzw. Skalierbarkeit der Technologie» vorgeschlagen. Eine weitere Person würde ein Kriterium bezüglich der «Effizienz der Verfahren» einführen und Verfahren bevorzugen, die eine hohe ökonomische Effizienz aufweisen. Einer Person fehlen die «soziokulturellen Aspekte» im Bereich Gesellschaft, die durch eine dezentrale Kompostierung in Siedlungen ausgelöst werden können.

Gesamthaft kann festgestellt werden, dass der bestehende Kriteriensatz eine gute, erste Grundlage bildet und als inhaltlich breit abgestützt, die wesentlichen Punkte aus den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft abdeckend, gelten kann. Die Forderungen der involvierten ExpertInnen einerseits nach Vereinfachung des Kriteriensatzes und andererseits nach der Aufnahme weiterer Kriterien sind zwar widersprüchlich, trotzdem bei einer zukünftigen Überarbeitung der Methode zu berücksichtigen bzw. zu diskutieren. Im nachfolgenden Kapitel 4.4.3 diskutieren wir die Möglichkeit einer Vereinfachung der Methode auf der Basis bisheriger Ergebnisse und Erfahrungen. Betreffend der Aufnahme weiterer Kriterien hat die Anwendung gezeigt, dass der momentane Kriteriensatz energetische Kriterien stärker berücksichtigt als solche betreffend Ressourcen und Stoffkreisläufe. Um diesen Fokus zu stärken, schlagen wir insbesondere eine Prüfung der Aufnahme der Kriterien «Bodenfruchtbarkeit» und «Ressourcenrückgewinnung» vor.

Abschliessende
Einschätzung

4.4.2 Breite Anwendbarkeit der Methodik

Mit Hilfe der Anwendungsbeispiele konnte gezeigt werden, dass die entwickelte Methode geeignet ist und den vielfältigen Unterschieden der Biomassefraktionen, Technologien und Produkte (wie Strom, Wärme, Biogas oder Spanplatten) angemessen Rechnung tragen kann. Mittels der Multikriterienanalyse können Technologien und Verfahren auf der Basis umfassender ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien beurteilt werden. Die untersuchten Technologien können im

Breite Anwendung
für biogene Abfälle
und Hofdünger

Wesentlichen als Testfallstudien mit schweizerischen Durchschnittswerten klassifiziert werden. Der unterschiedliche Stand der Technik (Abdeckung des Gülletanks, Anwenden des Schleppschlauchs beim Ausbringen der Gülle), die Variabilität der Energienutzung (die Nutzung thermischer Energie in KVA variiert von 0 bis 70 % des Energieinhalts des Abfalls; auch der Anteil genutzter thermischer Energie in landwirtschaftlichen und industriellen Biogasanlagen variiert stark) und der unterschiedliche Reifegrad der Verfahren erschweren einen generellen Vergleich. Dadurch ist es nur bedingt möglich, aus den Resultaten dieser Studie verallgemeinerbare Schlüsse zur Nachhaltigkeitsbeurteilung von Technologien zur Entsorgung biogener Abfälle und zur Nutzung von Hofdünger zu ziehen. Es hat sich aber gezeigt, dass die Methode unterschiedlichste Technologien in konsistenter Weise beurteilen kann, weshalb sie für fallspezifische Situationen ein ideales Werkzeug darstellt, wie ein derzeit laufendes Projekt zur Evaluation der Klärschlamm Entsorgung in der Region Luzern zeigt.

Ob die Methode auch für weitere Biomasse-Kategorien (z.B. Energiepflanzen für Treibstoffe zweiter Generation) geeignet ist, müsste geprüft werden.

Einfachheit der Anwendung

In Zusammenhang mit der breiten Anwendbarkeit der Methodik wird nachfolgend auch die Einfachheit der Anwendung diskutiert:

Übersichtliches Kriterienset

Obige Diskussion hat gezeigt, dass der bestehende Kriteriensatz gesamthaft eine gute, erste Grundlage bildet und als inhaltlich breit abgestützt gelten kann. Entgegen dem Hinweis, dass der Kriteriensatz zu komplex sei, hat die Anwendung gezeigt, dass das Set von ca. 30 Kriterien eine übersichtliche Grösse aufweist und insbesondere durch die Unterteilung in die drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft hilfreich strukturiert ist.

Unterschiedliche Bewertungstiefe

Bei der Bewertung der Kriterien haben sich jedoch Unterschiede gezeigt: Die Umweltkriterien wurden mit Hilfe von vorhandenen Ökobilanzdaten oder neu erhobenen Datensätzen bewertet. Diese Bewertungen sind relativ detailliert und entsprechend aufwändig vorzunehmen. Die Mehrheit der ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien wurde hingegen qualitativ bewertet. Der Detaillierungsgrad der Bewertung ist somit deutlich tiefer als derjenige bei den Umweltkriterien. Da die Genauigkeit der Gesamtaussagen dem tiefsten Detaillierungsgrad entspricht, besteht hier Optimierungspotenzial. Das Kriterium Entsorgungskosten, welches mit dem Indikator Entsorgungspreis berücksichtigt wird, hat sich als besonders schwierig ermittelbar und wesentlich von den politischen Rahmenbedingungen, beispielsweise der Höhe von Subventionen und staatlich regulierten Erträgen durch den Verkauf

der Produkte (z.B. kostenorientierte Einspeisevergütung), abhängig erwiesen. Bei einer weiteren Anwendung der Methodik sind nach Möglichkeit tatsächliche Kosten und nicht Preise (als Summe von Kosten und Gewinn) einzusetzen.

Die Umrechnung der Bewertungen in Nutzwerte zwischen 0 und 1 garantiert eine einfach verständliche Vergleichsbasis. Es werden zwei Arten von Nutzenfunktionen unterschieden: Jene mit einer linearen Skala zwischen der grössten und tiefsten Bewertung sowie jene mit einer ordinalen Skala (vgl. auch Kapitel 3.2.2). Die beiden Konzepte sind einfach verständlich und gut umsetzbar.

Einfach verständliche Nutzwerte

Die Nutzenfunktionen mit linearer Skala werden stark von der Auswahl der Verfahren (Anzahl und Zusammensetzung) beeinflusst. Dies ist insbesondere relevant, wenn erst wenige Verfahren bewertet wurden. Mit der zunehmenden Anwendung der Methodik wird sich dieses Problem entschärfen, sie sollte aber bei einer Überarbeitung der Methode berücksichtigt werden. Im Weiteren empfiehlt es sich bei einer Überarbeitung die Nutzenfunktionen mit ordinaler Skala zu verfeinern, um eine höhere Genauigkeit der Bewertung zu erreichen.

Optimierungen bei den Nutzenfunktionen möglich

Die verschiedenen Gewichtungsfaktoren wurden mittels ExpertInnenbefragung erhoben. Die unterschiedlichen Gewichtungen, die angewandt wurden, führten zum Teil zu signifikanten Unterschieden in der Bewertung. In der Mehrheit der Fälle blieb die Rangfolge bei der Bewertung der einzelnen Technologien jedoch erhalten. Für zukünftige Anwendungen können deshalb die Durchschnitte der Gewichtungen verwendet werden.

Vorgegebene Gewichtung können verwendet werden

Das Verhältnis zwischen den Gewichtungen für die drei Bereiche Umwelt (45%), Ökonomie (30%) und Gesellschaft (25%) widerspiegelt unter anderem auch das Problem des Kenntnisstandes bzw. der möglichen Bewertungstiefe dieser drei Bereiche. Mit einem verbesserten Detaillierungsgrad bei der Bewertung von ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien dürfte (oder sollte) sich das Gewichtungsverhältnisse zwischen den drei Bereichen angleichen.

Gesamthaft lässt sich feststellen, dass die Multikriterienanalyse auf eine breite Palette von Biomassefraktionen und Verfahren mit einer hohen Variabilität bei der Energienutzung und beim Reifegrad der Technologien anwendbar ist. Die Testfallstudien mit schweizerischen Durchschnittswerten erlauben es aber nur bedingt, verallgemeinerbare Schlüsse zu ziehen. Da die Methode unterschiedlichste Technologien in konsistenter Weise beurteilen kann, stellt sie für fallspezifische Situationen ein ideales Werkzeug dar. Die Anwendung hat im Weiteren gezeigt, dass sie Ergebnisse liefert, die einerseits einfach interpretier-

Abschliessende Einschätzung

bar sind und andererseits Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren aufzeigen. Zudem ist die Methode prinzipiell gut umsetzbar. Bei einer Überarbeitung der Multikriterienanalyse sollte eine stärkere Vereinheitlichung der Bewertungstiefe der Kriterien angestrebt werden, insbesondere in den Bereichen Ökonomie und Gesellschaft, um die Genauigkeit der Gesamtaussagen zu erhöhen. Dazu beitragen würde auch eine Verfeinerung der Nutzenfunktionen mit ordinaler Skala.

4.4.3 Möglichkeit einer Vereinfachung der Methodik

Mögliche Sachverhalte für eine Reduktion der Anzahl Kriterien

Die breit abgestützte und dadurch komplexe Methodik wirft die Frage auf, ob eine Vereinfachung der Methodik durch eine Reduktion der Anzahl Kriterien möglich ist, ohne die Ergebnisse massgebend zu verändern. Folgende Sachverhalte können eine Reduktion der Kriterien rechtfertigen:

1. Ein Kriterium wird immer gleich bewertet. Es beeinflusst das Resultat nicht und kann somit weggelassen werden.
2. Kriterien mit einer geringen Gewichtung oder einem geringen durchschnittlichen Nutzwert haben keinen Einfluss auf das Resultat. Die Methodik könnte auf die Kriterien mit der höchsten Gewichtung bzw. dem höchsten mittleren Nutzwert reduziert werden.

Basierend auf der Auswertung der vorliegenden Anwendung wurden diese beiden Möglichkeiten überprüft.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Standardabweichung der Nutzwerte bei allen untersuchten Verfahren. Die Standardabweichung ist ein Mass für die Unterschiede in der Bewertung. Würde die Standardabweichung 0 betragen, würde ein Kriterium immer gleich bewertet und könnte – mindestens bezogen auf die untersuchten Anwendungen – deshalb weggelassen werden.

| Kriterium | Gewichtung des Kriteriums | Mittelwert des Nutzwertes | Standardabweichung des Nutzwertes |
|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| U1 Klimaänderung | 0.12 | 0.047 | 0.039 |
| U2 Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | 0.11 | 0.036 | 0.036 |
| G1 Lokale Akzeptanz | 0.09 | 0.017 | 0.006 |
| O3 Minimierung wirtschaftliches Risiko | 0.09 | 0.036 | 0.025 |
| O1 Entsorgungskosten | 0.08 | 0.012 | 0.027 |
| O2 Sammelkosten | 0.06 | 0.016 | 0.019 |
| U4 Überdüngung | 0.05 | 0.035 | 0.011 |
| O4 Flexibilität der Anlage in Nutzung | 0.05 | 0.003 | 0.008 |
| G5 Potenzielle Raumplanungskonflikte | 0.04 | 0.016 | 0.008 |
| U7 Ökotoxizität | 0.04 | 0.012 | 0.009 |
| G2 Gesellschaftliche Akzeptanz | 0.04 | 0.055 | 0.005 |
| G6 Versorgungssicherheit | 0.04 | 0.028 | 0.008 |
| O5 Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | 0.03 | 0.036 | 0.009 |
| U8 Bodennutzung | 0.03 | 0.033 | 0.008 |
| U9 Deponierte Abfälle | 0.02 | 0.030 | 0.007 |
| U6 Humantoxizität | 0.02 | 0.060 | 0.007 |
| G3 Gesellschaftliches Risiko | 0.02 | 0.034 | 0.006 |
| U3 Versäuerung | 0.02 | 0.016 | 0.006 |
| U5 Sommersmog | 0.02 | 0.015 | 0.005 |
| U10 hoch radioaktive Abfälle | 0.02 | 0.039 | 0.004 |
| G4 Risiken der Angestellten | 0.02 | 0.031 | 0.003 |

Tabelle 38: Bewertungskriterien nach der Gewichtung geordnet (Durchschnitt der Befragung) sowie Mittelwert des Nutzwertes und zugehörige Standardabweichung bei allen untersuchten Verfahren. Die Tabelle zeigt, dass bei allen Kriterien Unterschiede in der Bewertung der einzelnen Verfahren bestehen, da die Standardabweichung grösser ist als 0.

Die Tabelle zeigt, dass bei allen Kriterien Unterschiede bei den Nutzwerten bestehen. Somit besteht keine Möglichkeit, einzelne Kriterien wegzulassen, welche bei allen Anwendungen gleich bewertet werden.

Keine Kriterien mit immer gleicher Bewertung vorhanden

Die Prüfung des zweiten Sachverhaltes wurde basierend auf graphischen Auswertungen vorgenommen. Die detaillierte Darstellung der Nutzwerte wurde nach unterschiedlichen Kriterien geordnet, die entsprechenden Figuren finden sich im Anhang A-2.4. Einerseits wurden die Kriterien nach dem Mittelwert des Nutzwertes (d.h. Kriterien mit einem über alle Verfahren gemittelten grossen Nutzwert liegen unten) und andererseits nach der Gewichtung der Kriterien (d.h. Kriterien mit einer hohen Gewichtung liegen unten) geordnet.

| | |
|--|---|
| <p>Resultat durch Kriterien mit hohem gewichtetem Nutzwert im wesentlichen bestimmt.</p> | <p>Die Auswertung der Figuren zeigt, dass die Kriterien mit einem geringen mittleren Nutzwert weggelassen werden können, da sie das Endergebnis nur wenig beeinflussen. Die Rangreihenfolge der Verfahren innerhalb einer Abfallfraktion ist nach ca. $\frac{3}{4}$ der Kriterien festgelegt. Eine Reduktion erscheint also möglich. Die Rangreihenfolge nach Relevanz des mittleren Nutzwertes ist jedoch das Resultat der hier untersuchten Verfahren und Standardprozesse. Bei anderen Verfahren oder alternativen Prozessen für die Gutschriften würde die Rangreihenfolge der Kriterien ändern. Es ist somit unklar, welche Kriterien schlussendlich weggelassen werden könnten. Eine Reduktion der Anzahl Kriterien müsste auf einer sehr umfassenden Analyse aller möglichen Verfahren und Alternativen zu den Standardprozessen beruhen.</p> |
| <p>Resultat nicht ausschliesslich durch die Kriterien mit hoher Gewichtung bestimmt</p> | <p>Wenn man die Resultate gemäss der Gewichtung der einzelnen Kriterien darstellt, ergibt sich ein unterschiedliches Bild. Bei den untersuchten Verfahren zur Entsorgung von biogenen Abfällen aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungen ist das Resultat (Rangreihenfolge der Verfahren) bei Berücksichtigung der gewichtigsten 5-6 Kriterien im Wesentlichen bereits festgelegt. Bei der Entsorgung von Klärschlamm beispielsweise würde das Resultat bei einer Reduktion des Verfahrens auf die 5-6 gewichtigsten Kriterien jedoch verfälscht. Erst die Berücksichtigung aller Kriterien führt zur im Kapitel 4.1.3 dargelegten Rangreihenfolge der Bewertung. Eine Reduktion der Methodik auf die Kriterien mit der höchsten Gewichtung ist also nicht sinnvoll.</p> <p>Die möglichen Entsorgungs- und Nutzungswege und deren Auswirkungen sind für die unterschiedlichen Biomassefraktionen sehr vielfältig. Die vorgeschlagene Bewertungsmethode mit 21 Kriterien wird dieser Komplexität gerecht.</p> |

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der vorliegenden Studie wurde eine Methode entwickelt, um unterschiedliche Verfahren zur Entsorgung von biogenen Abfällen und Nutzung von Hofdünger zu bewerten und untereinander zu vergleichen. Anhand von ausgewählten Beispielen wurde die Methode angewandt und getestet. Wir ziehen folgende Schlussfolgerungen und formulieren nachstehende Empfehlungen.

5.1 Schlussfolgerungen

5.1.1 Die Methodik

Der Fokus der Studie lag auf der Entwicklung der Methodik. Hauptziel der Studie war es, eine Bewertungsmethode für die unterschiedlichen Nutzungsarten biogener Abfälle und Hofdünger zu entwickeln. Die erarbeitete Methodik sollte dabei breit abgestützt und breit anwendbar sein. Bei der Diskussion dieser beiden Punkte wurden folgende Schlüsse gezogen:

Ziel der vorliegenden Arbeit

Gesamthaft kann festgestellt werden, dass der bestehende Kriterien-satz eine gute, erste Grundlage bildet und als inhaltlich breit abgestützt, die wesentlichen Punkte aus den Bereichen Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft abdeckend, gelten kann. Die Forderungen von involvierten ExpertInnen einerseits nach Vereinfachung des Kriteriensatzes und andererseits nach der Aufnahme weiterer Kriterien sind widersprüchlich, trotzdem aber bei einer zukünftigen Überarbeitung der Methode zu berücksichtigen bzw. zu diskutieren. Das Weglassen von Einzelkriterien in der vorliegenden Multikriterienanalyse würde in jedem Fall die Resultate von mindestens einzelnen der bewerteten Verfahren verändern, weshalb davon abgesehen wurde. Betreffend der Aufnahme weiterer Kriterien hat die Anwendung gezeigt, dass der momentane Kriteriensatz energetische Kriterien stärker berücksichtigt als solche betreffend Ressourcen und Stoffkreisläufe. Um diesen Fokus zu stärken, schlagen wir insbesondere eine Prüfung der Aufnahme der Kriterien «Bodenfruchtbarkeit» und «Schonung nicht energetischer Ressourcen» vor.

Breit abgestützter Kriteriensatz, soll bei Überarbeitung diskutiert werden

Im Weiteren lässt sich feststellen, dass die Multikriterienanalyse auf eine breite Palette von Biomassefraktionen und Verfahren mit einer hohen Variabilität bei der Energienutzung und beim Reifegrad der Technologien anwendbar ist. Die Testfallstudien mit schweizerischen

Breite Anwendung der Multikriterienanalyse

Durchschnittswerten erlauben es aber nur bedingt, verallgemeinerbare Schlüsse zu ziehen. Da die Methode unterschiedlichste Technologien in konsistenter Weise beurteilen kann, stellt sie für fallspezifische Situationen ein ideales Werkzeug dar. Die Anwendung hat im Weiteren gezeigt, dass die Methode Ergebnisse liefert, die einerseits einfach interpretierbar sind und andererseits Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren aufzeigen. Zudem ist die Methode prinzipiell gut umsetzbar. Bei einer Überarbeitung der Multikriterienanalyse sollte eine stärkere Vereinheitlichung der Bewertungstiefe der Kriterien angestrebt werden, insbesondere eine erhöhte Detaillierungstiefe der ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien, um die Genauigkeit der Gesamtaussagen zu erhöhen. Dazu beitragen würde auch eine Verfeinerung derjenigen Nutzenfunktionen mit ordinaler Skala (z.B. von drei auf fünf Stufen).

5.1.2 Die Testanwendung

| | |
|---|--|
| Untersuchung ausgewählter Technologien | Die Testanwendung der Methodik in der vorliegenden Studie beruht auf ausgewählten Beispielen und umfasst nicht alle möglichen Verfahren. Es kann deshalb nur eine Bewertung bezüglich der untersuchten Biomassefraktion und Verfahren abgegeben werden. |
| Gesamtschweizerische Durchschnitte | Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass sich die Erhebung auf gesamtschweizerische Durchschnitte bezieht. Es können daraus keine regionalspezifischen Schlüsse gezogen werden. Als illustratives Beispiel dafür dient die Entsorgung von Biomassefraktionen in einer KVA. Der Energienutzungsgrad einer KVA hat sich bei der Beurteilung als wichtiger Einflussfaktor erwiesen. Bei einer Anwendung der Methodik auf regionale Fragestellungen ist diesem und weiteren, regionalen Faktoren deshalb angemessen Rechnung zu tragen. |
| Höchst bewertete Verfahren pro Biomassefraktion | <p>Gesamthaft zeigt sich, dass die folgenden Verfahren die höchsten Nutzen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft aufweisen:</p> <p>Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung</p> <ul style="list-style-type: none"> — Methangärung mit Strom- und Wärmeproduktion — Methangärung mit Treibstoffaufbereitung <p>Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist deutlich. (durchschnittliche Energienutzung in KVA) beziehungsweise gering (hohe Energieausbeute in KVA). Die Datenlage und Modellierung ist unsicher.</p> <p>Klärschlamm</p> <ul style="list-style-type: none"> — Zementwerk — Methangärung (mit Strom- und Wärmeproduktion oder Treibstoffaufbereitung) mit anschliessender Monoverbrennung. Die Möglich- |

keit der Phosphor-Rückgewinnung aus der Asche einer Monovverbrennung konnte mangels Daten nicht berücksichtigt werden. Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist gering.

Hofdünger

— Methangärung mit Strom- und Wärmeproduktion
Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist gering.

Restholz

— Holzheizkraftwerk mit Strom- und Wärmeproduktion
— Kleinf Feuerung mit Wärmenutzung
Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist deutlich.

Altholz

— Holzheizkraftwerk mit Strom- und Wärmeproduktion
Der Unterschied zu den anderen Verfahren ist deutlich.

Bei der Fraktion Hofdünger wird die hydrothermale Vergasung in der ähnlichen Grössenordnung wie die Methangärung bewertet. Auch beim Restholz schneidet die hydrothermale Vergasung nur wenig schlechter ab, als die Kleinf Feuerung. Die Bewertungen der hydrothermalen Vergasung beruhen jedoch auf Planungswerten. Auch die Bewertungen für Vergasung/Methanisierung und Alkoholgärung beruhen auf Planungsdaten. Die Ergebnisse sind deshalb mit den grösseren Unsicherheiten behaftet als die anderen Verfahren. Der Nutzen wurde in der Tendenz wahrscheinlich überschätzt.

Pilotanlagen:
Planungsdaten als
Datengrundlage

Die Anwendungsbeispiele zeigen, dass sich die grössten Nutzenunterschiede in den Bereichen Umwelt und Ökonomie ergeben. Dabei sind folgende Kriterien wichtig: Bei den Umweltaspekten sind es die Klimaänderung und die Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen. Daneben sind grössere Unterschiede bezüglich Human- und Ökotoxizität zu beobachten. Letztere sind mit einer grösseren Unsicherheit behaftet. Bei den ökonomischen Kriterien sind die grössten Unterschiede bei den Entsorgungs- und Sammelkosten sowie bei der Minimierung des wirtschaftlichen Risikos zu finden.

Grösste Nutzenunterschiede bei
Umwelt und Ökonomie

Bei einer Anwendung der Bewertungsmethode auf eine konkrete regionale Situation, z.B. als Grundlage für eine Investitionsentscheidung, sind möglichst die projektspezifischen Werte und Informationen bei den einzelnen Kriterien einzusetzen. Dazu gehören beispielsweise die Länge der Transportwege, der Umfang der Energienutzung, die Höhe der Entsorgungs- und Sammelkosten, die Integration der Anlage ins Landschafts- oder Ortsbild etc. Eine Abstützung auf durchschnittliche schweizerische Werte – wie sie in der vorliegenden Anwendung vor-

Nötige Anpassungen bei Investitionsentscheidungen

genommen wurde – kann zu einer Verzerrung der Ergebnisse im Einzelfall führen.

5.2 Empfehlungen

5.2.1 Anpassung der Rahmenbedingungen

Geringe Unterschiede bei der Beurteilung

Die Ergebnisse der Anwendung zeigen, dass sich die untersuchten Verfahren auf einem relativ hohen Nutzenniveau aus Sicht der ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien befinden. Daraus lässt sich ableiten, dass die aktuellen Rahmenbedingungen grundsätzlich die richtigen Anreize vermitteln, so dass Verfahren mit einer guten Beurteilung zur hauptsächlichen Anwendung oder vermehrten Verbreitung gelangen. Im Weiteren kann festgestellt werden, dass mit der Kostenbasierten Einspeisevergütung (KEV) die richtigen Anreize gesetzt werden, da die KEV Verfahren zur Strom- und Wärme-Produktion fördert, welche in der vorliegenden Studie sehr gut bewertet werden. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse sehen wir keinen Bedarf, bestimmte Verfahren zu verbieten.

Die Angaben zur Bewertung der drei Pilotverfahren hydrothermale Vergasung, Alkoholgärung und Vergasung/Methanisierung sind mit den grössten Unsicherheiten behaftet. Es ist deshalb verfrüht, auf Grund der Ergebnisse dieses Verfahren verstärkt zu fördern.

Effizienzsteigerungen bei allen Verfahren

Eine Erhöhung des ökologischen, ökonomischen und teilweise gesellschaftlichen Nutzens bringen Effizienzsteigerungen für Verfahren und Technologien. Gleichzeitig tragen sie auch zu den übergeordneten Schweizer Energiezielen bei. In diesem Sinne soll die Effizienz bei allen Verfahren und Technologien ständig gesteigert werden und ein primäres Entwicklungs- und Optimierungsziel sein.

Verbesserungspotential bei KVA

Relevante Verbesserungspotentiale sind bei den KVA ersichtlich. Der Energienutzungsgrad beeinflusst die Beurteilung der KVA wesentlich. Die Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz der KVA sind deshalb fortzuführen, ohne aber andere Anforderungen beispielsweise bezüglich Aschequalität aus den Augen zu verlieren. Die Anforderungen an eine kostenorientierte Vergütung bei den KVA setzen Akzente in der richtigen Richtung.

