



Heft 38, 2016

WSL Berichte

ISSN 2296-3456



Energie aus Landschaftspflegegrün



Georg Müller
Rolf Holderegger
Matthias Bürgi



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf

Heft 38, 2016

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Energie aus Landschaftspflegegrün

Georg Müller
Rolf Holderegger
Matthias Bürgi

Herausgeberin
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf

Verantwortlich für die Herausgabe der Schriftenreihe
Prof. Dr. Konrad Steffen, Direktor WSL

Verantwortlich für dieses Heft
PD Dr. Matthias Bürgi

Zitiervorschlag

Müller, G.; Holderegger, R.; Bürgi, M., 2016: Energie aus Landschaftspflegegrün.
WSL Berichte 38: 56 S.

PDF Download: www.wsl.ch/publikationen/pdf/15217.pdf

ISSN 2296-3448 (Print)
ISSN 2296-3456 (Online)

Layout
Georg Müller

Kontakt

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Zürcherstrasse 111

CH-8903 Birmensdorf

E-Mails: georg.mueller@wsl.ch, rolf.holderegger@wsl.ch, matthias.buergi@wsl.ch

Fotos Umschlag

1) Tiefbauamt Kanton Zürich

2) Tiefbauamt Kanton Zürich

3) Wilhelmine Wulff/pixelio.de

4) Peter Bolliger

5) Uwe Schlick/pixelio.de

Zusammenfassung.....	4
Abstract.....	4
1 Einleitung.....	5
1.1 Kontext und Motivation.....	5
1.2 Projektziele.....	6
1.3 Definition und Abgrenzung von Landschaftspflegegrün.....	6
1.4 Potenzialbegriffe.....	7
2 Verwertungsmöglichkeiten von Landschaftspflegegrün	8
2.1 Landwirtschaftliche Nutzung (stofflich)	8
2.2 Kompostierung und Mulchen (stofflich).....	9
2.3 Energetische Verwertung	10
2.3.1 Biogasgewinnung durch anaerobe Fermentation	10
2.3.2 Direkt thermo-chemische Verwertung	12
2.3.3 Thermo-chemische Umwandlung.....	13
3 Fallstudienregion Kanton Zürich.....	13
3.1 Landschaftspflegeflächen und Grünräume im Kanton Zürich	13
3.2 Grünräume und Biotope als Quelle für Landschaftspflegegrün	14
3.2.1 Feuchtwiesen.....	14
3.2.2 Riedflächen	14
3.2.3 Strassenbegleitgrün	15
3.2.4 Bahnbegleitgrün.....	16
3.2.5 Grünflächen im Siedlungsgebiet.....	17
3.3 Verwertung biogener Abfälle im Kanton Zürich.....	17
4 Datengrundlagen und Methoden.....	18
4.1 Datenverfügbarkeit und Lücken	18
4.1.1 Leitfadeninterviews und Literaturrecherche	19
4.1.2 Berechnung nachhaltig nutzbare Biomasse und Energiepotenziale	19
4.2 Bestimmung Verwertungspotenzial und Eignung von Landschaftspflegegrün	22
5 Verfahren zur energetischen Verwertung von Landschaftspflegegrün	22
5.1 Anaerobe Vergärung von Landschaftspflegegrün	22
5.1.1 Grundsätzliche Eignung der Substrate	22
5.1.2 Praxiserfahrung Trockenfermentation	24
5.1.3 Praxiserfahrung landwirtschaftliche Co-Vergärung.....	25
5.1.4 Optimierte Vergärung durch Vorbehandlung	25
5.1.5 Optimierung von Ernte und Logistik für anaerobe Vergärung.....	26
5.2 Pelletierung von Landschaftspflegegrün für direkt-thermische Verwertung.....	26
5.3 Eignung von Landschaftspflegegrün für hydrothermale Carbonisierung	27
6 Potenziale der energetischen Verwertung des Landschaftspflegegrüns im Kanton Zürich .	28
6.1 Potenziale der untersuchten Grünflächen- und Biotoptypen	28
6.1.1 Feuchtwiesen.....	28
6.1.2 Riedflächen	30
6.1.3 Strassenbegleitgrün	31
6.1.4 Bahnbegleitgrün.....	33
6.1.5 Grünflächen im Siedlungsgebiet.....	34
6.2 Übersicht Biomasseströme und Energiepotenziale im Kanton Zürich	35
7 Hochrechnung für die Schweiz	37
8 Diskussion	40
8.1 Verwertung des Landschaftspflegegrüns der untersuchten Biotop- und Grünraumtypen und nachhaltig nutzbares Gesamtenergiepotenzial	40
8.2 Energetische Verwertung des Landschaftspflegegrüns aus Sicht der Praxis.....	41
8.3 Energetische Nutzung von Landschaftspflegegrün aus Sicht unterschiedlicher Technologien und ökonomischer Rahmenbedingungen	42
9 Dank.....	43
10 Literatur	44
11 Anhang: Dokumentation Potenzialberechnungen	47

Zusammenfassung

Beim Unterhalt von Biotopen sowie Grünflächen im öffentlichen Raum und entlang von Verkehrsachsen fallen grosse Mengen krautiger Biomasse, sogenanntes Landschaftspflegegrün, an. Aus dieser Biomasse lässt sich durch anaerobe Vergärung Biogas herstellen, wodurch sich die Anliegen von Natur- und Klimaschutz verbinden lassen. Der vorliegende Bericht schätzt das Biomasse- und Energiepotenzial folgender ausgesuchter Biotop- und Grünraumtypen im Kanton Zürich ab: Feuchtwiesen, Riedflächen, Strassenbegleitgrün (Autobahn, Kantonsstrassen), Bahnbegleitgrün, öffentliche Grünflächen im Siedlungsgebiet. Um zu bestimmen, wie viel Biomasse nachhaltig (d.h. ohne andere sinnvolle stoffliche Verwertung zu konkurrenzieren) zur Verfügung steht, wurden basierend auf der heutigen Unterhalts- und Entsorgungspraxis die Biomasseströme der verschiedenen Verwertungswege bestimmt (stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft, Entsorgung, Mulch auf der Fläche). Die Ergebnisse wurden anschliessend für die Schweiz hochgerechnet. Das theoretische Gesamtpotenzial der untersuchten Biotop- und Grünflächentypen liegt im Kanton Zürich bei rund 11'500 t TM/a, woraus sich rund 52'000 GJ/a Energie gewinnen liesse (Schweiz 97'300 t TM/a; 445'000 GJ/a). Von den bestimmten Biomasseströmen gelangt rund 40,7% als Futter und Streu in die Landwirtschaft, wobei die Biomasse primär von den Naturschutzflächen (Feuchtwiesen, Riedflächen) stammt und wegen der sinnvollen stofflichen Nutzung und der Substrateigenschaften nicht für eine energetische Verwertung zur Verfügung steht. Die 26,8% welche entsorgt werden, umfassen mehrheitlich Strassenbegleitgrün, welches sich für eine energetische Verwertung eignet. Von den rund 26,4% welche als Mulch primär auf öffentlichen Grünflächen und entlang von Bahnlinien natürlich zersetzt werden, entfallen rund 18,8% auf öffentliche Grünflächen, wobei der Mulch hier Düngerersatz ist und somit sinnvoll stofflich genutzt ist. Auch wenn der Mulch der Bahnflächen aus Betriebs- und Kostengründen nicht zur Verfügung steht, wird er zusammen mit dem entsorgten Material zum nachhaltig nutzbaren Potential gezählt. Daraus liessen sich im Kanton Zürich rund 18'000 GJ und in der Schweiz rund 90'000 GJ Energie pro Jahr gewinnen. Das Potenzial für die Schweiz entspricht rund 1,75% des in der eidgenössischen Energiestrategie 2050 errechneten Energiepotenzials für Biogas.

Abstract

Landscape conservation and management measures produce large quantities of herbaceous biomass, which can potentially be used to produce biogas through anaerobic digestion. This report determines the biomass and energy potentials of the following habitat and green spaces in the canton of Zurich: wet meadows, reed beds, green spaces along transport infrastructures (national highways, cantonal roads, railway lines) and public green spaces within settlements. The results are projected for the whole of Switzerland. The total theoretical biomass potential of the investigated habitat and green spaces is 11'500 t dry mass/a, with an energy potential of approx. 52'000 GJ/a (Switzerland 97'300 t dry mass/a, 445'000 GJ/a). However, 40.7%, mostly originating from meadows and reed beds, is used in agriculture as animal feed and livestock bedding and therefore not available for biogas production, while 26.8% of the biomass is disposed and available. Since it mostly emerges from green spaces along roads it is also suitable for anaerobic digestion. Approximately 26.4% are decomposed as mulch, primarily in public spaces and along railway lines. But 18.8% emerge from public green areas, where mulch is sustainably used as fertilizer substitute. Although mulch of railway areas is not available due to operational and cost reasons, it is here added to the sustainably utilizable potential together with the disposed biomass. This said fraction has an energy potential of approx. 18'000 GJ/a in the canton of Zurich and approx. 90'000 GJ/a for the whole of Switzerland. This potential for the whole of Switzerland is equivalent to approx. 1.75% of the calculated energy potential for biogas in the Federal Energy Strategy 2050.

1 Einleitung

1.1 Kontext und Motivation

Die Nutzung von Biomasse als erneuerbarer Energieträger spielt in der Energiewende eine wichtige Rolle. Bekannt und etabliert ist die Nutzung von Holz. Energieholz ist ein wertvoller Stoff, welcher zur Zeit immer stärker nachgefragt wird und welcher auf dem Markt gewinnbringend gehandelt wird (Waldwirtschaft Schweiz 2014). Auch nicht verholzte Biomassen, wie Rasenschnitt, Gülle oder biogene Haushalts- und Industrieabfälle, können zur Energieproduktion verwendet werden. Aus diesen wird in der Regel durch anaerobe Vergärung Biogas hergestellt. Biogas ist ein hochwertiger Energieträger, welcher gegenüber anderen erneuerbaren Energieformen den Vorteil hat, dass er lokal speicherbar und praktisch ohne Verluste transportiert werden kann (Kaltschmitt et al. 2009). Gemäss den Energieperspektiven für die Schweiz, welche als Grundlage für die Energiestrategie 2050 des Bundesrats dienen, wurde das Potenzial für die Stromherstellung im Jahr 2050 auf 1104 GWh_{el}/a (3'974'499 GJ/a) für Holz und 1427 GWh_{el}/a (5'137'200 GJ/a) für Biogas berechnet. Auch wenn die Potenziale von Windenergie (4222 GWh_{el}/a; 15'199'200 GJ/a) und Photovoltaik (11'036 GWh_{el}/a; 39'729'600 GJ/a) höher eingeschätzt werden, muss insbesondere Biogas als substantieller Beitrag an die zukünftige Energieversorgung betrachtet werden, welche gemäss Szenario E (erneuerbar) ein Total an Energie aus erneuerbaren Quellen von 22'757 GWh_{el}/a (81'925'200 GJ/a) vorsieht (BFE 2013).

Nicht verholzte Biomasse fällt in grossen Mengen beim Unterhalt von Naturschutzflächen wie Mooren oder Rieden an, aber auch an Strassenrändern sowie auf öffentlichen und privaten Grünflächen. Die dabei anfallende krautige Biomasse wird als Landschaftspflegegrün bezeichnet und besteht aus Frischmaterial sowie Heu und Stroh (Kaltschmitt et al. 2009). Um den Wert vieler Naturschutzgebiete zu erhalten, muss in regelmässigen Abständen durch eine geregelte Mahd das Verbuschen und das Einwachsen des Waldes in offenes Grünland verhindert werden. Das Schnittgut wird anschliessend von den Flächen abgeführt, um einen übermässigen Eintrag von Nährstoffen in die Biotope zu verhindern (Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich 1998; Amt für Landschaft und Natur 2011; DZV 2015). Dieses abgeführte Landschaftspflegegrün bildet grundsätzlich ein Potential für die nachhaltige Energieproduktion. Während die Energieproduktion aus Landschaftspflegegrün zum Beispiel in Deutschland ein viel diskutiertes Thema ist und politisch gefördert wird (Ökoinstitut 2007; Naturschutzbund Deutschland NABU 2011), ist dessen Verwendung in der Schweiz noch wenig bekannt. Das Potenzial der krautigen Biomasse aus Landschaftspflege und Grünflächenunterhalt wurde bisher noch nicht erfasst.

Ein Vorteil einer Verwertung des Landschaftspflegegrüns liegt darin, dass Anliegen des Naturschutzes und des Klimaschutzes miteinander verbunden werden. Die Energiegewinnung aus Landschaftspflegegrün, welches im Rahmen der heute gängigen Biotoppflege sowieso anfällt, kann somit als Co-Leistung der Pflege von Biodiversität betrachtet werden. Im Gegensatz zur Verwendung von landwirtschaftlichen Produkten wie zum Beispiel Mais zur Biogasherstellung entsteht bei einer konsequenten Nutzung von Landschaftspflegegrün kein zusätzlicher Nutzungsdruck auf Landwirtschaftsflächen sowie keine Konkurrenz zur Lebensmittelherstellung. Daher liegt der Fokus dieser Studie auf der energetischen Verwertung dieser krautigen Biomasse.

1.2 Projektziele

Das WSL-Projekt «Energie aus Landschaftspflegegrün» hatte das Ziel, das Potenzial von Landschaftspflegegrün und Grünschnitt von unterschiedlichen Biotopen und öffentlichen Grünflächentypen zur energetischen Nutzung abzuschätzen. Hierzu wurde bestimmt, wie viel Biomasse in den ausgewählten Biotopen (Feuchtwiesen, Riedflächen) und Grünflächentypen (Strassenbegleitgrün, Bahnbegleitgrün, öffentliche Grünflächen im Siedlungsgebiet) theoretisch jährlich zur Verfügung steht und wie viel Biogas daraus durch anaerobe Vergärung produziert werden kann.

Die nachhaltig energetisch nutzbare Biomasse aus der Landschaftspflege hängt direkt von der gängigen Bewirtschaftungspraxis ab, welche auf den gesetzlichen Vorgaben von Bund und Kantonen beruht und daher von Kanton zu Kanton variieren kann. Für das vorliegende Projekt wurde der Kanton Zürich als Fallstudienregion bestimmt, weil der Kanton bezüglich Landschaftscharakter und Landnutzung vielfältig ist und eine grosse Anzahl Feuchtgebiete aufweist. Relevant sind auch die grosse Anzahl Siedlungsflächen und Verkehrsinfrastrukturen mit den entsprechenden Grünräumen. Die angewandte Methodik lässt sich leicht auf andere Kantone übertragen. Um zu bestimmen welchen Anteil der Biomasse aus Landschaftspflegegrün nachhaltig für eine energetische Verwertung zur Verfügung steht, werden die Biomasseströme (stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft, auf der Fläche als Mulch, Entsorgung in der Kompostierung oder energetische Verwertung) der typischen Bewirtschaftung und Verwertung der ausgewählten Biotope und Grünflächen im Kanton Zürich bestimmt. Auf dieser Basis wird ermittelt, wie viel Energie theoretisch aus den Potenzialen der verschiedenen Biomasseströme gewonnen werden kann. Zu diesem Zweck wird auch die grundsätzliche Eignung verschiedener Substrate des Landschaftspflegegrüns für die anaerobe Vergärung auf Basis von Studien sowie Experteninterviews aufgearbeitet.

Ausserdem werden verschiedenen Methoden und Technologien hinsichtlich ihrer Eignung für die Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege untersucht. Faktenblätter stellen die wichtigsten Ergebnisse bezüglich Biotopen und Grünräumen sowie Verwertungsmethoden übersichtlich dar. Des Weiteren werden die Potenziale der ausgewählten Biotope und Grünflächen für eine Grobabschätzung auf die gesamte Schweiz hochgerechnet. Konkret werden im vorliegenden Bericht folgende Fragen beantwortet:

- Wie viel Landschaftspflegegrün fällt beim Unterhalt der ausgewählten Grünraumtypen (Feuchtwiesen, Riedflächen, Strassenbegleitgrün, Bahnbegleitgrün, öffentliche Grünflächen im Siedlungsgebiet) im Kanton Zürich an?
- Auf welche Art und zu welchen Anteilen wird diese Biomasse verwertet (Bestimmung Biomasseströme: stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft, auf der Fläche als Mulch, Entsorgung in der Kompostierung oder energetische Verwertung)?
- Welche Biomasseströme von welchen Flächen eignen sich aufgrund ihrer Substrateigenschaften für die anaerobe Vergärung ohne eine andere sinnvolle stoffliche Verwertung zu konkurrenzieren?

1.3 Definition und Abgrenzung von Landschaftspflegegrün

Landschaftspflegegrün ist Material von «landwirtschaftlich genutzten Flächen, evtl. mit Auflagen aus Agrarumweltprogrammen, sowie für Zwecke des Naturschutzes aus der landwirtschaftlichen Produktion genommene Flächen, auf denen Pflegemassnahmen stattfinden (Menzel et al. 2014, S. 7)». Als Beispiele wären bewirtschaftete Wiesen und Ausgleichsflä-

chen wie Streuwiesen, Magerrasen oder andere Naturschutzwiesen zu nennen. Grünschnitt bezeichnet Material von Siedlungsflächen und Flächen im öffentlichen Raum, für welche ein Pflegeauftrag der Gebietskörperschaften besteht. Die vorliegende Potenzialstudie berücksichtigt sowohl Naturschutzgebiete wie Riedflächen und Feuchtwiesen als auch Grünflächen entlang von Verkehrsinfrastrukturen und im Siedlungsgebiet. Einfachheitshalber wird jedoch sämtliche anfallende Biomasse als «Landschaftspflegegrün» bezeichnet.

Entlang von Verkehrsflächen mit Gehölzen und in städtischen Grünanlagen mit Bäumen fällt im Herbst auch eine beträchtliche Menge an Laub an. Laub ist für die anaerobe Vergärung grundsätzlich wenig geeignet, da das Gasbildungspotenzial zu gering ist (ICU 2011). Laub, insbesondere verunreinigtes aus dem Strassenwischgut, wird je nach organischem Anteil in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt oder in einer Reaktordeponie entsorgt. Aus diesem Grund steht Biomasse in Form von Laub nicht im Fokus dieser Studie.

Beim Unterhalt von Naturschutz- und Grünflächen fallen ausserdem erhebliche Mengen an verholzter Biomasse an, zum Beispiel durch Entbuschungsmassnahmen oder bei der Pflege von Hecken und Einzelbäumen. Dieses Landschaftspflege- oder Flurholz wird oft ähnlich wie Holz aus dem Wald als Energieholz, zum Beispiel in Form von Holzschnitzeln, in Wert gesetzt. Die Energiepotenziale von Holz ausserhalb des Waldes sind relativ gut untersucht (BAFU und BFE 2009). Ausserdem werden im Rahmen des Swiss Competence Center for Energy Research «Biomass for Swiss Energy Future» (SCCER-Biosweet 2015) die Potentiale des Flurholzes für eine energetische Nutzung detailliert erhoben. Aufgrund der in Kapitel 1.1 erläuterten Forschungslücke, wird in dieser Studie ausschliesslich das Potenzial und die Verwertung von unverholztem Landschaftspflegegrün behandelt.

1.4 Potenzialbegriffe

Bei einer Betrachtung von Biomassepotenzialen für die energetische Verwertung müssen zuerst verschiedene Potenzialbegriffe definiert und abgegrenzt werden. In den nachfolgenden Ausführungen werden die Begriffe aus BAFU und BFE (2009) sowie BFE (2007) hergeleitet (Abbildung 1).

Das *theoretisch verfügbare Potenzial* umfasst den Zuwachs sämtlicher unverholzter Biomasse, welche innerhalb eines bestimmten Zeitraumes in einer gegebenen Region zur Verfügung steht. Das *technische Potenzial* ist der Anteil des theoretischen Potenzials, welches mit den heutigen Technologien (z.B. Erntemaschinen) und Infrastrukturen (z.B. Verkehrerschliessung) nutzbar ist. Das *nachhaltig nutzbare Potenzial* entspricht dem Anteil der Biomasse des technischen Potenzials, welches unter Berücksichtigung von ökonomischen und gesellschaftlichen Restriktionen wie zum Beispiel Naturschutzauflagen oder Erholungsansprüche genutzt werden kann. Im vorliegenden Projekt werden ausgehend vom nachhaltig nutzbaren Potenzial die Biomasseströme ermittelt, welche bereits energetisch oder stofflich in der Landwirtschaft, als Kompost oder Mulch verwertet werden. Als zusätzlich nachhaltig nutzbares Potenzial für eine energetische Verwertung werden grundsätzlich nur die Biomasseströme betrachtet, welche als Mulch auf der Fläche verbleiben oder bereits stofflich in der Kompostierung verwertet werden. Die landwirtschaftliche Nutzung des Landschaftspflegegrüns als Einstreu oder Tierfutter soll prinzipiell nicht durch die energetische Nutzung konkurrenziert werden, daher wird dieser Biomassestrom in der vorliegenden Studie nicht als nachhaltiges Potenzial für eine energetische Nutzung betrachtet.