Separatsammlung biogener Abfälle aus HH, G, DL

Betreffend biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung sollen die Methangärung und die dafür notwendigen Separatsammlungen erst nach weiteren, regionalspezifischen Abklärungen weiter ge-

fördert werden. Für eine pauschale Förderung sind Datenlage und Modelle derzeit noch mit zu grossen Unsicherheiten behaftet.

Zukünftig ist der Phosphor aus Klärschlamm zurückzugewinnen. Wird der Faulschlamm in einer Monoverbrennungsanlage entsorgt, soll deren Asche in gesonderten Kompartimenten abgelagert werden. Damit schafft man die Voraussetzungen für eine zukünftige, vergleichsweise einfache Phosphorrückgewinnung. Die Phosphorrückgewinnung kann aber auch vor der Verbrennung geschehen, was eine anschliessende Nutzung mit anderen Technologien erlaubt.

Phosphor-Rückgewinnung bei Faulschlamm

Betreffend Hofdünger ergeben sich aus den Resultaten der vorliegenden Studie keine Hinweise, die Rahmenbedingungen, Anreize oder Vorschriften für die Nutzung zu ändern.

Hofdüngernutzung: keine Anreize notwendig

Innerhalb der in der Studie verglichenen Verfahren wird die Entsorgung von Restholz und Altholz in Holzheizkraftwerken am besten bewertet. Daraus lässt sich schliessen, dass Holzheizkraftwerke, von welchen erst wenige bestehen, mittels Anreize gefördert werden sollten. Ob weitere Anlagen über monetäre Anreize (KEV), freiwillige Massnahmen von Entsorgungsverbänden oder Vorschriften (z.B. Verbot Altholzexport) erfolgen soll, ist vertieft zu prüfen.

Anreize für Holzheizkraftwerke

5.2.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Zur Weiterentwicklung und Optimierung der Methodik können prinzipiell zwei Bereiche mit Forschungs- und Entwicklungsbedarf unterschieden werden:

Weiterentwicklung der vorliegenden Studie

Erstens sollte in verschiedenen Breichen die Datengrundlage der ausgewählten Verfahren basierend auf schweizerischen Durchschnittswerten verbessert werden. Dies könnte helfen, die vorhandenen Unsicherheiten bei der Bewertung zu verringern. Optimierungsbedarf bei der Datengrundlage wird in den folgenden Bereichen gesehen:

1. Optimierung der Datengrundlage

- Die Entsorgungskosten wurden in erster Annäherung als Entsorgungspreise gerechnet. Um genauere und aussagekräftigere Aussagen machen zu können, wäre die Erhebung der gesamten Entsorgungskosten (Eduktepreis, Betriebskosten Produktpreis, Subventionen, Gewinne etc.) hilfreich. Im Rahmen der vorliegenden Studie war eine einheitliche Erhebung für alle 24 Verfahren nicht möglich.
- Bei den sich in Pilotphasen befindlichen Technologien, beispielsweise der hydrothermalen Vergasung, fehlen im Vergleich zu den etablierten Verfahren Daten in einer vergleichbaren Qualität. Dies

betrifft vor allem die Bereiche Umwelt und Ökonomie. Diese Datenlücken sollten geschlossen werden.

| | |
|---|--|
| 2. Regionale Studien | Zweitens wäre das Durchführen regionaler Studien auf der Basis der entwickelten Multikriterienanalyse hilfreich und sinnvoll als Ergänzung zur vorliegenden Studie basierend auf schweizerischen Durchschnittswerten. In regionalen Studien könnten die Informationen betreffend Länge der Transportwege, Logistik, Anlagentyp, Energienutzung, Entsorgungs- und Sammelkosten, lokale Akzeptanz etc. lokal erfasst werden. Die Resultate würden regionale Realitäten abbilden und echte Bewertungen unterschiedlicher Entsorgungs- und Nutzungsmöglichkeiten erlauben. Erst die Auswertung und der Vergleich verschiedener regionaler Studien mit der vorliegenden Studie würde abschliessende Empfehlungen ermöglichen, die unter Umständen für die ganze Schweiz Gültigkeit haben. |
| Regionale Differenzierung der KVA | Um die regionale Situation der Entsorgung biogener Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistung präziser zu erfassen, würde sich eine Bewertung der in der Schweiz in Betrieb stehenden KVA auf Basis der hier entwickelten Methodik lohnen. Damit könnte aufgezeigt werden, in welchen Gemeinden sich eine Separatsammlung von biogenen Abfällen aus Nachhaltigkeitssicht lohnt, beziehungsweise welche Bedingungen, beispielsweise bezüglich Mindestnutzung thermischer Energie, an eine Vergärungsanlage im Einzugsgebiet einer spezifischen KVA zu stellen sind. |
| Weiterreichende Fragestellungen | Neben der Weiterentwicklung der vorliegenden Studie sehen wir in folgenden Bereichen relevante Fragestellungen betreffend Nutzung von Biomasse: |
| Optimale Nutzungsart der verfügbaren biogenen Stoffe | In Zukunft wird die Frage nach der optimalen Nutzungsart von Biomasse allgemein (nicht nur biogene Abfälle und Hofdünger) weiter an Bedeutung gewinnen. Ebenfalls haben die Papier- und Verpackungsindustrie sowie die Chemische Industrie in verschiedenen europäischen Ländern ihre Bedenken geäussert, dass eine vermehrte energetische Nutzung von Biomasse, d.h. von Holz, natürlichen Fetten oder Pflanzenölen, die ihrige Verwendung konkurriert. |
| Optimale Energiebereitstellung mittels verfügbarer Ressourcen | In Zusammenhang mit der Umsetzung konkreter energiepolitischer Ziele von Gemeinden, Kantonen und Ländern wird die Frage nach der optimalen Nutzung der vorhandenen Ressourcen immer mehr an Bedeutung gewinnen. Dabei geht es um die Frage: Mit welchem Entsorgungsweg lässt sich aus den zur Verfügung stehenden Energieträgern |

(inkl. Biomasse) am meisten nutzbare Energie in Form von Wärme, Strom oder Treibstoff gewinnen?

Die technologische Forschung sollte in Bereichen verstärkt werden, die Linderung bezüglich mehrerer Umweltprobleme gleichzeitig versprechen. Die hydrothermale Vergasung von Hofdünger kann hier als Beispiel dienen. Einerseits liefert sie einen (effizienten) Beitrag zur Bereitstellung erneuerbarer Energieträger. Andererseits werden mit dieser Technologie anorganische Salze als Dünger bereitgestellt, die in der Anwendung mit weit geringeren Umweltauswirkungen verbunden sind als der herkömmliche Flüssig-Hofdünger.

Technologische
Forschung

Anhang

A-1 Erster Anhang: Gewichtungsbefragung

A-1.1 Fragebogen der Online-Befragung zur Gewichtung der Kriterien.

Hauptabschnitt

Ziel des Fragebogens:

In dem vorliegenden Online-Fragebogen geht es um die Gewichtung und die Auswahl von Kriterien, welche dazu benötigt werden, eine Vielzahl verschiedener Verwertungsmöglichkeiten von biogenen Abfällen und Hofdünger mittels einer Multikriterienanalyse zu bewerten und zu vergleichen. Bewertungsgrösse ist dabei eine Tonne eines biogenen Abfalls bzw. eine Tonne Hofdünger. Die zu beantwortende Frage lautet:

Auf welche Weise wird eine Tonne biogener Abfall bzw. Hofdünger optimal genutzt? [Dazu ein Beispiel](#) *

Aufbau des Fragebogens:

Nach einer Gewichtung der drei Nachhaltigkeitsbereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft, sollen Sie für jeden der drei Bereiche das von uns entwickelte Set von Kriterien hinsichtlich der folgenden Punkte bewerten:

- der Relevanz (braucht es das Kriterium für die Bewertung der Verwertungsmöglichkeiten verschiedener Abfallfraktionen?) und anschliessend hinsichtlich
- des Stellenwerts im Vergleich zu den anderen Kriterien des gleichen Nachhaltigkeitsbereiches (wie wichtig ist das Kriterium im Vergleich zu den anderen?)

Der Fragebogen wird abgeschlossen mit einem kurzen Frageblock zur Auswahl der Kriterien, zu Angaben Ihrer Person und zur Verständlichkeit des Fragebogens.

* Hinweis zu [Erdäuterungen](#): Durch das Ansteuern solcher blauer Markierungen mit Ihrem Zeiger, werden zusätzliche Informationen angezeigt.

Die Bewertungskriterien

Die Kriterien zur Beurteilung verschiedener Verwertungsmöglichkeiten von biogenen Abfällen haben wir den folgenden drei Nachhaltigkeitsbereichen zugeordnet.

- Umwelt
- Ökonomie
- Gesellschaft

Im Fragebogen werden wir Ihnen die folgenden Kriterien und Sub-Kriterien in zur Bewertung vorschlagen:

Umwelt:

- U1: Klimaänderung
- U2: Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen
- U3: Versauerung
- U4: Überdüngung
- U5: Sommersmog
- U6: Humantoxizität
- U7: Ökotoxizität
- U8: Bodennutzung
- U9: Deponierte Abfälle
- U10: Hoch radioaktive Abfälle

Ökonomie:

- O1: Wirtschaftliches Risiko
 - O1.1: Erwartete Volatilität biogener Abfälle
 - O1.2: Erwartete Volatilität der Produkte
 - O1.3: Höhe der absoluten Investitionskosten
 - O1.4: Amortisationsdauer der Anlage
- O2: Flexibilität der Anlage in Nutzung
 - O2.1: Unabhängigkeit von einzelnen Edukten
 - O2.2: Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots
- O3: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft
 - O3.1: Volkswirtschaftliche Wertschöpfung
 - O3.2: Anzahl geschaffene Arbeitsplätze
- O4: Verwertungskosten
- O5: Sammelkosten

Gesellschaft:

- G1: Lokale Akzeptanz
 - G1.1 Geruchsemissionen
 - G1.2 Visuelle Beeinträchtigung
 - G1.3 Lärmbelastung durch Verkehr

- G1.4 Lärmbelastung durch Anlage
- G2: Gesellschaftliche Akzeptanz
 - G2.1: Einstellung gegenüber Technologie
 - G2.2: Logistische Anpassungen
- G3: Gesellschaftliches Risiko
- G4: Risiken der Angestellten
- G5: Potenzielle Raumplanungskonflikte
- G6: Versorgungssicherheit

Gewichtung der drei Nachhaltigkeitsbereiche

Bitte gewichten Sie die drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft in Hinblick auf die Wichtigkeit zur Beurteilung der Verwertung biogener Abfälle und Hofdünger. Bitte geben Sie die Gewichtung in Prozent an. Alle drei Dimensionen müssen zusammen 100% ergeben.

| | Prozent % |
|--------------|----------------------|
| Umwelt | <input type="text"/> |
| Ökonomie | <input type="text"/> |
| Gesellschaft | <input type="text"/> |

Relevanz der Kriterien des Bereichs "Umwelt"

Die Bewertungskriterien im Bereich Umwelt werden auf der Basis von einzelnen Umweltthemen wie z.B. Klimaänderung oder Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen vorgenommen. Die Bewertung der Kriterien erfolgt mit Hilfe des Instruments der Oekobilanzierung (LCA).

Bitte beurteilen Sie nachfolgend die Kriterien U1-U10 betreffend ihrer Relevanz für die Bewertung der verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten von biogenem Abfall und Hofdünger. Im nächsten Schritt können Sie dann die von Ihnen als relevant eingestufteten Kriterien gewichten. (Achten Sie bitte darauf, dass Sie die Fragen vollständig ausfüllen)

| | Relevant | Nicht relevant | Weiss nicht |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| U1: U1: Klimaänderung Dieses Kriterium misst inwiefern die Verwertung biogener Abfälle zur Klimaänderung beiträgt. Berücksichtigt werden die netto Emission von CO2 und die Emission anderer klimawirksamer Gase wie z.B. Methan Klimaänderung Indikator: Global Warming Potential (kg CO2eq/t Edukt) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| U2: U2: Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen Dieses Kriterium misst ob und in welchem Umfang die Verwertung biogener Abfälle zur Schonung endlicher Energieressourcen, namentlich Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran führt. Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen Indikator: Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar (MJeq/t Edukt) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| U3: U3: Versauerung Dieses Kriterium misst inwiefern die Verwertung biogener Abfälle zur Versauerung von Böden und Gewässern beiträgt. Obwohl in der Schweiz an Bedeutung verloren, stellt die Versauerung in manchen Gegenden Europas weiterhin ein wesentliches Umweltproblem dar. Versauerung Indikator: Versauerungspotenzial (Kg SO2eq/t Edukt) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| U4: U4: Überdüngung Bei der energetischen Verwertung biogener Abfälle können Emissionen auftreten, die zu unerwünschter Überdüngung von Böden und Gewässern beitragen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Überdüngung

Indikator: Überdüngungspotenzial (Kg PO₄eq/t Edukt)

U5:
U5: Sommersmog
 Die photochemische Ozonbildung spielt in der Schweiz in den Sommermonaten weiterhin eine wichtige Rolle. Deshalb werden Emission von Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden ausgewiesen und hinsichtlich Ozonbildung bewertet.

[Sommersmog](#)
 Indikator: Photochemisches Ozonbildungspotenzial (kg Ethylen-eq/t Edukt)

U6:
U6: Humantoxizität
 Die Humantoxizität wird massgeblich von den Feinstaub-Emissionen dominiert. Feinstaub ist insbesondere bei der Verbrennung fester biogener Brennstoffe ein viel diskutierter Schadstoff.

[Humantoxizität](#)
 Indikator: Humantoxizitätspotenzial (kg 1,4 DCB-eq/t Edukt)

U7:
U7: Ökotoxizität
 Als Vertreter der Vielzahl von Indikatoren ökotoxischer Wirkung (toxische Auswirkungen auf die Ökosysteme Böden, Meere, Sedimente) wird hier die ökotoxische Wirkung auf Binnengewässer verwendet.

[Ökotoxizität](#)
 Indikator: Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial (kg 1,4-DCB-eq/t Edukt)

U8:
U8: Bodennutzung
 Die verschiedenen Verwertungsverfahren können sich in der Bodennutzung unterscheiden (Platzbedarf der Anlagen und Lager, etc.). Die mit einer allfälligen landwirtschaftlichen Produktion verbundene Landinanspruchnahme ist nicht Teil der zu beurteilenden Ökobilanz.

[Bodennutzung](#)
 Indikator: Landinanspruchnahme (m²a/t Edukt)

U9:
U9: Deponierte Abfälle
 Das Verwerten von biogenen Abfällen soll mit dazu beitragen, die Menge der zu deponierenden Abfälle zu reduzieren. Aus diesem Grund werden die in die verschiedenen Deponietypen zu lagernden Produktionsabfälle quantifiziert und getrennt bewertet, auch wenn das Deponievolumen an sich keine direkte Umweltbelastung darstellt.

[Deponierte Abfälle](#)
 Indikator: Volumen (m³/t Edukt)

U10:
U10: Hoch radioaktive Abfälle
 Die verschiedenen zu beurteilenden Verwertungsverfahren benötigen Strom in unterschiedlichen Mengen. Dieser Indikator wird aufgrund des hohen Kernenergieanteils des Schweizer Strommixes mitgeführt. Zudem wird Strom aus biogenen Abfällen auch mit Strom aus Kernkraftwerken verglichen.

[Hoch radioaktive Abfälle](#)
 Indikator: Volumen (m³/t Edukt)

Falls Sie Kommentare zu den von uns vorgeschlagenen Kriterien oder zusätzliche Kriterien anfügen möchten, können Sie dies hier erläutern.

Gewichtung der Kriterien des Bereichs "Umwelt"

Bitte gewichten Sie nachfolgend die von Ihnen für relevant befundenen Kriterien des Bereichs "Umwelt". Dazu bitten wir Sie die insgesamt 100%-Punkte auf die Kriterien zu verteilen.

[Wie rechnen wir mit Ihrer Bewertung?](#)

| | Prozent % |
|----|----------------------|
| 1 | <input type="text"/> |
| 2 | <input type="text"/> |
| 3 | <input type="text"/> |
| 4 | <input type="text"/> |
| 5 | <input type="text"/> |
| 6 | <input type="text"/> |
| 7 | <input type="text"/> |
| 8 | <input type="text"/> |
| 9 | <input type="text"/> |
| 10 | <input type="text"/> |

Kommentar:

Relevanz der Haupt-Kriterien des Bereichs "Ökonomie"

Bei der Bewertung nach ökonomischen Kriterien steht die Frage im Vordergrund, wie biogene Abfälle und Hofdünger wirtschaftlich optimal genutzt werden können.

Die Kriterien des Nachhaltigkeitsbereichs "Ökonomie" sind in die fünf Haupt-Kriterien O1-O5 gegliedert, wobei die Haupt-Kriterien O1, O2 und O3 anhand von Sub-Kriterien gemessen werden. Falls Sie eines dieser Haupt-Kriterien als relevant erachten, werden wir Sie in einem nächsten Schritt bitten, die dazugehörigen Sub-Kriterien ebenfalls zu gewichten.

Bitte beurteilen Sie die Haupt-Kriterien O1-O5 betreffend ihrer Relevanz für die Bewertung der verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten von biogenem Abfall und Hofdünger.

| | Relevant | Nicht relevant | Weiss nicht |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| O1: Wirtschaftliches Risiko (anhand von Sub-Kriterien "O1: Wirtschaftliches Risiko" - O1.1: Erwartete Volatilität biogener Abfälle bzw. Hofdünger - O1.2: Erwartete Volatilität der Produkte - O1.3: Höhe der absoluten Investitionskosten - O1.4: Amortisationsdauer der Anlage Subkriterien gemessen) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| O2: Flexibilität der Anlage in Nutzung (anhand von | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Sub-Kriterien "O2: Flexibilität der Anlage in Nutzung"

- O2.1: Unabhängig von einzelnen Edukten
- O2.2: Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots

[Subkriterien gemessen](#))

O3: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft

(anhand von

Sub-Kriterien "O3: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft"

- O3.1: Volkswirtschaftliche Wertschöpfung
- O3.2: Anzahl geschaffene Arbeitsplätze

[Subkriterien gemessen](#))

O4:

O4: Verwertungskosten

Unter den Verwertungskosten werden die Kosten für die Behandlung und Verwertung von biogenen Abfällen und Hofdünger in energetische und stoffliche Produkte verstanden (ohne Sammelkosten). In den Verwertungskosten sind die Kosten der Anlage für die Verwertung (Bau, Betrieb und Unterhalt der Anlage), die Einnahmen durch den Verkauf der Produkte, die Subventionen sowie der erzielte Gewinn enthalten. Je tiefer die Kosten, desto wirtschaftlicher kann die Anlage betrieben werden.

[Verwertungskosten](#)

Indikator: Verwertungspreis (CHF/t Edukt)

O5:

O5: Sammelkosten

Die Sammelkosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Sammlung und den Antransport von biogenen Abfällen und Hofdünger bis zur Verwertungsanlage sowie dem erzielten Gewinn. Je tiefer die Kosten, desto wirtschaftlicher ist der entsprechende Verwertungsweg.

[Sammelkosten](#)

Indikator: Sammelpreis (CHF/t Edukt)

Falls Sie Kommentare zu den von uns vorgeschlagenen Kriterien oder zusätzliche Kriterien anfügen möchten, können Sie dies hier erläutern.

Gewichtung der Haupt-Kriterien des Bereichs Ökonomie

Bitte gewichten Sie die von Ihnen für relevant befundenen Haupt-Kriterien des Bereichs "Ökonomie". Dazu bitten wir Sie insgesamt 100%-Punkte zu verteilen.

| | Prozent % |
|---|----------------------|
| 1 | <input type="text"/> |
| 2 | <input type="text"/> |
| 3 | <input type="text"/> |
| 4 | <input type="text"/> |
| 5 | <input type="text"/> |

Gewichtung der Sub-Kriterien des Bereichs Ökonomie

Die Haupt-Kriterien O1, O2, und O3 werden anhand von Sub-Kriterien gemessen. Für diese beachten Sie bitte: Falls Sie das Haupt-Kriterium als relevant eingestuft haben, bitten wir Sie, für das entsprechenden Sub-Kriterien ebenfalls eine Gewichtung vorzunehmen, indem Sie 100%-Punkte verteilen (Falls sie einem Sub-Kriterium kein Gewicht geben wollen, tragen Sie bitte den Wert '0' ein.). Andernfalls können Sie die Gewichtung des Sub-Kriteriums leer lassen.

[Wie rechnen wir mit Ihrer Gewichtung](#)

Gewichtung der Sub-Kriterien von O1: Wirtschaftliches Risiko

Prozent %

O1.1:
O1.1: Erwartete Volatilität der Eduktpreise:
 Diese Sub-Kriterium misst das erwartete Ausmass der Preisschwankungen der Edukte (=biogene Abfälle bzw. Hofdünger). Hohe Preisschwankungen bei den Edukten erhöhen das wirtschaftliche Risiko.
[Erwartete Volatilität der Eduktpreise \(Edukte=biogene Abfälle bzw. Hofdünger\)](#)
 Indikator: Erwartete Volatilität der Edukte (ordinale Skala)

O1.2:
O1.2: Erwartete Volatilität der Produktpreise:
 Dieser Sub-Kriterium misst das erwartete Ausmass der Preisschwankungen bei den erzeugten Produkten aus dem Verwertungsprozess (z.B. Strom, Wärme, Treibstoff, Kompost etc.). Je höher die Volatilität der verkauften Produkte, desto höher das wirtschaftliche Risiko.
[Erwartete Volatilität der Produktpreise](#)
 Indikator: Erwartete Volatilität der mittels biogener Abfälle produzierten Produkte (ordinale Skala)

O1.3:
O1.3: Höhe der absoluten Investitionskosten:
 Als Investitionskosten werden hier Ausgaben bei der Anschaffung langfristiger Sachanlagen gerechnet. Je höher diese absoluten Kosten ausfallen, desto höher das Risiko für den Anlagebetreiber. (CHF)
[Höhe der absoluten Investitionskosten](#)
 Indikator: Investitionskosten insgesamt (CHF)

O1.4:
O1.4: Amortisationsdauer der Anlage:
 Die Amortisationsdauer gibt die Zeit an, in der die Anschaffungsausgaben einer Investition wiedergewonnen bzw. amortisiert werden. Je länger die Amortisationsdauer, desto höher das Risiko der Anlage.
[Amortisationsdauer der Anlage](#)
 Indikator: Amortisationsdauer (Jahre)

Gewichtung der Sub-Kriterien von O2: Flexibilität der Anlage in Nutzung

Prozent %

O2.1:
O2.1: Unabhängig von einzelnen Edukten:
 Dieses Sub-Kriterium misst, ob die Anlage nur mit einem bestimmten Edukt bzw. Edukte-Mix läuft oder ob sie auf eine breite Edukte-Palette ausgelegt ist. Je mehr Edukte der Verwertung zugeführt werden können, desto flexibler ist die Anlage in der Nutzung.
[Unabhängig von einzelnen Edukten](#)
 Indikator: Unabhängigkeit von einzelnen Edukten (ordinale Skala)

O2.2:
O2.2: Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots:
 Dieses Sub-Kriterium bewertet die Antworten auf folgende Fragen: Gibt es Lagermöglichkeiten für die Edukte? Kann die Anlage kurzfristig abgeschaltet werden? Kann die Anlage mit Teillast betrieben werden? Welchen Wirkungsgrad hat die Anlage unter Teillast? Je besser auf Schwankungen im Edukteangebot reagiert werden kann, desto flexibler ist die Anlage in der Nutzung.
[Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots](#)
 Indikator: Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots (ordinale Skala)

Gewichtung der Sub-Kriterien von O3: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft

Prozent %

O3.1:
O3.1: Volkswirtschaftliche Wertschöpfung:
 Die Wertschöpfung setzt sich zusammen aus den erbrachten Leistungen (= Werte der Produkte Strom, Wärme, Treibstoff etc.) abzüglich der zur Leistungserstellung erbrachten Vorleistung (= Kosten für die Edukte, inkl. Sammlung und Antransport). Die Wertschöpfung misst den geschaffenen Mehrwert, der durch eine Verwertungsanlage in der Region geschaffen wurde. Je höher die Wertschöpfung, desto besser für die regionale Volkswirtschaft.
[Volkswirtschaftliche Wertschöpfung](#)
 Indikator: Volkswirtschaftliche Wertschöpfung (CHF/t Edukt)

O3.2:
O3.2: Anzahl geschaffene Arbeitsplätze:
 Jede Verwertungsanlage generiert Arbeitsplätze. Bei diesem Sub-Kriterium werden die Arbeitsplätze, die durch den Betrieb der Anlage generiert werden, berücksichtigt. Je mehr Arbeitsplätze geschaffen werden, desto besser für die regionale Volkswirtschaft.
[Anzahl geschaffene Arbeitsplätze](#)
 Indikator: Anzahl geschaffene Arbeitsplätze (Arbeitsplätze /t Edukt)

Kommentar:



Relevanz der Haupt-Kriterien des Bereichs "Gesellschaft"

Damit sich neue Technologien etablieren können, müssen sie von der Gesellschaft akzeptiert werden.