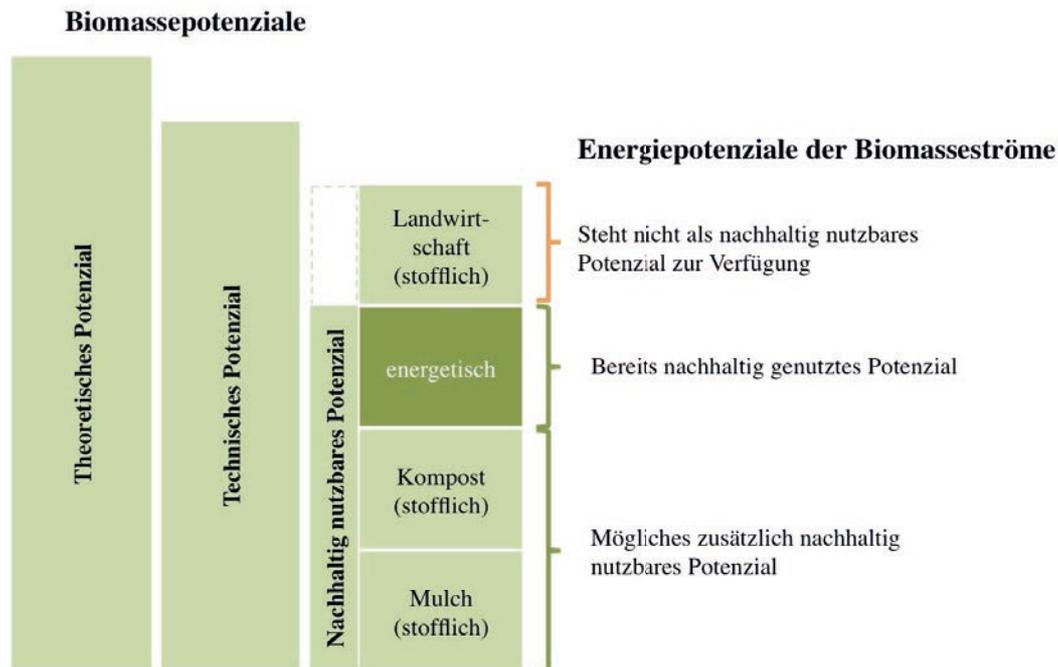


Abbildung 1 Potenzialbegriffe für die (energetische) Nutzung von Landschaftspflegegrün

Durch die grossen Schwankungen des jährlichen Biomasseaufwuchses und den fehlenden Erfahrungswerten aus der Praxis wird der Biomasseaufwuchs im Projekt basierend auf Literaturwerten bestimmt. Dadurch lassen sich die unterschiedlichen Potenziale oft nicht sauber voneinander abgrenzen. Beziehen sich die Literaturwerte auf den jährlichen Zuwachs, ergeben diese das theoretische Potenzial. Falls sich diese auf Erntemengen beziehen, ergeben sie das nachhaltige Potenzial. Da im Projekt jedoch nur Flächen in Biotopen und Grünräumen berücksichtigt werden, für welche ein Pflegeauftrag besteht, kann man den Biomassezuwachs auf diesen Flächen auch als nachhaltig nutzbares Potenzial bezeichnen. Dies unter der Voraussetzung, dass der entsprechende Pflegeauftrag die Erreichung der Schutz- bzw. Pflegeziele gewährleistet und somit die gesellschaftlichen Einschränkungen berücksichtigt. Um mit diesen Unschärfen umzugehen, wird in den Ergebnissen vom Aufwuchs der Biomasse basierend auf Literaturwerten gesprochen und ungefähr dem nachhaltig nutzbaren Potenzial gleichgesetzt. Da Literaturwerte nur Annäherungen sind, wird im Projekt wenn möglich mit Spannbreiten unterschiedlicher Angaben aus der Literatur gearbeitet, um so auch den Schwankungen des realen Biomasseaufwuchs gerecht zu werden.

2 Verwertungsmöglichkeiten von Landschaftspflegegrün

Das anfallende Schnittgut von Landschaftspflegeflächen ist in der Regel sehr heterogen und von unterschiedlicher Qualität. Von der Qualität des Schnittgutes hängen die verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten ab. Diese werden im Folgenden beschrieben.

2.1 Landwirtschaftliche Nutzung (stofflich)

Schnittgut von artenreichen, krautreichen Wiesen eignet sich für die Gewinnung von Heu, welches für die Fütterung von Rindern, Pferden oder Kleintieren gut verwendet werden kann. Da die Mäharbeiten in der Regel von Landwirten ausgeführt werden, welche über die nötigen Maschinen verfügen, kann das Heu ohne grossen Aufwand geerntet und einer sinn-

vollen stofflichen Verwertung auf den landwirtschaftlichen Betrieben zugeführt werden (Menzel et al. 2014).

Gleiches gilt für die Bewirtschaftung von traditionellen Streuwiesen, welche, sofern die Bodenverhältnisse dies zulassen, von Landwirten bewirtschaftet werden. Das Mähgut von Streuwiesen wurde traditionell als Einstreu in Ställen verwendet. Während in den 1970er Jahren durch modernere Stallsysteme die aufwändig gewonnene Streu immer weniger benötigt wurde, wird Streu von Streuwiesen in jüngster Zeit wieder vermehrt als Stalleinstreu anstelle von Stroh genutzt. Das Mähgut von Streuwiesen kann auch als Beifutter für Pferde und Kälber genutzt werden und zeichnet sich durch eine gute Saugfähigkeit aus (Menzel et al. 2014). Im Sinne der Idee der Kaskadennutzung kann die Streu aus Ställen anschliessend in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zusätzlich energetisch verwertet werden.



Abbildung 2 Mähd. (Quelle: Dieter Schütz/pixelio.de)



Abbildung 3 Trockenes Heu. (Quelle: berggeist007/pixelio.de)

2.2 Kompostierung und Mulchen (stofflich)

Als stoffliche Verwertung kann in erster Linie die Kompostierung genannt werden. Am häufigsten gelangt Landschaftspflegegrün in kommerzielle Kompostieranlagen, welche das angelieferte Landschaftspflegematerial kompostieren und den entstehenden Kompost zu Produkten für den Gartenbau verarbeiten (Menzel et al. 2014). Dabei fallen Entsorgungskosten zu Lasten des Lieferanten des Grüngutes an. Eine Alternative ist die sogenannte Feldrandkompostierung, für welche in der Regel etwas geringere Entsorgungskosten anfallen. Hier wird das Material von Landwirten auf Mieten entlang der Felder kompostiert (Baudirektion Kanton Zürich 2013). Eine weitere landwirtschaftliche Verwertung ist die Flächenkompostierung. Hierzu wird das Landschaftspflegematerial zerkleinert und flächig auf Ackerflächen ausgebracht. Damit soll der Boden mit Humus angereichert werden (Menzel et al. 2014).

Auch das Mulchen kann als stoffliche Verwertung bezeichnet werden. Dabei wird das Schnittgut zerkleinert und auf der Fläche belassen. Da Arbeitsschritte um das Material einzusammeln und abzutransportieren wegfallen, ist das Mulchen oft die kostengünstigste Variante. Jedoch reichern sich dadurch Nährstoffe auf der Fläche an, was auf Naturschutzflächen dazu führt, dass wertvolle Magerstandorte verschwinden. Daher, und aufgrund der negativen Auswirkungen auf die Fauna, ist Mulchen auf Naturschutzflächen in der Regel nicht erlaubt (Walter et al. 2007; DZV 2015). Durch den vergleichsweise geringen Aufwand, die geringen Kosten und der Möglichkeit, Düngkosten zu sparen, ist das Mulchen insbesondere auf öffentlichen Grünflächen und Verkehrsbegleitgrün die am häufigsten angewandte Unterhaltsmethode, sofern ein Abführen des Schnittgutes nicht vorgeschrieben ist.



Abbildung 4 Kompostieranlage mit Dreiecks- und rechteckigen Mulchhaufen. (Quelle: ebolter/piqs.de)



Abbildung 5 Rasenschnitt verbleibt als Mulch auf der Fläche. (Quelle: Henning Hraban Ramm/pixelio.de)

2.3 Energetische Verwertung

Es bestehen mehrere Möglichkeiten Landschaftspflegematerial energetisch zu verwerten. Während für verholzte Biomasse eine direkt thermische Verwertung, sprich Verbrennung üblich ist, wird unverholzte Biomasse in der Regel zu Biogas vergärt. Da die anaerobe Vergärung die heute am weitesten verbreitete energetische Verwertung darstellt, wird bei den Abschätzungen in diesem Projekt jeweils vom Potenzial für die Biogasgewinnung ausgegangen. Eine kurze Übersicht über die Verfahren der anaeroben Vergärung sowie einiger alternativen energetischen Verwertungsmöglichkeiten wird im Folgenden gegeben.

2.3.1 Biogasgewinnung durch anaerobe Fermentation

Der Biogasproduktion liegen Gärungs- und Fäulnisprozesse zu Grunde, welche sich unter anderem in Mooren und am Seegrund natürlicherweise abspielen. Bei diesem Abbau von organischer Substanz durch Mikroorganismen im anaeroben Umfeld bildet sich in der sogenannten Methangärung Biogas. Biogas besteht zu zwei Drittel aus dem brennbaren Methan (CH_4) und zu einem Drittel aus Kohlenstoffdioxid (CO_2) sowie diversen Spurengasen wie Schwefelwasserstoff (H_2S) oder Wasserdampf (H_2O). In einem Reaktor kann das entstehende Biogas gewonnen und für eine energetische Nutzung verwendet werden (Kaltschmitt et al. 2009). Hauptsächlich werden zwei technische Verfahren für die Biogasproduktion in Biogasanlagen verwendet, welche im Folgenden beschrieben werden.

Anlagen auf Basis der Trockenfermentation, auch Feststofffermentation genannt, verarbeiten Biomasse mit einem Trockenmassegehalt von über 15%. Sie können eine grosse Bandbreite von Bioabfällen, wie zum Beispiel Speisereste, Grünschnitt, inklusive Landschaftspflegegrün oder Industrieabfälle, verarbeiten. Folglich befinden sich Trockenfermentationsanlagen in der Regel in Siedlungsnähe und sind auf die Verwertung von Biomasse aus dem Siedlungsgebiet ausgerichtet. Das frische Substrat wird kontinuierlich in einen liegenden Gärreaktor eingebracht. Durch eine Rührwelle wird das frische Material in axialer Richtung durch den Reaktor befördert und durchmischt, was eine optimale Entgasung der Biomasse erlaubt. Nach Ende der Verweildauer von drei bis vier Wochen wird am anderen Ende des Reaktors der Gärrest ausgetragen. Dieser hat einen Trockenmassegehalt von ungefähr 10% und somit die Form eines Dünnschlammes. Dieser wird gepresst um die festen Bestandteile abzuscheiden, aus welchen ein hochwertiger Kompost entsteht (Kaltschmitt et al. 2009). Die Verweilzeit im Reaktor von mindestens drei Wochen gewährleistet eine ausreichende Hygienisierung des Komposts, insbesondere was die Keimfähigkeit von Samen und Rhizo-

men von problematischen Neophyten, wie zum Beispiel dem japanischen Staudenknöterich, betrifft (Kanton Zug 2014). Das Presswasser dient zum Teil der Perkulation des Frischmaterials um dieses mit den benötigten Mikroorganismen zu impfen. Das überschüssige Presswasser kann als Flüssigdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden (Menzel et al. 2014).

Die Nassfermentation kommt mehrheitlich bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen zum Einsatz, welche als Gärsubstrat hauptsächlich Gülle einsetzen (Abbildung 6). Um den Ertrag der Anlagen zu erhöhen, werden Co-Substrate aus unterschiedlichsten Quellen mit möglichst hoher Biogasausbeute beigemischt. Der Trockenmassegehalt des Gärsubstrats darf maximal 12% betragen, damit es pumpfähig ist. Dieses muss im Fermenter ständig gerührt werden, wobei das entstehende Biogas in eine Gaskuppel steigt. Nach einer Verweildauer von mindestens 40 Tagen im Fermenter gelangt das Substrat in die Nachgärung. Als Gärrest entsteht eine Gärgülle, welche als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann (Menzel et al. 2014). Um den Energiebedarf für die Erwärmung des Substrats möglichst gering zu halten, basieren landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Regel auf einem mesophilen Gärprozess, der bei Temperaturen zwischen 35 bis 43 °C abläuft (Menzel et al. 2014).



Abbildung 6 Landwirtschaftliche Biogasanlage. (Quelle: Wilhelmine Wulff/pixelio.de)



Abbildung 7 Blockheizkraftwerk zur Verstromung des Biogases. (Quelle: schau.media/pixelio.de)

Das entstehende Biogas beider Verfahren wird in der Regel vor Ort in einem Blockheizkraftwerk verstromt (Abbildung 7). Da die Wirkungsgrade dieser Anlagen bei ungefähr 40% liegen, entsteht viel Abwärme. Diese Abwärme kann den benötigten Wärmebedarf im Vergärungsprozess decken oder für die Heizung von Gebäuden eingesetzt werden (Kaltschmitt et al. 2009). Biogas kann ausserdem ins Erdgasnetz eingespeist werden. Für die Einspeisung muss das Biogas jedoch in einem Veredelungsprozess auf Erdgasqualität aufbereitet werden, in dem es entschwefelt, getrocknet und gereinigt wird und der Methangehalt von rund 60% auf jenen des Erdgases von ungefähr 96% angehoben wird (wvbw 2012).

Die Produktion von Biogas in Vergärungsanlagen sowie die Nutzung der Abwärme der Verstromung (Wärme-Kraft-Kopplung WKK) wird in der Schweiz politisch durch die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) gefördert. Für landwirtschaftliche Biogasanlagen gibt es einen sogenannten Landwirtschaftsbonus, sofern der Anteil an nicht landwirtschaftlichem Co-Substrat nicht über 20% liegt (Tabelle 1; Biomasse Schweiz 2013; Bundesamt für Energie 2015). Mit der Umsetzung der Energiestrategie 2050 und der Revision des Energiegesetzes soll auch das Fördersystem der KEV überarbeitet und angepasst werden (BFE 2014). Einen Landschaftspflegebonus wie er in Deutschland gewährt wird, wenn Anlagen Landschaftspflegegrün von Landschafts- und Naturschutzflächen verwerten, ist nach Aussage der Stiftung KEV in der Schweiz nicht vorgesehen.

Tabelle 1 Vergütungsansätze kostendeckende Einspeisevergütung nach Leistungsklasse (Biomasse Schweiz 2013)

Leistungsklasse	bis 50 kW	bis 100 kW	bis 500 kW	bis 5 MW	> 5 MW
Grundvergütung (Rp./kWh)	28	25	22	18.5	17.5
Landwirtschaftsbonus (Rp./kWh)	18	16	13	4.5	0
WKK Bonus	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
>20% ext. Wärmenutzung (Rp./kWh)					
Maximum (Rp./kWh)	48.5	43.5	37.5	25.5	20

2.3.2 Direkt thermo-chemische Verwertung

Als weitere Möglichkeit zur energetischen Verwertung von Landschaftspflegegrün bietet sich die direkte thermo-chemische Umwandlung, sprich die Verbrennung, an. Landschaftspflegeholz kann als Holzschnitzel in entsprechenden Schnitzelheizungen verwertet werden. Da Holzschnitzel auf dem Markt gefragt sind, kann verholztes Landschaftspflegematerial kostenneutral oder sogar mit Gewinn als Wertstoff verkauft werden (Waldwirtschaft Schweiz 2014).

Auch nicht verholztes Landschaftspflegegrün, wie Heu oder Stroh, kann als Brennstoff in spezialisierten Anlagen verwertet werden. Um einen möglichst homogenen und lagerbaren Brennstoff zu erhalten, wird das Heu oder Stroh meist zu Pellets verarbeitet (Naturschutzbund Deutschland NABU 2011). Der mittlere Energiegehalt von Stroh (4,8 MWh/t bei 15% Wasseranteil am Gewicht) ist durchaus mit jenem von trockenem Holz vergleichbar (4,4 MWh/t; Stern 2010). Diese Pellets können im Prinzip in herkömmlichen Holzpellettheizungen verbrannt werden. Durch die spezifischen Brenneigenschaften von Heu und Stroh müssen gewisse technische Anforderungen an die Verbrennungsanlagen erfüllt sein. Problematisch ist der hohe Aschegehalt bei gleichzeitig tiefer Ascheschmelztemperatur, was zu einer Verschlackung des Brenners führen kann. Ausserdem können erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Rauchgas (Feinstaub, Stickoxide, Dioxine, Halogene) zu Korrosionsschäden an den Anlagen führen und die Grenzwerte bezüglich der Luftreinhaltung überschreiten. Moderne Heizungsanlagen lösen diese Problematik über entsprechende Kühlungen sowie Rauchgasreinigungsfiler (Naturschutzbund Deutschland NABU 2011; Studer 2015).

In der Schweiz ist das Verbrennen von unverholzter Biomasse derzeit nicht erlaubt. Die Motion Lustenberger (11.4020), welche eine Anpassung der gültigen Rechtsnorm verlangt, wurde jedoch kürzlich von National- und Ständerat angenommen. Konkret soll eine dem Technologiestandard entsprechende und sachgerechte Verwendung von sämtlicher Biomasse als Brennstoff erlaubt sein. Somit ist eine Anpassung des Bundesgesetzes über den Umweltschutz, der technischen Verordnung über Abfälle, der Luft-Reinhalteverordnung sowie des Gewässerschutzgesetzes und der entsprechenden Verordnung notwendig. Dem grossen energetischen Potenzial der ungenutzten Biomasse steht jedoch das Bedenken gegenüber, dass durch die Verbrennung den natürlichen Kreisläufen viel Nährstoffe und Strukturmaterial entzogen wird (Bühlman 2014). Grundsätzlich lässt sich die Asche als Dünger wiederverwerten. Da die Asche aus Landschaftspflegegrün je nach Quelle erhöhte Schadstoffkonzentrationen enthalten kann, muss diese teilweise jedoch als Sondermüll entsorgt werden (Naturschutzbund Deutschland NABU 2011).

2.3.3 Thermo-chemische Umwandlung

Thermo-chemische Verfahren bieten Alternativen, welche jedoch noch nicht marktreif sind und daher hier nur kurz beschrieben werden. In Zukunft könnten solche Verfahren interessant für die Verwertung von Landschaftspflegegrün werden.

Bei der Pyrolyse wird, ähnlich wie bei der Holzkohleherstellung, Biomasse unter Luftabschluss mit hohen Temperaturen in einem Reaktor verkohlt. Da insbesondere Biomasse mit einem Trockenmassegehalt von 65% bis 75% für dieses Verfahren geeignet ist, wird die Pyrolyse hauptsächlich mit Holz durchgeführt. Es laufen jedoch Versuche mit krautigem Material und Gras. Für Ausgangsmaterial mit hohem Wassergehalt eignet sich die hydrothermale Carbonisierung (HTC). Dabei wird ähnlich wie bei der Pyrolyse unter hohem Druck (10 bis 40 bar) und bei Temperaturen von 180 °C bis 250 °C Pflanzenkohle hergestellt. Die in beiden Verfahren gewonnene Pflanzenkohle kann thermisch zur Energiegewinnung, zur Bodenverbesserung oder als Ausgangsstoff für Industrieprodukte wie Filter verwendet werden (Menzel et al. 2014).

3 Fallstudienregion Kanton Zürich

Der Kanton Zürich dient als Fallstudienregion für die vorliegende Studie. Im folgenden Kapitel werden zum einen der Kanton und seine schützenswerten Landschaften, städtischen Grünräume sowie Verkehrsinfrastrukturen, welche von Grün begleitet werden, und zum anderen der Unterhalt und dessen Organisation vorgestellt.

3.1 Landschaftspflegeflächen und Grünräume im Kanton Zürich

Der Kanton Zürich ist mit einer Fläche von 1729 km² der siebtgrösste Kanton der Schweiz und mit 1'446'000 Einwohnern der bevölkerungsreichste (Statistisches Amt Kanton ZH 2015). Trotz hoher Bevölkerungsdichte (836 Einwohner pro km²) verfügt der Kanton über zahlreiche Natur- und Landschaftsschutzgebiete. Neben über 1000 kantonal bedeutenden Naturschutzgebieten, wie Riede, Feuchtwiesen oder magere Trockenwiesen, liegen auf Kantonsgebiet 29 Hochmoore, 116 Flachmoore und 6 Moorlandschaften von nationaler Bedeutung (Kanton Zürich 2015).

In den 169 politischen Gemeinden des Kantons mit den beiden städtischen Grossräumen Zürich und Winterthur verfügt der Kanton über eine grosse Anzahl innerstädtischer Grünräume wie Parks, Friedhöfe oder Sportanlagen sowie Infrastrukturen wie Strassen, welche von Grün begleitet werden. Als urbaner und dicht besiedelter Kanton verfügt der Kanton auch über ein dichtes Netz an Verkehrsinfrastrukturen wie Bahnlinien oder Autobahnen, welche zusammengenommen grosse Unterhaltsflächen ergeben.

In die Untersuchung flossen folgende Grünraumtypen ein, welche im folgenden Kapitel beschrieben und charakterisiert werden:

- Feuchtwiesen
- Riedflächen
- Strassenbegleitgrün
- Bahnbegleitgrün
- Grünflächen im Siedlungsgebiet

Die ebenfalls in grossem Umfang vorhandenen Trockenwiesen und -weiden (TWW) sind nicht Teil der Untersuchung. Als halbnatürliche Lebensräume werden diese von Landwirten

extensiv genutzt (Heu, Herbstweide), weshalb keine Biomasse für eine energetische Verwertung zur Verfügung steht (BAFU 2010).

3.2 Grünräume und Biotope als Quelle für Landschaftspflegegrün

3.2.1 Feuchtwiesen

Feuchtwiesen sind an wechselnde Bodenfeuchte angepasste Lebensräume und kommen oft im Randbereich von Mooren, angrenzend an Kleinseggenriede oder entlang kleiner Bachläufe vor. Auf nährstoffreichen Standorten weit verbreitet sind die äusserst produktiven Sumpfdotterblumenwiesen (*Calthion*; Abbildung 8). Diese sind floristisch oft nicht besonders wertvoll, beherbergen dennoch lokal gefährdete Pflanzenarten. Als Nahrungsangebot für die Fauna der Moore sind sie von ökologischer Bedeutung. *Calthion*-Bestände sind auf landwirtschaftliche Bewirtschaftung von mittlerer Intensität angewiesen und werden als Mähwiese oder Weideflächen genutzt. Das *Calthion* ist in den Potenzialgebieten noch häufig verbreitet. Das Potenzialgebiet liegt unterhalb von 1000 m ü. M. und konzentriert sich daher hauptsächlich auf das Mittelland, weshalb sie im Kanton Zürich relativ weit verbreitet sind, aber auch auf die Voralpen und den Jura (Delarze und Gonseth 2008).

Auf mageren Standorten sind verbreitet Pfeifengraswiesen (*Molinion*) vorzufinden, welche Wuchshöhen bis 1m aufweisen (Abbildung 9). In gewissen Fällen werden Pfeifengraswiesen auch zu den Riedflächen gezählt (Kapitel 3.2.2). Sie kommen meist auf kalkhaltigen, oberflächlich leicht versauerten Böden vor und weisen eine reichhaltige Flora mit vielen seltenen Pflanzen wie geschützte Orchideen auf. Pfeifengraswiesen sind typische anthropogene Biotope, weshalb sie auf eine regelmässige Mahd angewiesen sind. Ihre potentielle Verbreitung ist bedeutend eingeschränkter als jene des *Calthions* und beschränkt sich insbesondere auf Gebiete um die grossen Mittellandseen. Viele der einstigen Flächen sind durch Intensivierung und Aufgabe von Grenzertragsflächen verschwunden. Die bedeutendsten Bestände finden sich heute um den Zürichsee (Delarze und Gonseth 2008).



Abbildung 8 Sumpfdotterblumenwiese.
(Quelle: Peter Bolliger)



Abbildung 9 Pfeifengraswiese. (Quelle: Peter Bolliger)

3.2.2 Riedflächen

Als typische Biotope in Flachmooren entstehen Riedflächen auf dauerhaft durch hohen Grundwasserstand vernässten Böden. Die Vegetation ist dominiert durch ausdauernde, schmalblättrige Sauergrasgewächse. Oft dominiert eine Art und verleiht dem Lebensraum ein homogenes Aussehen. Grosseggenniede (*Magnocaricion*) werden durch grosswüchsige

Seggenarten (60 bis 150 cm) dominiert (Abbildung 10). Der Lebensraum weist geringe Artenzahlen auf, beherbergt jedoch gewisse seltene Pflanzenarten. Die Grossseggenriede bilden Raum für die Fortpflanzung von Amphibien wie dem Wasserfrosch sowie zahlreichen Libellenarten. Riedflächen wurden früher für die Gewinnung von Einstreu regelmässig gemäht. Durch das Nachlassen des wirtschaftlichen Interesses und der Nutzung müssen die Biotope heute regelmässig gepflegt werden. Da Grossseggenriede auf sumpfigen Böden unterhalb von 1000 m ü. M. vorkommen, ist ihr potentiell Verbreitungsgebiet auf das Mittelland beschränkt. Auch wenn viele Standorte verschwunden sind, befinden sich grössere Bestände in Naturschutzgebieten um die Mittellandseen, insbesondere in der Region Zürich (Delarze und Gonseth 2008).

Dominieren niederwüchsige Sauergräser (unter 50 cm) spricht man von Kleinseggenrieden. Auf kalkarmen Böden über 1000 m ü. M. findet man häufig das Braunseggenried (*Caricion fuscae*), während auf den kalkreichen, basischen Böden im Mittelland das Davallseggenried (*Caricion davallianae*) dominiert, welches reich an Orchideen ist (Abbildung 11). Diese Davallseggenriede wurden in der Regel als Streuwiesen genutzt und werden heute entsprechend aus Naturschutzgründen gepflegt. Eine Beweidung ist selten. Das potentielle Verbreitungsgebiet liegt hauptsächlich im Berggebiet der Voralpen, den Alpentälern sowie im östlichen Mittelland, insbesondere im Kanton Zürich. Die Bestände in den Tieflagen beschränken sich heute auf Schutzgebiete (Delarze und Gonseth 2008).



Abbildung 10 Grossseggenried. (Quelle: Peter Bolliger)



Abbildung 11 Davallseggenried. (Quelle: Peter Bolliger)

3.2.3 Strassenbegleitgrün

Strassenbegleitgrün dient der besseren Einbettung von Verkehrsinfrastrukturen wie Kantonsstrassen und Autobahnen in die Landschaft, aber auch der Sicherheit. Der Mittelstreifen einer Autobahn dient zum Beispiel als Blendschutz vor den Scheinwerfern des Gegenverkehrs und als Orientierungshilfe. Die Grünflächen entlang von Autobahnen sind in einen intensiven und extensiven Pflegebereich unterteilt. Der Extensivbereich weist in der Regel einen Gehölzstreifen aus Sträuchern und Bäumen auf. Dessen Pflege zielt auf einen durchmischten Bestand von seltenen Gehölzen wie Elsbeere, Holzapfel oder Mehlbeere ab. Dabei wird bereits bei der Pflanzung darauf geachtet, dass der zukünftige Unterhalt möglichst effizient gestaltet werden kann (Tiefbauamt Kanton Zürich 1999).

Der Intensivbereich von Autobahnen ist gehölzfrei und wird im Sommer zweimal gemäht. Er ist in der Regel so gestaltet, dass er maschinell mit Grossmähern geschnitten wer-

den kann. Wiesenflächen im Extensivbereich werden zur Förderung der Artenvielfalt nur einmal nach dem Abblühen der Pflanzen gemäht, um so das Versamen der Blütenpflanzen zu gewährleisten. Der Rasenschnitt muss abgeführt werden (Tiefbauamt Kanton Zürich 1999; Abbildungen 12, 13).



Abbildung 12 Autobahn mit frisch gemähtem Böschungsbereich. (Quelle: Uwe Schlick/pixelio.de)



Abbildung 13 Unterhaltsarbeiten an Kantonsstrasse. (Quelle: Tiefbauamt Kanton Zürich)

3.2.4 Bahnbegleitgrün

Die Grünflächen der Bahnböschungen sind Teil der Bahninfrastruktur und werden so angelegt, dass der Bahnbetrieb sicher und reibungslos verläuft. Als ökologischer Vernetzungskorridor in der Kulturlandschaft hat das Bahnbegleitgrün einen naturschützerischen Wert. Durch die Neigung der Böschungen und die wärmespeichernden Bahnschotterflächen sind viele Standorte trockenwarm und weisen Ruderalfluren, Felsfluren, Trockenwiesen und trocken-warme Säume und Gebüsch auf. Bahnböschungen sind Lebensraum vieler Insekten und Reptilien der Roten Listen (Leugger und Buser 2009).

Die Unterhaltsziele in der intensiven Unterhaltszone zielen auf die Freihaltung des Lichtraumprofils und die Gewährleistung der Stabilität der Böschung und Vegetation um die Strecke vor Naturereignissen zu schützen. Das vorgegebene Lichtraumprofil (Baumhöhen) muss unter Berücksichtigung ökologischer Grundsätze und ästhetischer Aspekte eingehalten werden. Der Übergangstreifen in der intensiven Unterhaltszone dient als Vegetations-schranke (Abbildung 14). Durch regelmässiges Mähen wird ein dichter Grasbestand gefördert, der ein Einwachsen von Pflanzen von der Böschung in den Gleisbereich verhindert. Die extensive Unterhaltszone entspricht dem weiter entfernten Böschungsbereich (SBB et al. 2001).



Abbildung 14 Vegetationsfreier Gleisbereich und Übergangszone der intensiven Unterhaltszone. (Quelle: ikko/pixelio.de).

3.2.5 Grünflächen im Siedlungsgebiet

Öffentliche Grünräume im Siedlungsgebiet sind sehr divers und reichen von extensiv gepflegten Wiesen bis intensiv gepflegten Sportanlagen und Zierflächen (Abbildungen 15, 16). Sie dienen der Öffentlichkeit zur Erholung und aktiven Betätigung oder übernehmen repräsentative Funktionen. Die vorgesehene Nutzung bestimmt die Gestaltung und Vegetation: Je nach Belastung werden Gebrauchsrasen, Blumenrasen oder Blumenwiesen angelegt. Gebrauchsrasen sind die typischen Rasen für Grünanlagen im Siedlungsgebiet und formen einen eingeschränkt belastbaren Garten- und Parkrasen, zum Beispiel als Spiel- und Liegewiese. Der Rasenbestand soll ein dichtes und einheitliches Erscheinungsbild aufweisen und wird daher intensiv gepflegt. Blumenwiesen sind vielfältige Wiesen mit geringer Schnittintensität bestehend aus ausdauernden Gras- und Kräuterarten. Sie dienen vornehmlich als naturnahes Gestaltungsobjekt in Parkanlagen und sind nur sehr beschränkt belastbar. Als Kompromiss zwischen Gebrauchsrasen und Blumenwiese kann sich der Blumenrasen als extensiver Rasentyp mit reichem Bestand an Wildblumen und Kräutern immer mehr durchsetzen. Blumenrasen weisen einen grossen Anteil niedrigwachsender Kräuter auf. Blumenrasen können im Gegensatz zu Blumenwiesen begangen und somit als Spielwiese benutzt werden, erfordern jedoch einen etwas intensiveren Unterhalt. Neben den Rasenflächen erfüllen Hecken, Stauden, Rabatten und Bäume wichtige funktionale und gestalterische Funktionen (Wittig 2002; Nateco und zhaw 2012).



Abbildung 15 Öffentliche Parkanlage. (Quelle: Petra Dirscherl/pixelio.de)



Abbildung 16 Intensiv gepflegter Sportrasen. (Quelle: Peter Smola/pixelio.de)

3.3 Verwertung biogener Abfälle im Kanton Zürich

Im Kanton Zürich waren im Jahr 2014 37 Betriebe im Bereich Verwertung von biogenen Abfällen tätig. Dabei fand in den letzten Jahren ein Strukturwandel in der Branche weg von der Feldrand- und Platzkompostierung hin zur Vergärung statt. Die acht gewerblichen Vergärungsanlagen und sieben landwirtschaftlichen Biogasanlagen, welche biogene Abfälle in der Co-Vergärung einsetzen, verarbeiten mengenmässig rund 70% der im Kanton anfallenden biogenen Abfälle (Tabelle 2). In die Kompostierung gelangen rund 30%, wobei der Anteil der Feldrandkompostierung im Kanton Zürich als marginal bezeichnet werden kann (Kanton ZH 2015). Im schweizweiten Vergleich ist der Anteil energetisch verwertetem biogenem Abfall im Kanton Zürich etwas höher. So liegt der Anteil in sämtlichen 243 Verwertungsanlagen in den 20 vom Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche Schweiz untersuchten Kantonen bei 40,9% für die Vergärung und 11,0% für die landwirtschaftliche Co-Vergärung, während Platz- und Feldrandkompostierungsanlagen zusammen 48,1% der anfallenden Mengen aufnehmen (Schleiss 2014).

Tabelle 2 Verarbeitungsmengen biogener Abfälle im Kanton Zürich im Jahr 2014 nach Betriebstyp. (Kanton ZH 2015)

	Anzahl Anlagen	Geschlossen	Eröffnet	Verarbeitungs- menge t	Anteil %
Feldrandkompostierung	4	2		3'387	1,5
Platzkompostierung	17	1	2	65'238	28,4
Co-Vergärung	7			20'445	8,9
Vergärung	8		1	140'341	61,2
Sammelplatz	1	1		6	0,0
Total	37			229'410	

Die Gesamtverarbeitungs- menge im Kanton Zürich lag im Jahr 2014 bei rund 230'000 t. Mit rund 53% bilden die kommunalen Sammeldienste die Hauptquelle für biogene Abfälle, während 12% aus der Industrie und rund 35% aus Gartenbau und Landschaftspflege stammen. Aus den rund 160'000 t Biomasse welche im Jahr 2014 in den Vergärungsanlagen im Kanton verarbeitet wurden, konnten knapp 17 Mio. Nm³ (Normkubikmeter) Biogas gewonnen werden, welche 89 GWh Energie bereitstellten. Dabei beträgt der mittlere Gasertrag rund 100 Nm³ Biogas pro Tonne Frischmasse (Kanton ZH 2015).

4 Datengrundlagen und Methoden

4.1 Datenverfügbarkeit und Lücken

Gewisse für die vorliegende Studie benötigte Daten waren nicht per se vorhanden oder zugänglich. Dies betraf zum Beispiel die effektiven Unterhaltsflächen im Bereich Naturschutz und Grünflächen im Siedlungsgebiet. Diese mussten daher basierend auf Schätzungen oder vorhandenen Inventaren angenähert werden. Dasselbe galt für die Biomasseströme, insbesondere die Entsorgungsmengen des krautigen Landschaftspflegegrüns, welche weder von den Bewirtschaftern noch von den Verwertern separat erfasst werden. Auch hier musste auf Schätzungen durch Experten zurückgegriffen werden. Ein Rückschluss auf die Entsorgungsmenge aufgrund der jährlichen Entsorgungskosten und dem Tonnenpreis wäre teilweise möglich gewesen. Jedoch beeinflusst die Witterung (Regen, Feuchtigkeit) das Gewicht des Materials so stark, dass mit sehr grossen Unsicherheiten gerechnet werden muss. Ausserdem wird in der Praxis Material oft von unterschiedlichen Flächen zusammen abgeführt und mit Fraktionen aus der Hecken- und Baumpflege gemischt. Auch wenn die Biogasanlagenbetreiber die angelieferten Mengen detailliert erfassen, ist ein Rückschluss auf die Ursprungsflächen daher nicht möglich, da alles Material aus der Garten- und Landschaftspflege von Privaten und der öffentlichen Hand unter derselben Kategorie erfasst wird. Aus Gründen des Datenschutzes konnten keine Daten über die Entsorgungsmengen einzelner Kunden ausgehändigt werden, was zumindest eine Unterscheidung zwischen Material der öffentlichen Hand und von Privaten erlaubt hätte.

Zudem schwankt der jährliche Biomasseaufwuchs je nach Witterung stark. Dies wirkt sich direkt auch auf die möglichen Landschaftspflegegrünerträge aus. Insgesamt können die im Projekt verwendeten Literaturwerte als angemessene Annäherung betrachtet werden.

4.1.1 Leitfadeninterviews und Literaturrecherche

Zur Bestimmung der Biomasseströme des Landschaftspflegegrüns, wurden semi-strukturierte Leitfadeninterviews mit Fachleuten aus dem Unterhalt der ausgewählten Grünräume geführt. Zusätzlich wurden mehrere im Unterhalt involvierte Stellen konsultiert um Detailfragen zu klären und - sofern möglich - Angaben über Entsorgungsmengen zu erhalten. Es muss angemerkt werden, dass in der Praxis die Entsorgungsmengen selten genau erfasst werden. Jedoch konnten die Experten in der Regel grobe Erfahrungswerte nennen.

Für die einzelnen Grünräume wurden folgende Personen und Stellen konsultiert:

Strassenbegleitgrün (Autobahn):

- David Amrein (Leiter Unterhaltsregion I Tiefbauamt, Kanton Zürich)

Bahnbegleitgrün:

- Peter Gerber (Infrastruktur-Instandhaltung-Region Ost – Regionale Funktion Natur, Schweizerische Bundesbahnen SBB)
- Albert Müller (Leiter Natur und Naturrisiken, Schweizerische Bundesbahnen SBB)

Öffentliche Grünanlagen im Siedlungsgebiet:

- Axel Fischer (Leiter Unterhalt, Grün Stadt Zürich)
- Hans-Jürg Bosshard (Unterhalt, Grün Stadt Zürich)
- Alex Borer (Hauptabteilungsleiter Friedhöfe/Gärtnerei, Stadtgärtnerei Winterthur)
- Peter Hirsiger (Leiter Abteilung Grünanlagen, Stadtgärtnerei Winterthur)

Feuchtwiesen und Riedflächen:

- Erich Horber (Betriebsleiter Werkhof, Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich)

Des Weiteren wurde eine Literaturrecherche zu bestehenden Potenzialstudien im In- und Ausland sowie zu den Grundlagen des Grünflächenunterhalts durchgeführt. In die Ergebnisse flossen zahlreiche Studien und Grundlagen ein, welche durch die konsultierten Stellen zur Verfügung gestellt wurden.

4.1.2 Berechnung nachhaltig nutzbare Biomasse und Energiepotenziale

Flächen

Um das nachhaltig nutzbare Biomassepotenzial für die fünf Grünraumtypen zu bestimmen, wurden möglichst genaue Flächenangaben (in ha) für die untersuchten Biotope und Grünflächen im Kanton Zürich benötigt. Gewisse Flächenangaben, insbesondere die Grünflächen im Siedlungsgebiet, sind eine grobe Zusammenfassung unterschiedlichster Grünflächen, welche von sehr intensiv bis eher extensiv gepflegt reichen. Daher weisen diese auch unterschiedliche Landschaftspflegegrünerträge auf. Dies galt es im weiteren Vorgehen zu berücksichtigen, insbesondere bei den verwendeten Literaturwerten zum theoretischen Biomasseertrag. Für die Potenzialabschätzung des Bahnbegleitgrün wurde bezüglich Flächen und theoretischem Biomasseertrag die Methodik und die Annahmen der Machbarkeitsstudie «Energetische Verwertung von Grüngut aus dem Gleisunterhalt der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB)» von Hügli et al. (2009) angewendet.

Folgende Datengrundlagen für die Flächenbestimmung der Biotope und Grünflächen wurden verwendet:

- Feuchtwiesen (295 ha): Lebensraumkartierung Kanton Zürich (Amt für Landschaft und Natur 2013)
- Riedflächen: Lebensraumkartierung Kanton Zürich (Amt für Landschaft und Natur 2013)
 - Grosseggried (495 ha)

- Kleinseggenried (288 ha)
- Strassenbegleitgrün Autobahn (102 ha): Berechnet aus Angaben des Tiefbauamtes Kanton Zürich für die Gebietsregion VII (ZH, SH, SZ) mit 218 ha Grünfläche (Intensivbereich) für ca. 320 km Nationalstrassen. Dies ergibt 0,68 ha Grünfläche pro km Nationalstrasse. Gemäss ASTRA (2014) umfasst das Nationalstrassennetz im Kanton Zürich 151 km, woraus 102 ha Grünfläche entlang von Nationalstrassen im Kanton resultieren.
- Strassenbegleitgrün Kantonsstrassen (325 ha): Gemäss Angabe Tiefbauamt Kanton Zürich
- Bahnbegleitgrün (330 ha); gemäss IVEG (SBB 2014)
 - Fettwiese: (105 ha)
 - Übergangstreifen: (284 ha)
 - Hochstaudenflur: (65 ha)
 - Magerwiesen: (29 ha)
- Grünflächen im Siedlungsgebiet (670 ha). Ausgangsdaten: 1197 ha kantonale und kommunale Freihaltezonen B (Parkanlage, Friedhof) und C (Festplatz, Sportanlage, Freibad) gemäss Nutzungszonen und Überbauungsstand der Gemeinden (Baudirektion Kanton Zürich 2012). Davon sind gemäss Untersuchung der Grünräume in der Stadt Zürich von Bircher et al. (1999) rund 56% Rasenfläche und der Rest Hecken, Stauden, versiegelte Flächen etc. Daraus ergeben sich 670 ha Rasenflächen im Siedlungsgebiet des Kantons.

Berechnung Biomasseertrag

Basierend auf den ermittelten Flächen wurde das nachhaltig nutzbare Biomassepotenzial des Landschaftspflegegrüns ermittelt. Grundsätzlich wurden anerkannte Werte aus der Literatur verwendet. Da die Biotop- und Grünflächen in sich vielfältig sind, galt es einen Wert zu finden, welcher sich an einem Durchschnitt der unterschiedlichen Grünflächen in den Typen annähert. Die theoretische Biomasseaufwuchsrate wird in der Literatur in Tonnen pro Hektar und Jahr angegeben. Dabei kann sich das Gewicht abhängig vom Wassergehalt des Biomassematerials auf die Feuchtmasse ($t_{FM}/ha \cdot a$) oder Trockenmasse ($t_{TM}/ha \cdot a$) und in seltenen Fällen auf das Gewicht der organischen Trockenmasse ($t_{oTM}/ha \cdot a$) beziehen. Dies gilt es insbesondere bei den verwendeten theoretischen Biogaserträgen zu beachten. Durch die Multiplikation der Fläche mit der theoretischen Biomasseaufwuchsrate erhält man den flächenspezifischen jährlichen Biomasseertrag in Tonnen pro Jahr (t/a). Für die Vergleichbarkeit der Biomasseströme der Biotop- und Grünflächen in der Gesamtübersicht (Kapitel 6.2 und 7) wurden alle Ergebnisse, welche sich auf die Feuchtmasse pro Jahr (t_{FM}/a) beziehen in Trockenmasse pro Jahr (t_{TM}/a) umgerechnet. Dabei wurde ein Trockenmassegehalt von 30% angenommen, welcher gemäss (AXPO s.d.) jenem von Riedgras und Mähgut entspricht und ungefähr in der Mitte der Spannbreite möglicher Substrate wie Grassillage (40%), Landschaftspflegematerial (50%) oder Rasenschnitt (11%) liegt.