Die Kriterien des Nachhaltigkeitsbereichs "Gesellschaft" sind in die sechs Haupt-Kriterien G1-G6 gegliedert, wobei die Haupt-Kriterien G1 und G2 anhand von Sub-Kriterien gemessen werden. Falls Sie eines dieser Haupt-Kriterien als relevant erachten, werden wir Sie in einem nächsten Schritt bitten, die dazugehörigen Sub-Kriterien ebenfalls zu bewerten.

Bitte beurteilen Sie nachfolgend die Haupt-Kriterien G1-G6 betreffend ihrer Relevanz für die Bewertung der verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten von biogenem Abfall und Hofdünger.

| | Relevant | Nicht relevant | Weiss nicht |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| G1: Lokale Akzeptanz (anhand von Sub-Kriterien G1: Lokale Akzeptanz - G1.1 Geruchsemissionen - G1.2 Visuelle Beeinträchtigung - G1.3 Lärmbelastung durch Verkehr - G1.4 Lärmbelastung durch Anlage (Subkriterien gemessen) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| G2: Gesellschaftliche Akzeptanz (anhand von Sub-Kriterien G2: Gesellschaftliche Akzeptanz G2.1: Einstellung gegenüber Technologie G2.2: Logistische Anpassungen (Subkriterien gemessen) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| G3: Gesellschaftliches Risiko Die Technologien zur Nutzung biogener Abfälle bergen ein gewisses Risiko, Explosionen und Unfälle zu verursachen. Diese Risiken fließen in die Bewertung ein, indem sie mit den Risiken der Standardprozesse zur Erzeugung derselben Produkte verglichen werden. Die beiden Standardprozesse für Strom sind ‚Strom aus einem modernen Gas- und Dampfkraftwerk‘ sowie ‚Strom aus einem Kernkraftwerk‘. Der Standardprozess für Kompost ist ‚Nährsubstanz mit Mineraldünger ausgebracht‘. Führt die Stromproduktion in einer Vergärungsanlage zu einer Reduktion der Explosionen und Unfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion, sinkt das gesellschaftliche Risiko (und umgekehrt). Gesellschaftliches Risiko Indikator: Wahrscheinlichkeit von Explosionen und Unfällen (Ordinale Skala) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| G4: Risiken der Angestellten Wie in allen Produktionsbetrieben tragen die Mitarbeitenden ein Unfall-, Gesundheits- und Krankheitsrisiko. Dieses Risiko wird mit dem Risiko für die Herstellung des Standard-Produktes verglichen (Beispiele von Standardprozessen vgl. G3). Führt die Stromproduktion in einer Vergärungsanlage zu einer Reduktion der Unfälle und Ausfälle infolge Vermeidung der Standardproduktion, sinkt gesamthaft das Risiko der Angestellten (und umgekehrt). Risiken der Angestellten | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Indikator: Anzahl Unfälle und Krankheitsausfälle
(Ordinale Skala)

G5:
G5: Potenzielle Raumplanungskonflikte
 Bei den potenziellen Konflikten mit Grundsätzen der Raumplanung wird einerseits die Zonenkonformität und andererseits der Landverbrauch berücksichtigt. Das raumplanerische Konfliktpotenzial ist von Fall zu Fall abzuschätzen: Eine Biogasanlage in der Landwirtschaftszone hat ein grösseres Konfliktpotenzial als eine solche in der Industriezone, da gewisse Bestimmungen, wie z.B. maximaler Anteil nicht landw. Biomasse, maximale Fahrdistanzen für den Biomassetransport etc. einzuhalten sind.
[Potenzielle Raumplanungskonflikte](#)
 Indikator: Potenzielle Raumplanungskonflikte
(Ordinale Skala)

G6:
G6: Versorgungssicherheit
 Eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung ist ein Ziel des Schweizerischen Energiegesetzes. Das Kriterium misst, ob das Verfahren – infolge Vermeidung von Standardprodukten (Beispiele von Standardprodukten vgl. G3) – die Versorgungssicherheit erhöht. Eine Erhöhung der Versorgungssicherheit bedeutet eine Steigerung der Unabhängigkeit von importierten Energieträgern bzw. eine prozentuale Zunahme von einheimischen und erneuerbaren Energieträgern.
[Versorgungssicherheit](#)
 Indikator: Unabhängigkeit von importierten Energieträgern (Ordinale Skala)

Falls Sie Kommentare zu den von uns vorgeschlagenen Kriterien oder zusätzliche Kriterien anfügen möchten, können Sie dies hier erläutern.

Gewichtung der Haupt-Kriterien des Bereichs "Gesellschaft"

Bitte gewichten Sie die von Ihnen für relevant befundenen Haupt-Kriterien des Bereichs "Gesellschaft". Dazu bitten wir Sie insgesamt 100%-Punkte zu verteilen.

| | Prozent % |
|---|----------------------|
| 1 | <input type="text"/> |
| 2 | <input type="text"/> |
| 3 | <input type="text"/> |
| 4 | <input type="text"/> |
| 5 | <input type="text"/> |
| 6 | <input type="text"/> |

Gewichtung der Sub-Kriterien des Bereichs Gesellschaft

Die Haupt-Kriterien G1 und G2 werden anhand von Sub-Kriterien gemessen. Für diese beachten Sie bitte: Falls Sie das Haupt-Kriterium als relevant eingestuft haben, bitten wir Sie, für das entsprechenden Sub-Kriterien ebenfalls eine Gewichtung vorzunehmen, indem Sie 100%-Punkte verteilen (Falls sie einem Sub-Kriterium kein Gewicht geben wollen, tragen Sie bitte den Wert 0 ein.). Andernfalls können Sie die Gewichtung des Sub-Kriteriums leer lassen.

[Wie rechnen wir mit Ihrer Gewichtung](#)

Gewichtung der Sub-Kriterien von G1: Lokale Akzeptanz

| | Prozent % |
|---|---|
| G1.1: G1.1: Geruchsemissionen: Dieses Sub-Kriterium misst die Stärke der Geruchsemissionen, die durch die Anlage erzeugt werden. Mit abnehmenden Geruchsemissionen steigt die lokale Akzeptanz gegenüber der Anlage. Geruchsemissionen Indikator: Geruchsemissionen (ordinale Skala) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> |
| G1.2: G1.2: Visuelle Beeinträchtigung: Dieses Sub-Kriterium misst, wie gut sich die Anlage in das Landschafts- und Ortsbild einfügt. Je besser sich die Anlage ins Landschafts- und Ortsbild einfügt, desto stärker wird sie von der lokalen Bevölkerung akzeptiert. Visuelle Beeinträchtigung Indikator: Visuelle Beeinträchtigung (ordinale Skala) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> |
| G1.3: G1.3: Lärmbelastung durch Verkehr: Dieses Sub-Kriterium misst Art und Menge des zusätzlichen Verkehrsaufkommen, welches durch den Antransport der Edukte entsteht. Je kleiner das zusätzliche Verkehrsaufkommen, desto grösser die lokale Akzeptanz gegenüber der Verwertung. Lärmbelastung durch Verkehr Indikator: Lärmbelastung durch Verkehr (ordinale Skala) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> |
| G1.4: G1.4: Lärmbelastung durch Anlage: Dieses Sub-Kriterium misst die Stärke der Lärmmissionen, die durch die Anlage selbst erzeugt werden. Je kleiner die Lärmmissionen der Anlage, desto grösser die lokale Akzeptanz gegenüber der Anlage. Lärmbelastung durch Anlage Indikator: Lärmbelastung durch Anlage (ordinale Skala) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> |

Gewichtung der Sub-Kriterien von G2: Gesellschaftliche Akzeptanz

| | Prozent % |
|---|---|
| G2.1: G2.1: Einstellung gegenüber Technologie: Dieses Sub-Kriterium bewertet, ob die Bevölkerung gegenüber der Technologie eher positiv, indifferent oder negativ eingestellt ist. Je positiver die Einstellung gegenüber der Technologie, desto grösser die gesellschaftliche Akzeptanz. Einstellung gegenüber Technologie Indikator: Einstellung gegenüber Technologie (ordinale Skala) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> |
| G2.2: G2.2: Logistische Anpassungen: Dieses Sub-Kriterium bewertet, ob logistische Anpassungen für die Verwertung biogener Abfälle bzw. Hofdünger notwendig sind (z.B. Einführung einer Grünabfuhr) und wie gut diese von der Bevölkerung akzeptiert werden. Je weniger logistische Anpassungen notwendig sind und je besser diese akzeptiert werden, desto grösser ist die gesellschaftliche Akzeptanz. Logistische Anpassungen Indikator: Notwendigkeit logistischer Anpassungen (ordinale Skala) | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> |

Kommentar:

Änderung der Gewichtung der Nachhaltigkeitsbereiche?

Würden Sie die drei Hauptbereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft nach der Beantwortung der Fragen zu den einzelnen Kriterien der drei Nachhaltigkeitsbereiche immer noch gleich bewerten, wie davor?

- Ja → Weiter mit Frage Notwendigkeit und Vollständigkeit der Kriterien
- Nein → Weiter mit Frage Bitte geben Sie Ihre neue Gewichtung der drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft im Hinblick auf die Wichtigkeit bei der Verwertung biogener Abfälle und Hofdünger an.
- Weiss nicht → Weiter mit Frage Notwendigkeit und Vollständigkeit der Kriterien

Bitte geben Sie Ihre neue Gewichtung der drei Bereiche Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft im Hinblick auf die Wichtigkeit bei der Verwertung biogener Abfälle und Hofdünger an.

| | Prozent % |
|--------------|----------------------|
| Umwelt | <input type="text"/> |
| Ökonomie | <input type="text"/> |
| Gesellschaft | <input type="text"/> |

Notwendigkeit und Vollständigkeit der Kriterien

Denken Sie, die von uns ausgewählten 21 Kriterien und insgesamt 30 Indikatoren sind notwendig und hinreichend, um die verschiedenen Verwertungswege von biogenen Abfällen angemessen bewerten zu können?

- Ja
- Nein
- Weiss nicht

Wenn a1 ungleich ist als 2 → Berufliche Tätigkeit

Bitte geben Sie an welche Kriterien, bzw. Indikatoren es aus Ihrer Sicht für eine angemessene Bewertung braucht:

- U1: Klimaänderung
- U2: Schonung nicht erneuerbarer Energieressourcen
- U3: Versauerung
- U4: Überdüngung
- U5: Sommersmog
- U6: Humantoxizität
- U7: Ökotoxizität
- U8: Bodennutzung
- U9: Deponierte Abfälle
- U10: Hoch radioaktive Abfälle
- O1: Minimierung wirtschaftliches Risiko: O1.1: Erwartete Volatilität der Eduktpreise
- O1: Minimierung wirtschaftliches Risiko: O1.2: Erwartete Volatilität der Produktpreise
- O1: Minimierung wirtschaftliches Risiko: O1.3: Höhe der absoluten Investitionskosten
- O1: Minimierung wirtschaftliches Risiko: O1.4: Amortisationsdauer der Anlage
- O2: Flexibilität der Anlage in Nutzung: O2.1: Unabhängig von einzelnen Edukten
- O2: Flexibilität der Anlage in Nutzung: O2.2: Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots
- O3: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft: O3.1: Volkswirtschaftliche Wertschöpfung
- O3: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft: O3.2: Anzahl geschaffene Arbeitsplätze
- O4: Verwertungskosten
- O5: Sammelkosten
- G1: Lokale Akzeptanz: G1.1: Geruchsemissionen
- G1: Lokale Akzeptanz: G1.2: Visuelle Beeinträchtigung
- G1: Lokale Akzeptanz: G1.3: Lärmbelastung durch Verkehr
- G1: Lokale Akzeptanz: G1.4: Lärmbelastung durch Anlage
- G2: Gesellschaftliche Akzeptanz: G2.1: Einstellung gegenüber Technologie
- G2: Gesellschaftliche Akzeptanz: G2.2: Logistische Anpassungen
- G3: Gesellschaftliches Risiko
- G4: Risiken der Angestellten
- G5: Potenzielle Raumplanungskonflikte

G6: Versorgungssicherheit

Kommentar:

Berufliche Tätigkeit

In welchem Sektor/Bereich sind Sie beruflich tätig?

- Behörde
- Forschungseinrichtung (Hochschule, Forschungsanstalt)
- Verbände (Umwelt, Industrie)
- Unternehmensberatung (Umwelt, Energie)
- Energiewirtschaft
- Übrige Wirtschaft

Weiteres:

Kommentar:

Feedback zum Fragebogen

Bitte geben Sie an inwiefern die folgenden Aussagen zutreffen.

| | Trifft zu | Trifft eher zu | Trifft eher nicht zu | Trifft nicht zu | Kommentar: |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| Der Fragebogen war verständlich und einfach auszufüllen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | |
| Die gebotenen Informationen waren ausreichend, um die Fragen gewissenhaft bzw. gut beantworten zu können. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | |

Möchten Sie zusätzliche Rückmeldungen geben, bzw. Kommentare anbringen?

Schlussfragen

Verlosung:

Ich möchte an der Verlosung der 5 Goût Mieux Gutscheine à je CHF 100.- teilnehmen. Bitte geben Sie Ihre Emailadresse an.

Schlussbericht / Resultate der Umfrage:

Ich möchte den Schlussbericht elektronisch zugesendet bekommen. Bitte geben Sie Ihre Emailadresse an.

Ich möchte den Schlussbericht per Post zugesendet bekommen. Bitte geben Sie Ihre Postanschrift an.

Kommentar:

Endseite

Wir danken herzlich für Ihre Mitarbeit!

A-1.2 Resultate der Online-Befragung zur Gewichtung der Kriterien

| Durchschnittswerte (N=60) | | | |
|--|--|---|--------------|
| Bereich | Kriterium | Indikator | Gewichtung |
| UMWELT | | | 0.452 |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 0.118 |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 0.108 |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 0.021 |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 0.047 |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 0.021 |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 0.023 |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 0.042 |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 0.031 |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | 0.024 |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen | 0.016 |
| ÖKONOMIE | | | 0.301 |
| O1 | Entsorgungskosten | Entsorgungspreis | 0.080 |
| O2 | Sammelkosten | Sammelpreis | 0.056 |
| O3 Insgesamt: Minimierung wirtschaftliches Risiko | | | 0.085 |
| | O3.1 | Erwartete Volatilität Edukte | 0.024 |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produkt | 0.021 |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0.021 |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 0.019 |
| O4 Insgesamt: Flexibilität der Anlage in Nutzung | | | 0.047 |
| | O4.1 | Unabhängig von einzelnen Edukten | 0.022 |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots | 0.025 |
| O5 Insgesamt: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | | | 0.033 |
| | O5.1 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 0.019 |
| | O5.2 | Anzahl geschaffene Arbeitsplätze | 0.015 |
| GESELLSCHAFT | | | 0.246 |
| G1 Insgesamt: Lokale Akzeptanz | | | 0.088 |
| | G1.1 | Geruch-Emissionen | 0.038 |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0.013 |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.020 |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 0.016 |
| G2 Insgesamt: Gesellschaftliche Akzeptanz | | | 0.041 |
| | G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.023 |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 0.019 |
| G3 | Gesellschaftliches Risiko | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.022 |
| G4 | Risiken der Angestellten | Anzahl Unfälle, Krankheitsausfälle | 0.016 |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 0.043 |
| G6 | Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 0.036 |

Tabelle 39: Ergebnisse der Online-Befragung in Prozent: Durchschnittliche Gewichtung. Die drei Nachhaltigkeitsbereiche ergeben zusammen 100%. Die Hauptkriterien bzw. die Subkriterien jedes Bereichs bzw. jedes Hauptkriteriums ergeben addiert die Gewichtung des Bereichs bzw. des Hauptkriteriums.

| Umweltcluster (U>O oder >G und weder G noch O > U; N=46) | | | |
|--|--|---|--------------|
| Bereich | Kriterium | Indikator | Gewichtung |
| UMWELT | | | 0.501 |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 0.121 |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 0.129 |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 0.020 |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 0.053 |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 0.027 |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 0.028 |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 0.044 |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 0.032 |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | 0.029 |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen | 0.018 |
| ÖKONOMIE | | | 0.270 |
| O1 | Entsorgungskosten | Entsorgungspreis | 0.070 |
| O2 | Sammelkosten | Sammelpreis | 0.048 |
| O3 Insgesamt: Minimierung wirtschaftliches Risiko | | | 0.077 |
| | O3.1 | Erwartete Volatilität Edukte | 0.022 |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produkt | 0.020 |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0.020 |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 0.016 |
| O4 Insgesamt: Flexibilität der Anlage in Nutzung | | | 0.045 |
| | O4.1 | Unabhängig von einzelnen Edukten | 0.021 |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots | 0.023 |
| O5 Insgesamt: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | | | 0.030 |
| | O5.1 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 0.017 |
| | O5.2 | Anzahl geschaffene Arbeitsplätze | 0.013 |
| GESELLSCHAFT | | | 0.229 |
| G1 Insgesamt: Lokale Akzeptanz | | | 0.082 |
| | G1.1 | Geruch-Emissionen | 0.036 |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0.012 |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.020 |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 0.014 |
| G2 Insgesamt: Gesellschaftliche Akzeptanz | | | 0.036 |
| | G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.020 |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 0.016 |
| G3 | Gesellschaftliches Risiko | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.022 |
| G4 | Risiken der Angestellten | Anzahl Unfälle, Krankheitsausfälle | 0.017 |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 0.039 |
| G6 | Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 0.033 |

Tabelle 40: Ergebnisse der Online-Befragung in Prozent: Gewichtungsschwerpunkt Umwelt. Die drei Nachhaltigkeitsbereiche ergeben zusammen 100%. Die Hauptkriterien bzw. die Subkriterien jedes Bereichs bzw. jedes Hauptkriteriums ergeben addiert die Gewichtung des Bereichs bzw. des Hauptkriteriums.

| Okonomiecluster (O>U oder >G und weder U noch G > O; N=14) | | | |
|--|--|---|--------------|
| Bereich | Kriterium | Indikator | Gewichtung |
| UMWELT | | | 0.325 |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 0.088 |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 0.089 |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 0.010 |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 0.026 |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 0.012 |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 0.009 |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 0.035 |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 0.029 |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | 0.015 |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen | 0.012 |
| ÖKONOMIE | | | 0.439 |
| O1 | Entsorgungskosten | Entsorgungspreis | 0.128 |
| O2 | Sammelkosten | Sammelpreis | 0.093 |
| O3 Insgesamt: Minimierung wirtschaftliches Risiko | | | 0.126 |
| | O3.1 | Erwartete Volatilität Edukte | 0.038 |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produkt | 0.028 |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0.029 |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 0.031 |
| O4 Insgesamt: Flexibilität der Anlage in Nutzung | | | 0.042 |
| | O4.1 | Unabhängig von einzelnen Edukten | 0.017 |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots | 0.025 |
| O5 Insgesamt: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | | | 0.050 |
| | O5.1 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 0.029 |
| | O5.2 | Anzahl geschaffene Arbeitsplätze | 0.021 |
| GESELLSCHAFT | | | 0.236 |
| G1 Insgesamt: Lokale Akzeptanz | | | 0.086 |
| | G1.1 | Geruch-Emissionen | 0.035 |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0.014 |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.021 |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 0.015 |
| G2 Insgesamt: Gesellschaftliche Akzeptanz | | | 0.039 |
| | G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.022 |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 0.016 |
| G3 | Gesellschaftliches Risiko | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.026 |
| G4 | Risiken der Angestellten | Anzahl Unfälle, Krankheitsausfälle | 0.009 |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 0.039 |
| G6 | Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 0.037 |

Tabelle 41: Ergebnisse der Online-Befragung in Prozent: Gewichtungsschwerpunkt Ökonomie. Die drei Nachhaltigkeitsbereiche ergeben zusammen 100%. Die Hauptkriterien bzw. die Subkriterien jedes Bereichs bzw. jedes Hauptkriteriums ergeben addiert die Gewichtung des Bereichs bzw. des Hauptkriteriums.

| Gesellschaftscluster (G>U oder >O und weder U noch O > G; N=6) | | | |
|--|--|---|--------------|
| Bereich | Kriterium | Indikator | Gewichtung |
| UMWELT | | | 0.392 |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 0.096 |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 0.103 |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 0.019 |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 0.046 |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 0.023 |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 0.024 |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 0.042 |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 0.027 |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen | 0.011 |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen | 0.000 |
| ÖKONOMIE | | | 0.208 |
| O1 | Entsorgungskosten | Entsorgungspreis | 0.045 |
| O2 | Sammelkosten | Sammelpreis | 0.026 |
| O3 Insgesamt: Minimierung wirtschaftliches Risiko | | | 0.063 |
| | O3.1 | Erwartete Volatilität Edukte | 0.020 |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produkt | 0.018 |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0.012 |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 0.012 |
| O4 Insgesamt: Flexibilität der Anlage in Nutzung | | | 0.047 |
| | O4.1 | Unabhängig von einzelnen Edukten | 0.027 |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit auf Schwankungen des Edukteangebots | 0.020 |
| O5 Insgesamt: Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | | | 0.028 |
| | O5.1 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 0.012 |
| | O5.2 | Anzahl geschaffene Arbeitsplätze | 0.016 |
| GESELLSCHAFT | | | 0.400 |
| G1 Insgesamt: Lokale Akzeptanz | | | 0.167 |
| | G1.1 | Geruch-Emissionen | 0.076 |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0.032 |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.028 |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 0.031 |
| G2 Insgesamt: Gesellschaftliche Akzeptanz | | | 0.080 |
| | G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.047 |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 0.033 |
| G3 | Gesellschaftliches Risiko | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.040 |
| G4 | Risiken der Angestellten | Anzahl Unfälle, Krankheitsausfälle | 0.027 |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 0.047 |
| G6 | Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 0.040 |

Tabelle 42: Ergebnisse der Online-Befragung in Prozent: Gewichtungsschwerpunkt Gesellschaft. Die drei Nachhaltigkeitsbereiche ergeben zusammen 100%. Die Hauptkriterien bzw. die Subkriterien jedes Bereichs bzw. jedes Hauptkriteriums ergeben addiert die Gewichtung des Bereichs bzw. des Hauptkriteriums.