In vergleichbaren Studien wird teilweise mit Ernteverlusten von 10% bis 30% sowie Lagerverlusten von 5% gerechnet (Hügli et al. 2009). Ein Ernteverlust von 10% wird in den Biotopen und Grünflächen berücksichtigt, da dieser bei sämtlichen Erntevorgängen auftritt. Lagerverluste werden in der vorliegenden Studie hingegen nicht berücksichtigt, da die Transport- und Lagerpraxis sich in der Realität stark unterscheidet und schwierig zu generalisieren ist. Folgende Werte wurden für die Abschätzung des Biomassezuwachses auf den untersuchten Flächen verwendet:

- Feuchtwiesen:
 - 2,5 bis 6 t TM/ha*a Pfeifengraswiese (Menzel et al. 2014)
 - 4 bis 7 t TM/ha*a Sumpfdotterblumenwiese (Menzel et al. 2014)
 - Verwendete Spannweite für Abschätzung: 2,5 bis 7 t TM/ha*a
- Riedflächen:
 - Grosseggried 7 t TM/ha*a (Menzel et al. 2014)
 - Kleinseggenried 2,5 t TM/ha*a (Menzel et al. 2014)
- Strassenbegleitgrün: 13 t FM/ha*a für Intensivbereich mit zwei Schnitten pro Vegetationsperiode (Romeiß et al. 2006)
- Bahnbegleitgrün:
 - 2,94 t TM/ha*a fette Standorte (Hügli et al. 2009)
 - 2,35 t TM/ha*a magere Standorte (Hügli et al. 2009)
- Grünflächen im Siedlungsgebiet: 12 t FM/ha*a abgeleitet aus Bircher et al. (1999) und Rohler et al. (2015)

Berechnung Biogas- und Energieerträge

Für die auf Basis der Fläche und definierten Biomasseaufwuchsraten bestimmte anfallende Biomasse in den Biotopen und Grünflächen kann nun ein theoretischer Biogasertrag in Normkubikmeter pro Jahr (Nm^3/a) berechnet werden. Der Biogasertrag ist substratspezifisch und hängt unter anderem vom Verhältnis von organischer Trockensubstanz zum Gesamtgewicht ab. In der Realität schwankt der Biogasertrag pro Tonne Biomasse je nach Erntezeitpunkt sowie Dauer der Zwischenlagerung. Grundsätzlich gilt, je später der Erntezeitpunkt, desto höher ist der Ligningehalt in den Pflanzen und desto schlechter ist das Verhältnis zwischen organischer Trockensubstanz und Gesamtgewicht. Deshalb wurden, ähnlich wie beim theoretischen Biomasseertrag, theoretische Biogasertragswerte aus der Literatur verwendet. Als Grundlage dient der von der AXPO Energie AG zusammengestellten Katalog von verwertbaren Substraten (AXPO s.d.). Die theoretischen Biogasertragswerte können sich auf die Feuchtmasse (FM), Trockenmasse (TM) oder auf die organische Trockenmasse (oTM) des Landschaftspflegegrüns beziehen.

Ebenfalls substratabhängig ist der Methangehalt des entstehenden Biogases. Das enthaltene Methan ist der eigentliche Energieträger des Biogases. Methan verfügt über einen Heizwert von $3,89 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$. Entsprechend wurde für jedes Biotop und jede Grünfläche ausgehend vom theoretischen Biogasertrag und dem entsprechenden prozentualen Methangehalt des flächenspezifischen Substrats der Ertrag an reinem Methangas bestimmt. Durch Multiplikation des Methanertrags mit dem Heizwert kann somit der jährliche theoretische Energieertrag in Megajoule (MJ) der verschiedenen Typen berechnet werden.

Die folgenden Werte wurden für den theoretischen Biogasertrag sowie den Methangehalt für die flächenspezifischen Substrate verwendet:

- Feuchtwiesen: Landschaftspflegematerial $255 \text{ Nm}^3/\text{t TS}$; Methangehalt 50% (AXPO s.d.)
- Riedflächen: Seggen $475 \text{ Nm}^3/\text{t TS}$; Methangehalt 55% (AXPO s.d.)
- Strassenbegleitgrün:
 - Landschaftspflegematerial $128 \text{ Nm}^3/\text{t FS}$; Methangehalt 50% (Minimalwert Abschätzung; AXPO s.d.)
 - Material von Autobahn $150 \text{ Nm}^3/\text{t FS}$; Methangehalt 55% (Maximalwert Abschätzung; Romeiß et al. 2006)
- Bahnbegleitgrün: Landschaftspflegematerial $255 \text{ Nm}^3/\text{t TS}$; Methangehalt 50% (Minimalwert Abschätzung; AXPO s.d.)

- Grünflächen im Siedlungsgebiet: Landschaftspflegematerial 128 Nm³/t FS; Methangehalt 50% (AXPO s.d.)

Eine Übersicht über die Potentialberechnungen für die Biotop- und Grünflächen befindet sich im Anhang.

4.2 Bestimmung Verwertungspotenzial und Eignung von Landschaftspflegegrün

Um die Möglichkeiten und die Eignung verschiedener Biomassesubstrate aus der Landschaftspflege für die energetische Verwertung zu bestimmen, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt und zusätzlich Fachpersonen aus der Bioenergiebranche und der Forschung konsultiert. Neben der Eignung und somit Wirtschaftlichkeit für die energetische Verwertung wurden auch praktische Optimierungsverfahren, welche die Gaserträge aus Landschaftspflegegrün erhöhen sowie die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen diskutiert. Die folgenden Experten wurden konsultiert:

Landwirtschaftliche Biogasanlage (Nassfermentation):

- Beat Suter (Geschäftsführer, Biomasse Energie AG)

Trockenfermentation:

- Helmut Vetter (Geschäftsführer, Biogas Zürich AG)
- Peter Feusi (Betriebsleiter, Biogas Zürich AG)
- Bernhard Wanner (Leiter Qualitätsmanagement, AXPO Power AG)

Hydrothermale Carbonisierung HTC:

- Prof. Dr. Rolf Krebs (Zentrumsleitung natürliche Ressourcen, ZHAW Life Sciences und Facility Management)

Direkt-thermische Verwertung unverholzter Biomasse:

- Florian Studer (Projektmanager Bioburn AG)

Kostendeckende Einspeisevergütung:

- Patrick Gasser (Renewable & Disclosure Services, Swissgrid SA)

5 Verfahren zur energetischen Verwertung von Landschaftspflegegrün

5.1 Anaerobe Vergärung von Landschaftspflegegrün

5.1.1 Grundsätzliche Eignung der Substrate

Aufgrund der unterschiedlichen Pflanzenzusammensetzung und Unterhaltspraxis unterscheidet sich Schnittgut von einem städtischen Park stark vom Schnittgut von einer Naturschutzfläche. Die Eignung eines Pflanzenbestandes für die anaerobe Vergärung wird primär von sechs biotischen Parametern bestimmt: Wassergehalt, Rohfasergehalt, Rohzucker, Rohproteingehalt und Anteile an Zellulose und Lignin. Der Gasertrag hängt direkt von der Pflanzenzusammensetzung des Schnittguts sowie vom Erntezeitpunkt ab. Mit zunehmender Vegetationsdauer nimmt der Anteil an vergärbaren Rohproteinen und Rohzuckern ab, während der Anteil an lignifiziertem Kohlenstoff zunimmt. Das Lignin ist anschliessend durch die Mikroorganismen in der anaeroben Fermentation nicht mehr aufschliessbar und steht nicht mehr für die Biogasproduktion zur Verfügung. Daher nimmt die Eignung für die Vergärung ab, je später in der Vegetationsperiode der Schnitt stattfindet (ICU 2011). Auf Naturschutz- und Biodiversitätsförderflächen soll aber das natürliche Versamen der Blütenpflanzen gewährleistet sein. Deshalb erfolgt der erste Schnittzeitpunkt per Schutzverordnung erst ab

dem 15. Juni im Talgebiet und ab 1. Juli in den Bergzonen I und II sowie 15. Juli in den Bergzonen III und IV (DZV 2015). Aufgrund dessen ist durch die fortgeschrittene Lignifizierung das Landschaftspflegegrün von Naturschutzflächen für die anaerobe Vergärung weniger wertvoll als Schnittgut von intensiver gepflegten Grünflächen auf denen schon früh im Jahr und im Jahresverlauf häufiger Schnitte erfolgen (vgl. Wiese, Sukzession- und Biotopfläche in Tabelle 3).

Der Biogasertrag nimmt auch bei zu häufigem Mähen ab, da der Wassergehalt im Schnittgut hoch, der Anteil an Zuckern und Rohproteinen jedoch niedrig ist. Abgeleitet von der Studie «Konzept zur klimaschonenden Verwertung von Mähgut und Laub in Berlin» (ICU 2011) lässt sich das Biogaspotenzial von Schnittgut von öffentlichen Grünflächen auf die Pflegeprofile der Vereinigung Schweizerischer Stadtgärtnereien und Gartenbauämter übertragen (vgl. Gebrauchsrasen in Tabelle 3).

Tabelle 3 Eignung Schnitt unterschiedlicher Rasen- und Wiesentypen nach Pflegeintensität (Hügli et al. 2009; ICU 2011)

Typ	Pflege- klasse	Schnitt- Häufigkeit/a	Pflanzenbestand	Eignung zur Vergärung
Gebrauchsrasen	I	30	homogen	eher ungeeignet
	II	25		eher ungeeignet
	II	15		bedingt geeignet
Blumenrasen		6	Rasen mit erhöhten Anteil an Wildblumen und Kräutern	geeignet
Blumenwiese		1–3	Blüten und artenreiche Wiese mit vielfältigen Gras- und Kräuterarten	geeignet
Wiese, Sukzession- und Biotopfläche		1–2	Durch Sukzession stark differenziert	bedingt geeignet

Wie in Tabelle 4 am Beispiel Grassilage ersichtlich, nimmt der Biogasertrag pro Tonne Feuchtmasse von mehrschürigen Wiesen mit jedem Schnitt zu, weil der Anteil an organischer Trockensubstanz zunimmt. Vergleicht man jedoch die Biogaserträge pro Tonne organischer Trockenmasse, wird ersichtlich, dass die Biogaserträge von Landschaftspflegematerial mit 300 Nm³/t oTS deutlich unter jenem von Rasenschnitt (600 Nm³/t oTS) und Grassilage liegen (690 Nm³/t oTS). Der Biogasertrag von Seggen (500 Nm³/t oTS) liegt jedoch im Bereich von kommunalem Grüngut bestehend aus Laub und Gras (500 Nm³/t oTS).

Deutlich tiefer liegen die Gaserträge von Rindergülle (17 Nm³/t FM) und Mist (80 Nm³/t FM), weshalb landwirtschaftliche Biogasanlagen, welche primär auf die Vergärung von tierischen Exkrementen ausgelegt sind, geeignete Co-Substrate benötigen, um den Gasertrag zu erhöhen. Hierzu kann Landschaftspflegematerial durchaus eine interessante Option darstellen. Vergleicht man jedoch die Biogaserträge von Landschaftspflegegrün mit anderen möglichen Co-Substraten wie Altbrot (800 Nm³/t oTS) oder Frittierfett (1000 Nm³/t oTS) zeigt sich, dass es deutlich ertragreichere und somit wirtschaftlichere Substrate gibt. Allerdings sind die genannten Werte Literaturwerte, welche in der Regel unter kontrollierten Bedingungen bestimmt werden und von der Praxis erheblich abweichen können. Im Folgenden wird daher die Eignung von Landschaftspflegegrün aus Sicht der Praxis nach verschiedenen technologischen Verwertungsmöglichkeiten betrachtet.

Tabelle 4 Gaserträge ausgesuchter Substrate für die anaerobe Vergärung (AXPO s.d.)

Substrat	Gehalt CH ₄	Gasertrag			Trockensubstanz	
		Nm ³ /t FM	Nm ³ /t TM	Nm ³ /t oTM	TS	oTS
Rasenschnitt	60%	59	540	600	11%	90%
Grassilage	54%	246	615	690	40%	89%
Grassilage, 1. Schnitt	54%	216	635	690	34%	92%
Grassilage, 2. Schnitt	54%	257	642	690	40%	93%
Grassilage, 3. Schnitt	54%	269	649	690	42%	94%
Grassilage, 4. Schnitt	54%	301	656	690	46%	95%
Landschaftspflegematerial	50%	128	255	300	50%	85%
Segge (Riedgras/Zypergras)	55%	143	475	500	30%	95%
Grüngut kommunal mit Speiseabfälle	56%	100	525	590	19%	89%
Grüngut kommunal ohne Speiseabfälle	55%	85	445	500	19%	89%
Rindergülle	55%	17	244	325	7%	75%
Rindermist	55%	80	320	400	25%	80%
Pferdemist	55%	65	250	333	26%	75%
Altbrot	53%	604	679	700	89%	97%
Frittierfett	68%	874	920	1000	95%	92%
Maissilage	53%	204	636	663	32%	96%
Speisereste	61%	99	553	650	18%	85%

5.1.2 Praxiserfahrung Trockenfermentation

Die Verwertung von Landschaftspflegegrün von Naturschutzflächen stellt die Biogas Zürich AG, welche eine Kompogasanlage betreibt, vor gewisse Herausforderungen. Das Material von Naturschutzflächen muss zuerst mit einem Häcksler zerkleinert werden. Dies verursacht zusätzliche Personal- und Maschinenkosten. Zudem benötigt das meist trockene Material wegen grosser Volumina viel Lagerfläche, weshalb nicht genügend Kapazität in den Lagerhallen mit Geruchsfiler vorhanden ist. Das Lagern auf dem offenen Lagerplatz führt jedoch zu unerwünschten Geruchsemissionen.

Das Material aus dem städtischen Grünflächenunterhalt ist durchaus für die Vergärung geeignet. Dieses wird im Falle der Biogas Zürich AG primär von Grün Stadt Zürich angeliefert und stammt von unterschiedlichen Flächen, weshalb es stark durchmischt ist. Insbesondere frischer Rasenschnitt (z.B. Blumenrasen) kann interessante Gaserträge liefern. Problematisch ist Material von Naturschutzflächen, wobei der zweite Schnitt etwas besser verwertbar ist, als der erste Schnitt, welcher bis nach dem Versamen der Blütenpflanzen stehen gelassen wird. Etwa 1% der mit 29'000 t Kapazität auf Vollast laufenden Anlage gehört zu dieser problematischen Fraktion von Landschaftspflegegrün, was ungefähr 200 bis 300 t pro Jahr entspricht. Dieses liefert praktisch keinen Gasertrag, weshalb das Unternehmen an möglichen anderen Verwertungsmöglichkeiten interessiert ist. Biogas Zürich schätzt, dass Verkehrsbegleitgrün durchaus gut für eine Vergärung geeignet sein könnte, insbesondere der zweite Schnitt.

Die Entsorgungskosten für Grüngut in der Anlage der Biogas Zürich AG betragen 120 CHF pro Tonne Material. Diese setzen sich aus den Personalkosten, dem Anlagenbetrieb und der Amortisation der Anlage zusammen. Damit die Anlage rentabel ist, muss ein Gasertrag von 50 CHF pro Tonne verwertetes Material erreicht werden. Durch die Verwertung von Landschaftspflegegrün von Naturschutzflächen kann dieser Ertrag nicht erreicht werden, weshalb dessen Verwertung defizitär ist. Als Entsorgungsunternehmen nimmt Biogas Zürich AG jedoch sämtliches Material an.

5.1.3 Praxiserfahrung landwirtschaftliche Co-Vergärung

Die Bio Energie AG ist als Betreiber einer landwirtschaftlichen Vergärungsanlage auf ausgesuchte Co-Substrate angewiesen, welche den eher geringen Gasertrag der verwerteten Rindergülle erhöhen. Neben Substraten aus der Industrie (Zuckerrübenabgang, Backwaren) wird auch Rasenschnitt aus den umliegenden Gemeinden und Schilf von Naturschutzflächen des Kantons verwertet. Rasenschnitt wird grundsätzlich als gutes Co-Substrat betrachtet, jedoch konnten im Jahr 2014 nur rund 70 t verwertet werden, während die Anlage gesamthaft rund 39'000 t Biomasse verarbeitete. Während die Gülle in der Anlage einen geschätzten Gasertrag von rund 20 Nm³/t FM liefert, dürfte jener von Rasenschnitt bei rund 30 bis 40 Nm³/t FM liegen. In der Umgebung gibt es noch viele ungenutzte Potenziale aus dem Bereich Grünflächen. Die Betreiber haben aktiv versucht, Rasenschnitt von der nahe gelegenen Autobahn zu erhalten. Der für den Unterhalt zuständige Kanton hat aufgrund möglicher Verunreinigungen jedoch kein Interesse bekundet.

Entscheidend für die Eignung ist gemäss Betriebsleiter die Vorverkleinerung des Materials. Momentan wird dazu eine Landwirtschaftsmaschine verwendet. Jedoch möchte das Unternehmen in eine Spezialmaschine investieren um das Material optimal für die Vergärung vorzubereiten. So kann der Abbau durch die Mikroorganismen verbessert und der Energieaufwand für das Rühren im Fermenter verringert werden.

Da die landwirtschaftliche Anlage, anders als die aus den klassischen als Entsorgungsunternehmen entstandenen Trockenfermentierungsanlagen, nicht sämtliches Material annimmt und somit wenig ungeeignetes Material wie Wurzelstöcke erhält, sind die Abgabepreise mit 50 bis 100 CHF pro Tonne Material günstiger.

5.1.4 Optimierte Vergärung durch Vorbehandlung

Um den Prozess der anaeroben Vergärung zu optimieren, wurden zahlreiche Verfahren zur Vorbehandlung der Biomassesubstrate entwickelt. Diese zielen darauf ab, die spezifische Oberfläche des Substrates zu vergrössern, um somit den Vergärungsprozess zu beschleunigen oder den Biogasertrag zu steigern. Mögliche Verfahren sind die mechanische Feststoff- oder Nasszerkleinerung, biologische Verfahren mittels Einsatz von Enzymen oder Bakterien sowie das Aufbrechen der Pflanzenzellen durch Hitze und Druck, Ultraschall oder elektrische Spannung. Für detaillierte Beschreibungen der unterschiedlichen Methoden sei auf Menzel et al. (2014) und Montgomery und Bochmann (2014) verwiesen.

Solche Vorbehandlungen erlauben den Einsatz von eher schwierig zu vergärenden Substraten wie ligninreichem Material. Da durch eine Vorbehandlung Substrate schneller und weitgehender abgebaut werden, verringert sich die Verweilzeit im Fermenter. Für Nassfermentationsanlagen ergibt sich der Vorteil, dass die Rühr- und Pumpfähigkeit des Gärsubstratgemischs zunimmt und sich weniger Schwimmdecken aus Feststoffen auf dem flüssigen Gärsubstrat bilden (Menzel et al. 2014).

Grundsätzliche Aussagen über die Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Effizienz durch Substratvorbehandlung lassen sich nicht machen. Die ideale Methode hängt von der Grösse der Anlage und den primär verwerteten Substraten ab (Menzel et al. 2014). Am verbreitetsten dürften jedoch mechanische Verfahren wie Schredder, Messermühlen und Hammermühlen sein. Insbesondere Hammermühlen sind für die Verwertung von Landschaftspflegegrün geeignet, da sie einfach und günstig im Betrieb sind und verglichen mit Systemen, welche mit Klingen arbeiten, weniger anfällig für Beschädigungen durch Steine sind. Momentan liegen noch wenige Studien vor, welche untersuchten, ob der zusätzliche Energiebedarf einer Hammermühle durch gesteigerte Biogaserträge und Energieersparnisse in der Rührtechnik

kompensiert werden kann. Laborversuche deuten jedoch auf eine positive Energiebilanz hin (Montgomery und Bochmann 2014).

5.1.5 Optimierung von Ernte und Logistik für anaerobe Vergärung

Die Ernte und Logistik ist eine Herausforderung bei der energetischen Verwertung von Landschaftspflegegrün. Insbesondere der Transport vom Biomasseanfall zum Verwertungsort und eine allfällige Lagerung müssen möglichst effizient und verlustfrei gestaltet werden. Bei der Lagerung von Biomasse laufen immer biologische Prozesse ab, wodurch das Risiko von Substanz- und Qualitätsverlust beispielsweise durch Abbauprozesse besteht. Anfallendes Schnittgut sollte daher möglichst rasch in die Verwertung überführt werden. Folglich würde in der Vegetationsphase und zu den gesetzlich vorgeschriebenen Schnittzeitpunkten von Naturschutzflächen viel Landschaftspflegegrün auf einmal anfallen. Um die verwertbare Biomasse raum-zeitlich besser verfügbar zu machen, sind daher Konservierungstechniken für eine bessere Lagerfähigkeit notwendig (Kaltschmitt et al. 2009).

Am besten bewährt hat sich dafür die Feuchtkonservierung in Form einer Silierung unter Luftabschluss. Damit kann der aerobe Abbauprozess gestoppt und der anaerobe Abbau in Richtung Milchsäuregärung gelenkt werden. Somit wird der Gärprozess ab einem gewissen Säurewert von selber unterbunden. Auch wenn durch die Silierung ein Verlust von vergärbaren Zuckern (ca. 3%) und durch die Lagerung ein Verlust an Trockenmasse resultiert, ergeben sich auch Vorteile durch die Silierung. So zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass siliertes Material oft höhere Biogaserträge liefert als unsiliertes. Die Silierung führt zu einem Aufschlusseffekt, weshalb die Fermentation in der Biogasanlage, ähnlich wie durch eine Vorbehandlung, optimiert wird. Ausserdem kann für die Silierung auf bewährte Techniken aus der Landwirtschaft zurückgegriffen werden (Kaltschmitt et al. 2009; Menzel et al. 2014; Abbildungen 17, 18).



Abbildung 17 Silierung von Wiesenschnitt.
(Quelle: Uschi Dreiuicker/pixelio.de)



Abbildung 18 Siloballen. (Quelle: Martin Schemm/pixelio.de)

5.2 Pelletierung von Landschaftspflegegrün für direkt-thermische Verwertung

Die Bioburn AG hat ein patentiertes Pelletierverfahren entwickelt, welches eine Pelletierung und thermische Nutzung von Landschaftspflegegrün ermöglicht. Ursprünglich wurde das Verfahren für die Pelletierung von Pferdemit entwickelt. Von der Form und dem Abbrandverhalten her sind die Pellets als Alternative zu Holzpellets in modernen Pelletheizungen einsetzbar. In Versuchen hat sich gezeigt, dass Landschaftspflegegrün durchaus pelletierbar ist. Als mögliche Rohmaterialien werden Schilf, Stroh, Sträucherhäcksel, Rasen- und Wie-

senschnitt auch von Strassenböschungen sowie Laub genannt, welches in Biogasanlagen wenig Ertrag bringt. Aus Kostengründen wurden noch keine Brenntests mit Pellets aus Landschaftspflegegrün durchgeführt. Die Energiedichte liegt jedoch wahrscheinlich unter derjenigen von Holz (4,7 kW/kg), insbesondere wenn das Ausgangsmaterial aus Rasenschnitt besteht. Durch eine Optimierung der Pelletiermasse und Mischung mit anderen Substraten kann der Energiegehalt von Pellets mit Rasenschnitt gesteigert werden (Abbildungen 19, 20).



Abbildung 19 Biomassepellets. (Quelle: bio-burn.ch)



Abbildung 20 Holzpellets. (Quelle: [Dr. Klaus-Uwe Gerhardt/pixelio.de](http://Dr.Klaus-Uwe.Gerhardt/pixelio.de))

Da sich der Preis für Pellets nach dem Energiegehalt richtet, schätzt die Bioburn AG das Produkt aufgrund der Marktlage als wettbewerbsfähig ein. Aufgrund der geltenden gesetzlichen Bestimmungen ist das Verbrennen von unverholzter Biomasse jedoch noch nicht gestattet (Kapitel 2.3.2). Für die Erarbeitung von Grundlagen läuft derzeit ein Pilotprojekt.

Pelletiermaschinen erfordern verglichen mit Biogasanlagen geringe Investitionen, benötigen wenig Platz und sind im Betrieb praktisch vollautomatisiert. Folglich könnte an zahlreichen Standorten, zum Beispiel auf Landwirtschaftsbetrieben, ein dezentrales Produktionsnetz aufgebaut werden. Somit wäre auch die Logistik optimierbar, da kürzere Fahrten notwendig sind und regionale Wirtschaftskreisläufe gestärkt werden können. Mit einem Wassergehalt unter 15% sind die Pellets ohne Probleme lagerbar und einfach zu transportieren.

5.3 Eignung von Landschaftspflegegrün für hydrothermale Carbonisierung

In der Schweiz sind momentan erst zwei Anlagen mit einem Reaktor für eine hydrothermale Carbonisierung (HTC) von biogenen Abfällen in Betrieb, welche hauptsächlich Klärschlamm verarbeiten. Hierzulande lassen sich HTC-Anlagen momentan nicht wirtschaftlich betreiben. Zum einen besteht kaum ein Markt für HTC-Kohle, da die Preise durch die in grosser Menge abgebaute Braunkohle nach unten gedrückt werden und somit kaum Wertschöpfung entsteht. Ausserdem benötigt das Verfahren grosse Mengen an Prozesswasser, welches aufwändig aufbereitet werden muss. Daher bietet sich ein Einsatz hauptsächlich für die Verwertung von Klärschlamm bei den Kläranlagen an, wo das Prozesswasser direkt aufbereitet werden kann. Zum anderen muss Klärschlamm schon heute unter grossem Energieaufwand für die Verbrennung in Kehrlichtverbrennungsanlagen oder Zementwerken getrocknet werden.

Als Ausgangssubstrat kann fast alle Biomasse dienen, also auch Landschaftspflegegrün. In der Praxis wird bereits Grüngut zusätzlich zum Klärschlamm in den HTC-Anlagen verar-

beitet. Ein Trockensubstratgehalt im Ausgangsmaterial von 20% bis 30% ist ideal um das Verhältnis zwischen HTC-Kohleertrag und dem Einsatz von Prozesswasser zu optimieren. Ähnlich wie bei der anaeroben Vergärung verschlechtert ein hoher Lignin-Gehalt den Prozess. Eine Verarbeitung von belastetem Grüngut, zum Beispiel von Strassenrändern, wäre möglich. Da sich die Schadstoffe in der Kohle ablagern, müsste jedoch sicher gestellt werden, dass die Kohle nur in Anlagen mit entsprechender Rauchgasfilterung verbrannt würde.

6 Potenziale der energetischen Verwertung des Landschaftspflegegrüns im Kanton Zürich

6.1 Potenziale der untersuchten Grünflächen- und Biotoptypen

Im Folgenden werden für die fünf untersuchten Grünflächentypen die Unterhaltspraxen im Kanton Zürich aufgezeigt. Als Grundlage dafür dienen zum einen die geltenden Vorschriften seitens des Kantons und des Bundes. Zum anderen fliessen die Ergebnisse aus den Interviews mit den für den jeweiligen für Unterhalt zuständigen Personen ein. Daraus leiten sich die Biomasseströme des Landschaftspflegegrüns der jeweiligen Fläche ab. Ausserdem wurde die Eignung der jeweiligen Substrate mit den Verantwortlichen für den Unterhalt sowie mit den Fachleuten aus der Verwertung besprochen und mit Erkenntnissen aus der Literatur ergänzt.

Die Ausführungen über den Unterhalt der Naturschutzflächen im Zuständigkeitsbereich des Kantons (überkommunale Schutzgebiete) gelten (grösstenteils) sowohl für Feuchtwiesen als auch für Riedflächen. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden die Grundlagen zum Unterhalt beider Biotoptypen zu Beginn des Kapitels 6.1.1 über die Feuchtwiesen erläutert. Flächenspezifische Informationen werden, insbesondere für die Riedflächen (Kapitel 6.1.2) jeweils als solche kenntlich gemacht.

6.1.1 Feuchtwiesen

Zuständig für die Pflege der über 1000 überkommunalen Schutzgebiete und Schutzgebiete von nationalem Interesse ist die Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich. Diese koordiniert mit ca. 2000 Landwirten den jährlichen Schnitt der Magerwiesen, Feuchtwiesen und Riedgebiete. Flächen, welche nicht von Landwirten auf Vertragsbasis bewirtschaftet werden können, weil sie beispielsweise Spezialmaschinen erfordern, werden von den Unterhaltsequipen des Kantons selber gepflegt. Dies sind in der Regel stark vernässte Biotope wie Riedflächen, welche nur mit Raupenfahrzeugen befahren werden können. Auch wenig attraktive Flächen, welche sich nicht an Landwirte vergeben lassen, werden vom Kanton selber gepflegt. Die Fachstelle Naturschutz unterhält selber rund 200 ha Naturschutzflächen, wovon 140 ha Riedflächen sind. Bei den übrigen durch den Kanton bewirtschafteten 60 ha dürfte es sich um Feuchtwiesen handeln, da die trockenen Standorte fast gänzlich von Landwirten bewirtschaftet werden.

Als Grundlage für den Unterhalt dienen zum einen die Vorgaben aus dem Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz mit den entsprechenden Verordnungen zum Gesetz und den Bundesinventaren. Der Kanton Zürich hat mit der kantonalen Natur- und Heimatschutzverordnung und dem Naturschutzgesamtkonzept eigene Grundlagen, welche den Status der überkommunalen Schutzgebiete regeln. Leitfäden der Fachstelle Naturschutz, wie das Pflichtenheft für die Betreuung von überkommunalen Naturschutzgebieten (Amt für Landschaft und Natur 2011) oder der Leitfaden über die Pflege von artenreichen Wiesen

(Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich 1998), regeln detailliert die Unterhaltsmassnahmen wie Schnittzeitpunkte und Abfuhr des Schnittgutes.

Kommunale Schutzgebiete werden in der Regel ebenfalls von Landwirten oder spezialisierten Unternehmen auf Auftragsbasis gepflegt. Grössere Gemeinden und Städte wie Zürich oder Winterthur verfügen über eigene Unterhaltsequipen. In der Stadt Zürich führt Grün Stadt Zürich die Unterhaltsmassnahmen in Schutzgebieten durch. Grün Stadt Zürich verfügt über eigene Leitfäden, welche die Pflegeverfahren auf wertvollen Grünflächen regeln (Grün Stadt Zürich 2010).

Als typisch anthropogene Biotope müssen Feuchtwiesen regelmässig gemäht werden, da sie auf potenziell waldfähigen Standorten wachsen und sich ohne Mahd rasch feuchte Hochstaudengesellschaften ausbilden. Der früheste Schnittzeitpunkt ist der 15. Juni, wobei bis Mitte September in der Regel zwei bis maximal drei Schnitte ausgeführt werden. In Gebieten mit intensiver Landwirtschaft sind die mageren Pfeifengraswiesen durch Pufferstreifen von übermässigem Nährstoffeintrag geschützt (Delarze und Gonseth 2008; Grün Stadt Zürich 2010). Da wie oben erwähnt die Feuchtwiesen in der Regel auf Vertragsbasis von Landwirten bewirtschaftet werden, wird das Schnittgut üblicherweise als Viehfutter (Sumpfdotterblumenwiesen) oder als Einstreu (Pfeifengraswiesen) in der Landwirtschaft verwendet.

Gemäss Aussage der Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich ist die Witterung der entscheidende Faktor für die Menge an Schnittgut, welche in die Entsorgung gelangt. Grundsätzlich wird versucht, das Material auf der Fläche so zu trocknen, dass es in Ballen gepresst abgeführt und landwirtschaftlich verwertet werden kann. Das unzureichend trockene Material wird in eine Kompostier- oder Vergäranlage gebracht. Bei nasser Witterung erhöht sich dieser Anteil erheblich. Die durch den Kanton entsorgte Menge wird auf 2500 bis 3000 t Feuchtmasse pro Jahr geschätzt. Ausgehend von einem Trockenmassegehalt von 30% würde dies somit rund 750 bis 1000 t TM pro Jahr entsprechen. Es ist jedoch nicht möglich, einen Rückschluss auf die Ursprungsflächen zu ziehen sowie den Anteil, der in die Vergärung gelangt, genau abzuschätzen. Da die Feuchtwiesen rund 30% der vom Kanton gepflegten Unterhaltsflächen ausmachen, kann der Anteil der entsorgten Menge entsprechend den Flächenanteilen mit rund 300 t TM/a (30% des Maximalwerts) angenähert werden (Abbildung 21). Die heutige Praxis wird sowohl von den Landwirten als auch vom Kanton als sinnvoll und nachhaltig erachtet. Sie entspricht im Prinzip der ursprünglichen Nutzung dieser anthropogen geprägten Biotope. Die Landwirte werden für den Unterhalt der Flächen entschädigt. In dieser Entschädigung sind auch anfallende Entsorgungskosten enthalten. Die Landwirte nehmen das Schnittgut gerne an, weshalb auch das Material von den vom Kanton gepflegten Flächen möglichst an Landwirte abgegeben wird. So können Entsorgungskosten eingespart werden.

Grünschnitt von Feuchtwiesen, wie Sumpfdotterblumenwiesen, ist gemäss Menzel et al. (2014) grundsätzlich für Biogasanlagen geeignet und kann mit Anteilen von 10 bis 20% dem Substratgemisch von landwirtschaftlichen Biogasanlagen beigemischt werden. Dies zeigt auch das vorgestellte Praxisbeispiel (Kapitel 5.1.3).

Aufgrund der Naturschutzaufgaben bezüglich Schnittzeitpunkte besteht wenig Optimierungspotenzial bei der Bewirtschaftung hinsichtlich der Qualität des Schnittgutes für die Vergärung. Eine Ausnahme bilden die Neophyten, welche anstatt in Kehrriechverbrennungsanlagen verbrannt, in Trockenfermentationsanlagen verwertet werden können.

Die Fachstelle Naturschutz versucht aus Kostengründen, möglichst viel Schnittgut, welches entsorgt werden muss, bei Landwirten in die Kompostierung zu geben. Bei veränderten Preisstrukturen in der Biogasbranche oder einem entsprechenden politischen Auftrag, könnte

in Zukunft mehr Landschaftspflegegrün von Naturschutzflächen in der Vergärung verwertet werden.

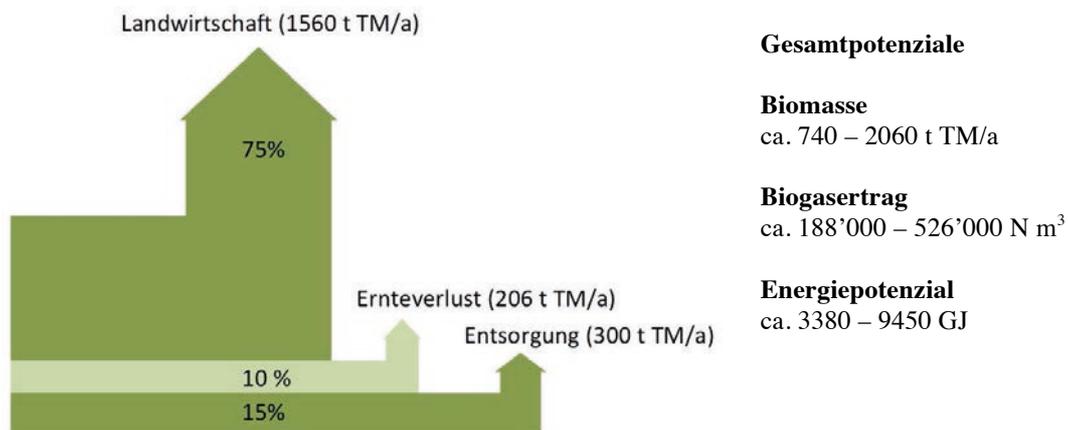


Abbildung 21 Übersicht Biomasseströme (Maximalwert) sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie der Feuchtwiesen im Kanton Zürich

6.1.2 Riedflächen

Bezüglich Zuständigkeit sowie Unterhalts- und der Verwertungspraxis besteht für Riedflächen dieselbe Ausgangslage wie im vorhergehenden Kapitel 6.1.1 für die Feuchtwiesen beschrieben. Riedflächen werden einmal jährlich ab dem 1. September gemäht um das Versamen spätblühender Arten zu gewährleisten. Zur Schonung der Fauna darf die Schnitthöhe von 10 cm nicht unterschritten werden. Da das Schnittgut komplett von den Flächen abtransportiert wird, muss dieses mindestens einen Tag auf der Fläche verbleiben, damit sich Insekten und Kleinsäuger zurückziehen können. Zusätzlich sind 5 bis 10% der Fläche wechselnd als Ried-Rotationsbrachen mit Altgras stehen zu lassen (Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich 1998; Delarze und Gonseth 2008; Grün Stadt Zürich 2010).

Die Mehrzahl der Flächen wird von Landwirten auf Vertragsbasis bewirtschaftet. Diese verwenden den Spätschnitt als Streu in der Tierhaltung, weshalb der Hauptanteil der Biomasse direkt in der Landwirtschaft verwertet wird. Flächen, welche wegen der Nässe Spezialmaschinen zum Mähen benötigen, werden von der Naturschutzequipen des Kantons Zürich gepflegt. Der Schnitt dieser Flächen wird wenn möglich auch an Landwirte abgegeben oder andernfalls entsorgt (Gigon et al. 2010). Die Entsorgungsmenge von rund 700 t TM/a ergibt sich aus der geschätzten Entsorgungsmenge des Kantons von 750 bis 1000 t TM/a und der Annahme, dass 70% der vom Kanton gepflegten Flächen Riedflächen umfassen (Abbildung 22). Die maximale Entsorgungsmenge wurde für die Abschätzung entsprechend den Flächenanteilen auf die Riedflächen und Feuchtwiesen verteilt (Kapitel 6.1.1).

Die von den Riedflächen anfallenden Substrate sind aufgrund des späten Schnittzeitpunkts und hohen Ligningehalts nur bedingt für eine Vergärung geeignet. Zusätzlicher Verkleinerungsaufwand und geringe Gasausbeute machen Riedschnitt für Verwerter wenig attraktiv. Im Sinne einer Kaskadennutzung kann das Material nach einer Verwendung als Einstreu als Co-Substrat mit den tierischen Exkrementen zur Biogasproduktion vergärt werden. Aufgrund der Naturschutzaufgaben bezüglich Schnittzeitpunkte besteht wenig Optimierungspotenzial bei der Bewirtschaftung hinsichtlich der Qualität des Schnittgutes für die Vergärung.

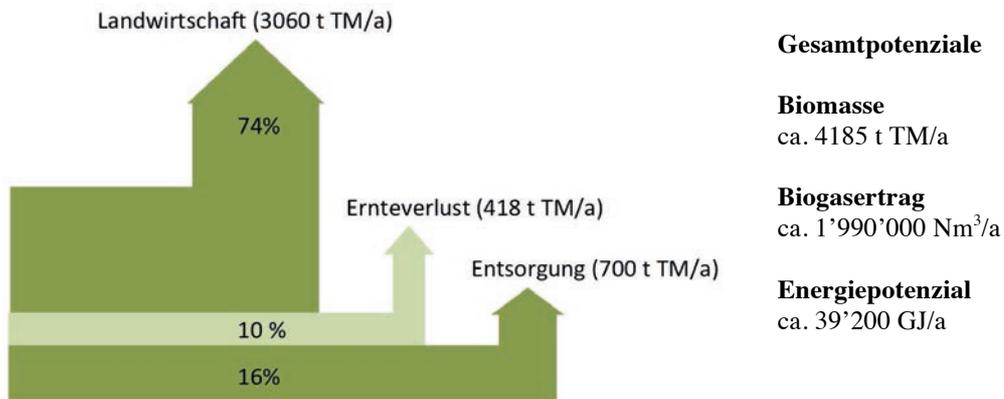


Abbildung 22 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie der Riedflächen im Kanton Zürich

6.1.3 Strassenbegleitgrün

Für den Unterhalt der 321 km Nationalstrassen in der Gebietseinheit VII (Kantone ZH, SH, SZ) und der 1328 km Kantonsstrassen im Zuständigkeitsbereich des Kantons ist das Tiefbauamt des Kantons Zürich zuständig (Tiefbauamt Kanton Zürich 2015). Das Tiefbauamt des Kantons Zürich vergibt den Auftrag für die Pflege des Strassenbegleitgrüns per Ausschreibung an spezialisierte Unternehmen. Nach Aussage des Tiefbauamtes müssen in der Gebietseinheit VII ca. 218 ha Grünflächen entlang der Nationalstrassen gepflegt werden. Dies ergibt einen Wert von 0,68 ha pro Strassenkilometer. Das Nationalstrassennetz des Kantons Zürich umfasst momentan 151 km (ASTRA 2014). Somit beträgt der proportionale Anteil der Unterhaltsfläche im Kanton Zürich rund 103 ha. Aus dieser Fläche lässt sich mit einem angenommenen Biomasseaufwuchs von 13 t FM/ha*a ein theoretisches Biomassepotenzial von ca. 1340 t FM/a bestimmen (Abbildung 23).