A-2 : Zweiter Anhang: Anwendung der Methodik

A-2.1 Factsheets zu den 24 Entsorgungs- und Nutzungswegen

A-2.1.1 Biogene Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von biogenen Abfällen in einer KVA

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

KVA Schweizer Durchschnitt

| | |
|--|---|
| Standort | 28 Standorte in der Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | Durchschnitt der Schweizer Anlagen |
| Rauchgasreinigung | Elektrostatische Abscheidung, Rauchgaswäsche, DeNox |
| Energieabgabe pro t biog. Abfall | 40.6 kWh Elektrizität, 372.8 MJ Wärme (Lieferung an Konsument) |
| Energieabgabe pro t biog. Abfall (optimiert) | 47.7 kWh Elektrizität, 2754.8 MJ Wärme (Lieferung an Konsument) |
| Kapazität einer KVA | 100'000 t/a (alle Abfälle) |
| Schlacke | 20'790 t/a (bezogen auf den gesamten Abfallinput) |
| Filterasche | 1496 t/a (bezogen auf den gesamten Abfallinput) |
| Deponierung der Rückstände | Inertstoffdeponie |
| Sammlung | von Haushalten mit Speziallastwagen (>20 t) |
| durchschnittliche Transportdistanz | 18 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | 3.82 | 0.10 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -1.3E+02 | 0.02 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 3.7E-01 | 0.82 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 3.3E-01 | 0.72 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 3.6E-03 | 0.49 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 2.6E+01 | 0.55 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.4E+02 | 0.00 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 1.2E+00 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 6.3E-07 | 0.60 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 5.4E-08 | 0.79 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 5.9E+05 | 0.05 | | |
| | | | | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 240 | 0.57 | Preislisten KVA | Durchschnitt über die Direktanlieferungspreise versch. KVA's |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 110 | 0.27 | BiomasseSchweiz 2006 | Gemäss BiomasseSchweiz 2006 kosten Sammlung und Verwertung von Biogenen Abfällen in einer KVA insg. 350 CHF/t. Davon haben wir den durchschnittlichen Verwertungspreis abgezogen |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass diese Abfallfraktion aufgrund der immer lohneswerteren energetischen Verwertung in Zukunft vermehrt nachgefragt werden wird (Konkurrenz um die Substrate). Die Nachfrage wird sich verstärkt auf die Eduktepreise auswirken. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme: Mittel (0.5 Pkt.), da Koppelung an Erdölpreis -> hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | Expertenschätzung | Investitionen für eine KVA ca. 250 Mio. Fr. (Angaben KVA Luzern) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | Expertenschätzung | Lange Betriebsdauer, lange Amortisationsdauer |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage kann verschiedenste Fraktionen verbrennen. |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen an der Anlage nötig bei Wechsel der Edukte, Lagerfähigkeit der Edukte (einige Tage) |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus biog. Abfällen in KVA mehr reg. Wertschöpfung erzeugen als die Standardprozesse. |
| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | KVA: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0 | eig. Abschätzung | Grossindustrielle Anlage, grosse Beeinflussung Landschaftsbild |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | täglicher Antransport |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 0.5 | eig. Abschätzung | Indifferent |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | Etabliertes Verfahren, etablierte Sammelprozesse |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir erwarten kaum Unterschiede zu den Gefahren der Standardprozesse (Gaskombi, Holzofenfeuerung) |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | KVA werden in der Industriezone erstellt, keine Konflikte zu Raumplanung |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 0.5 | BiomasseSchweiz 2006 | Aufgrund der Angaben der Studie von BiomasseSchweiz (2006) gehen wir davon aus, dass die Verbrennung biogener Abfälle in einer KVA nur unwesentlich zur Substitution von fossilen Energieträgern beiträgt. |

Datenquellen und Annahmen für die Methanisierung von biogenen Abfällen in einer Biogasanlage mit BHKW

Produktion von Strom und Wärme

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| Industriell gewerbliche Biogasanlagen | |
|---------------------------------------|---|
| Standort | Industrielle Vergärungsanlagen |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2005 |
| Eingesetzte Biomasse | Biogene Abfälle |
| Kapazität | 10'000 t/a |
| Produktion Biogas als Zwischenprodukt | 1'000'000 Nm ³ /a |
| Stromabgabe | 213.7 kWh Elektrizität / Tonne biogener Abfall |
| Wärmeabgabe | 582.6 MJ Wärme / Tonne biogener Abfall |
| Kompost pro t biog. Abfall | 712 kg (Ersatz von mineralischem Dünger und Torf / Stroh als organische Substanz) |
| durchschnittliche Transportdistanz | 12 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|---|---|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -1.2E+02 | 0.28 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -4.0E+03 | 0.37 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 8.2E-01 | 0.65 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | -1.2E-01 | 0.98 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 4.6E-02 | 0.17 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -2.1E+01 | 0.99 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 4.5E+01 | 0.64 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | -4.6E+01 | 0.07 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -3.4E-06 | 0.81 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 1.8E-07 | 0.65 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 4.8E+05 | 0.18 | | |
| BEREICH OKONOMIE | | | | | |
| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 150 | 0.69 | Biomasse Schweiz 2006 | 150 für anaerobe Aufbereitung |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 100 | 0.33 | Biomasse Schweiz 2006 | Preis für Sammlung und Transport |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass diese Abfallfraktion aufgrund der immer lohneswerteren energetischen Verwertung in Zukunft vermehrt nachgefragt werden wird (Konkurrenz um die Substrate). Die Nachfrage wird sich verstärkt auf die Eduktepreise auswirken. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Investitionen mittel hoch sind (im Vergleich zu KVA und Kompostierung) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0.5 | eig. Abschätzung | Meist privatwirtschaftliche Anlage - wir gehen von einer Abschreibedauer von 5-10 Jahren aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können verschiedene (aber nicht beliebig viele) Abfall-Fractionen eingesetzt werden |
| O4.2 | Reaktionsfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wenig Lagerraum, Anlage bedingt bei Umstellung auf andere Edukte kleinere Anpassungen der Einstellungen |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Strom und Wärme aus biog. Abfällen in Biogasanlage mit BHKW erzeugen mehr reg. Wertschöpfung als Standardprozesse. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Biogasanlage: leichter Geruch, viele Betroffene da in Industriezone nahe Siedlungsgebiet. |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Steht meist in der Industriezone, keine sehr grosse Anlage |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | Kleinere Fahrzeug als KVA, weniger Verkehr |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Positive Einstellung der Bevölkerung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Braucht Einführung einer Grünabfuhr, separate Entsorgung (teilweise schon bestehend) |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von geringeren Gefahren als Standardprozesse (Gaskombi, Heizöfenerung) aus. |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 0.5 | eig. Abschätzung | Industriell gewerbliche Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |

Datenquellen und Annahme für die Methanisierung von biogenen Abf. in einer Biogasanlage mit Gasaufbereitung

Produktion von Treibstoff

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| Industriell gewerbliche Biogasanlagen | |
|---------------------------------------|---|
| Standort | Industrielle Vergärungsanlagen |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2005 |
| Eingesetzte Biomasse | Biogene Abfälle |
| Kapazität | 10'000 t/a |
| Produktion Biogas als Zwischenprodukt | 1'000'000 Nm3/a |
| Abgabe Methan ans Netz | 493000 Nm3 |
| Abgabe Methan pro t biog. Abfall | 37 kg |
| Kompost pro t biog. Abfall | 712 kg (Ersatz von mineralischem Dünger und Torf / Stroh als organische Substanz) |
| durchschnittliche Transportdistanz | 12 km |
| Trans | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|---|-----------|----------|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -1.1E+02 | 0.26 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -3.9E+03 | 0.35 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 6.0E-01 | 0.73 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | -1.6E-01 | 1.00 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 4.4E-02 | 0.18 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -7.0E+00 | 0.86 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 4.6E+01 | 0.64 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | -4.6E+01 | 0.07 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -3.2E-06 | 0.80 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 3.2E-07 | 0.49 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 4.8E+05 | 0.18 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 150 | 0.69 | BiomasseSchweiz 2006 | Preis für anaerobe Aufbereitung |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 100 | 0.33 | BiomasseSchweiz 2006 | Preis für Sammlung und Transport |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass diese Abfallfraktion aufgrund der immer lohnswerteren energetischen Verwertung in Zukunft vermehrt nachgefragt werden wird (Konkurrenz um die Substrate). Die Nachfrage wird sich verstärkt auf die Eduktepreise auswirken. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Biogas: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Investitionen mittel hoch sind (im Vergleich zu KVA und Kompostierung) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0.5 | eig. Abschätzung | Meist privatwirtschaftliche Anlage - wir gehen von einer Abschreibedauer von 5-10 Jahren aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können verschiedene (aber nicht beliebig viele) Abfall-Fractionen eingesetzt werden |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wenig Lagerraum, Anlage bedingt bei Umstellung auf andere Edukte kleinere Anpassungen der Einstellungen |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Biogas mehr reg. Wertschöpfung erzeugt, als die Standardprozesse. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Biogasanlage: leichter Geruch, viele Betroffene da in Industriezone oder Siedlungsgebiet. |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Steht meist in der Industriezone, keine sehr grosse Anlage |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | Kleinere Fahrzeug als KVA, weniger Verkehr |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Positive Einstellung der Bevölkerung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Braucht Einführung einer Grünabfuhr, separate Entsorgung (teilweise schon bestehend) |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 1 | eig. Abschätzung | Geringere Gefahren als Standardprozesse (Benzinherstellung) |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 0.5 | eig. Abschätzung | Industriell gewerbliche Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Steigert Unabhängigkeit |

Datenquellen und Annahmen für die Kompostierung von biogenen Abfällen in einer Kompostieranlage

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Industriell gewerbliche Kompostanlage

| | |
|------------------------------------|--|
| Standort | Agglomerationsgemeinde Schweizer Mittelland |
| Inbetriebsetzungsjahr | Verschiedene |
| Eingesetzte Biomasse | Biogene Abfälle |
| Kapazität | 10'000 t/a |
| Produktion Kompost | 7'120 t/a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 12 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|---|-----------|----------|--|---|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | 7.3E+01 | 0.00 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -2.0E+03 | 0.19 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 2.5E+00 | 0.00 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.5E-01 | 0.83 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 6.8E-02 | 0.00 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -1.2E+01 | 0.91 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 5.0E+00 | 0.92 | | |
| U8 | Landanspruchnahme | -4.0E+01 | 0.07 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -2.0E-06 | 0.74 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 1.7E-06 | 0.83 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 6.1E+05 | 0.02 | | |
| BEREICH OKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 140 | 0.70 | Preislisten: Vollenweider AG Kompostieranlage Grenchen, HASTAG Zürich | |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 100 | 0.33 | Biomasse Schweiz 2006 | Gleiche Preisannahme wie Sammlung und Transport zu Biogasanlage |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass diese Abfallfraktion aufgrund der immer lohnswerteren energetischen Verwertung in Zukunft vermehrt nachgefragt werden wird (Konkurrenz um die Substrate). |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktpreise | | 1 | eig. Abschätzung, BUWAL 2002 | Wir erwarten weiterhin stabile Kompostpreise (vg. BUWAL 2002) |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen im Vergleich zu den anderen Verwertungsanlagen von tiefen Investitionskosten aus (Hallen, Wasserreinigung) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0.5 | eig. Abschätzung | Meist privatwirtschaftliche Anlage - wir gehen von einer Abschreibedauer von 5-10 Jahren aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können verschiedene (aber nicht beliebig viele) Abfall-Fractionen eingesetzt werden |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Schwankungen im Edukteangebot zu geringen Problemen führen. |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Regionale Wertschöpfung der Kompostproduktion ist grösser, als die dezentrale Produktion von Dünger (teilweise im Ausland). |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.25 | eig. Abschätzung | Starker Geruch möglich, wenige betroffene Personen, da Anlagen meist in Landwirtschaftszone |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Steht meist in der Landwirtschaftszone, keine sehr grosse Anlage |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Anlieferung der Edukte mittels kleinerer Fahrzeuge als KVA bewerkstelligt wird (weniger Verkehr als KVA) |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Positive Einstellung der Bevölkerung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Braucht Einführung einer Grünabfuhr, separate Entsorgung (teilweise schon bestehend) |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 1 | eig. Abschätzung | Gefahren kleiner als Standardprozess (Düngerherstellung) |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Mineraldünger) als geringer eingestuft, da weniger aufwändiger Prozess und regionaler. |

A-2.1.2 Schlamm aus Kläranlagen

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Rohschlamm in Zementwerk

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Zementwerk - Rohschlamm

| | |
|---|--|
| Standort | 5 Anlagen in CH, v.a. Siggenthal |
| Inbetriebsetzungsjahr | 1912, regelmässige Revisionen |
| Rauchgasreinigung | Aktiv-Kohle-Filter, Entstickungsanlage |
| Kapazität | Im Jahr 2006: 46'000 Tonnen Klärschlamm |
| Eingesetzter Rohschlamm | pro 1000kg Klinkerproduktion: Einsatz von 100kg Klärschlamm (92%TS) |
| Produktion Klinker in CH | 623'501 t/a |
| Faulung des Klärschlammes | nein |
| mechanische Entwässerung | auf 30% TS |
| thermische Trocknung auf 92% TS | 50% Erdgas, 30% Heizöl, 10% Abwärme von Klärgas (BHKW), 10% Wärmepumpe |
| durchschnittliche Transportdistanz | 32 km |
| Transportmodalsplit | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -2.2E+01 | 0.14 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 1.0E+02 | 0.00 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 1.5E-02 | 0.96 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 2.5E-01 | 0.76 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 1.9E-04 | 0.51 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 2.1E+00 | 0.77 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.4E+00 | 0.94 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | -5.7E-01 | 0.03 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 1.2E-05 | 0.00 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 9.2E-08 | 0.75 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 3.9E+04 | 0.72 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| Zementwerk | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 450 | 0.28 | BUWAL 2004 Schmid 2006 | Schätzung aufgrund Umfrage bei mehreren ARA-Betreibern im Jahr 2001 (Kosten für entwässerten, nicht getrockneten Klärschlamm) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 150 | 0.00 | BUWAL 2004 | Schätzung der Entsorgungskosten aus den Angaben im Anhang (Projektspezifische Investitions- und Kostenabschätzungen) |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von stabilen Klärschlammpreisen aus (meist bestehende Entsorgungsverträge zwischen ARAs und Entsorgungsanlagen). |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von stabil bleibenden Zementpreisen aus |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 1 | eig. Abschätzung | Investitionen für eine Trocknungsanlage auf ARA, sonst keine Zusatzinvestitionen in der Zementfabrik |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 1 | eig. Abschätzung | Keine Zusatzinvestitionen Zementwerk |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Zementofen ist unabhängig von einzelnen Edukten |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen | | 1 | eig. Abschätzung | Zementofen ist unabhängig von einzelnen Edukten |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Durch die Substitution einer Energiequelle bei der Zementherstellung erwarten wir keine Veränderung bei der reg. Wertschöpfung (Produkt Zement bleibt dasselbe). |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Zementwerk: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0 | eig. Abschätzung | Grossindustrielle Anlage, grosse Beeinflussung Landschaftsbild |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Antransport wöchentlich erfolgt |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein zusätzlicher Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 0.5 | eig. Abschätzung | Indifferent |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | keine Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung geg. Standardprodukte |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung der Unfälle und Krankheitsausfälle, da Rohstoffsubstitution. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Zementwerke werden in der Industriezone/Sonderzone erstellt, keine Konflikte zu Raumplanung |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es wird zwar Brennstoff ersetzt, die Trocknung des Klärschlammes erfolgt jedoch zu einem grossen Teil mit fossilen Energieträgern (neben Abwärmenutzung) und ist sehr Energieintensiv. |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Rohschlamm in einer Biogasanlage mit BHKW, anschl. KVA

Produktion von Strom und Wärme - Entsorgung des gegärten Schlammes in einer KVA

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|--|
| Biogasanlage ARA | |
| Standort | Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2002 |
| Eingesetzte Biomasse | Klärschlamm |
| Kapazität | 1000 Einwohnergleichwert (EWG) |
| Kapazität | 511 t/a Klärschlamm (5% TS) |
| Produktion Klärgas | 9'125 Nm ³ /a |
| Produktion Faulschlamm | 502.3 t/a |
| Stromabgabe an Dritte | 64 MWh/a |
| Wärmeabgabe an Dritte | 103.7 MWh/a |
| Entsorgung | mechanische Entwässerung auf 30% TS, anschliessend Entsorgung in KVA |
| durchschnittliche Transportdistanz | 0 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen | |
|-----------------------------|--|-----------|------|-----------|------------------------------|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -3.5E+00 | | 0.11 | | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -1.8E+02 | | 0.03 | | | |
| U3 | Versauerungspotenzial | 1.1E-01 | | 0.93 | | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 3.6E-01 | | 0.71 | | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 9.4E-04 | | 0.51 | | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 3.9E+00 | | 0.75 | Datenbestand ecoinvent v2.01 | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 3.1E+01 | | 0.74 | und eigene Modellierung | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 3.6E-01 | | 0.03 | | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 1.1E-05 | | 0.03 | | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 2.7E-08 | | 0.82 | | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 1.1E+05 | | 0.63 | | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | | | |
| | | KVA* | BHKW | Insgesamt | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 650 | | 0.00 | BUWAL 2004 | | Schätzung aufgrund Umfrage bei mehreren ARA-Betreibern im Jahr 2001 (Kosten für feuchten, nicht getrockneten Klärschlamm) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 150 | | 0.00 | BUWAL 2004 | | Schätzung der Entsorgungskosten aus den Angaben im Anhang (Projektspezifische Investitions- und Kostenabschätzungen in BUWAL 2004) |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | | Wir gehen von stabilen Klärschlammpreisen aus (meist bestehende Entsorgungsverträge zwischen ARAs und Entsorgungsanlagen). |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | - | 0.25 | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. | |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0 | 0.5 | 0 | eig. Abschätzung | Investition Gärung: Annahme, dass ähnlich wie Kompogasanlage. Investitionen für KVA ca. 240 Mio. | |
| O3.4 | Amortisationsdauer | 0 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Meist öffentlichrechtliche Anlage, gleiche Abschreibedauer wie ARA, Abschreibung meist 10% pro Jahr = Abschreibedauer >10 Jahre (Schätzung) | |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | 1 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Nur Klärschlamm einsetzbar | |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Grosser Gärraum, deshalb Anlage wenig anfällig auf Veränderungen beim Edukteangebot. | |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus biog. Abfällen mehr reg. Wertschöpfung erzeugen als die Standardprozesse. | |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | | | |
| | | KVA* | BHKW | Insgesamt | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Biogasanlage bei ARA, KVA; kein Geruch durch Anlagen | |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0 | 0.5 | 0 | eig. Abschätzung | Faulturm meist neben ARA, KVA; grossindustrielle Anlage, grosse beeinflussung Landschaftsbild | |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.5 | 1 | 0.5 | eig. Abschätzung | Kein Lärm durch Verkehr für Gärung. Danach wöchentliche Transport auf KVA | |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen | |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Nutzung Biogas ARA wird positiv beurteilt | |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen nötig | |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir erwarten, dass die Gärung die Risiken gegenüber der Standardproduktion vermindert. Bei der KVA erwarten wir kaum Unterschiede zu den Gefahren der Standardprozesse (Gaskombi, Heizöfuerung) | |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Rohschlamm in einer Biogasanlage mit Gasaufbereitung, anschl. KVA

Produktion von Treibstoff - Entsorgung des gegärten Schlammes in einer KVA

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Biogasanlage ARA | |
| Standort | Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2002 |
| Eingesetzte Biomasse | Klärschlamm |
| Kapazität | 1000 Einwohnergleichwert (EWG) |
| Produktion Klärgas | 511 t/a Klärschlamm (5% TS) |
| Produktion Faulschlamm | 9'125 Nm3/a |
| Abgabe Methan ans Netz | 502.3 t/a |
| Entsorgung | mechanische Entwässerung auf 30%TS, anschliessend Entsorgung in KVA |
| durchschnittliche Transportdistanz | 10 km |
| Transportmodalsplitt | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen | | |
|-----------------------------|--|-----------|----------|------------------------------|--|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -3.9E+00 | 0.11 | | | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -1.8E+02 | 0.03 | | | | |
| U3 | Versauerungspotenzial | 7.0E-02 | 0.94 | | | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 3.5E-01 | 0.71 | | | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 4.2E-04 | 0.51 | | | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 6.5E+00 | 0.73 | Datenbestand ecoinvent v2.01 | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 3.1E+01 | 0.74 | und eigene | | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 3.9E-01 | 0.03 | Modellierung | | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 1.1E-05 | 0.03 | | | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 8.2E-08 | 0.76 | | | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 1.1E+05 | 0.63 | | | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | | | |
| | | KVA* | Gas | Insgesamt | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 650 | | 0.00 | | BUWAL 2004 | Schätzung aufgrund Umfrage bei mehreren ARA-Betreibern im Jahr 2001 (Kosten für feuchten, nicht getrockneten Klärschlamm) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 150 | | 0.00 | | BUWAL 2004 | Schätzung der Entsorgungskosten aus den Angaben im Anhang (Projektspezifische Investitions- und Kostenabschätzungen in BUWAL 2004) |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 1 | 1 | 1 | | eig. Abschätzung | Wir gehen von stabilen Klärschlammpreisen aus (meist bestehende Entsorgungsverträge zwischen ARAs und Entsorgungsanlagen). |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | - | 0.5 | 0.5 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Biogas: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. | |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0 | 0.5 | 0 | | Investition Gärung: Annahme, dass ähnlich wie Kompostanlage. Investitionen für KVA ca. 240 Mio. | |
| O3.4 | Amortisationsdauer | 0 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Meist öffentlichrechtliche Anlage, gleiche Abschreibedauer wie ARA, Abschreibung meist 10% pro Jahr = Abschreibedauer >10 Jahre (Schätzung) | |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | 1 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Nur Klärschlamm einsetzbar | |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Grosser Gärraum, deshalb Anlage wenig anfällig auf Veränderungen beim Edukteangebot. | |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Biogas mehr reg. Wertschöpfung erzeugt, als die Standardprozesse aus fossilen Energieträgern. | |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | | | |
| | | KVA* | Gas | Insgesamt | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Biogasanlage bei ARA, KVA: kein Geruch durch Anlagen | |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0 | 0.5 | 0 | eig. Abschätzung | Faulturm meist neben ARA, KVA: grossindustrielle Anlage, grosse beeinflussung Landschaftsbild | |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.5 | 1 | 0.5 | eig. Abschätzung | Kein Lärm durch Verkehr für Gaseinspeisung. Danach wöchentliche Transport auf KVA | |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen | |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Nutzung Biogas ARA wird positiv beurteilt | |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen nötig | |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir erwarten, dass die Gaseinspeisung die Risiken gegenüber der Standardproduktion vermindert. Bei der KVA erwarten wir kaum Unterschiede zu den Gefahren der Standardprozesse (Gaskombi, Heizölfeuerung) | |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | 1 | 1 | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. | |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Sonderzonen, keine Konflikte da Anlage auf der ARA und KVA in Industriezone | |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Rohschlamm in einer Biogasanlage mit BHKW, anschl. Monoverbrennung

Produktion von Strom und Wärme - Entsorgung des gegärten Schlammes in Monoverbrennungsanlage

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Biogasanlage ARA | |
| Standort | Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2002 |
| Eingesetzte Biomasse | Klärschlamm |
| Kapazität | 1000 Einwohnergleichwert (EWG) |
| Kapazität | 511 t/a Klärschlamm (5% TS) |
| Produktion Klärgas | 9'125 Nm ³ /a |
| Produktion Faulschlamm | 502.3 t/a |
| Stromabgabe an Dritte | 64 MW/a |
| Wärmeabgabe an Dritte | 103.7 MW/a |
| Entsorgung | mechanische Entwässerung auf 30%TS anschliessend thermische Trocknung auf 45%TS (50% Erdgas, 30% Heizöl, 10% Abwärme von Klärgas (BHKW), 10% Wärmepumpe), dann Monoverbrennung |
| durchschnittliche Transportdistanz | 9 km |
| Trans | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|---|-------------|-------------|------------------|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -5.1E+00 | | 0.11 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -1.4E+02 | | 0.02 | | |
| U3 | Versauerungspotenzial | 6.2E-02 | | 0.94 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.3E-01 | | 0.84 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 6.0E-04 | | 0.51 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 1.7E-01 | | 0.79 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 2.9E+01 | | 0.75 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 1.7E-01 | | 0.03 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 1.2E-06 | | 0.57 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 3.1E-08 | | 0.81 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 1.6E+04 | | 0.75 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | | |
| | | Mono | BHKW | Insgesamt | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 600 | | 0.07 | BUWAL 2004 | Schätzung aufgrund Umfrage bei mehreren ARA-Betreibern im Jahr 2001 (Kosten für feuchten, nicht getrockneten Klärschlamm) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 150 | | 0.00 | BUWAL 2004 | Schätzung der Entsorgungskosten aus den Angaben im Anhang (Projektspezifische Investitions- und Kostenabschätzungen in BUWAL 2004) |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von stabilen Klärschlammpreisen aus (meist bestehende Entsorgungsverträge zwischen ARAs und Entsorgungsanlagen). |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | 1 | 0.75 | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0.5 | 0.5 | 0.5 | BUWAL 2004 | Investition Gärung: Annahme, dass ähnlich wie Kompogasanlage. Investition für Monoverbrennung ca. 30 Mio. (BUWAL 2004) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | 0 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Meist öffentlichrechtliche Anlage, gleiche Abschreibedauer wie ARA, Abschreibung meist 10% pro Jahr = Abschreibedauer >10 Jahre (Schätzung) |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | 0 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Nur Klärschlamm einsetzbar |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Grosser Gärraum und Lagermöglichkeiten, deshalb Anlage wenig anfällig auf Veränderungen beim Edukteangebot. |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus biog. Abfällen mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardprozesse. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | | |
| | | Mono | BHKW | Insgesamt | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Biogasanlage bei ARA, Monoverbrennung: kein Geruch durch Anlagen |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0 | 0.5 | 0 | eig. Abschätzung | Monoverbrennungsanlagen sind grossindustrielle Anlagen, wie KVA. Fauturm auf ARA Gelände nur kleine visuelle Beeinträchtigung. |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.5 | 1 | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass der Transport zur Monoverbrennung wöchentlich erfolgt. |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Nutzung Biogas ARA wird positiv beurteilt |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Die Energiegewinnung durch Vergärung auf der KVA vermindert das Risiko im Vergleich zu den Standardprozessen. Die anschliessende Entsorgung unterscheidet sich nicht von anderen Entsorgungswegen. |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | 1 | 1 | 1 | Experten-schätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Rohschlamm in einer Biogasanlage mit Gasaufbereitung, anschl. Monoverbrennung

Produktion von Treibstoff - Entsorgung des gegärten Schlammes in Monoverbrennungsanlage