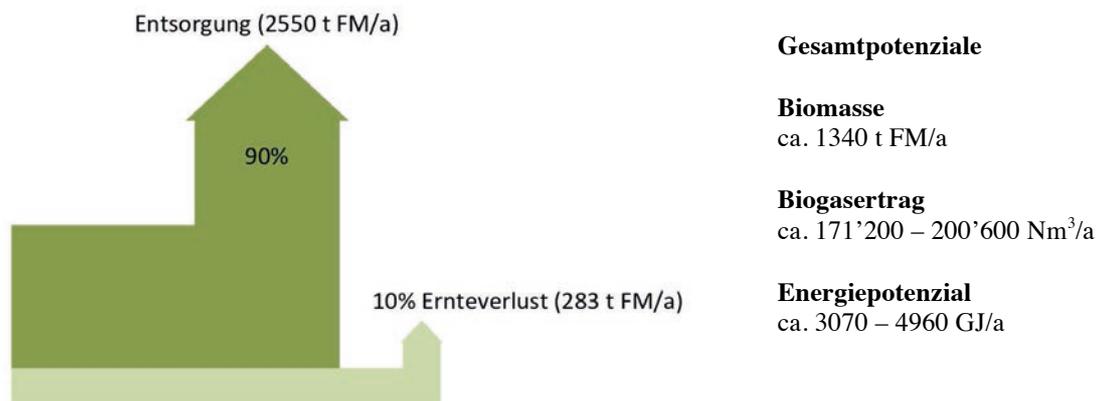


Abbildung 23 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie des Strassenbegleitgrüns der Autobahnen im Kanton Zürich

Als rechtliche Grundlage für die Organisation des Nationalstrassenunterhalts durch die Gebietseinheiten dienen das Nationalstrassengesetz und die entsprechende Verordnung. Böschungflächen im Intensivbereich der Nationalstrassen werden zweimal jährlich (Mai – Juli; August – Oktober) gemäht, um Sichtlinien auf Verkehrsschilder und Kurvenradien sicherzustellen. Im Extensivbereich wird ein Spätschnitt (August – Oktober) vorgenommen, um ein Versamen der Blütenpflanzen zu ermöglichen. Der Rasenschnitt muss abgeführt werden, um ein Herumwirbeln von Schnittgut zu verhindern und den Nährstoffeintrag zu reduzieren. Das Schnittgut wird in der Regel kompostiert. Eine stoffliche Nutzung in der Landwirtschaft,

zum Beispiel als Viehfutter, ist aufgrund der Belastung mit Schadstoffen nicht möglich (Tiefbauamt Kanton Zürich 1999).

Kantonsstrassen sind ebenfalls im Zuständigkeitsbereich des Tiefbauamtes des Kantons Zürich. Die Pflegefläche entlang dieser Strassen umfasst nach Aussage des Tiefbauamtes rund 325 ha. Der Unterhalt dieser Flächen wird ebenfalls von Dritten durchgeführt. Als Basis dienen Ausschreibungen, welche neben den Unterhaltsflächen auch die zu entsorgende Menge an Grünschnitt umfassen. Die Gesamtmenge beträgt jährlich 3500 t Material. Diese Zahl ergibt sich aus den langjährigen Erfahrungswerten. Da das Substrat durch die ausführenden Unternehmer selber entsorgt wird, kann der Kanton keine Aussage darüber machen, wie viel Material kompostiert und wie viel in die Vergärung geliefert wird. Jedoch können diese 3500 t als potenzielles Gärsubstrat für die Biogasgewinnung betrachtet werden. Der Biomassertrag vom Strassenbegleitgrün der Kantonsstrassen beträgt rund 10,8 t FM/ha*a. Rechnet man den Ernteverlust von 10% mit ein, kommt man auf eine Aufwuchsrate von rund 11,8 t FM/ha*a. Dieser Wert liegt somit im Bereich des für die Nationalstrassen verwendeten Literaturwerts von 13 t FM/ha*a gemäss Romeiß et al. (2006), welcher als Grundlage für den Biomasseaufwuchs im Intensivbereich von Strassenbegleitgrün mit zwei Schnitten pro Jahr liegt. Folglich liegt der theoretische Biogasertrag des Landschaftspflegegrüns von Kantonsstrassen im Kanton Zürich bei 448'000 bis 525'000 t Nm³/a und das Energiepotential beträgt 8000 bis 103'000 GJ/a (Abbildung 24).

In Analogie zu den Untersuchungen zum Bahnbegleitgrün kann man schliessen, dass Grünschnitt von Autobahnböschungen durchaus für die Vergärung geeignet ist, insbesondere wenn dieser früh (Juni – Juli) erfolgt. Die Qualität nimmt jedoch im Laufe der Zeit ab. Ab Oktober ist das Material energetisch praktisch wertlos (Gmünder 2014). Dieses Material weist vergleichsweise hohe Fremdstoffanteile, zum Beispiel Abfall, auf. Die problematische Schwermetallbelastung des Substrats durch die Autoabgase ist wegen der Einführung von Bleifreibenzin stark zurückgegangen (Romeiß et al. 2006). Bei entsprechender Substratvorbehandlung, zum Beispiel mit einer Hammermühle eignet sich Autobahngrün als Co-Substrat in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage, da der Rasenschnitt höhere Gaserträge liefern kann als Gülle.

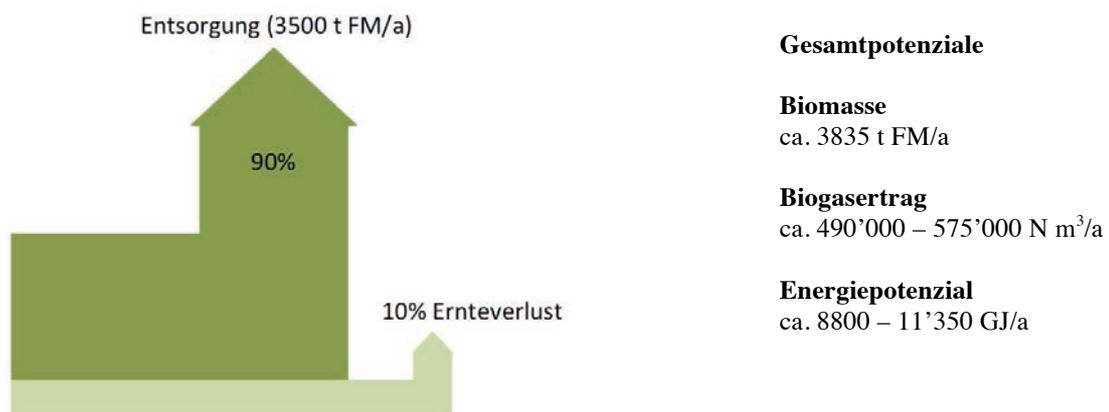


Abbildung 24 Übersicht Biomasseströme (Maximalwert) sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie des Strassenbegleitgrüns der Kantonsstrassen im Kanton Zürich

Gemäss Aussagen der befragten Betreiber von Biogasanlagen liefern insbesondere Substrate von frühen Schnittzeitpunkten oder der zweite Schnitt aus dem Intensivbereich interessante Gaserträge. Problematische Biomasse aus der Neophytenbekämpfung kann durchaus in

anaeroben Trockenfermentationsanlagen vergärt werden, da, wie der Fall des Japanischen Staudenknöterich zeigt, nach zwei bis drei wöchiger Verweilzeit in der Anlage die Rhizome nicht mehr keimfähig sind (Kanton Zug 2014).

6.1.4 Bahnbegleitgrün

Der Unterhalt des Begleitgrüns von Bahnlinien ist bei den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) angegliedert. Als Grundlage für den Unterhalt gelten die VVS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute) Norm «SN 671 560 Grünflächen auf Bahnanlagen: Gräser und Gebüsch», welche sämtliche Pflegemassnahmen definiert. Das primäre Ziel ist die Sicherheit für die Trassen zur Gewährleistung des Betriebs (Leugger und Buser 2009).

Der Unterhalt in der intensiven Unterhaltszone zielt auf die Freihaltung des Profils und die Stabilität des Erddammes ab. Der Übergangstreifen dient als Vegetationsschranke. Durch regelmässiges Mähen wird ein dichter Grasbestand gefördert, der ein Einwachsen von Pflanzen von der Böschung in den Gleisbereich verhindert. Grundsätzlich muss die intensive Unterhaltszone gehölzfrei sein, um Sicht und Zugänglichkeit zu gewährleisten. Die extensive Unterhaltszone liegt im weiter entfernten Böschungsbereich. Der Unterhalt muss die Stabilität der Böschung und Vegetation gewährleisten um die Strecke vor Naturereignissen zu schützen. Das vorgegebene Lichtraumprofil (Baumhöhen) muss unter Berücksichtigung ökologischer Grundsätze und ästhetischen Aspekten eingehalten werden (SBB et al. 2001).

Die Unterhaltsmassnahmen werden per Ausschreibung an Dritte vergeben. Diese führen ca. 60% der Unterhaltsarbeiten nachts und in der Regel mit Grossmulchern durch. Die Rasenflächen im Übergangstreifen und an den Böschungen werden einmal jährlich gemulcht (Anfang Juni – Oktober). Das Mulchen ist aus Betriebs- und Kostengründen die effizienteste Vorgehensweise. Naturschutzflächen werden von Externen bewirtschaftet, wobei das Material von diesen Flächen zusammengetragen und lokal deponiert oder abgeführt wird. Neophyten werden vorgängig zum Mulchen von Hand gemäht, lokal deponiert oder entsorgt. Insgesamt unterhält die SBB gemäss IVEG im Kanton Zürich 300 ha nährstoffreiche Flächen in der intensiven Unterhaltszone und 30 ha Magerwiesen. Von den Magerwiesen muss das Material entsprechend den Vorgaben des Naturschutzes abgeführt werden. Von den Magerwiesen werden jedoch rund 20 ha von Landwirten bewirtschaftet, welche das Material landwirtschaftlich verwerten. Daraus wird abgeleitet, dass lediglich auf den Magerstandorten anfallendes Material abgeführt wird und entsprechend den Flächenanteilen ein Drittel (ca. 28 t TM/a) in die Entsorgung gelangt und zwei Drittel (ca. 55 t TM/a) von den Landwirten verwertet wird (Abbildung 25).

Gmünder (2014) zeigt, dass Grünschnitt von Bahnböschungen für die Vergärung geeignet ist, wenn der Schnitt früh (Juni – Juli) erfolgt. Die Qualität nimmt jedoch im Laufe der Zeit ab, bis das Material ab Oktober energetisch praktisch wertlos ist. Durch das Absaugen des gemulchten Schnittguts können Fremdstoffe wie Plastik, Aluminium sowie Steine und Sand in das Substrat gelangen, was zu Problemen in der Vergärung führen kann. Gemäss Aussagen der SBB wäre ein Abtransportieren des Rasenschnitts aus der intensiven Unterhaltszone technisch machbar, würde jedoch deutliche Mehrkosten verursachen. Die Unterhaltskosten würden sich um 200 bis 300% erhöhen. Eine systematische energetische Nutzung des Grünschnitts ist daher auch für die Zukunft nicht vorgesehen. Ein Abführen des Grüngutes würde jedoch die Qualität der Pflanzengesellschaften fördern. Die langfristigen Folgen des Absaugens für die bodenlebende Fauna sind noch kaum untersucht. Erste Resultate zeigen jedoch,

dass negative Effekte auf die Bodenfauna auftreten und die Mortalität im Vergleich zum üblichen Mulchen höher ist (Gmünder 2014).

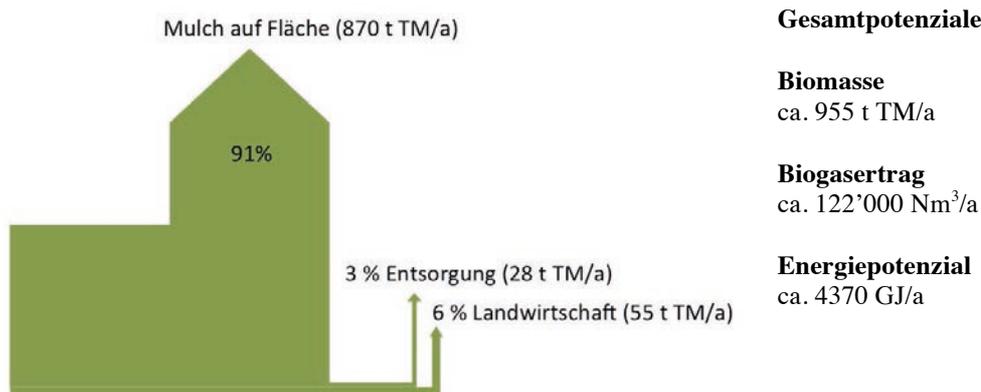


Abbildung 25 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie des Bahnbegleitgrüns im Kanton Zürich

6.1.5 Grünflächen im Siedlungsgebiet

Der Unterhalt der Grünflächen im Siedlungsgebiet lässt sich kaum generalisieren, da jede Gemeinde diesen auf eigene Art regelt. Im Projekt wurde die Unterhaltspraxis der beiden Städte Zürich und Winterthur untersucht, welche durch ihre Grösse über genügend Infrastruktur verfügen, um sämtliche Unterhaltsarbeiten selber auszuführen. Damit gewisse Ergebnisse besser generalisiert werden können, wurde insbesondere der Unterhalt verschiedener Grünflächen gemäss den Pflegeprofilen der Vereinigung schweizerischer Stadtgärtnerinnen und Gartenbauämter VSSG beschrieben (Nateco und zhaw 2012). Diese Profile bilden die Grundlage für den Grünflächenunterhalt in der Stadt Winterthur.

Gebrauchsrasen an intensiv genutzten Orten werden je nach Pflegeklasse 15 bis 30 Mal gemäht, ausgeputzt und müssen bis zweimal jährlich gedüngt werden. Der Rasenschnitt verbleibt auf der Fläche. Blumenrasen haben sich als pflegeextensive Variante etabliert, die reich an Wildblumen und -kräutern ist. Sie werden lediglich vier bis acht Mal mit hochgestelltem Mäher geschnitten, wobei der Rasenschnitt meist auf der Fläche verbleibt. Blumenwiesen bestehen aus vielfältigen, ausdauernden Gras- und Kräuterarten. Sie sind nur beschränkt belastbar und eignen sich eher als naturnahes Gestaltungselement. Die Wiesen werden ein bis drei Mal jährlich gemäht und ausgeputzt, wobei das Material abgeführt werden muss. Das anfallende Grüngut wird entsorgt (Nateco und zhaw 2012).

Die Bewirtschaftungspraxis wird im Folgenden am Beispiel der Stadt Zürich erläutert. Rasenschnitt wird, wann immer möglich, auf der Rasenfläche belassen (Abbildung 26). Mit dieser Praxis können Kosten gespart werden, da weniger Maschineneinsatz nötig ist, keine Transport- und Entsorgungskosten anfallen und auf Dünger verzichtet werden kann. Ausnahmen bilden spezielle Flächen wie Sportrasen. Sämtliche Biomasse von den Unterhaltflächen wird im Falle der Stadt Zürich in einer Biogasanlage verwertet. Hierzu wird das Material an rund 20 Stellen auf dem Stadtgebiet zwischengelagert und von dort aus in die Biogasanlage transportiert. Die Stadt Winterthur verwertet Grüngut aus dem Unterhalt ebenfalls bereits in einer Biogasanlage. Die Friedhöfe kompostieren ihr Grüngut wenn möglich, um den Eigenbedarf an hochwertigem Kompost zu decken und den lokalen Nährstoffkreislauf zu schliessen.

Da die verwendete Flächengrundlage für die Abschätzung sehr unterschiedliche Grünflächentypen umfasst, ist die Bestimmung eines Wertes für den theoretischen Biomassezuwachs schwierig. Jedoch finden sich in Rohler et al. (2015) Werte von 12 t FM/ha*a für Zierrasen, 7 bis 12 t FM/ha*a für Mehrschnittrasen und 8 bis 13 t FM/ha*a für Landschafts- und Gebrauchsrasen. Deshalb wird hier analog zur Studie von Bircher et al. (1999) ein Wert von 12 t FM/ha*a für die Berechnung verwendet.

Die anfallenden Substrate von öffentlichen Grünflächen im Siedlungsgebiet sind sehr heterogen. Die Eignung variiert je nach Ursprungsfläche und Intensität des Unterhalts. Grasschnitt von intensiv gepflegten Flächen mit mehreren Schnitten ist homogen und von gleichbleibender Qualität, weshalb er sich für eine energetische Verwertung besser eignet. Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben, gibt es betreffend Schnitthäufigkeit ein Optimum, weshalb die Biogaserträge von Rasenschnitt von sehr intensiv gepflegten Flächen, wie Zierrasen, tiefer sind.

Grundsätzlich kann die heutige Unterhaltspraxis für städtische Grünflächen als nachhaltig bezeichnet werden. Aus Sicht der energetischen Verwertung der Biomasse besteht dahingehend Potenzial, dass sämtliches Landschaftspflegegrün, das entsorgt werden muss, in einer Biogasanlage verwertet werden kann. Dabei gilt, dass das Material möglichst frisch der Verwertung zugeführt werden sollte, um Verluste beim Biogasertrag zu minimieren.

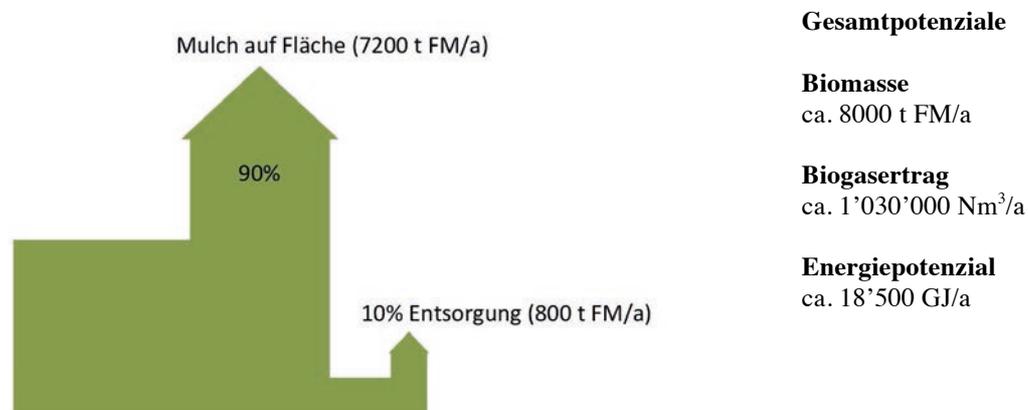


Abbildung 26 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie der öffentlichen Grünflächen im Siedlungsgebiet im Kanton Zürich

6.2 Übersicht Biomasseströme und Energiepotenziale im Kanton Zürich

Aus den Potenzialen der einzelnen untersuchten Biotop- und Grünflächen lassen sich nun für die verschiedenen Verwertungswege die Gesamtbiomasseströme zusammenfassen (Tabelle 5). Da für die Grünflächen im Siedlungsgebiet und das Strassenbegleitgrün mit der Feuchtmasse gearbeitet wurde muss für die Vereinheitlichung der Einheiten die Feuchtmasse (FM) in Trockenmasse (TM) umgerechnet werden. Für die Frischmasse wurde ein Trockenmassegehalt von 30% angenommen.

Es zeigt sich, dass die Biomasse von den untersuchten Biotop- und Grünflächen gesamthaft ungefähr zu 40,7% in der Landwirtschaft stofflich verwertet wird, zu 26,4% als Mulch auf der Fläche verbleibt und zu 26,8% in die Entsorgung (Kompostierung oder Vergärung) gelangt. Etwa 6,2% der Biomasse in der Gesamtbilanzierung bleibt als Ernteverlust auf den Flächen zurück, von denen die Biomasse entfernt werden muss. Dieser Ernteverlust wird auf der Fläche zersetzt und die Nährstoffe gelangen in den natürlichen Kreislauf zurück.

Tabelle 5 Übersicht der Summen der Biomasseströme nach Verwertung der untersuchten Grünflächentypen im Kanton Zürich. Die Biomasseströme sind von oben nach unten nach Eignung und Verfügbarkeit geordnet.