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Biogasanlage ARA | |
| Standort | Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2002 |
| Eingesetzte Biomasse | Klärschlamm |
| Kapazität | 1000 Einwohnergleichwert (EWG) |
| Kapazität | 511 t/a Klärschlamm (5% TS) |
| Produktion Klärgas | 9'125 Nm ³ /a |
| Produktion Faulschlamm | 502.3 t/a |
| Abgabe Methan ans Netz | 5000 Nm ³ /a |
| Entsorgung | mechanische Entwässerung auf 30% TS anschliessend thermische Trocknung auf 45% TS (50% Erdgas, 30% Heizöl, 10% Abwärme von Klärgas (BHKW), 10% Wärmepumpe), dann Monoverbrennung |
| durchschnittliche Transportdistanz | 9 km |
| Transportmodalsplit | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|-----|-----------|-----------------------|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -6.3E+00 | | 0.12 | | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -1.9E+02 | | 0.03 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 1.8E-02 | | 0.96 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.2E-01 | | 0.84 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -5.3E-05 | | 0.51 | Datenbestand | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 1.7E+00 | | 0.77 | ecoinvent v2.0.1 | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 2.9E+01 | | 0.75 | und eigene | |
| U8 | Ländinanspruchnahme | 1.7E-01 | | 0.03 | Modellierung | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 1.2E-06 | | 0.57 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 5.7E-08 | | 0.79 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 1.4E+04 | | 0.75 | | |
| Nr. | Indikator | Bewertung | | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen - Gasaufbereitung |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | | |
| | | Mono | Gas | Insgesamt | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 600 | | 0.07 | BUWAL 2004 | Schätzung aufgrund Umfrage bei mehreren ARA-Betreibern im Jahr 2001 (Kosten für feuchten, nicht getrockneten Klärschlamm) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 150 | | 0.00 | BUWAL 2004 | Schätzung der Entsorgungskosten aus den Angaben im Anhang (Projektspezifische Investitions- und Kostenabschätzungen in BUWAL 2004) |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von stabilen Klärschlammpreisen aus (meist bestehende Entsorgungsverträge zwischen ARAs und Entsorgungsanlagen). |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | 1 | 0.5 | 0.5 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Biogas: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | Investition Gärung: Annahme, dass ähnlich wie Kompogasanlage. Investition für Monoverbrennung ca. 30 Mio. (BUWAL 2004) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | 0 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Meist öffentlichrechtliche Anlage, gleiche Abschreibedauer wie ARA, Abschreibung meist 10% pro Jahr = Abschreibedauer >10 Jahre (Schätzung) |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | 0 | 0 | 0 | eig. Abschätzung | Nur Klärschlamm einsetzbar |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Grosser Gärraum und Lagermöglichkeiten, deshalb Anlage wenig anfällig auf Veränderungen beim Edukteangebot |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Biogas mehr reg. Wertschöpfung erzeugt, als die Standardprozesse aus fossilen Energieträgern. |
| Nr. | Indikator | Bewertung | | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | | |
| | | Mono | Gas | Insgesamt | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Biogasanlage bei ARA, Monoverbrennung: kein Geruch durch Anlagen |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 0 | 0.5 | 0 | eig. Abschätzung | Monoverbrennungsanlagen sind grossindustrielle Anlagen, wie KVA. Faulturm auf ARA Gelände nur kleine visuelle Beeinträchtigung. |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | 0.5 | 1 | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass der Transport zur Monoverbrennung wöchentlich erfolgt |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Nutzung Biogas ARA wird positiv beurteilt |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Die Energiegewinnung durch Vergärung auf der KVA vermindert das Risiko im Vergleich zu den Standardprozessen. Die anschliessende Entsorgung unterscheidet sich nicht von anderen Entsorgungswegen. |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | 1 | 1 | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 1 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Sonderzonen, keine Konflikte da Anlage auf der ARA. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 0.5 | 1 | 1 | eig. Abschätzung | Monoverbrennung in Industriezone. Reduktion Abhängigkeit durch Treibstoffproduktion |

A-2.1.3 Hofdünger

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Hofdünger - Ausbringen auf Feld

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | | | |
|------------------------------------|---------|----|--|
| Gütlewagen | | | |
| durchschnittliche Transportdistanz | 1.5 | km | |
| Transportmodalsplit | Traktor | | |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|---|-----------|----------|--------------------------------|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | 4.2E+01 | 0.05 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -2.7E+02 | 0.03 | | |
| U3 | Versauerungspotenzial | 1.7E+00 | 0.30 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.2E+00 | 0.24 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 1.5E-03 | 0.50 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -1.2E+01 | 0.90 | Datenbestand ecoinvent v2.01 | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | -4.0E+00 | 0.98 | und eigene | |
| U8 | Landinanspruchnahme | -8.4E-01 | 0.03 | Modellierung | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -4.5E-07 | 0.66 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 4.4E-09 | 0.84 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 3.1E+05 | 0.39 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 20 | 0.87 | eig. Abschätzung | Annahme: Dieseltank verbraucht etwa 10-15l pro Stunde. Arbeit für Ausbringen 1 t Gülle dauert ca. 0.5 Stunde. |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 0 | 1.00 | | Wir gehen davon aus, dass keine Sammelkosten anfallen |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 1 | Experten-einschätzung (Fenaco) | Gespräch mit Vertreter der Fenaco hat gezeigt, dass nur schwer generell gültige Aussagen gemacht werden können. In tierintensiven Regionen haben die Bauern Gülle im Überfluss und müssen die überschüssige Gülle auf Ihre Kosten loswerden. In Ackerbauregionen wiederum ist Gülle ein gefragtes Gut und es kann sein, dass diese zugekauft wird. Wobei bis anhin die günstigen Düngerpreise dafür sorgten, dass lieber Dünger als Gülle gekauft wurde. > Preis tendenziell null bis negativ mit geringer Volatilität |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 1 | eig. Abschätzung | Gleiche Begründung wie O3.1 |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von geringen Investitionen aus |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen von tiefen Amortisationszeiten aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Hofdünger kann durch Kunstdünger substituiert werden. |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des | | 1 | eig. Abschätzung | Hofdünger kann durch Kunstdünger substituiert werden. |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Verwertung des hofeigenen Düngers keinen Einfluss auf die regionale Wertschöpfung hat. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.25 | eig. Abschätzung | Hofdünger auf Feld: Starker Geruch, wenig Betroffene da Austrag in Landwirtschaftszone. |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 1 | eig. Abschätzung | keine optische Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 1 | eig. Abschätzung | Das Ausbringen der Gülle erfolgt nur ein paar mal jährlich. |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein zusätzlicher Lärm |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 0.5 | eig. Abschätzung | Indifferent |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | keine Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Wahrscheinlichkeit von Explosionen in der chemischen Industrie höher sind |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | eig. Abschätzung | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Minerdünger) als geringer eingestuft, da weniger aufwändiger Prozess und regionaler. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Keine Konflikte |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 0.5 | eig. Abschätzung | Keine Veränderung der Unabhängigkeit. |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Hofdünger in einer Biogasanlage mit BHKW

Produktion von Strom und Wärme

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Landwirtschaftliche Biogasanlage

| | |
|--|--|
| Standort | Einzelanlage mit 500 m3 Vergärungsraum für Hofdünger von Schweinen und Kühen |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2004-2006 |
| Kapazität | 3'140 t/a |
| Hofdünger | 3'140 t/a |
| Stromabgabe an Dritte | 550 MWh/a |
| Wärmeabgabe an Dritte | 0.04 MWh/a |
| Abgabe Biogas ans Netz | - |
| Lagerhaltung | optimiert bezüglich Luftemissionen |
| Ausbringung Gülle auf Feld | mit Schleppschlauchverfahren (gemäss Regelung nature made star) |
| durchschnittliche Transportdistanz zu Feld | 1.5 km |
| Transportmodalsplit | Traktor |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|---|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -2.5E+01 | 0.14 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -7.5E+02 | 0.08 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 1.3E+00 | 0.47 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.0E+00 | 0.31 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -1.6E-03 | 0.52 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -1.4E+01 | 0.92 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | -4.3E+00 | 0.98 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | -4.1E-03 | 0.03 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -7.0E-07 | 0.67 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 1.1E-08 | 0.84 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 2.5E+05 | 0.47 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 60 | 0.81 | eig. Abschätzung | Landwirtschaftl. Biogasanlagen, die nur Hofdünger verwerten, können im Gegensatz zur Co-Vergärung nicht kostendeckend betrieben werden. Wir gehen deshalb von einem Verwertungspreis von CHF 60 pro t aus. |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 0 | 1.00 | | Es handelt sich um eine dezentrale Anlage, für die auf dem Betrieb keine zusätzlichen Sammelkosten anfallen. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 1 | Experten-einschätzung (Fenaco) | Vgl. Begründung Weg 10 |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Okostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Investition Gärung: Annahme, dass ähnlich wie Kompogasanlage |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen von tiefen Amortisationszeiten aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme, dass nur Hofdünger eingesetzt wird |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Kleiner Gärraum, Gülle kann gelagert werden |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus biog. Abfällen mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardprozesse. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.75 | eig. Abschätzung | Biogasanlage: leichter Geruch, wenig Betroffene da in Landwirtschaftszone. |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Anlage fügt sich mittel gut ins Landschaftsbild ein |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | Das Ausbringen der gegärten Gülle erfolgt nur ein paar mal jährlich und es werden keine betriebsfremden Stoffe eingesetzt. |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Positive Einstellung der Bevölkerung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: geringere Gefahren als Standardprozesse (Gaskombi, Heizölfeuerung) |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in LW-Zone, jedoch nur betriebseigene Stoffe |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Steigert Unabhängigkeit |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Hofdünger und Co-Substraten in einer Biogasanlage

Produktion von Strom und Wärme

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Landwirtschaftliche Biogasanlage

| | |
|--|---|
| Standort | 20 untersuchte Anlagen in der Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 2004-2006 |
| Kapazität (20 Anlagen) | 72'044 t/a |
| Hofdünger | 49'506 t/a |
| Co-Substrate | 22'538 t/a |
| Produktion Biogas | 6'094'400 Nm ³ /a |
| Stromabgabe an Dritte | 12'746 MWh/a |
| Wärmeabgabe an Dritte | 1,02 MWh/a |
| Lagerhaltung | optimiert bezüglich Luftemissionen |
| Ausbringung Gülle auf Feld | mit Schleppschlauchverfahren (gemäss Regelung nature made star) |
| durchschnittliche Transportdistanz Co-Substrat | 17 km |
| Transport des Co-Substrat | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) |
| Transport von Reststoffen auf Feld | Traktor |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--------------------------|---|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -8.5E+01 | 0.23 | | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -1.9E+03 | 0.18 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 1.4E+00 | 0.43 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.6E+00 | 0.00 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -3.6E-03 | 0.54 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -1.7E+01 | 0.95 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | -2.6E+00 | 0.97 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 1.2E+00 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -1.3E-06 | 0.70 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 2.3E-08 | 0.82 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 3.2E+05 | 0.37 | | |
| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 0 | 0.90 | eig. Abschätzung | Die Anlage kann kostendeckend betrieben werden. Im Gegensatz zur Anlage 11 fallen hier jedoch Transportkosten zur regionalen Anlage an. |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 20 | 0.87 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 17 km Transportweg dauert insgesamt rund 2 Stunde à 30 CHF. Da jedoch nur ca. ein Drittel Co-Substrate verwertet werden, beträgt der Transportpreis rund 20 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Für Gülle: vgl. Experteneinschätzung Weg 10. Co-Substrate: unterliegen Konkurrenz, v.a. energiereiche |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt.) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Investition Gärung: Annahme, dass ähnlich wie Kompogasanlage |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen von tiefen Amortisationszeiten aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Zusätzlich zum Hofdünger können diverse CO-Substrate eingesetzt werden |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: kleiner Gärraum, jedoch Lagerung von Gülle und Co-Substraten möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus biog. Abfällen mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardprozesse. |
| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.75 | eig. Abschätzung | Biogasanlage: leichter Geruch, wenig Betroffene da in Landwirtschaftszone. |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Anlage fügt sich mittel gut ins Landschaftsbild ein |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Ca. Wöchentliche Anlieferung Co-Substrat |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Positive Einstellung der Bevölkerung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Zusatzaufwand Sammlung Co-Substrat |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: geringere Gefahren als Standardprozesse (Gaskombi, Heizöfeuerung) |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 0.5 | eig. Abschätzung | Potenzielle Konflikte mit Raumplanung, da Anlage in LW-Zone und betriebsfremde Stoffe eingesetzt werden |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Steigert Unabhängigkeit |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Hofdünger in der hydrothermalen Vergasung

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Hydrothermale Vergasung - Gülle

| | |
|------------------------------------|--|
| Standort | n.a. (Modellierung) |
| Inbetriebsetzungsjahr | n.a. (Modellierung) |
| Eingesetzte Biomasse | Gülle |
| Kapazität SNG | 5.2 MW SNG |
| Kapazität Gülleverwertung | 174'000 t/a |
| Produktion SNG | 131'000 GJ |
| Abgabe SNG ans Netz | 3.6 Mill. Nm ³ /a |
| Jahresproduktion | 7000 h |
| energetische Effizienz | 62% |
| durchschnittliche Transportdistanz | 9 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|---|-----------|----------|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -4.3E+01 | 0.17 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -7.8E+02 | 0.08 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 2.0E-02 | 0.96 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 2.2E-01 | 0.79 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -5.9E-03 | 0.56 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 2.0E+00 | 0.77 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.7E+00 | 0.94 | | |
| U8 | Landanspruchnahme | 6.4E-01 | 0.03 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | 9.7E-06 | 0.12 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 1.8E-08 | 0.83 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 2.2E+04 | 0.74 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 0 | 0.90 | eig. Abschätzung | Es handelt sich um ein Pilotverfahren. Wir gehen von einer ähnlichen Kostenstruktur wie bei der Co-Vergärung aus. D.h. die Anlage ist kostendeckend. |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 30 | 0.80 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 9 km Transportweg dauert insgesamt rund 1 Stunde à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 1 | Experten-einschätzung (Fenaco) | Vgl. Begründung Weg 10 |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Grossanlage im Pilotstadium bedingt hohe Investitionen |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Wir gehen von hohen Amortisationszeiten aus |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlagen zur Hydrothermalen Vergasung können verschiedenste nasse Fraktionen verwerten. |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: Edukte im Prinzip lagerbar |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Ökostrom und Biogas mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardprozesse. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Hydrothermale Vergasung: kein Geruch durch Anlage. |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Grosse Anlage, führt zu Beeinträchtigung des Landschaftsbilds |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Grossanlage bedingt Transporte für Anlieferung |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | unbekannt, kaum Lärm zu erwarten |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Neue Anlage und Technologien für erneuerbare Energien stossen tendenziell auf eine hohe Akzeptanz |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Unbekannt - Annahme, dass keine Veränderung geg. Standardprozesse |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Unbekannt - Annahme, dass Anlage in Industriezone |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Steigert Unabhängigkeit |

A-2.1.4 Restholz

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Restholz zur Produktion von Spanplatten

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Spanplattenfabrik | |
| Standort | Deutschland |
| Eingesetzte Biomasse | Restholz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 1996 (Datenerhebung) |
| Kapazität | 150'000 m ³ /a |
| Holzinput | 156'000 m ³ /a |
| Input weitere Rohstoffe | 9'600 m ³ /a |
| Produktion von Spanplatten | 150'000 m ³ /a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 250 km |
| Transportmodalsplit | 20% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 80% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -1.3E+01 | 0.12 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -2.2E+02 | 0.03 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | -6.8E-02 | 1.00 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | -1.2E-02 | 0.92 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -1.1E-02 | 0.59 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -1.9E+01 | 0.97 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | -5.9E+00 | 0.99 | | |
| U8 | Landanspruchnahme | -8.3E-02 | 0.86 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -2.2E-06 | 0.75 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -3.0E-08 | 0.88 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -5.4E+04 | 0.83 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 50 | 0.97 | EUWID GmbH, biomag | Preislisten für Restholz |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 100 | 0.33 | Preiskatalog SBB Cargo AG, Januar 2007 | Preis pro Tonne ab 10 Tonnen für eine Strecke von 250 km. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-einschätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.5 | Experten-einschätzung IG Industrieholz | Es wird eine mittlere Volatilität der Spanplattenpreise erwartet (teilweise Koppelung der Preise an die Erdölpreise, allg. wird eine Zunahme der Preise erwartet.). |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 1 | eig. Abschätzung | Keine zusätzlichen Investitionen für Verwertung, Rohstoffsubstitution |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 1 | eig. Abschätzung | Keine zusätzlichen Investitionen für Verwertung, Rohstoffsubstitution |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz, Altholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Restholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Durch die Substitution des Rohstoffes Holz durch Restholz bei der Spanplattenherstellung erwarten wir keine Veränderung bei der reg. Wertschöpfung (Produkt Spanplatte bleibt dasselbe). |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Spanplattenherstellung: Kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlage in Industriezone, keine sehr grosse Anlage, deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | mehrheitlichen Anlieferung mit Zug |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: geschlossene Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Wiederverwertung wird positiv aufgenommen |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | Nötige Strukturen bestehen schon - keine weiteren Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung durch Rohstoffsubstitution |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung der Unfälle und Krankheitsausfälle, da Rohstoffsubstitution. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 0.5 | eig. Abschätzung | Keine Veränderung der Unabhängigkeit. |

*Rote Zahlen stehen für negative Werte. Im Falle der Entsorgungspreise bedeutet dies, dass Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt den aufgeführten Betrag bezahlen.

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Restholz in Kleinf Feuerungen

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Kleinf Feuerung Restholz | |
| Standort | Durchschnitt der Schweizer Anlagen |
| Inbetriebsetzungs Jahr | Durchschnitt der Schweizer Anlagen |
| Rauchgasreinigung | Keine |
| Kapazität Wärme | 50kWth |
| Annahme Laufzeit pro Jahr | 2100h |
| Kapazität Holzinput pro Jahr | 20.6 t |
| durchschnittliche Transportdistanz | 1 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 0% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -5.5E+02 | 0.89 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -9.6E+03 | 0.86 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 2.8E-01 | 0.86 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.4E-01 | 0.83 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -2.7E-02 | 0.72 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 4.7E+01 | 0.35 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 7.3E+00 | 0.90 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 2.0E+00 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -6.2E-06 | 0.96 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 2.3E-07 | 0.59 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -3.6E+04 | 0.81 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 75 | 1.00 | EUWID GmbH, biomag | Entschädigung für Kleinmengen ca. +50% gegenüber Grossmengen |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 30 | 0.80 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 1 km Transportweg dauert insgesamt rund 1 Stunde à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-schätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.5 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Investitionen in mehrere kleine Anlagen im mittleren Bereich liegen (vgl. KVA mit hohen Investitionen) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Amortisationsdauer von Kleinf Feuerungen in Wohnhäusern mehr als 10 Jahre beträgt |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Restholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Wärme aus Restholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardprozesse aus fossilen Energieträgern. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Kleinf Feuerung: leichter Geruch, viele Betroffene da in Industrie- und Siedlungsgebieten |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 1 | eig. Abschätzung | Anlagen stehen in bestehenden Gebäuden |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | 1-2 Lieferungen pro Jahr an mehrere kleine Anlagen (Annahme: vergleichbar mit wöchentlichem Antransport) |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | kein Lärm |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 0.5 | eig. Abschätzung | Allgemein positive Einstellung, negativer Einfluss durch Feinstaubdiskussion |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | keine Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | keine potentiellen Konflikte, Feuerungen in Gebäuden |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Die Nutzung reduziert den Einsatz fossiler Energien |

*Rote Zahlen stehen für negative Werte. Im Falle der Entsorgungspreise bedeutet dies, dass Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt den aufgeführten Betrag bezahlen.

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Restholz in Holzheizkraftwerk

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|--------------------------------------|--|
| Heizkraftwerk Restholz | |
| Standort | Furnierwerk Lengwil, Multi-Zyklon und weitergehende Abgasreinigung |
| Inbetriebsetzungsjahr | |
| Eingesetzte Biomasse | Restholz |
| Kapazität Strom | 400 kW |
| Kapazität Wärme | 6400 kW |
| Holzinput | 3059 t/a |
| Stromabgabe an Dritte pro t Restholz | 243.9 kWh |
| Wärmeabgabe an Dritte pro t Restholz | 6'508 MJ |
| Schlacke | 1.7 t/a |
| Filterasche | 53.9t/a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 7 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 0% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|---|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -524.53 | 0.86 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -9'340.13 | 0.84 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 2.2E-01 | 0.88 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.1E-01 | 0.85 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -2.8E-02 | 0.71 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 4.7E+01 | 0.36 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 7.5E+00 | 0.90 | | |
| U8 | Landanspruchnahme | 1.3E+00 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -4.8E-06 | 0.89 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -3.8E-08 | 0.89 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -1.1E+05 | 0.90 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 50 | 0.97 | EUWID GmbH, biomag | Preislisten für Restholz |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 30 | 0.80 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 7 km Transportweg dauert insgesamt rund 1 Stunde à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-einschätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Investitionskosten im mittleren Bereich liegen (vgl. hohe Investitionen in KVA) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Privatwirtschaftlich betriebene Anlage mit mittlere Amortisationsdauer (Bis zu 10 Jahre) |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Restholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus Restholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Wir erwarten keinen Geruch bei Grossfeuerungen |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlage in Industriezone, keine sehr grosse Anlage, deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | kein Lärm durch Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Gute Akzeptanz, weil grössere Feuerungen mit Staubabscheidung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Die Nutzung reduziert den Einsatz fossiler Energien |

*Rote Zahlen stehen für negative Werte. Im Falle der Entsorgungspreise bedeutet dies, dass Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt den aufgeführten Betrag bezahlen.

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Restholz zur Produktion von Ethanol (Alkoholgärung)

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|---------------------------------------|---|
| Alkoholgärung Holz | |
| Standort | n.a. |
| Inbetriebsetzungsjahr | n.a. |
| Eingesetzte Biomasse | Restholz |
| Kapazität | 275'000 t/a |
| Produktion Ethanol (Treibstoffzusatz) | 42'000 MWh/a |
| Stromabgabe an Dritte | 1800 MWh/a |
| Asche | ? t/a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 64 km |
| Transportmodalsplit | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -3.4E+02 | 0.60 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -6.3E+03 | 0.57 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 4.2E-01 | 0.81 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 9.7E-02 | 0.85 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -1.8E-02 | 0.64 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 6.7E+01 | 0.17 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.0E+01 | 0.88 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 1.0E+01 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -2.1E-06 | 0.75 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -1.3E-07 | 0.99 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -3.4E+04 | 0.81 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 50 | 0.97 | EUWID GmbH, biomag | gleicher Preis wie bei Holzkraftwerke (Anlage 16) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 90 | 0.40 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 64 km Transportweg dauert insgesamt rund 3 Stunde à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-einschätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ethanol als Treibstoff: Hoch (1 Pkt.), da Koppelung an Erdölpreis, keine KEY geplant. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Grossanlage im Pilotstadium bedingt hohe Investitionen |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Wenig erprobte Technik, Abschreibedauer > 10 Jahre |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Restholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Treibstoff aus Restholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlage in Industriezone, keine sehr grosse Anlage, deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen, kein Lärm zu erwarten |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Grundsätzlich positive Akzeptanz bei Anlagen für erneuerbare Energien |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Verwertung steigert Unabhängig von Energieimporten |

*Rote Zahlen stehen für negative Werte. Im Falle der Entsorgungspreise bedeutet dies, dass Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt den aufgeführten Betrag bezahlen.

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Restholz mittels Methanisierung zur Produktion von Methan (SNG)

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Holzvergasung Fließbett (Methanisierung)

| | |
|------------------------------------|---|
| Standort | - |
| Inbetriebsetzungsjahr | Planungsdaten |
| Eingesetzte Biomasse | Restholz |
| Kapazität | 28MWth SNG (50MWth Holzinput) |
| jährliche Betriebsdauer | 7000h |
| Holzinput | 68600 t/a |
| Produktion Methan | 14'655'454 Nm ³ /a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 32 km |
| Transportmodalsplit | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahme Bewertung

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -3.7E+02 | 0.64 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -6.0E+03 | 0.55 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | -4.2E-02 | 0.99 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 4.2E-02 | 0.89 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -4.0E-02 | 0.81 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 3.3E+00 | 0.76 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.4E+01 | 0.86 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 2.0E+01 | 0.01 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -3.9E-06 | 0.84 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 5.8E-07 | 0.20 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -1.0E+05 | 0.89 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 50 | 0.97 | EUWID GmbH, biomag | gleicher Preis wie bei Holzkraftwerke (Anlage 16) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 60 | 0.60 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 32 km Transportweg dauert insgesamt rund 2 Stunde à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten- einschätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Methan als Treibstoff erneuerbar: Hoch (1 Pkt.) da Koppelung an Erdölpreis, keine KEV geplant. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Grossanlage im Pilotstadium bedingt hohe Investitionen |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Wenig erprobte Technik, Abschreibedauer > 10 Jahre |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Restholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Treibstoff aus Restholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugt, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlage in Industriezone, keine sehr grosse Anlage, deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen, kein Lärm zu erwarten |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Grundsätzlich positive Akzeptanz bei Anlagen für erneuerbare Energien |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Verwertung steigert Unabhängig von Energieimporten |

*Rote Zahlen stehen für negative Werte. Im Falle der Entsorgungspreise bedeutet dies, dass Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt den aufgeführten Betrag bezahlen.

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Restholz in der hydrothermalen Vergasung zur Prod. von Methan (SNG)

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| Hydrothermale Vergasung - Holz | | |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Standort | n.a. (Modellierung) | |
| Inbetriebsetzungsjahr | n.a. (Modellierung) | |
| Eingesetzte Biomasse | Restholz | |
| Kapazität SNG | 35.6 MW SNG | |
| Kapazität Holzinput | 85'000 t/a | |
| Produktion Synthesegas | 24.8 Mill. m ³ | |
| Abgabe Syngas ans Netz | 900'000 GJ/a | |
| energetische Effizienz der Umwandlung | 71% | |
| Jahresproduktion | 7000 h | |
| durchschnittliche Transportdistanz | 36 | km |
| Transportmodalsplit | 80% | mit Lastwagen (20-28 Tonnen) |
| | 20% | Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -4.9E+02 | 0.81 | | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -8.7E+03 | 0.78 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | -4.2E-02 | 0.99 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | -1.7E-04 | 0.91 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -6.5E-02 | 1.00 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 5.0E-01 | 0.79 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 6.6E+00 | 0.91 | | |
| U8 | Landanspruchnahme | 5.7E+00 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -5.3E-06 | 0.91 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -2.3E-09 | 0.85 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -1.9E+05 | 1.00 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 50 | 0.97 | EUWID GmbH, biomag | gleicher Preis wie bei Holzkraftwerke (Anlage 16) |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 60 | 0.60 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 36 km Transportweg dauert insgesamt rund 2 Stunden à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-schätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Methan als Treibstoff erneuerbar: Hoch (1 Pkt.) da Koppelung an Erdölpreis, keine KEV geplant. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Grossanlage im Pilotstadium bedingt hohe Investitionen |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Wenig erprobte Technik, Abschreibedauer > 10 Jahre |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Restholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Ökostrom und Biogas aus Restholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugt, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlage in Industriezone, keine sehr grosse Anlage, deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen, kein Lärm zu erwarten |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Grundsätzlich positive Akzeptanz bei Anlagen für erneuerbare Energien |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Verwertung steigert Unabhängig von Energieimporten |

*Rote Zahlen stehen für negative Werte. Im Falle der Entsorgungspreise bedeutet dies, dass Anlagenbetreiber pro Tonne Edukt den aufgeführten Betrag bezahlen.

A-2.1.5 Altholz

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Altholz zur Produktion von Spanplatten

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Spanplattenfabrik | |
| Standort | Deutschland |
| Eingesetzte Biomasse | Altholz |
| Inbetriebsetzungsjahr | 1996 (Datenerhebung) |
| Kapazität | 150'000 m ³ /a |
| Holzinput | 156'000 m ³ /a |
| Input weitere Rohstoffe | 9'600 m ³ /a |
| Produktion von Spanplatten | 150'000 m ³ /a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 250 km |
| Transportmodalsplit | 20% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 80% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|------------|----------|--|---|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -1.5E+01 | 0.13 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -2.6E+02 | 0.03 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | -7.9E-02 | 1.00 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | -1.4E-02 | 0.92 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -1.3E-02 | 0.61 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -2.3E+01 | 1.00 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | -6.8E+00 | 1.00 | | |
| U8 | Landanspruchnahme | -9.7E+02 | 1.00 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -2.5E-06 | 0.77 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -3.5E-08 | 0.89 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -6.3E+04 | 0.85 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 0 | 0.90 | verenum 2005, EUWID GmbH | Altholz ist gemäss Quellen für CHF 0 franko Anlage erhältlich. |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 100.00 | 0.33 | Preiskatalog SBB Cargo AG, Januar 2007 | Preis pro Tonne ab 10 Tonnen für eine Strecke von 250 km. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-schätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.5 | Experten-schätzung IG Industrieholz | Es wird eine mittlere Volatilität der Spanplattenpreise erwartet (teilweise Koppelung der Preise an die Erdölpreise, allg. wird eine Zunahme der Preise erwartet.). |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 1 | eig. Abschätzung | keine zusätzlichen Investitionen für Verwertung, Rohstoffsubstitution |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 1 | eig. Abschätzung | keine zusätzlichen Investitionen für Verwertung, Rohstoffsubstitution |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz, Restholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Altholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 0 | eig. Abschätzung | Durch die Substitution des Rohstoffes Holz durch Altholz bei der Spanplattenherstellung erwarten wir eine Abnahme der reg. Wertschöpfung, da Produktion von Altholz-Spanplatten im Ausland. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Spanplattenherstellung: Kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | Anlage in Industriezone, keine sehr grosse Anlage, deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0.5 | eig. Abschätzung | mehrheitlichen Anlieferung mit Zug |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: geschlossene Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Wiederverwertung wird positiv aufgenommen |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | Nötige Strukturen bestehen schon - keine weiteren Anpassungen nötig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung durch Rohstoffsubstitution |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung der Unfälle und Krankheitsausfälle, da Rohstoffsubstitution. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 0.5 | eig. Abschätzung | Keine Veränderung der Unabhängigkeit. |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Altholz in einer KVA

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

KVA Schweizer Durchschnitt

| | |
|--|--|
| Standort | 28 Standorte in der Schweiz |
| Inbetriebsetzungsjahr | Durchschnitt der Schweizer Anlagen |
| Rauchgasreinigung | Elektrostatische Abscheidung, Rauchgaswäsche, DeNox |
| Kapazität | 100'000 t/a (alle Abfälle) |
| Energieabgabe pro t Altholz | 361.1 kWh Elektrizität, 2192 MJ Wärme (Lieferung an Konsument) |
| Energieabgabe pro t Altholz (wärmeoptimiert) | 130.8 kWh Elektrizität, 7550.9 MJ Wärme (Lieferung an Konsument) |
| Schlacke | 20'790 t/a (bezogen auf den gesamten Abfallinput) |
| Filterasche | 1496 t/a (bezogen auf den gesamten Abfallinput) |
| Deponierung der Rückstände | Inertstoffdeponie |
| durchschnittliche Transportdistanz | 12 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen | |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -2.9E+02 | 0.52 | | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -5.1E+03 | 0.46 | | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | -3.4E-03 | 0.97 | | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 2.7E-01 | 0.76 | | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -1.8E-02 | 0.65 | Datenbestand | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | -4.5E+00 | 0.83 | ecoinvent v2.01 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.8E+01 | 0.82 | und eigene | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 7.4E-02 | 0.03 | Modellierung | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -3.1E-06 | 0.80 | | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -7.9E-09 | 0.86 | | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 5.7E+05 | 0.07 | | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 240 | 0.57 | Preislisten KVA | | Durchschnitt über die Direktanlieferungspreise versch. KVA's |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 30 | 0.80 | Preisliste HASTAG Zürich | | Annahme: 12 km Transportweg dauert insgesamt rund 1 Stunde 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-einschätzung IG Industrieholz | | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme: Mittel (0.5 Pkt.), da Koppelung an Erdölpreis -> hoch, jedoch geplante KEV. | |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Investitionen für eine KVA ca. 250 Mio. Fr. (Angaben KVA Luzern) | |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Lange Betriebsdauer, lange Amortisationsdauer | |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage kann verschiedenste Fraktionen verbrennen. | |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Keine Anpassungen an der Anlage nötig bei Wechsel der Edukte, Lagerfähigkeit der Edukte (einige Tage) | |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus biog. Abfällen in KVA mehr reg. Wertschöpfung erzeugen als die Standardprozesse. | |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | KVA: kein Geruch durch Anlage | |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0 | eig. Abschätzung | Grossindustrielle Anlage, grosse Beeinflussung Landschaftsbild | |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | täglicher Antransport | |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Kein Lärm ausserhalb der Anlage | |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 0.5 | eig. Abschätzung | Indifferent | |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 1 | eig. Abschätzung | Etabliertes Verfahren, etablierte Sammelprozesse | |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir erwarten kaum Unterschiede zu den Gefahren der Standardprozesse (Gaskombi, Heizölfeuerung) | |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. | |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | KVA werden in der Industriezone erstellt, keine Konflikte zu Raumplanung | |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Es wird Strom und Wärme gewonnen. | |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Altholz in Holzheizkraftwerk

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| Heizkraftwerk Altholz | |
|-------------------------------------|--|
| Standort | Multi-Zyklon |
| Inbetriebsetzungsjahr | - |
| Eingesetzte Biomasse | Altholz |
| Kapazität Strom | 400 kW |
| Kapazität Wärme | 6400 kW |
| Holzinput | 3059 t/a |
| Stromabgabe an Dritte pro t Altholz | 231.1 kWh |
| Wärmeabgabe an Dritte pro t Altholz | 8'088.7 MJ |
| Abgasreinigung | weitergehende Abgasreinigung |
| Dioxinmissionen | gemäss schweizerischem LRV-Wert |
| durchschnittliche Transportdistanz | 5 km |
| Transportmodalsplit | 100% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|------------|----------|---|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -6.2E+02 | 1.00 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -11'153.82 | 1.00 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 2.3E-01 | 0.88 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 2.4E-01 | 0.77 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -3.5E-02 | 0.78 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 8.5E+01 | 0.00 | | |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 3.8E+00 | 0.93 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 5.7E+00 | 0.02 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -6.9E-06 | 1.00 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -4.4E-08 | 0.90 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | 3.0E+05 | 0.39 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 0 | 0.90 | verenum 2005, EUWID GmbH | |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 30 | 0.80 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 5 km Transportweg dauert insgesamt rund 1 Stunde à 30 CHF/t. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten- einschätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0.75 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ökostrom Tief (0 Pkt.) wegen KEV. Erw. Vol. Wärme erneuerbar: Mittel (0.5 Pkt.) wegen Koppelung an Erdölpreis hoch, jedoch geplante KEV. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0.5 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass die Investitionskosten im mittleren Bereich liegen (vgl. hohe Investitionen in KVA) |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Lange Betriebsdauer, lange Amortisationsdauer |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Altholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Wärme aus Altholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Wir erwarten keinen Geruch bei Grossfeuerungen |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | kein Lärm durch Anlage |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Gute Akzeptanz, weil grössere Feuerungen mit Staubabscheidung |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Die Nutzung reduziert den Einsatz fossiler Energien |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Altholz zur Produktion von Ethanol (Alkoholgärung)

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

| | |
|------------------------------------|---|
| Alkoholgärung Holz | |
| Standort | n.a. |
| Inbetriebsetzungsjahr | n.a. |
| Eingesetzte Biomasse | Altholz |
| Kapazität | 275'000 t/a |
| Produktion Ethanol | 42'000 MWh/a |
| Stromabgabe an Dritte | 1800 MWh/a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 45 km |
| Transportmodalsplit | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -3.9E+02 | 0.66 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -7.1E+03 | 0.64 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | 5.7E-01 | 0.75 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 1.3E-01 | 0.83 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -1.8E-02 | 0.65 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 8.1E+01 | 0.04 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.3E+01 | 0.86 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 1.2E+01 | 0.01 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -2.1E-06 | 0.74 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | -1.3E-07 | 1.00 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -2.2E+04 | 0.80 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 0 | 0.90 | verenum 2005, EUWID GmbH | Gleicher Preis wie Anlage "Grossholzfeuerung mit BHKW" |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 60 | 0.60 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 45 km Transportweg dauert insgesamt rund 2 Stunden à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-einschätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0 | eig. Abschätzung | Erwartete Volatilität Ethanol als Treibstoff: Hoch (1 Pkt.), da Koppelung an Erdölpreis, keine KEY geplant. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Grossanlage im Pilotstadium bedingt hohe Investitionen |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Wenig erprobte Technik, Abschreibedauer > 10 Jahre |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Altholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Strom und Treibstoff aus Altholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugen, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen, kein Lärm zu erwarten |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Grundsätzlich positive Akzeptanz bei Anlagen für erneuerbare Energien |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Verwertung steigert Unabhängig von Energieimporten |

Datenquellen und Annahmen für die Verwertung von Altholz mittels Methanisierung zur Produktion von Methan (SNG)

Verwertungs-Anlage: Technische Daten

Holzvergasung Fließbett (Methanisierung)

| | |
|------------------------------------|---|
| Standort | - |
| Inbetriebsetzungsjahr | Planungsdaten |
| Eingesetzte Biomasse | Altholz |
| Kapazität | 28MWth SNG (50MWth Holzinput) |
| jährliche Betriebsdauer | 7000h |
| Holzinput | 68600 t/a |
| Produktion Methan | 14'655'454 Nm ³ /a |
| durchschnittliche Transportdistanz | 22 km |
| Transportmodalsplit | 80% mit Lastwagen (20-28 Tonnen) 20% Eisenbahn |

Indikatoren: Nutzwert, Quelle und Annahmen

| Nr. | Indikator | Bewertung | Nutzwert | Quelle | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|-----------|----------|--|--|
| BEREICH UMWELT | | | | | |
| U1 | Global Warming Potential | -4.9E+02 | 0.82 | | |
| U2 | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | -8.0E+03 | 0.72 | | |
| U3 | Versäuerungspotenzial | -7.3E-02 | 1.00 | | |
| U4 | Überdüngungspotenzial | 5.1E-02 | 0.88 | | |
| U5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | -5.4E-02 | 0.91 | | |
| U6 | Humantoxizitätspotenzial | 3.9E+00 | 0.75 | Datenbestand ecoinvent v2.01 und eigene Modellierung | Annahmen und Modellierung in separatem Bericht, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich |
| U7 | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 1.8E+01 | 0.83 | | |
| U8 | Landinanspruchnahme | 2.6E+01 | 0.00 | | |
| U9 | Volumen Deponierte Abfälle | -5.3E-06 | 0.91 | | |
| U10 | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 7.6E-07 | 0.00 | | |
| U11 | Umweltbelastungspunkte | -1.4E+05 | 0.94 | | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | | |
| O1 | Verwertungspreis pro Tonne | CHF 0 | 0.90 | verenum 2005, EUWID GmbH | Gleicher Preis wie Anlage "Grossholzfeuerung mit BHKW" |
| O2 | Sammelpreis pro Tonne | CHF 30 | 0.80 | Preisliste HASTAG Zürich | Annahme: 22 km Transportweg dauert insgesamt rund 2 Stunden à 30 CHF. |
| O3.1 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | | 0 | Experten-schätzung IG Industrieholz | Aufgrund der bisherigen Entwicklung und der Experteneinschätzung gehen wir davon aus, dass die Holzpreise grösseren Schwankungen unterliegen werden. |
| O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | | 0 | eig. Abschätzung | Erw. Vol. Methanol als Treibstoff erneuerbar: Hoch (1 Pkt.) da Koppelung an Erdölpreis, keine KEV geplant. |
| O3.3 | Höhe Investitionskosten | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Grossanlage im Pilotstadium bedingt hohe Investitionen |
| O3.4 | Amortisationsdauer | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: Wenig erprobte Technik, Abschreibedauer > 10 Jahre |
| O4.1 | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | | 0.5 | eig. Abschätzung | Es können auch andere Holzsorten eingesetzt werden (Waldholz) |
| O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | | 1 | eig. Abschätzung | Einfache Lagerung des Altholzes möglich |
| O5 | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | | 1 | eig. Abschätzung | Wir gehen davon aus, dass Treibstoff aus Restholz mehr reg. Wertschöpfung erzeugt, als die Standardherstellung. |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | | |
| G1.1 | Geruch-Emissionen | | 1 | eig. Abschätzung | Annahme: kein Geruch durch Anlage |
| G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | | 0.5 | eig. Abschätzung | deswegen mittlere Beeinträchtigung |
| G1.3 | Lärm durch Verkehr | | 0 | eig. Abschätzung | Annahme: tägliche Anlieferungen |
| G1.4 | Lärm durch Anlage | | 1 | eig. Abschätzung | Geschlossene Anlagen, kein Lärm zu erwarten |
| G2.1 | Einstellung gegenüber der Technologie | | 1 | eig. Abschätzung | Grundsätzlich positive Akzeptanz bei Anlagen für erneuerbare Energien |
| G2.2 | Logistische Anpassungen | | 0.5 | eig. Abschätzung | Annahme: Lieferlogistik für Grossanlagen ist aufwendig |
| G3 | Whrs. von Explosionen und Unfällen | | 0.5 | eig. Abschätzung | keine Veränderung im Vergleich zu den Standardprozessen |
| G4 | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | | 1 | Expertenschätzung PSI | Die Anzahl Unfälle und Todesfälle werden im Vergleich zum Standardprozess (Erdgas) als geringer eingestuft. |
| G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | 1 | eig. Abschätzung | Anlage in der Industriezone führen zu keinen raumplanerischen Konflikten. |
| G6 | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | | 1 | eig. Abschätzung | Verwertung steigert Unabhängig von Energieimporten |

A-2.2 Übersichtstabellen zu den verwendeten Entsorgungs- und Sammelpreisen

A-2.2.1 O1 Entsorgungskosten

| Technologie | Biogene Abfälle | Klärschlamm | Hofdünger (Co-Substrat) | Restholz | Altholz | Quelle |
|--|-----------------|-------------|-------------------------|----------|---------|--|
| KVA | 240 | | | | 240 | KVA Preislisten 2008 |
| Biogasanlage, BHKW | 150 | | 60 (0) | | | Biomasse Schweiz 2006, eig. Abschätzungen |
| Biogasanlage, Gasaufbereitung | 150 | | | | | Biomasse Schweiz 2006, |
| Kompostieranlage | 140 | | | | | Preisliste 2007, Vollenweider AG |
| Zementwerk | | 450 | | | | BUWAL 2004, Schmid 2006 |
| Biogasanlage, BHKW, KVA | | 650 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, Gasaufbereitung, KVA | | 650 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, BHKW, Monoverbrennung | | 600 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, Gasaufbereitung, Monoverbrennung | | 600 | | | | BUWAL 2004 |
| Ausbringen aufs Feld | | | 20 | | | Eigene Abschätzung |
| Hydrothermale Vergasung | | | 0 | -50 | | Eigene Abschätzung |
| Spanplattenproduktion | | | | -50 | 0 | Verenum 2005, EUWID GmbH Preise April 2008, biomag Preisliste 2008 |
| Kleinf Feuerung | | | | -75 | | EUWID GmbH Preise April 2008, biomag Preisliste 2008 |
| Holzheizkraftwerk | | | | -50 | 0 | EUWID GmbH Preise April 2008, biomag Preisliste 2008 |
| Alkoholgärung | | | | -50 | 0 | EUWID GmbH Preise April 2008, biomag Preisliste 2008 |
| Methanisierung | | | | -50 | 0 | EUWID GmbH Preise April 2008, biomag Preisliste 2008 |

Tabelle 43: Entsorgungspreise, wie sie in der Multikriterienanalyse verwendet wurden. Die Einheiten sind CHF / Tonne Edukt. Es sind diejenigen Preise angegeben, die die Abfallbesitzer für die Entsorgung bezahlen (positive Werte) bzw. der Anlagebetreiber für das Edukt bezahlt (negative Werte).

A-2.2.2 O2 Sammelkosten

| Technologie | Biogene Abfälle | Klärschlamm | Hofdünger (Co-Substrat) | Restholz | Altholz | Quelle |
|--|-----------------|-------------|-------------------------|----------|---------|---|
| KVA | 110 | | | | 30 | Biomasse Schweiz 2006, Preisliste 2008 HASTAG |
| Biogasanlage, BHKW | 100 | | 0 (20) | | | Biomasse Schweiz 2006, eigene Abschätzung |
| Biogasanlage, Gasaufbereitung | 100 | | | | | Biomasse Schweiz 2006 |
| Kompostieranlage | 100 | | | | | Biomasse Schweiz 2006 |
| Rohschlamm in Zementwerk | | 150 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, BHKW, KVA | | 150 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, Gasaufbereitung, KVA | | 150 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, BHKW, Monoverbrennung | | 150 | | | | BUWAL 2004 |
| Biogasanlage, Gasaufbereitung, Monoverbrennung | | 150 | | | | BUWAL 2004 |
| Ausbringen aufs Feld | | | 0 | | | Eigene Abschätzung |
| Hydrothermalen Vergasung | | | 30 | 60 | | Preisliste 2008 HASTAG |
| Spanplattenproduktion | | | | 100 | 100 | Preiskatalog SBB Cargo, Januar 2007 |
| Kleinf Feuerung | | | | 30 | | Preisliste 2008 HASTAG |
| Holzheizkraftwerk | | | | 30 | 30 | Preisliste 2008 HASTAG |
| Alkoholgärung | | | | 90 | 60 | Preisliste 2008 HASTAG |
| Methanisierung | | | | 60 | 30 | Preisliste 2008 HASTAG |

Tabelle 44: Sammel- und Transportpreise, wie sie in der Multikriterienanalyse verwendet wurden. Die Einheiten sind CHF / Tonne Edukt. Zum Teil waren schweizerische Durchschnittswerte für Sammel- und Transportpreise verfügbar. Zum Teil wurden die Preise aufgrund von Annahmen zur Transportdistanz und zu durchschnittlichen Muldenpreisen (30 CHF/t*h) berechnet. Die Transportdistanzen sind in den Factsheets zu den 24 Verfahren angegeben. Die angegebenen Preise sind diejenigen Preise, die die Abfallbesitzer bezahlen.

A-2.3 Anwendung der Methodik: Resultatetabellen zu den fünf untersuchten Biomassekategorien

- Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben
- Klärschlamm
- Hofdünger
- Restholz
- Altholz

Ergebnisse zur Abfallkategorie 'Biogene Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbetrieben'

| Nr. | Kriterium | Indikator | Gewichtung Durchschnitt Befragung | Gewichtete Nutzwertpunkte (1=bestes Resultat / hoher Nutzen, 0=schlechtestes Resultat / kleiner Nutzen) | | | | Effektive Belastung (Berechnung bzw. Expertenschätzung) | | | | Einheit |
|---|--|--|--------------------------------------|---|---|--|----------------------------------|---|---|--|----------------------------------|-----------------------|
| | | | | Verbrennung KVA (biog. Abfälle) | Methangärung, Strom und Wärme (biog. Abfälle) | Methangärung, Treibstoff (biog. Abfälle) | Kompostierung (biog. Abfälle) | Verbrennung KVA (biog. Abfälle) | Methangärung, Strom und Wärme (biog. Abfälle) | Methangärung, Treibstoff (biog. Abfälle) | Kompostierung (biog. Abfälle) | |
| BEREICH UMWELT | | | 45% | | | | | | | | | |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 26% | 0.03 | 0.07 | 0.07 | 0.00 | 3.82E+00 | -1.22E+02 | -1.08E+02 | 7.35E+01 | kg CO2eq/t Edukt |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 24% | 0.00 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | -1.31E+02 | -4.03E+03 | -3.85E+03 | -2.01E+03 | MJeq/t Edukt |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 5% | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 3.70E-01 | 8.17E-01 | 6.04E-01 | 2.47E+00 | kg SO2eq/t Edukt |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 10% | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 3.31E-01 | -1.25E-01 | -1.59E-01 | 1.46E-01 | kg PO4eq/t Edukt |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 5% | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 3.55E-03 | 4.57E-02 | 4.44E-02 | 6.85E-02 | kg Ethylen-eq/t Edukt |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 5% | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 2.56E+01 | -2.11E+01 | -7.01E+00 | -1.25E+01 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 9% | 0.00 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 1.38E+02 | 4.53E+01 | 4.57E+01 | 4.97E+00 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 7% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.21E+00 | -4.65E+01 | -4.84E+01 | -3.99E+01 | m2/t Edukt |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen Deponierte Abfälle | 5% | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 6.29E-07 | -3.40E-06 | -3.18E-06 | -2.01E-06 | m3/t Edukt |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 4% | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 5.40E-08 | 1.75E-07 | 3.21E-07 | 1.70E-08 | m3/t Edukt |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | | | | | | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | 100% | 0.02 | 0.16 | 0.16 | 0.00 | 5.90E+05 | 4.81E+05 | 4.79E+05 | 6.08E+05 | UBP 06/t Edukt |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | 30% | | | | | | | | | |
| O1 | O1.1 | Verwertungskosten | 27% | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | CHF 240.00 | CHF 150.00 | CHF 150.00 | CHF 140.00 | CHF/t Edukt |
| O2 | O2.1 | Sammelkosten | 19% | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | CHF 110.00 | CHF 100.00 | CHF 100.00 | CHF 100.00 | CHF / t Edukt |
| O3 | O3.1 | Minimierung wirtschaftliches Risiko | | | | | | | | | | |
| | | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 8% | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | 7% | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.07 | 0.75 | 0.75 | 0.5 | 1 | Ordinale Skala |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 7% | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0 | 0.5 | 0.5 | 1 | Ordinale Skala |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 6% | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| O4 | O4.1 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | | | | | | | | | | |
| | | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | 7% | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 8% | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | Ordinale Skala |
| O5 | O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | 11% | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1 | 1 | 1 | 1 | CHF/t Edukt |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | 25% | | | | | | | | | |
| G1 | G1.1 | Lokale Akzeptanz | 16% | 0.16 | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.25 | Ordinale Skala |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 5% | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 8% | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G2 | G2.1 | Gesellschaftliche Akzeptanz | | | | | | | | | | |
| | | Einstellung gegenüber der Technologie | 9% | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 8% | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| G3 | G3.1 | Gesellschaftliches Risiko | 9% | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G4 | G4.1 | Risiken der Angestellten | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G5 | | Potenzielle Raumplanungskonflikte | | | | | | | | | | |
| | | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 18% | 0.18 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| G6 | | Versorgungssicherheit | 15% | 0.07 | 0.15 | 0.15 | 0.07 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 0.5 Ordinale Skala |

| | KVA, Strom & Wärme | Methangärung, Strom & Wärme | Methangärung, Treibstoff | Kompostierung |
|---|--------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| Umwelt | 0.12 | 0.22 | 0.21 | 0.15 |
| Ökonomie | 0.17 | 0.18 | 0.17 | 0.21 |
| Gesellschaft | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.15 |
| Alternatives Bewertungskriterium Umwelt | 0.01 | 0.07 | 0.07 | 0.00 |
| SUMME NUTZWERTPUNKTE TOTAL | 0.46 | 0.58 | 0.56 | 0.51 |