Quelle	Verwertung	In %	Energie GJ**	
Entsorgung				
Grünräume im Siedlungsgebiet	800 t FM/a*	240 t TM/a	2,1	1098
Strassenbegleitgrün (Nationalstrassen)	2550 t FM/a*	765 t TM/a	6,7	3501
Strassenbegleitgrün (Kantonsstrassen)	3500 t FM/a*	1050 t TM/a	9,1	4805
Bahnbegleitgrün	28 t TM/a	28 t TM/a	0,2	128
Feuchtwiesen	300 t TM/a	300 t TM/a	2,6	1373
Riedflächen	700 t TM/a	700 t TM/a	6,1	3203
Total		3083 t TM/a	26,8	14108
Mulch auf Fläche				
Bahnbegleitgrün	870 t TM/a	870 t TM/a	7,6	3981
Grünräume im Siedlungsgebiet	7200 t FM/a*	2160 t TM/a	18,8	9884
Total		3030 t TM/a	26,4	13865
Landwirtschaft				
Feuchtwiesen	1560 t TM/a	1560 t TM/a	13,6	7139
Riedflächen	3060 t TM/a	3060 t TM/a	26,6	14002
Bahnbegleitgrün	55 t TM/a	55 t TM/a	0,5	252
Total		4675 t TM/a	40,7	21393
Ernteverlust				
Feuchtwiesen	206 t TM/a	206 t TM/a	1,8	943
Riedflächen	418 t TM/a	418 t TM/a	3,6	1913
Strassenbegleitgrün (Nationalstrassen)	283 t FM/a*	85 t TM/a	0,7	389
Strassenbegleitgrün (Kantonsstrassen)				
Total		709 t TM/a	6,2	3244
Kanton Zürich		11497 t TM/a	47	100
* Umrechnung von Feuchtmasse (t FM/a) in Trockenmasse (t TM/a) mit einem geschätzte Trockenmassegehalt von 30%				
** Biogasertag: 255 Nm ³ /t TM; Methangehalt: 50%				
eher geeignet, verfügbar	eher ungeeignet, verfügbar	eher geeignet, nicht verfügbar	nachhaltig stofflich verwertet	nicht verfügbar

Das Gesamtenergiepotenzial der untersuchten Biotop- und Grünflächen liegt bei 52'610 GJ/a. Das Mengenverhältnis der einzelnen Verwertungsströme widerspiegelt auch deren Energiepotenzial. Das grösste Energiepotenzial von 21'393 GJ/a geht in die Landwirtschaft und steht daher nicht zur Verfügung. Zusammen mit den 6,2% Ernteverlust steht fast die Hälfte der Biomasse nicht für eine energetische Verwertung zur Verfügung. Mit 13'865 GJ/a (26,4%) verbleibt ein beträchtliches Energiepotenzial als Mulch auf den Flächen zurück, wobei der grösste Teil (18,8%; 9884 GJ/a) auf die Grünräume im Siedlungsgebiet fällt und somit nicht nachhaltig verfügbar ist. Schätzungsweise 14'108 GJ/a Energie liesse sich aus dem entsorgten Landschaftspflegegrün gewinnen, sofern dieses vollumfänglich in die Vergärung gelangen würde. Jedoch stammt rund 8,7% von Feuchtwiesen und Riedflächen, deren Substrat nicht ideale Eigenschaften für die Vergärung aufweisen. Rechnet man zur gesamten entsorgten Menge den Mulch vom Bahnbegleitgrün dazu, auch wenn dieses de facto momentan nicht zur Verfügung steht, liesse sich ein grösstenteils gut geeignetes Biomassepotential mobilisieren, welches ein nachhaltiges Energiepotenzial von 18'809 GJ/a aufweist.

7 Hochrechnung für die Schweiz

Im Folgenden werden für ausgesuchte Biotop- und Grünflächen die Biomasse- und Energiepotenziale gemäss den Erkenntnissen aus dem Kanton Zürich für ganze die Schweiz hochgerechnet. Dabei wurden sämtliche Annahmen der Potenzialberechnung (Biomasseaufwuchs, Biogaserträge, Methangehalt, Biomasseströme) für den Kanton Zürich beibehalten, mit Ausnahme der Flächen.

Für die Hochrechnung der Feuchtwiesen (Abbildung 27) sowie der Riedflächen steht keine umfassende Datengrundlage für die Schweiz zur Verfügung. Somit wurde der ermittelte Biomassertrag beider Biotope im Kanton Zürich addiert und auf den Layer der Feuchtgebiete gemäss der vektorisierten Landeskarte swissTLM3D (Swisstopo (DV033594) 2015) verteilt. Die Fläche des Feuchtgebietelayers beträgt im Kanton Zürich 1226 ha und weicht nur wenig von der Summe der berücksichtigten Flächen aus der Lebensraumkartierung des Kantons Zürich ab (1078 ha) weshalb er als geeignete Grundlage für die Hochrechnung bezeichnet werden kann. Die Feuchtgebiete in der Schweiz bedecken gemäss der Landeskarte 9325 ha.

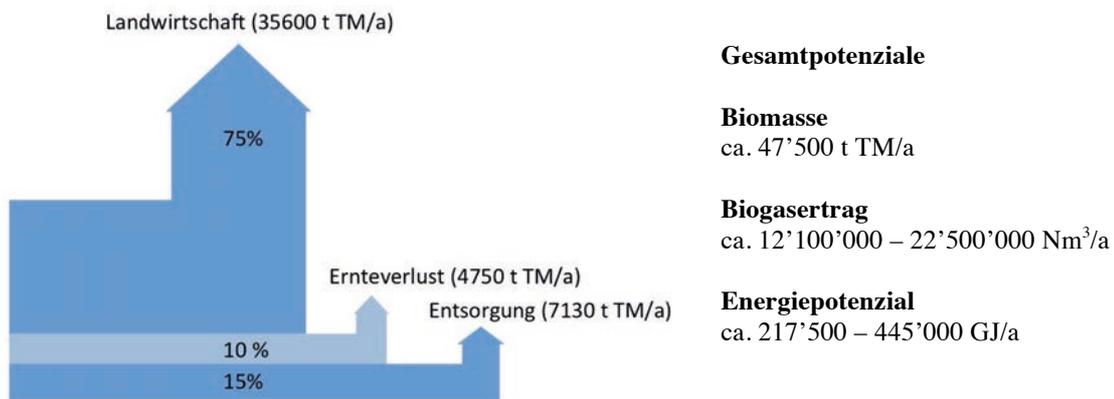


Abbildung 27 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie der Feuchtgebiete in der Schweiz

Aufgrund der Datengrundlage konnte das Strassenbegleitgrün nur für die Nationalstrassen hochgerechnet werden. Das bestehende Nationalstrassennetz der Schweiz umfasst 1811 km (ASTRA 2014). Aufgrund des für den Kanton Zürich berechneten Faktor (0,68 ha Grünfläche/km Strasse) beträgt die Grünfläche entlang der Nationalstrassen geschätzte 1233 ha. Für die Vergleichbarkeit wurde der Trockenmassegehalt des Materials mit 30% angenommen und mit diesem Faktor die Trockenmasse (4800 t TM/a) berechnet (Abbildung 28).

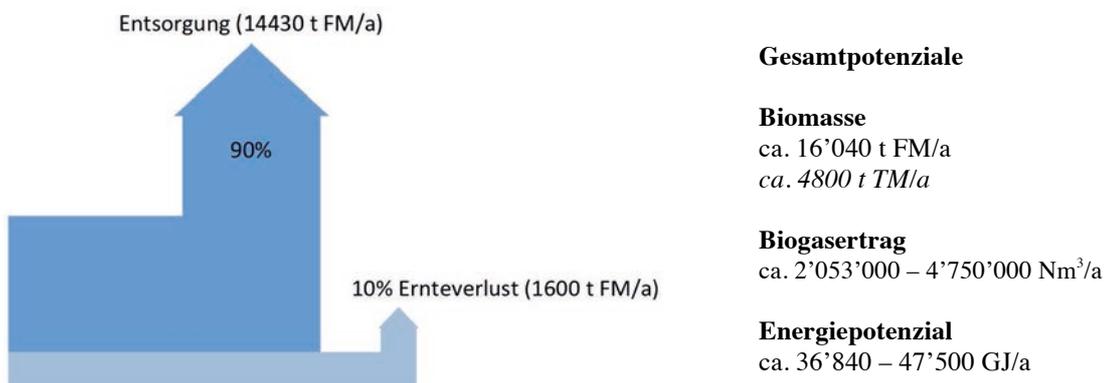


Abbildung 28 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie des Strassenbegleitgrüns der Autobahnen in der Schweiz

Die SBB unterhält gemäss IVEG in der Schweiz rund 1816 ha nährstoffreiche Flächen bestehend aus Fettwiesen, Hochstaudenfluren sowie dem Übergangstreifen. Der Anteil der Magerstandorte umfasst rund 278 ha Magerwiese. Daraus ergibt sich für die Schweiz das in Abbildung 29 dargestellte Potenzial.

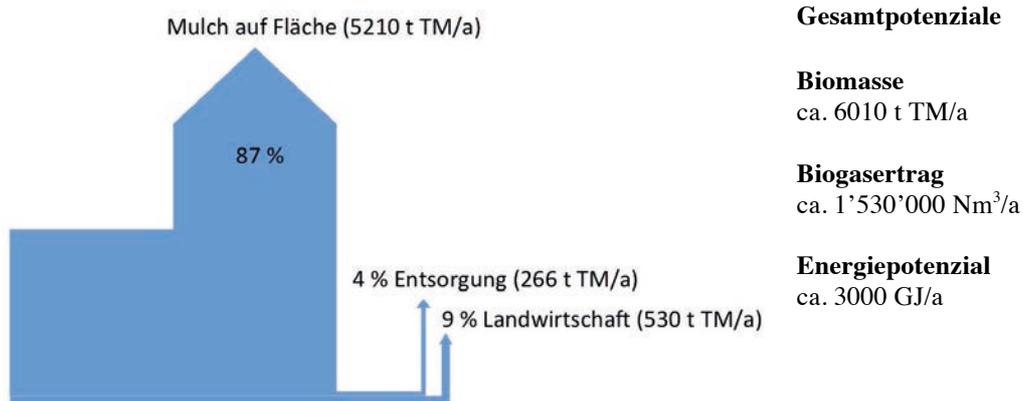


Abbildung 29 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie des Bahnbegleitgrüns in der Schweiz

Für die Bestimmung der Potenziale der Biomasse von öffentlichen Grünflächen im Siedlungsgebiet für die ganze Schweiz wurde auf die Arealstatistik 1992/97 (GEOSAT BFS) zurückgegriffen. Konkret wurden folgende Kategorien der NOAS04_72 Klassifikation des Jahres 2009 verwendet: öffentliche Parkanlagen; Sportanlagen; Friedhöfe. Somit ergibt sich eine Fläche von 13'456 ha Grünfläche, wovon gemäss Bircher et al. (1999) ca. 56% aus Rasenfläche bestehen. Als berücksichtigte Rasenfläche wurde somit 7535 ha eingesetzt. Der Trockenmassegehalt des Materials wurde mit 30% angenommen und mit diesem Faktor die Trockenmasse (27'100 t TM/a) berechnet (Abbildung 30).

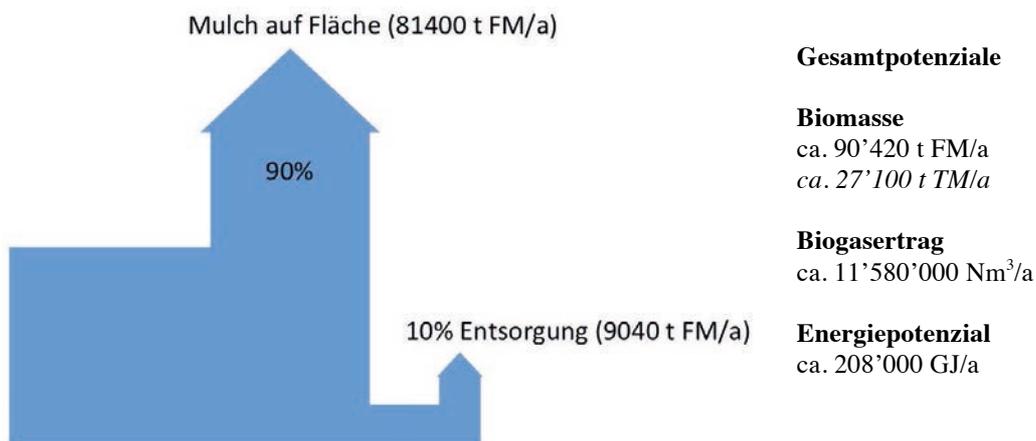


Abbildung 30 Übersicht Biomasseströme sowie Gesamtpotenziale für Biomasse, Biogas und Energie der öffentlichen Grünflächen im Siedlungsgebiet in der Schweiz

Der Vergleich der Biomassepotenziale zeigt, dass die Feuchtgebiete mit ca. 47'500 t TM/a die weitaus produktivsten der untersuchten Biotop- und Grünflächen sind (Tabelle 6). Daher geht von den Feuchtgebieten auch das grösste theoretische Energiepotenzial (ca. 217'500 bis 445'000 GJ/a) aus. Da das Material jedoch sehr heterogen ist, ist die Spannbreite des möglichen Energiepotenzials sehr gross. Das zweitgrösste Biomassepotenzial liegt in den öffentlichen Grünflächen im Siedlungsgebiet. Das Energiepotenzial liegt dabei bei ca.

208'000 GJ/a und somit im unteren Teil des Bereichs des Energiepotenzials der Feuchtgebiete. Die Potenziale des Verkehrsbegleitgrüns sind aufgrund des geringen Umfangs der Flächen bedeutend geringer.

Tabelle 6 Übersicht über die Biomasseströme der untersuchten Grünflächentypen für die Hochrechnung Schweiz. Die Biomasseströme sind von oben nach unten nach Eignung und Verfügbarkeit geordnet.

Quelle	Verwertung		In %	Energie GJ**
Entsorgung				
Grünräume im Siedlungsgebiet	9040 t FM/a*	2712 t FM/a	2,8	12410
Strassenbegleitgrün (Nationalstrassen)	14430 t FM/a*	4329 t TM/a	4,4	19809
Bahnbegleitgrün	266 t TM/a	266 t TM/a	0,3	1217
Feuchtgebiete	7130 t TM/a	7130 t TM/a	7,3	32627
Total		14437 t TM/a	14,8	66063
Mulch auf Fläche				
Bahnbegleitgrün	5210 t TM/a	5210 t TM/a	5,3	23841
Grünräume im Siedlungsgebiet	81400 t FM/a*	24420 t FM/a	25,1	111745
Total		29630 t TM/a	30,4	135586
Landwirtschaft				
Feuchtgebiete	47500 t TM/a	47500 t TM/a	48,8	217359
Bahnbegleitgrün	530 t TM/a	530 t TM/a	0,5	2425
Total		48030 t TM/a	49,3	219784
Ernteverlust				
Feuchtgebiete	4750 t TM/a	4750 t TM/a	4,9	21736
Strassenbegleitgrün (Nationalstrassen)	1600 t FM/a*	480 t TM/a	0,5	2196
Total		5230 t TM/a	5,4	23932
Schweiz		97327 t TM/a	5	100
* Umrechnung von Feuchtmasse (t FM/a) in Trockenmasse (t TM/a) mit einem geschätzte Trockenmassegehalt von 30%				
** Biogasertrag: 255 Nm ³ /t TM; Methangehalt: 50%				
eher geeignet, verfügbar	eher ungeeignet, verfügbar	eher geeignet, nicht verfügbar	nachhaltig stofflich verwertet	nicht verfügbar

Das Gesamtenergiepotenzial der Biotop- und Grünflächen, welche für die Hochrechnung berücksichtigt wurden, liegt bei 445'366 GJ/a. Entsprechend der geschätzten Biomasseströme steht davon etwas mehr als die Hälfte (54,7%; 232'716 GJ/a) nicht zur Verfügung, da 49,3% des Landschaftspflegegrüns in die Landwirtschaft gelangt und 5,4% als Ernteverlust verloren geht. 135'586 GJ/a könnten generiert werden, wenn sämtliche Biomasse, welche als Mulch auf den Flächen verbleibt, ohne Ernteverlust abgeführt und vergärt würde. Der Hauptanteil (25,1%; 111'745 GJ/a) fällt auf die Grünflächen im Siedlungsgebiet zurück, welche teilweise für die Vergärung gut geeignete Substrate liefern. Jedoch muss die Nutzung des Mulches als Düngerersatz als nachhaltig stoffliche Nutzung bezeichnet werden, weshalb dieser Biomassestrom nicht für die Energieproduktion verfügbar ist. Würde die Biomasse, welche in die Entsorgung gelangt komplett in Biogasanlagen verwertet, liesse sich rund 66'063 GJ Energie pro Jahr bereitstellen. Jedoch entfällt rund die Hälfte der 14,8% auf Substrate von Feuchtgebieten, welche aufgrund des späten Schnittes vergleichsweise ungeeignet für die Vergärung sind.

8 Diskussion

8.1 Verwertung des Landschaftspflegegrüns der untersuchten Biotop- und Grünraumtypen und nachhaltig nutzbares Gesamtenergiepotenzial

Grundsätzlich haben Feuchtwiesen und Riedflächen im Kanton Zürich sowie in der gesamten Schweiz grosses Biomassepotenzial. Die heutige Bewirtschaftung sieht primär eine stoffliche Nutzung in der Landwirtschaft vor, welche als sinnvoll und nachhaltig bezeichnet werden kann. Auch wenn nur ein geringer Anteil dieses Landschaftspflegegrüns in die Entsorgung gelangt und somit ein nachhaltig nutzbares Potenzial für die energetische Verwertung darstellt, ergibt sich absolut gesehen eine bedeutende Menge (Kanton Zürich 1000 t TM/a, 4576 GJ/a; Schweiz 7130 t TM/a, 32'627 GJ/a). Das Potenzial für eine anaerobe Vergärung dieses Materials ist jedoch auf Grund der Beschaffenheit des Materials beschränkt. Dies liegt an der Regelung der Schnittzeitpunkte für viele der Biotope, welche aus ökologischen Gründen spät im Jahr liegen.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass Verkehrsbegleitgrün gut für die anaerobe Vergärung geeignet ist, sofern dieses früh in der Vegetationsperiode geschnitten wird (Hügli et al. 2009). Dies bestätigen auch die befragten Experten. Falls zwei Schnitte vorgesehen sind, eignet sich auch das Schnittgut des zweiten Schnittes. Somit ergeben sich durchaus grosse Potenziale aus Landschaftspflegegrün von National- und Kantonsstrassen, da das Schnittgut normalerweise von den Flächen abtransportiert wird. Im Falle der Bahnlinien sind die grossen Herausforderungen die Logistik sowie die Mehrkosten gegenüber dem Mulchen, welche momentan nicht abgegolten werden. Deshalb ist in naher Zukunft nicht damit zu rechnen, dass Biomasse, welche als Mulch auf den Flächen entlang der Bahnlinien verbleibt, für die anaerobe Vergärung zur Verfügung stehen wird.

Die heutige Bewirtschaftungspraxis kann im Falle der öffentlichen Grünflächen als sinnvoll bezeichnet werden. Der hohe Anteil an stofflicher Verwertung vor Ort reduziert Kosten für Dünger sowie Transporte und Maschineneinsatz. Der Anteil des Materials der entsorgt wird hat durchaus Biogaspotenzial, insbesondere Schnittgut von Blumenrasen, welche immer häufiger angelegt werden. Entscheidend ist jedoch, dass das Material möglichst rasch in die Biogasanlage transportiert wird, damit nicht zu hohe Lager- und Transportverluste entstehen. Auch wenn ein grosser Teil des Schnittgutes als Mulch auf der Fläche liegen bleibt ist das Potenzial durch die grossen Flächen gross. Obwohl keine genauen Zahlen vorliegen, muss davon ausgegangen werden, dass bereits ein grosser Anteil des Schnittgutes von öffentlichen Grünflächen energetisch verwertet wird. Zum einen weil sich in der Branche der Biomasseverwerter das Verhältnis zwischen Kompostierung und Vergärung immer mehr Richtung Biogasanlage verschiebt und zum anderen weil die anfallenden Substrate von den Biogasanlagebetreibern als geeignet betrachtet werden.

In der Gesamtbilanz könnten im Kanton Zürich rund 52'610 GJ/a und in der Schweiz 445'366 GJ/a Energie aus den untersuchten Biotop- und Grünflächentypen gewonnen werden. Aus den nachhaltig nutzbaren Biomasseströmen (Mulch von Bahnbegleitgrün; Entsorgung gesamt) wären es 18'089 GJ/a für den Kanton Zürich und für die Schweiz 89'904 GJ/a. Der Gesamtenergieertrag des Landschaftspflegegrüns in der Schweiz entspricht somit ungefähr 8,7% Prozent der 5'137'200 GJ elektrischer Energie, welche gemäss Energiestrategie aus Biogas im Jahr 2050 bereitgestellt werden soll. Betrachtet man nur die aus jetziger Sicht nachhaltig nutzbaren Biomasseströme beträgt der Anteil rund 1,75%, was ein nicht unerheblicher Beitrag zu einer Energieversorgung basierend auf erneuerbaren Energien ist.

8.2 Energetische Verwertung des Landschaftspflegegrüns aus Sicht der Praxis

Die Befragung zeigte, dass die Praxis im Unterhalt in der Regel kaum eine Anpassung der Erntezeitpunkte und Techniken erlaubt um die energetische Verwertung des Landschaftspflegegrüns zu optimieren. Zum einen sind Schnitttechnik und Zeitpunkte der Naturschutzflächen gesetzlich geregelt, zum anderen ist insbesondere der Unterhalt der Grünflächen entlang der Verkehrsflächen dem reibungslosen Betrieb und der Sicherheit untergeordnet. Ausserdem hat die energetische Verwertung des Schnittgutes zu geringe Priorität um Anpassungen oder Mehraufwände zu rechtfertigen. In gewissen Situationen könnte jedoch insbesondere eine Silierung von Material, welches von Verkehrsflächen oder Naturschutzflächen stammt, machbar und sinnvoll sein, um Transport- und Lagerverluste zu verringern. Grünschnitt von städtischen Siedlungsflächen lässt sich schwer silieren, da versucht wird, den Maschineneinsatz im Siedlungsgebiet möglichst gering zu halten und wohl auch weil die anfallenden Mengen pro Fläche zu gering sind. Hier besteht Optimierungspotenzial am ehesten in einer effizienten Logistik in die Verwertung, um übermässige Substanz- und Qualitätsverluste durch Abbauprozesse zu verhindern.