Ergebnisse zur Abfallkategorie 'Klärschlamm'

| Nr. | Kriterium | Indikator | Gewichtung Durchschnitt: Befragung | Gewichtete Nutzwertpunkte (1=bestes Resultat / hoher Nutzen, 0=schlechtestes Resultat / kleiner Nutzen) | | | | | Effektive Belastung (Berechnung bzw. Expertenschätzung) | | | | | Einheit |
|---|--|--|---------------------------------------|---|------------------------------------|---|---|--|---|------------------------------------|---|---|--|-----------------------|
| | | | | Rohschlamm in Zementwerk | Biogasanlage mit BHKW, anschl. KVA | Biogasanlage mit Gasaufbereitung, anschl. KVA | Biogasanlage mit BHKW, anschl. Mono-verbrennung | Biogasanlage mit Gasaufbereitung, anschl. Mono-verbrennung | Rohschlamm in Zementwerk | Biogasanlage mit BHKW, anschl. KVA | Biogasanlage mit Gasaufbereitung, anschl. KVA | Biogasanlage mit BHKW, anschl. Mono-verbrennung | Biogasanlage mit Gasaufbereitung, anschl. Mono-verbrennung | |
| BEREICH UMWELT | | | 45% | | | | | | | | | | | |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 26% | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | -2.22E+01 | -3.53E+00 | -3.90E+00 | -5.08E+00 | -6.32E+00 | kg CO2eq/t Edukt |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 24% | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.03E+02 | -1.84E+02 | -1.79E+02 | -1.45E+02 | -1.86E+02 | MJeq/t Edukt |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 5% | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 1.51E-02 | 1.09E-01 | 6.98E-02 | 6.16E-02 | 1.85E-02 | kg SO2eq/t Edukt |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 10% | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 2.54E-01 | 3.56E-01 | 3.50E-01 | 1.26E-01 | 1.19E-01 | kg PO4eq/t Edukt |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 5% | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 1.90E-04 | 9.41E-04 | 4.23E-04 | 6.02E-04 | -5.27E-05 | kg Ethylen-eq/t Edukt |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 5% | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 2.10E+00 | 3.94E+00 | 6.47E+00 | 1.74E-01 | 1.73E+00 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 9% | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 1.35E+00 | 3.08E+01 | 3.09E+01 | 2.89E+01 | 2.89E+01 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 7% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -5.71E-01 | 3.63E-01 | 3.92E-01 | 1.65E-01 | 1.70E-01 | m2a/t Edukt |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen Deponierte Abfälle | 5% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 1.19E-05 | 1.14E-05 | 1.14E-05 | 1.22E-06 | 1.20E-06 | m3/t Edukt |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 4% | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 9.15E-08 | 2.66E-08 | 8.20E-08 | 3.09E-08 | 5.70E-08 | m3/t Edukt |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | | | | | | | | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | 100% | 0.71 | 0.62 | 0.62 | 0.74 | 0.74 | 3.93E+04 | 1.10E+05 | 1.10E+05 | 1.65E+04 | 1.42E+04 | UBP 06/t Edukt |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | 30% | | | | | | *="t824_080508_Datenquelle_Biomasse.xls"61SD\$35" | | | | | |
| O1 | O1.1 | Verwertungskosten | 27% | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | CHF 450.00 | CHF 650.00 | CHF 650.00 | CHF 600.00 | CHF 600.00 | CHF/t Edukt |
| O2 | O2.1 | Sammelkosten | 19% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | CHF 150.00 | CHF 150.00 | CHF 150.00 | CHF 150.00 | CHF / t Edukt | |
| O3 | O3.1 | Minimierung wirtschaftliches Risiko | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produktpreise | 7% | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 1.0 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 7% | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 6% | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | Ordinale Skala |
| O4 | O4.1 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | 7% | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | Ordinale Skala |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| O5 | O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | 11% | 0.06 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | CHF/t Edukt |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | 25% | | | | | | | | | | | |
| G1 | G1.1 | Lokale Akzeptanz | 16% | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 5% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 8% | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| G2 | G2.1 | Gesellschaftliche Akzeptanz | 9% | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| G3 | G3.1 | Gesellschaftliches Risiko | 9% | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| G4 | G4.1 | Risiken der Angestellten | 6% | 0.03 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| G5 | G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 18% | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |
| G6 | G6 | Versorgungssicherheit | 15% | 0.07 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | Ordinale Skala |

| | Zementwerk | Methangärung, Strom & Wärme, KVA | Methangärung, Treibstoff, KVA | Methangärung, Strom & Wärme, Mono-verbrennung | Methangärung, Treibstoff, Mono-verbrennung |
|---|--------------|----------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Umwelt | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | 0.16 |
| Ökonomie | 0.17 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.11 |
| Gesellschaft | 0.17 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| Alternatives Bewertungskriterium Umwelt | 0.32 | 0.28 | 0.28 | 0.34 | 0.34 |
| SUMME NUTZWERTPUNKTE TOTAL | 0.499 | 0.464 | 0.458 | 0.501 | 0.496 |

Ergebnisse zur Biomassekategorie 'Hofdünger'

| Nr. | Kriterium | Indikator | Gewichtung Durchschnitt Befragung | Gewichtete Nutzwertpunkte (1=bestes Resultat / hoher Nutzen, 0=schlechtestes Resultat / kleiner Nutzen) | | | | | Effektive Belastung (Berechnung bzw. Expertenschätzung) | | | | Einheit |
|---|--|--|--------------------------------------|---|---------------------------------------|---|----------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|---|-------------------------|---------|
| | | | | Ausbringen auf Feld | Methangärung in Biogasanlage mit BHKW | Methangärung mit Co-Substraten in einer Biogasanlage mit BHKW | Co-Hydrothermale Vergasung | Hydrothermale Vergasung | Ausbringen auf Feld | Methangärung in Biogasanlage mit BHKW | Methangärung mit Co-Substraten in einer Biogasanlage mit BHKW | Hydrothermale Vergasung | |
| BEREICH UMWELT | | | 45% | | | | | | | | | | |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 26% | 0.01 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 4.16E+01 | -2.46E+01 | -8.50E+01 | -4.25E+01 | kg CO2eq/t Edukt | |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 24% | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | -2.67E+02 | -7.47E+02 | -1.94E+03 | -7.85E+02 | MJeq/t Edukt | |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 5% | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 1.70E+00 | 1.26E+00 | 1.37E+00 | 2.03E-02 | kg SO2eq/t Edukt | |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 10% | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.08 | 1.17E+00 | 1.05E+00 | 1.59E+00 | 2.16E-01 | kg PO4eq/t Edukt | |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 5% | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 1.52E-03 | -1.61E-03 | -3.59E-03 | -5.88E-03 | kg Ethylen-eq/t Edukt | |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 5% | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | -1.18E+01 | -1.39E+01 | -1.75E+01 | 1.98E+00 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt | |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 9% | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | -4.04E+00 | -4.25E+00 | -2.56E+00 | 1.69E+00 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt | |
| U8 | Bodennutzung | Landinanspruchnahme | 7% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -8.40E-01 | -4.13E-03 | 1.24E+00 | 6.40E-01 | m2a/t Edukt | |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen Deponierte Abfälle | 5% | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | -4.48E-07 | -6.96E-07 | -1.33E-06 | 9.67E-06 | m3t Edukt | |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 4% | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 4.41E-09 | 1.08E-08 | 2.33E-08 | 1.85E-08 | m3t Edukt | |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | | | | | | | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | 100% | 0.38 | 0.45 | 0.36 | 0.73 | 3.05E+05 | 2.46E+05 | 3.24E+05 | 2.22E+04 | UBP 06/t Edukt | |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | 30% | | | | | | | | | | |
| O1 | O1.1 | Verwertungskosten | 27% | 0.23 | 0.22 | 0.24 | 0.24 | CHF 20.00 | CHF 60.00 | CHF 0.00 | CHF 0.00 | CHF/t Edukt | |
| O2 | O2.1 | Sammelkosten | 19% | 0.19 | 0.19 | 0.16 | 0.15 | CHF 0.00 | CHF 0.00 | CHF 20.00 | CHF 30.00 | CHF / t Edukt | |
| O3 | O3.1 | Minimierung wirtschaftliches Risiko | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 0.08 | 1 | 1 | 0.5 | 1 | Ordinale Skala | |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 7% | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 1 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | Ordinale Skala | |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 7% | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | Ordinale Skala | |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 6% | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | Ordinale Skala | |
| O4 | O4.1 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | 7% | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala | |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 8% | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | Ordinale Skala | |
| O5 | O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | 11% | 0.06 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | CHF/t Edukt | |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | 25% | | | | | | | | | | |
| G1 | G1.1 | Lokale Akzeptanz | 16% | 0.04 | 0.12 | 0.12 | 0.16 | 0.25 | 0.75 | 0.75 | 1 | Ordinale Skala | |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 5% | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala | |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 8% | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | Ordinale Skala | |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala | |
| G2 | G2.1 | Gesellschaftliche Akzeptanz | 9% | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala | |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala | |
| G3 | G3.1 | Gesellschaftliches Risiko | 9% | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.05 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | Ordinale Skala | |
| G4 | G4.1 | Risiken der Angestellten | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala | |
| G5 | | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 18% | 0.18 | 0.18 | 0.09 | 0.18 | 1 | 1 | 0.5 | 1 | Ordinale Skala | |
| G6 | | Versorgungssicherheit | 15% | 0.07 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala | |

| | Ausbringen auf Feld | Methangärung, Strom & Wärme | Methangärung, Co-Substrat, Strom & Wärme | Hydrothermale Vergasung, Strom & Treibstoff |
|---|---------------------|-----------------------------|--|---|
| Umwelt | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.17 |
| Ökonomie | 0.26 | 0.23 | 0.22 | 0.23 |
| Gesellschaft | 0.19 | 0.22 | 0.19 | 0.20 |
| Alternatives Bewertungskriterium Umwelt | 0.17 | 0.21 | 0.16 | 0.33 |
| SUMME NUTZWERTPUNKTE TOTAL | 0.58 | 0.60 | 0.57 | 0.60 |

Ergebnisse zur Abfallkategorie 'Restholz'

| Nr. | Kriterium | Indikator | Gewichtung Durchschnitt Befragung | Gewichtete Nutzwertpunkte (1=bestes Resultat / hoher Nutzen, 0=schlechtestes Resultat / kleiner Nutzen) | | | | | | Effektive Belastung (Berechnung bzw. Expertenschätzung) | | | | | | Einheit |
|---|---|--|--------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------|--|--|---|---|-----------------------------|-------------------------------------|--|--|---|-----------------------|
| | | | | Produktion von Spanplatten | Restholz in Kleinfeuerungen | Restholz in Holzheiz-kraftwerk | Produktion von Ethanol (Alkoholgärung) | Methanisierung zur Produktion von Methan (SNG) | Vergasung zur Produktion von Methan (SNG) | Produktion von Spanplatten | Restholz in Kleinfeuerungen | Restholz in Grobfeuerungen mit BHKW | Produktion von Ethanol (Alkoholgärung) | Methanisierung zur Produktion von Methan (SNG) | Vergasung zur Produktion von Methan (SNG) | |
| BEREICH UMWELT | | | 45% | | | | | | | | | | | | | |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 26% | 0.03 | 0.23 | 0.23 | 0.16 | 0.17 | 0.21 | -1.31E+01 | -5.46E+02 | -5.26E+02 | -3.44E+02 | -3.72E+02 | -4.90E+02 | Kg CO2eq/t Edukt |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 24% | 0.01 | 0.21 | 0.20 | 0.14 | 0.13 | 0.19 | -2.21E+02 | -9.59E+03 | -9.34E+03 | -6.34E+03 | -6.04E+03 | -8.70E+03 | MJeq/t Edukt |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 5% | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | -6.77E-02 | 2.78E-01 | 2.20E-01 | 4.16E-01 | -4.18E-02 | -4.25E-02 | kg SO2eq/t Edukt |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 10% | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | -1.24E+02 | 1.38E-01 | 1.09E-01 | 9.72E-02 | 4.16E-02 | -1.73E-04 | kg PO4eq/t Edukt |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 5% | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | -1.09E-02 | -2.75E-02 | -2.62E-02 | -1.75E-02 | -4.03E-02 | -6.51E-02 | kg Ethylen-eq/t Edukt |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 5% | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | -1.94E+01 | 4.72E+01 | 4.65E+01 | 6.75E+01 | 3.33E+00 | 5.00E-01 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U7 | Okotoxizität | Aquatisches Okotoxizitätspotenzial | 9% | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | -5.88E+00 | 7.33E+00 | 7.50E+00 | 1.02E+01 | 1.37E+01 | 6.59E+00 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U8 | Bodennutzung | Landanspruchnahme | 7% | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -8.31E+02 | 1.96E+00 | 1.35E+00 | 1.05E+01 | 1.96E+01 | 5.67E+00 | m2a/t Edukt |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen Deponierte Abfälle | 5% | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | -2.17E-06 | -6.22E-06 | -4.79E-06 | -2.14E-06 | -3.93E-06 | -5.34E-06 | m3/t Edukt |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 4% | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | -3.03E-08 | 2.30E-07 | -3.62E-08 | -1.27E-07 | 5.76E-07 | -2.26E-09 | m3/t Edukt |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | 100% | 0.83 | 0.81 | 0.90 | 0.81 | 0.89 | 1.00 | -5.41E+04 | -3.64E+04 | -111'005.27 | -3.38E+04 | -1.03E+05 | -1.89E+05 | UBP 06/t Edukt |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | 30% | | | | | | | | | | | | | |
| O1 | O1.1 Verwertungskosten | Verwertungspreis pro Tonne | 27% | 0.26 | 0.27 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | -CHF 50.00 | -CHF 75.00 | -CHF 50.00 | -CHF 50.00 | -CHF 50.00 | -CHF 50.00 | CHF/t Edukt |
| O2 | O2.1 Sammelkosten | Sammelpreis pro Tonne | 19% | 0.06 | 0.15 | 0.15 | 0.07 | 0.11 | 0.11 | CHF 100.00 | CHF 30.00 | CHF 30.00 | CHF 90.00 | CHF 60.00 | CHF 60.00 | CHF / t Edukt |
| O3 | O3.1 Minimierung wirtschaftliches Risiko | Erwartete Volatilität Eduktepreise | 8% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produktepreise | 7% | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.5 | 0.5 | 0.75 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | O3.3 | Höhe Investitionskosten | 7% | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 6% | 0.06 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| O4 | O4.1 Flexibilität der Anlage in Nutzung | Edukte-Unabhängigkeit der Anlage | 7% | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| O5 | O5 Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | Volkswirtschaftliche Wertschöpfung | 11% | 0.06 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | CHF/t Edukt |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | 25% | | | | | | | | | | | | | |
| G1 | G1.1 Lokale Akzeptanz | Geruch-Emissionen | 16% | 0.16 | 0.08 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 5% | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 8% | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G2 | G2.1 Gesellschaftliche Akzeptanz | Einstellung gegenüber der Technologie | 9% | 0.09 | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| G3 | G3.1 Gesellschaftliches Risiko | Whrs. von Explosionen und Unfällen | 9% | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| G4 | G4.1 Risiken der Angestellten | Arbeitsbedingte Unfälle und Todesfälle | 6% | 0.03 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G5 | G5 Potenzielle Raumplanungskonflikte | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 18% | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G6 | G6 Versorgungssicherheit | Unabhängigkeit von importierten Energieträgern | 15% | 0.07 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |

| | Produktion Spanplatten | Kleinfeuerung, Wärme | Holzheiz-kraftwerk, Strom & Alkoholgärung, Wärme | Methanisierung, Treibstoff | Hydrothermale Vergasung, Treibstoff |
|---|------------------------|----------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|
| Umwelt | 0.22 | 0.35 | 0.35 | 0.28 | 0.36 |
| Ökonomie | 0.20 | 0.22 | 0.23 | 0.17 | 0.18 |
| Gesellschaft | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Alternatives Bewertungskriterium Umwelt | 0.38 | 0.37 | 0.41 | 0.36 | 0.45 |
| SUMME NUTZWERTPUNKTE TOTAL | 0.61 | 0.76 | 0.78 | 0.65 | 0.74 |

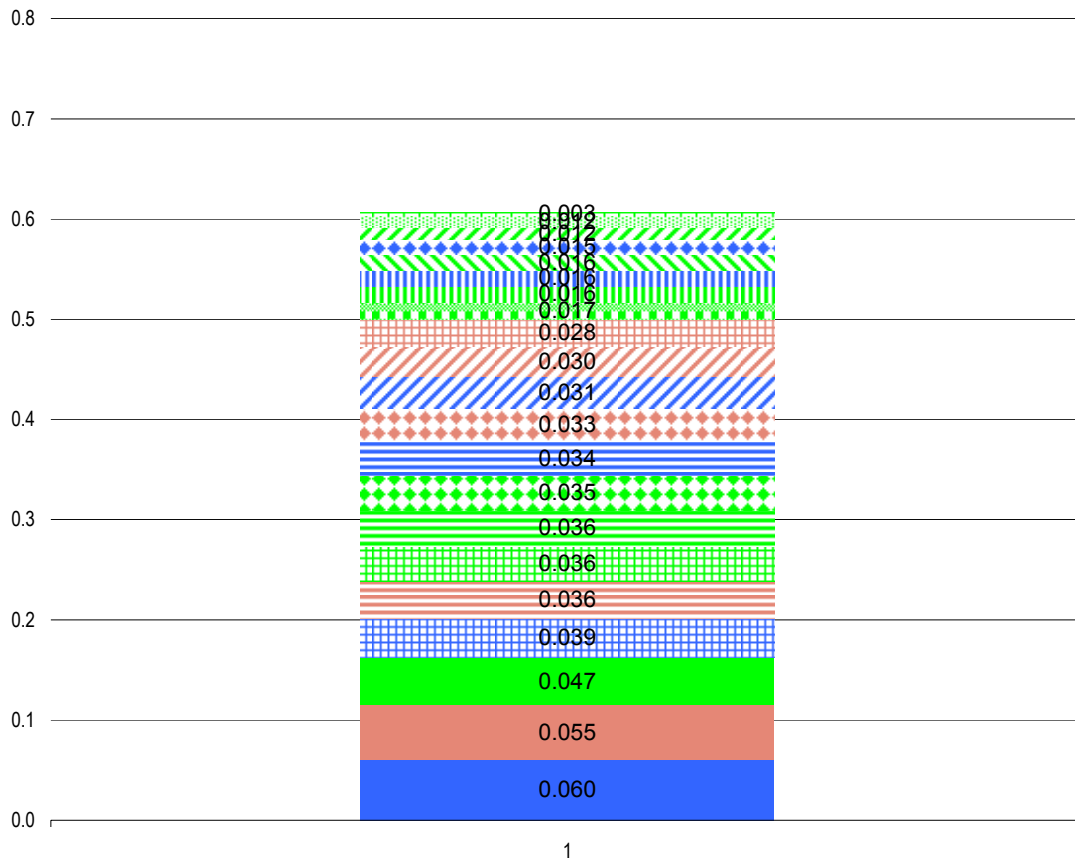
Ergebnisse zur Abfallkategorie 'Altholz'

| Nr. | Kriterium | Indikator | Gewichtung Durchschnitt: Befragung | Gewichtete Nutzwertpunkte (1=bestes Resultat / hoher Nutzen, 0=schlechtestes Resultat / kleiner Nutzen) | | | | | Effektive Belastung (Berechnung bzw. Expertenschätzung) | | | | | Einheit |
|---|--|--|---------------------------------------|---|----------------|-------------------------------|--|--|---|----------------|--|--|--|-----------------------|
| | | | | Produktion von Spanplatten | Altholz in KVA | Altholz in Holzheiz-kraftwerk | Produktion von Ethanol (Alkoholgärung) | Methanisierung zur Produktion von Methan (SNG) | Produktion von Spanplatten | Altholz in KVA | Altholz in Grossholz-feuerung mit BHKW | Produktion von Ethanol (Alkoholgärung) | Methanisierung zur Produktion von Methan (SNG) | |
| BEREICH UMWELT | | | | 45% | | | | | | | | | | |
| U1 | Klimaänderung | Global Warming Potential | 26% | 0.03 | 0.14 | 0.26 | 0.17 | 0.21 | -1.53E+01 | -2.88E+02 | -6.20E+02 | -3.86E+02 | -4.95E+02 | kg CO2eq/t Edukt |
| U2 | Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen | Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar | 24% | 0.01 | 0.11 | 0.24 | 0.15 | 0.17 | -2.58E+02 | -5.09E+03 | -1.12E+04 | -7.14E+03 | -8.02E+03 | MJeq/t Edukt |
| U3 | Versäuerung | Versäuerungspotenzial | 5% | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | -7.90E-02 | -3.37E-03 | 2.25E-01 | 5.68E-01 | -7.26E-02 | kg SO2eq/t Edukt |
| U4 | Überdüngung | Überdüngungspotenzial | 10% | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | -1.44E-02 | 2.65E-01 | 2.39E-01 | 1.31E-01 | 5.11E-02 | kg PO4eq/t Edukt |
| U5 | Sommersmog | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | 5% | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | -1.26E-02 | -1.77E-02 | -3.54E-02 | -1.79E-02 | -5.37E-02 | kg Ethylen-eq/t Edukt |
| U6 | Humantoxizität | Humantoxizitätspotenzial | 5% | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | -2.26E+01 | -4.50E+00 | 8.53E+01 | 8.10E+01 | 3.92E+00 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U7 | Ökotoxizität | Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial | 9% | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | -6.84E+00 | 1.85E+01 | 3.79E+00 | 1.34E+01 | 1.78E+01 | kg 1,4-DCB-eq/t Edukt |
| U8 | Bodennutzung | Landanspruchnahme | 7% | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -9.70E+02 | 7.37E-02 | 5.72E+00 | 1.24E+01 | 2.58E+01 | m2a/t Edukt |
| U9 | Deponierte Abfälle | Volumen Deponierte Abfälle | 5% | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | -2.53E-06 | -3.15E-06 | -6.95E-06 | -2.09E-06 | -5.27E-06 | m3/t Edukt |
| U10 | hoch radioaktive Abfälle | Volumen hoch radioaktive Abfälle | 4% | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.00 | -3.53E-08 | -7.87E-09 | -4.38E-08 | -1.34E-07 | 7.57E-07 | m3/t Edukt |
| Alternatives Bewertungskriterium | | | | | | | | | | | | | | |
| U11 | Ökologische Knappheit | Umweltbelastungspunkte | 100% | 0.84 | 0.04 | 0.39 | 0.79 | 0.94 | -6.31E+04 | 5.75E+05 | 2.96E+05 | -2.22E+04 | -1.40E+05 | UBP 06/t Edukt |
| BEREICH ÖKONOMIE | | | | 30% | | | | | | | | | | |
| O1 | O1.1 | Verwertungskosten | 27% | 0.24 | 0.15 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | CHF 0.00 | CHF 240.00 | CHF 0.00 | CHF 0.00 | CHF 0.00 | CHF/t Edukt |
| O2 | O2.1 | Sammelkosten | 19% | 0.06 | 0.15 | 0.15 | 0.11 | 0.15 | CHF 100.00 | CHF 30.00 | CHF 30.00 | CHF 60.00 | CHF 30.00 | CHF / t Edukt |
| O3 | O3.1 | Minimierung wirtschaftliches Risiko | 8% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | O3.2 | Erwartete Volatilität Produktpreise | 7% | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.5 | 0.75 | 0.75 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | O3.3 | Hohe Investitionskosten | 7% | 0.07 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | O3.4 | Amortisationsdauer | 6% | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| O4 | O4.1 | Flexibilität der Anlage in Nutzung | 7% | 0.04 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | O4.2 | Reaktionfähigkeit der Anlage auf Schwankungen des Edukteangebots | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| O5 | O5 | Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | 11% | 0.00 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | CHF/t Edukt |
| BEREICH GESELLSCHAFT | | | | 25% | | | | | | | | | | |
| G1 | G1.1 | Lokale Akzeptanz | 16% | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| | G1.2 | Visuelle Beeinträchtigung | 5% | 0.03 | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| | G1.3 | Lärm durch Verkehr | 8% | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ordinale Skala |
| | G1.4 | Lärm durch Anlage | 6% | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G2 | G2.1 | Gesellschaftliche Akzeptanz | 9% | 0.09 | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| | G2.2 | Logistische Anpassungen | 8% | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| G3 | G3.1 | Gesellschaftliches Risiko | 9% | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Ordinale Skala |
| G4 | G4.1 | Risiken der Angestellten | 6% | 0.03 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G5 | G5 | Potenzielle Raumplanungskonflikte | 18% | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |
| G6 | G6 | Versorgungssicherheit | 15% | 0.07 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ordinale Skala |

| | Produktion Spanplatten | KVA, Strom & Wärme | Holzheiz-kraftwerk | Alkoholgärung, Treibstoff | Methanisierung, Treibstoff | |
|---|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--|
| Umwelt | 0.22 | 0.27 | 0.38 | 0.29 | 0.33 | |
| Ökonomie | 0.18 | 0.19 | 0.21 | 0.17 | 0.19 | |
| Gesellschaft | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | |
| Alternatives Bewertungskriterium Umwelt | 0.38 | 0.02 | 0.18 | 0.36 | 0.42 | |
| SUMME NUTZWERTPUNKTE TOTAL | 0.59 | 0.65 | 0.79 | 0.66 | 0.72 | |

A-2.4 Relevanz der verschiedenen Kriterien

Durchschnitt aller Nutzwerte
Nutzwerte nach Relevanz des Mittelwertes geordnet
 (Kriterien: grün = Umwelt, rot = Ökonomie, blau = Gesellschaft)

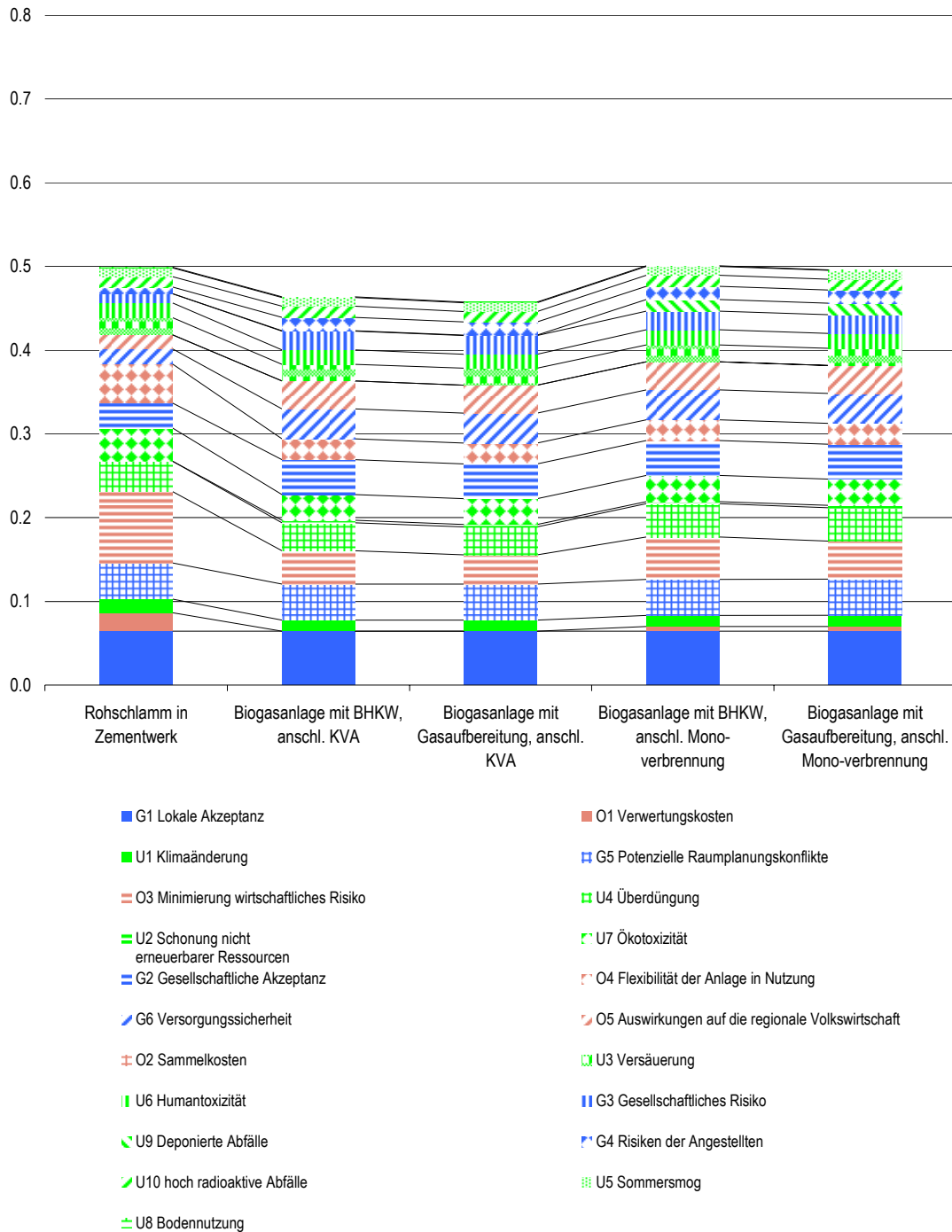


- G1 Lokale Akzeptanz
- U1 Klimaänderung
- O3 Minimierung wirtschaftliches Risiko
- U2 Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen
- G2 Gesellschaftliche Akzeptanz
- G6 Versorgungssicherheit
- O2 Sammelkosten
- U6 Humantoxizität
- U9 Deponierte Abfälle
- U10 hoch radioaktive Abfälle
- U8 Bodennutzung
- O1 Verwertungskosten
- G5 Potenzielle Raumplanungskonflikte
- U4 Überdüngung
- U7 Ökotoxizität
- O4 Flexibilität der Anlage in Nutzung
- O5 Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft
- U3 Versäuerung
- G3 Gesellschaftliches Risiko
- G4 Risiken der Angestellten
- U5 Sommersmog

Klärschlamm

Nutzwerte nach Relevanz des Mittelwertes geordnet

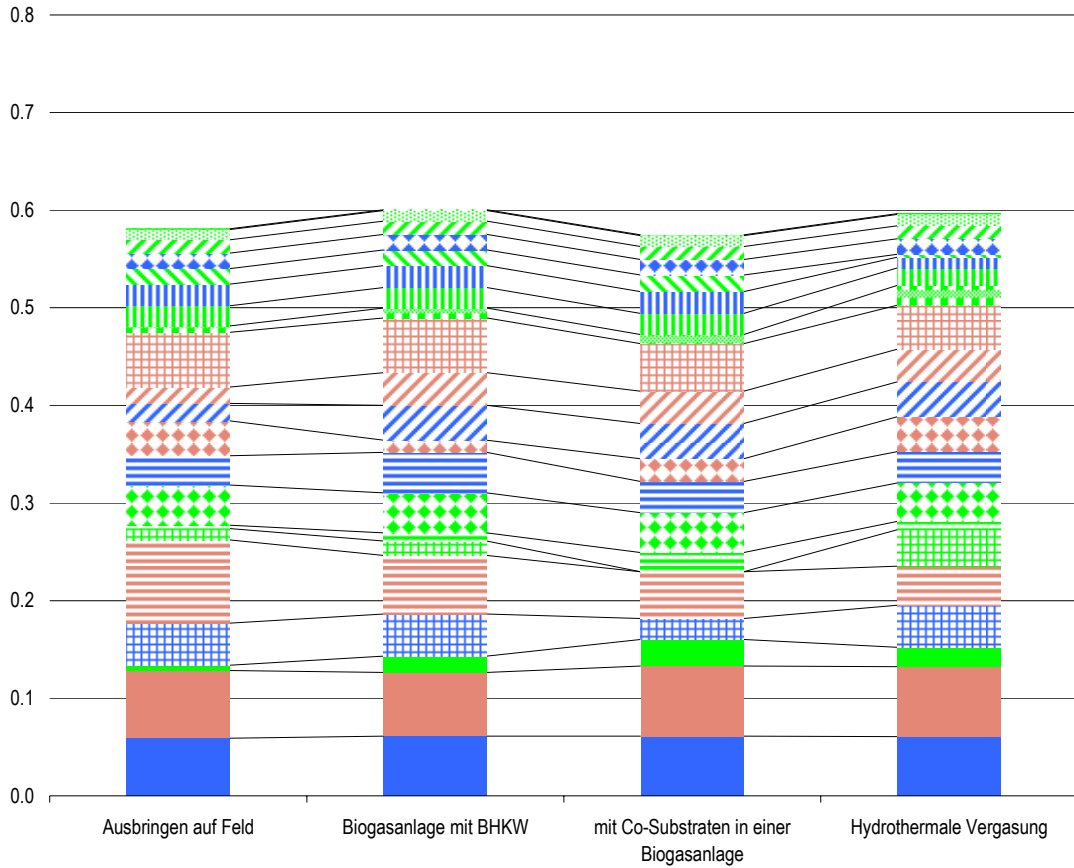
(Kriterien: grün = Umwelt, rot = Ökonomie, blau = Gesellschaft)



Hofdünger

Nutzwerte nach Relevanz des Mittelwertes geordnet

(Kriterien: grün = Umwelt, rot = Ökonomie, blau = Gesellschaft)

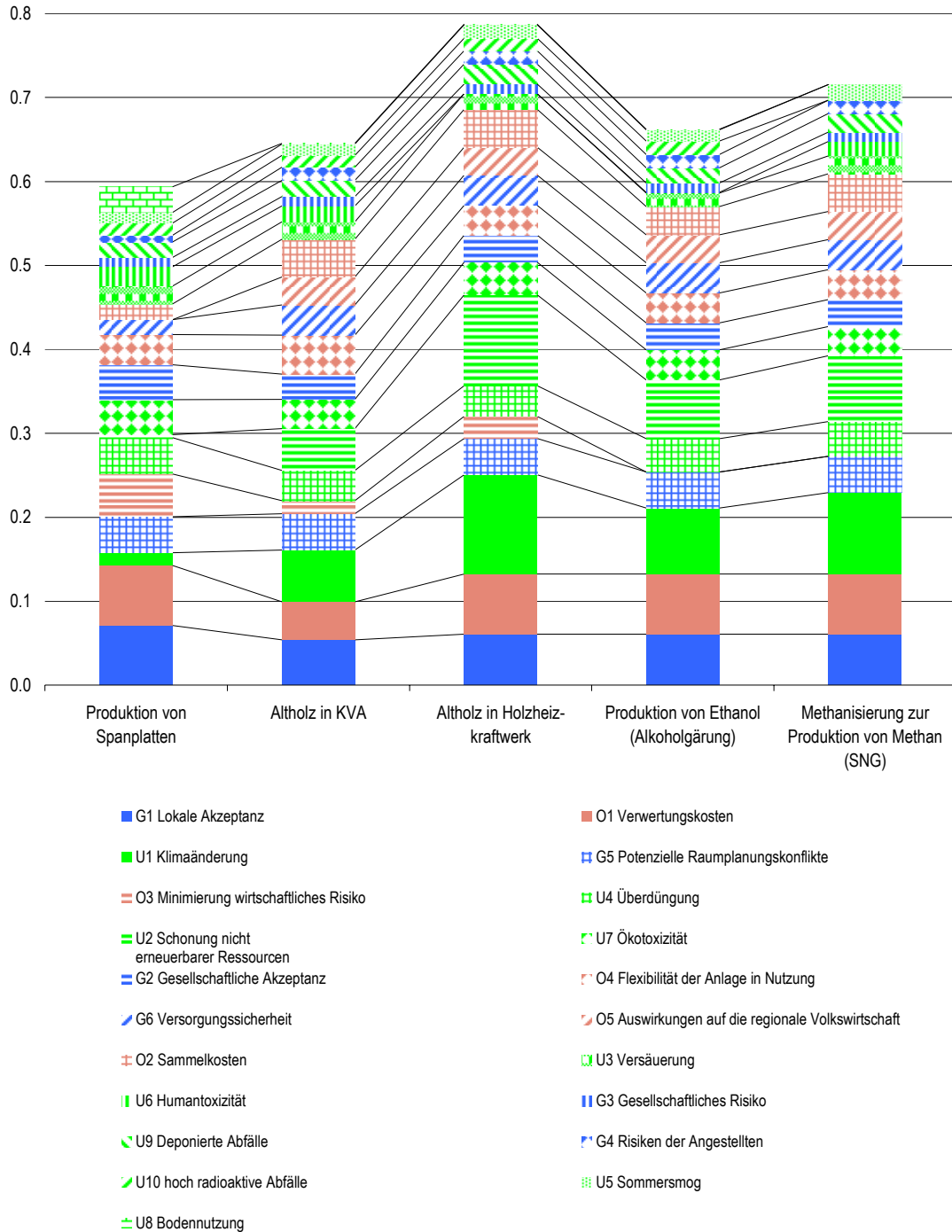


- G1 Lokale Akzeptanz
- U1 Klimaänderung
- O3 Minimierung wirtschaftliches Risiko
- U2 Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen
- G2 Gesellschaftliche Akzeptanz
- G6 Versorgungssicherheit
- O2 Sammelkosten
- U6 Humantoxizität
- U9 Deponierte Abfälle
- U10 hoch radioaktive Abfälle
- U8 Bodennutzung
- O1 Verwertungskosten
- G5 Potenzielle Raumplanungskonflikte
- U4 Überdüngung
- U7 Ökotoxizität
- O4 Flexibilität der Anlage in Nutzung
- O5 Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft
- U3 Versäuerung
- G3 Gesellschaftliches Risiko
- G4 Risiken der Angestellten
- U5 Sommersmog

Altholz

Nutzwerte nach Relevanz des Mittelwertes geordnet

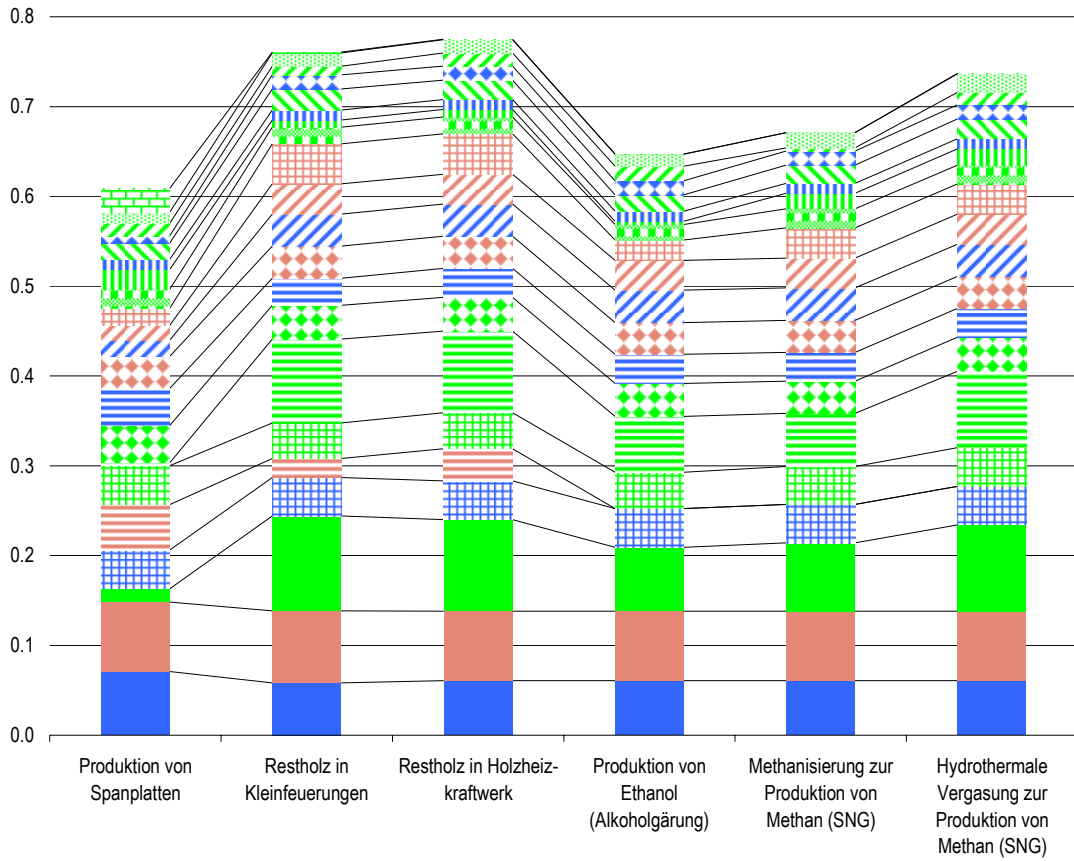
(Kriterien: grün = Umwelt, rot = Ökonomie, blau = Gesellschaft)



Restholz

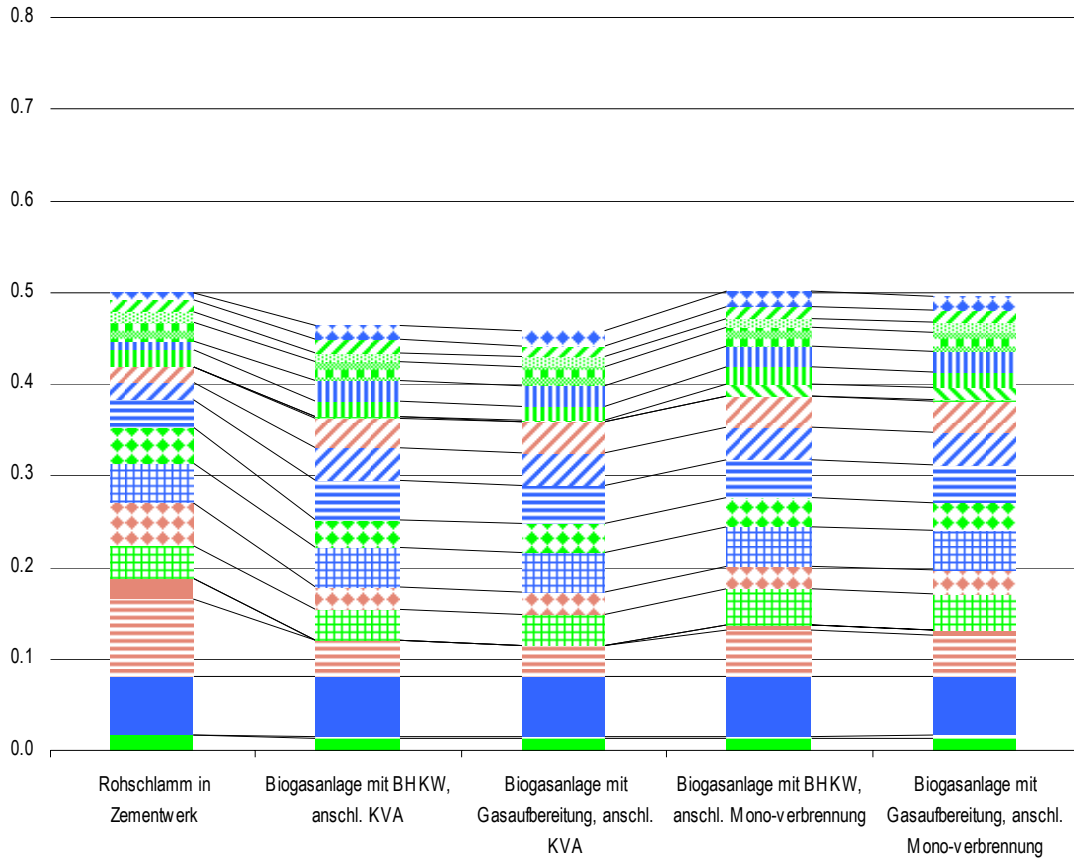
Nutzwerte nach Relevanz des Mittelwertes geordnet

(Kriterien: grün = Umwelt, rot = Ökonomie, blau = Gesellschaft)



- G1 Lokale Akzeptanz
- U1 Klimaänderung
- O3 Minimierung wirtschaftliches Risiko
- U2 Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen
- G2 Gesellschaftliche Akzeptanz
- G6 Versorgungssicherheit
- O2 Sammelkosten
- U6 Humantoxizität
- U9 Deponierte Abfälle
- U10 hoch radioaktive Abfälle
- U8 Bodennutzung
- O1 Verwertungskosten
- G5 Potenzielle Raumplanungskonflikte
- U4 Überdüngung
- U7 Ökotoxizität
- O4 Flexibilität der Anlage in Nutzung
- O5 Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft
- U3 Versäuerung
- G3 Gesellschaftliches Risiko
- G4 Risiken der Angestellten
- U5 Sommersmog

Klärschlamm Nutzwerte nach Gewichtung geordnet (Kriterien: grün = Umwelt, rot = Ökonomie, blau = Gesellschaft)



- | | |
|---|---|
| ■ U1 Klimaänderung | ■ U2 Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen |
| ■ G1 Lokale Akzeptanz | ■ O3 Minimierung wirtschaftliches Risiko |
| ■ O1 Verwertungskosten | ■ O2 Sammelkosten |
| ■ U4 Überdüngung | ■ O4 Flexibilität der Anlage in Nutzung |
| ■ G5 Potenzielle Raumplanungskonflikte | ■ U7 Ökotoxizität |
| ■ G2 Gesellschaftliche Akzeptanz | ■ G6 Versorgungssicherheit |
| ■ O5 Auswirkungen auf die regionale Volkswirtschaft | ■ U8 Bodennutzung |
| ■ U9 Deponierte Abfälle | ■ U6 Humantoxizität |
| ■ G3 Gesellschaftliches Risiko | ■ U3 Versäuerung |
| ■ U5 Sommersmog | ■ U10 hoch radioaktive Abfälle |
| ■ G4 Risiken der Angestellten | |

Literatur

- Biomasse Schweiz, 2006: Energieproduktion aus Küchenabfällen. Ein Vergleich der Vergärung mit der Verbrennung in KVA. Aadorf.
- Bundesamt für Energie (BFE), 2007a: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2006. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.
- Bundesamt für Energie (BFE), 2007b: Wirtschaftlichkeit von heutigen Biomasse-Energieanlagen. Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG), Bern.
- Bundesamt für Energie (BFE), 2004: Potentiale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz. Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG), Bern.
- Bundesamt für Umweltschutz, 1986: Leitbild für die Schweizerische Abfallpolitik. Erarbeitet von der Eidgenössischen Kommission für Abfallwirtschaft. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 51, Bern.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2006: Bericht Abfallstatistik 2004. Zahlen und Entwicklungen der schweizerischen Abfallwirtschaft im Jahr 2004. Umwelt-Zustand Nr. 0638. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2004: Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz – Mengen- und Kapazitätserhebung. Umwelt-Materialien Nr. 181, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2003: Erhebung der Kehrricht-zusammensetzung 2001/02. Schriftenreihe Umwelt Nr. 356, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2002: Kompostvermarktung in der Schweiz. Baar, Januar 2002.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1998: Die Rückstände der Verbrennung – Flugasche und Filterkuchen. Umwelt-Materialien Nr. 100, Abfälle. Bern.
- Cramer, J.; Wissema, E.; Lammers, E.; Dijk, D.; Jager, H.; van Bennekom, S.; Breunese, E.; Horster, R.; van Leeders, C.; Wolters, W.; Kip, H.; Stam, H.; Faaij, A.; Kwant, K., 2006: Criteria for sustainable biomass production. Final report of the Project group 'Sustainable production of biomass'. July 14th 2006. Energy Transition Task Force.

- Doka, G., 2007: Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.0. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, from www.ecoinvent.org.
- EnergieSchweiz, 2007: Globalbeiträge an die Kantone nach Art. 15 EnG. Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme – Ergebnisse der Erhebung 2006. Bern.
- Felder R. and Dones R., 2007: Evaluation of ecological impacts of synthetic natural gas from wood used in current heating and car systems. In: Biomass and Bioenergy, Vol. 31 (2007), pp.403-415
- Frischknecht R., Steiner R., Jungbluth N., 2008: Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Öbu SR 28/2008, Bundesamt für Umwelt (BAFU), ÖBU Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung, www.esu-services.ch/ubp06, Zürich und Bern.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischier R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Guinée J. B., (final editor), Gorrae M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H. and Weidema B. P. (2001) Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, retrieved from: <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>.
- Hirschberg, S.; Dones, R.; Heck, T. et al., 2004: Sustainability of Electricity Supply Technologies under German Conditions: A Comparative Evaluation. Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen.
- Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnanounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C., Sutter J., 2007: Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0, ESU-services, www.ecoinvent.org, Uster, CH
- Ludwig, C.; Hellweg, S.; Stucki, S., 2003: Municipal Solid Waste Management. Strategies and Technologies for Sustainable Solutions. Springer Verlag.
- Luterbacher, J., 2007: Process Development and Environmental Systems Analysis of a Catalytic Hydrothermal Methane Production Process. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.

- NEEDS, 2005: New Energy Externalities Developments for Sustainability. Integrated Project, Sixth Framework Programme, Project No. 502687.
- Ramesohl, S.; Arnold, K.; Kaltschmitt, M. et al., 2006: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchungen im Auftrag von BGW und DVGW, durchgeführt vom Wuppertal Institut, IE Leipzig, FHG-Umsicht, GWI. Wuppertal, Leipzig, Oberhausen, Essen.
- SATW, 2007: Road Map – Erneuerbare Energien Schweiz. Eine Analyse zur Erschließung der Potenziale bis 2050. Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften, Zürich.
- Schleiss, K.; Engeli, H., 2005: Nutzwertanalyse Speisereste. Technischer Bericht. Im Auftrag der Abfall-Fachstellen der Kantone AFU St.Gallen, AFU Thurgau und AWEL Zürich sowie von Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ).
- Schmid, F., (2006): Ökonomische Klärschlamm-Trocknung. Nutzung von erneuerbarer Energie. GWA, Hauptartikel 3/2006.
- Scholz, R.; Tietje, O., 2002: Embedded Case Study Methods – Integrating quantitative and qualitative Knowledge. Sage Publications, Thousand Oaks, California, USA.
- Werner, F.; Althaus, H.-J.; Künniger, T.; Richter, K. und Jungbluth, N., 2007: Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. ecoinvent report No. 9, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, from www.ecoinvent.org.
- Zah R., Böni H., Gauch M., Hirschler R., Lehmann M. and Wäger P., 2007: Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Schlussbericht. Abteilung Technologie und Gesellschaft, Empa im Auftrag des Bundesamtes für Energie, des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft, Bern, retrieved from: <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=12653>.