Die stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft kann als nachhaltig bezeichnet werden, da sie primär von den anthropogen geprägten Biotopen der untersuchten Feuchtgebiete stammt, welche das Ergebnis einer traditionellen Bewirtschaftung sind (Delarze und Gonseth 2008). Das heute eindeutig energetisch nachhaltig nutzbare Potenzial liegt in den Biomasseströmen, welche in die Entsorgung, sprich Kompostierung oder Vergärung, gelangen. Eine exakte Aussage über den Anteil des Landschaftspflegegrüns, welcher heute bereits energetisch durch Vergärung verwertet wird, lässt sich aufgrund der Datenlage nicht machen. Im Kanton Zürich gelangen jedoch rund 70% der verwerteten biogenen Abfälle in die Vergärung, und rund 30% werden kompostiert (Kapitel 3.3). Aufgrund dieser Verhältnisse kann die vorsichtige Schätzung gemacht werden, dass insgesamt rund 1880 t TM/a des entsorgten Landschaftspflegegrüns im Kanton Zürich in die Trockenvergärung und 275 t TM/a in die landwirtschaftliche Co-Vergärung gelangen. 920 t TM/a werden kompostiert und somit stofflich verwertet. Der Vorteil der Biogasgewinnung ist, dass zusätzlich zur stofflichen Verwertung eine energetische Verwertung stattfindet. Daher wäre eine möglichst vollständige energetische Verwertung dieses Biomassestroms anzustreben, da keine negative Konkurrenz der stofflichen Verwertung vorliegt.

Etwas differenzierter muss der Biomassestrom des Mulchs betrachtet werden, welcher auf der Fläche verbleibt. Der intensive Unterhalt der städtischen Grünflächen ist oft auch der intensiven Nutzung dieser Flächen geschuldet. Die Pflege gewisser Grünflächen wie zum Beispiel Gebrauchsrasen erfordert eine regelmässige Düngung. Durch das Mulchen kann der Düngereinsatz jedoch reduziert und der natürliche Nährstoffkreislauf geschlossen werden. Somit können auch die rund 18,8% der Biomasse, welche auf den öffentliche Grünflächen als Mulch verbleiben als nachhaltig genutzt betrachtet werden. Das Schnittgut entlang der Bahnflächen, welches rund 7,6% der Biomasse ausmacht, bildet im Prinzip eine ungenutzte Ressource, welche insbesondere dann gute Biogaserträge liefert, wenn der Schnitt früh in der Vegetationsperiode vorgenommen wird.

8.3 Energetische Nutzung von Landschaftspflegegrün aus Sicht unterschiedlicher Technologien und ökonomischer Rahmenbedingungen

Aus Sicht der vorgestellten energetischen Verwertungsmethoden zeigt sich, dass die etablierte anaerobe Vergärung als einzige Methode technisch genügend ausgereift ist, um im grossen Mass Landschaftspflegegrün zu verarbeiten. Der grosse Pluspunkt liegt neben der gleichzeitig stofflichen und energetischen Verwertung bei den Eigenschaften des produzierten Biogases, welches aufbereitet als Bioerdgas einen einfach in den bestehenden Infrastrukturen speicherbaren Energieträger darstellt. Bioerdgas kann zudem als Treibstoff für Fahrzeuge dienen. Dies unterscheidet Biogas von anderen erneuerbaren Energien wie beispielsweise dem Solarstrom, der aufgrund der Schwankungen in der Produktion ein ausgeklügeltes Netzmanagement oder neue Speicherinfrastrukturen wie Batterien erfordert (Kaltschmitt et al. 2014). Auch wenn Biogas verglichen mit anderen erneuerbaren Energien einen eher kleinen Beitrag an die Energieversorgung leistet, machen ihn die genannten Eigenschaften im gesamten Energiesystem doch wertvoll. Biogasanlagen erfordern jedoch hohe Investitionen, welche durch den Biogasertrag amortisiert werden müssen. Daher sind bei den heutigen Energiepreisen Biomassesubstrate mit wenig Biogasertrag, wie sie auch bei der Landschaftspflege entstehen, wenig attraktiv für die Anlagebetreiber. Bei steigenden Energiepreisen und somit höheren Erträgen könnte sich der Grenzertrag für Biogas jedoch nach unten verschieben und heute wenig ertragreiches Landschaftspflegegrün interessanter für die anaerobe Vergärung machen. Ebenfalls direkt abhängig von den Energiepreisen sind die Entsorgungskosten in den Vergärungsanlagen für die Bewirtschafter. Bei den öffentlichen und halböffentlichen Institutionen, welche den Unterhalt der untersuchten Flächen durchführen, verlangen Vorgaben oder betrieblicher Druck die Entsorgungskosten möglichst tief zu halten. Die Verwertung in einer Biogasanlage ist oft eine der teuersten Entsorgungsvarianten und kann wegen den entstehenden Kosten oftmals nicht berücksichtigt werden. Bei steigenden Energiepreisen und Erträgen für die Biogasanlagebetreiber könnten die Entsorgungskosten in den Biogasanlagen sinken und dieser Entsorgungskanal an Attraktivität gewinnen. Neben der Marktsituation spielen auch die politischen Fördermittel für erneuerbare Energien eine Rolle. Mit einer Förderung der energetischen Verwertung von Biomasse, welche über das heutige Mass hinausgeht, ist allerdings gemäss den Plänen des Bundes nicht zu rechnen.

Was die Investition und Amortisation betrifft, besticht die direkt-thermische Verwertung der Biomasse, zum Beispiel durch die beschriebene Pelletierung. Gleich wie Biogas sind auch Pellets lagerbar und können in etablierten Pelletheizungen verbrannt werden. Dabei gilt es herauszuheben, dass auch Biomassesubstrate wie zum Beispiel Laub oder Spätschnitte von Naturschutzflächen, welche nicht ideal für die anaerobe Vergärung sind, als Pellets verwertet werden können (Bioburn AG 2015). Dies gilt insbesondere auch für trockenes Material, wie es in der Landschaftspflege anfallen kann. Auch wenn die direkt-thermische Verwertung von unverholzter Biomasse nach geltendem Gesetz nicht erlaubt ist, kann in Zukunft mit einer Anpassung der Gesetze gerechnet werden, welche die thermische Nutzung möglich macht. Offen bleibt jedoch, wie sich Biomassepellets gegenüber den etablierten Holzpellets auf dem Markt behaupten können. Als weiteren wichtigen Punkt gilt es die Problematik des Nährstoffverlustes zu lösen, zum Beispiel durch ein Ascherecycling zu Biodünger. Die ebenfalls vorgestellte Hydrothermale Carbonisierung sowie die Pyrolyse dürften sich aufgrund des technischen Entwicklungsstandes, der Investitions- und Betriebskosten sowie der Marktsituation für die entstehenden Produkte in naher Zukunft nicht als valable Verwertungsmöglichkeit für Landschaftspflegegrün durchsetzen.

9 Dank

Wir danken der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL für die finanzielle Unterstützung des Projekts «Energie aus Landschaftspflegegrün». Des Weiteren danken wir sämtlichen Experten aus der Praxis, welche mit Ihrem Fachwissen einen substantiellen Beitrag zu dieser Untersuchung geleistet haben.

10 Literatur

- Amt für Landschaft und Natur des Kanton Zürich, Fachstelle Naturschutz (2011) Pflichtenheft für die Bewirtschaftung von überkommunalen Naturschutzgebieten. Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 25 S.
- Amt für Landschaft und Natur des Kanton Zürich (2013) Lebensraumkartierung. Baudirektion Kanton Zürich, Zürich.
- ASTRA (2014) Strassen und Verkehr 2014 – Zahlen und Fakten. Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 48 S.
- AXPO (s.d.) Datensammlung Substrate. AXPO Power AG, Neue Energien, Baden.
- BAFU (2010) Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung. Vollzugshilfe zur Trockenwiesenverordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 85 S.
- BAFU und BFE (2009) Energieholzpotentiale ausserhalb des Waldes. Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Energie, Bern, 74 S.
- Baudirektion Kanton Zürich (2012) 66 Nutzungszonen und Überbauungsstand der Gemeinde 1:5000. Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Raumentwicklung, Zürich.
- Baudirektion Kanton Zürich (2013) Feldrandkompostierung. Abteilung Landwirtschaft, Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 4 S.
- BFE (2007) Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse. Bundesamt für Energie, Eidgenössisches Departement für Umwelt Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern, 301 S.
- BFE (2013) Energieperspektiven 2050. Zusammenfassung. Bundesamt für Energie, Eidgenössisches Departement für Umwelt Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern, 40 S.
- BFE (2014) Faktenblatt zur Energiestrategie 2050. Direktvermarktung von Stromerzeugungsanlagen mit Einspeisevergütung. Bundesamt für Energie, Eidgenössisches Departement für Umwelt Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern, 5 S.
- Bioburn AG (2015) Factsheet. Rohmaterialien/Pflanzen. Unter: http://www.bioburn.ch/pdf/2b_Bioburn_Factsheet_Rohmaterialien.pdf [aufgerufen am: 30.10.2015]
- Biomasse Schweiz (2013) Fördermassnahmen (KEV). Unter: <http://www.biomasseschweiz.ch/index.php/de/politik-de/foerdermassnahmen> [aufgerufen am: 30.7.2015]
- Bircher U, Lüchinger G, Ribi F, Landolt-Dunster HC und Pfaffen P (1999) Nachhaltiger Umgang mit Grüngut im Siedlungsgebiet. Zertifikatsarbeit im Nachdiplomstudium Umweltwissenschaften, Universität Zürich, 82 S.
- Bühlman R (2014) Gras und Stroh zum Heizen einsetzen. Unter: <https://www.schweizerbauer.ch/politik--wirtschaft/agrarpolitik/gras-und-stroh-zum-heizen-einsetzen-16681.html> [aufgerufen am: 30.7.2015]
- Bundesamt für Energie (2015) Richtlinie kostendeckende Einspeisevergütung (KEV). Art. 7a EnG. Biomasse Anhang 1.5 EnV (Version 1.6 vom 1. Januar 2015). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern, 21 S.
- Delarze R und Gonseth Y (2008) Lebensräume der Schweiz. Ökologie-Gefährdung-Kennarten. Ott, Bern, 424 S.
- DZV (2015) Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft. Weisungen und Erläuterungen 2015. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, 144 S.
- Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich (1998) Die Pflege von artenreichen Wiesen - Schnittzeitpunkt. Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 2 S.
- GEOSAT BFS (1997) Arealstatistik 1992/97. Bundesamt für Statistik BFS, Bern.

- Gigon A, Rocker S und Walter T (2010) Praxisorientierte Empfehlungen für die Erhaltung der Insekten- und Pflanzenvielfalt mit Ried-Rotationsbrachen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, 13 S.
- Gmünder M (2014) Schlussbericht des Projektes Mulchen-Absaugen 2012/2013 Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bern, 5 S.
- Grün Stadt Zürich (2010) Pflegeverfahren. Ein Leitfaden zur Erhaltung und Aufwertung wertvoller Naturflächen. Tiefbau- und Entsorgungsdepartement Stadt Zürich, Zürich, 63 S.
- Hügli C, Brack F, Beer R, Marti A, Warthman R, Baum S und Baier U (2009) Machbarkeitsstudie "Energetische Verwertung von Grüngut aus dem Geleiseunterhalt der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB)". ZHAW Wädenswil, Wädenswil, 70 S.
- ICU (2011) Hochwertige Verwertung von Mähgut und Laub im Land Berlin. Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Referat Abfallwirtschaft, Berlin, 70 S.
- Kaltschmitt M, Hartmann H und Hofbauer H (2009) Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer, Berlin, 1030 S.
- Kaltschmitt M, Lippitsch K, Müller J, Reicher S, Schulz D und Schwunk S (2014) Photovoltaische Stromerzeugung. In: Kaltschmitt M, Streicher W, Wiese A (Hrsg.) Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Springer, Berlin, S. 353–450.
- Kanton ZH (2015) Zürcher Kompostier- und Vergärungsanlagen. Jahresbericht zu den Inspektionen 2015. Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich, 13 S.
- Kanton Zug (2014) Energie aus Neophyten – Japanischer Staudenknöterich, Variantenanalyse. Amt für Raumplanung, Natur und Landschaft, Zug, 22 S.
- Kanton Zürich (2015) Über den Kanton Zürich. Bauen, Energie und Umwelt. Unter: http://www.zh.ch/internet/de/ktzh/bauen_energie_umwelt.html – [aufgerufen am: 29.6.2015]
- Leugger S und Buser H (2009) Konzept naturschutzgerechter Böschungsunterhalt SBB – Schlussbericht (im Auftrag von SBB, BAFU und BAV). Nateco, Gelterkinden, 67 S.
- Menzel N, Thoss C, Metzner J und Franßen G (2014) Vom Landschaftspflegematerial zum Biogas – ein Beratungsordner. Deutscher Bund für Landschaftspflege e.V. (DVL), Ansbach, 93 S.
- Montgomery L F R und Bochmann G (2014) Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production. International Energy Agency IEA, Bioenergy, Petten, 20 S.
- Nateco und ZHAW (2012) Kennzahlen Pflegekosten öffentliches Grün – Profilbeschreibungen. Vereinigung Schweizerischer Stadtgärtnereien und Gartenbauämter VSSG, Gelterkinden, Berlin, 48 S.
- Naturschutzbund Deutschland NABU (2011) Grünlandpflege und Klimaschutz. Situation, Erfassung und Ansätze zu alternativer Nutzung von Naturschutzflächen und wertvollem Grünland. Michael-Otto-Institut im NABU, Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V., Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V., Institut für Agrarökologie und Biodiversität (IFAB), 48 S.
- Ökoinstitut e.V (2007) Bioenergie und Naturschutz: Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegeresten möglich? Öko-Institut e.V., Institut für Energetik, Darmstadt, 126 S.
- Rohler H-P, Biedermann M und Porath B (2015) Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Grünflächen- und Landschaftspflege als Teil einer nachhaltigen Pflegestrategie für den Emscher Landschaftspark. Natur und Landschaft, 90, S. 367–375.
- Romeiß N, Thrän D, Schlägl T, Daniel J und Scholwin F (2006) Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Leipzig, 111 S.

- SBB, BUWAL und BAV (2001) Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen. Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bundesamt für Verkehr BAV, Bern, 33 S.
- SBB (2014) IVEG. Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bern.
- SCCER-Biosweet (2015) Biomass for swiss energy future. Unter <http://www.sccer-biosweet.ch> [aufgerufen am: 30.11.2015]
- Schleiss K (2014) Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche Schweiz. Jahresbericht 2014. Ergebnisse von 243 inspizierten Anlagen in 20 Kantonen. Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche Schweiz, Münchenbuchsee, 11 S.
- Statistisches Amt Kanton ZH (2015) Statistisches Jahrbuch. Unter: http://www.statistik.zh.ch/internet/justiz_inneres/statistik/de/daten/tabellen.html [aufgerufen am: 29.10.2015]
- Stern WB (2010) Stroh als Quelle erneuerbarer Energie. Schweizerisches Bulletin für angewandte Geologie, 15, S. 95–103.
- Swisstopo (DV033594) (2015) swissTLM3D. Bundesamt für Landestopographie, Bern.
- Tiefbauamt Kanton Zürich (1999) Grünflächen an Autobahnen im Kanton Zürich. Zürcher Umweltpraxis, 20, S. 31–34.
- Tiefbauamt Kanton Zürich (2015) Zahlen und Fakten. Unter: http://www.tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/ueberuns/zahlen_fakten.html [aufgerufen am: 29.6.2015]
- Waldwirtschaft Schweiz (2014) Energieholzpreise 2014/2015. Unter: http://www.wvs.ch/fileadmin/user_upload/Holzmarkt/Preisempfehlungen/Energieholzpreise/Empfehlungen_Energieholzpreise_2014-15.pdf [aufgerufen am: 29.6.2015]
- Walter T, Schneider K und Gonseth Y (2007) Schnittzeitpunkt in Ökowieden. Einfluss auf die Fauna. Agrarforschung, 14, S. 114–119.
- Wittig R (2002) Siedlungsvegetation. Ulmer, Stuttgart, 252 S.
- wvgw (2012) Bio-Erdgas. Umweltschonende Energie mit Zukunft. Erdgas Produkt- und Systemkampagne. Unter: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/64209463FBED9FD3C12578230045218A/\\$file/Biogasbroschuere-April-2010.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/64209463FBED9FD3C12578230045218A/$file/Biogasbroschuere-April-2010.pdf) [aufgerufen am: 8.12.2015]

11 Anhang: Dokumentation Potenzialberechnungen

Potentialberechnung Feuchtwiesen Kanton Zürich

Potentialberechnung

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche ZH	295	ha	Quelle: Lebensraumkartierung Kanton ZH
Aufwuchs min.	2,5	t TM/ha*a	Quelle: Menzel et al. (2014)
Aufwuchs max.	7	t TM/ha*a	Quelle: Menzel et al. (2014)
Aufwuchs ZH min.	737	t TM/a	
Aufwuchs ZH max.	2065	t TM/a	
Biogasertrag	255	Nm ³ /t TM	Quelle: AXPO (s.d.) für Landschaftspflegematerial
	255	Nm ³ /t TM	Quelle: AXPO (s.d.) für Landschaftspflegematerial
Biogasertrag min.	188062	Nm ³ /a	
Biogasertrag max.	526575	Nm ³ /a	
Methangehalt min.	50	%	für Wert AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Methangehalt max.	55	%	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial min.	3374781	MJ	für Wert AXPO(s.d.) Landschaftspflegematerial
Energiepotenzial max.	9449388	MJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Energiepotenzial min.	3375	GJ	für Wert AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Energiepotenzial max.	9449	GJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras

Berechnung Biomasseströme in Prozent

	Menge (t)	Anteil %	Bemerkung*
Ernteverlust	206	10	
Entsorgung	300	14,5	Berechnung
Landwirtschaft	1558	75,5	
Total	2065	100	Maximalmenge Ertrag (7 t TM/ha*a)

* Der Werkhof des Kantons Zürich geht von 2500 bis 3000 t Feuchtmasse aus, welche jedes Jahr entsorgt werden. Ein Rückschluss auf die Fläche ist nicht möglich. Das Material stammt von Riedflächen und Feuchtwiesen. Ausgehend von einem Trockenmassegehalt von 30% würde dies 750 bis 1000 t TM entsprechen. Von den Feuchtwiesen und Riedflächen zusammen würden ausgehend von den 200ha somit rund 12,5 bis 15 t FM/ha*a in die Entsorgung gelangen (3,75 bis 4,5 t TM/ha*a, bei einem Trockenmassegehalt von 30% gemäss (AXPO s.d.).

Verteilt man diese Menge proportional auf die Unterhaltsfläche des Kantons 140 ha Ried (70%) und 60 ha anderes (wahrscheinlich Feuchtwiesen, da Trockenwiesen mit grosser Wahrscheinlichkeit von Landwirten gepflegt werden; 30%) so würden folgende Verhältnisse entstehen:

Riedflächen: (525 bis 700 t TM, 2,525 bis 3,15 t TM/ha*a)

Dies entspricht 20% bis 25% der jährlich anfallenden 2730t TM Material von Riedflächen (9100 t FM/a).

Feuchtwiesen: (225 bis 300 t TM Jahr; 1,125 bis 1,35 t TM/ha*a)

Der theoretische Anfall beträgt 740 bis 2060 t TM/a. Rechnet man mit 2000 t TM entspricht dies 11,25 bis 15% der entsorgten Menge.

Potenzialberechnung Riedflächen Kanton Zürich

Potenzialberechnung		Einheit	Bemerkung
Was			
Fläche ZH	288	ha	Kleinseggenried Lebensraumkartierung Kanton Zürich
	495	ha	Grossseggenried Lebensraumkartierung Kanton Zürich
Aufwuchs Kleinseggenried	2,5	t TM/ha*a	Quelle: Menzel et. al (2014)
Aufwuchs Grossseggenried	7	t TM/ha*a	Quelle: Menzel et. al (2014)
Aufwuchs ZH Kleinseggenried	720	t TM/ha*a	
Aufwuchs ZH Grossseggenried	3465	t TM/ha*a	
Aufwuchs ZH total	4185	t TM/a	
Biogasertrag Kleinseggenried	475	Nm ³ /t TM	Quelle: AXPO (s.d.) für Riedgras
Biogasertrag Grossseggenried	475	Nm ³ /t TM	Quelle: AXPO (s.d.) Riedgras
Biogasertrag ZH Kleinseggenried	342000	Nm ³ /a	
Biogasertrag ZH Grossseggenried	1645875	Nm ³ /a	
Biogasertrag ZH total	1987875	Nm ³ /a	
Methangehalt	55	%	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial Kleinseggenried	6750909	MJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Energiepotenzial Grossseggenried	32488750	MJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Energiepotenzial ZH total	39239659	MJ	
Energiepotenzial Kleinseggenried	6751	GJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Energiepotenzial Grossseggenried	32489	GJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Energiepotenzial ZH total	39240	GJ	

Berechnung Biomasseströme in Prozent

	Menge (t)	Anteil %	Bemerkung*
Ernteverlust	418,5	10	
Entsorgung	700	16,73	Berechnung
Landwirtschaft	3066	73,27	
Total	4185	100	Aufwuchsmenge total

* Der Werkhof des Kantons Zürich geht von 2500 bis 3000 t Feuchtmasse aus, welche jedes Jahr entsorgt werden. Ein Rückschluss auf die Fläche ist nicht möglich. Das Material stammt von Riedflächen und Feuchtwiesen. Ausgehend von einem Trockenmassegehalt von 30% würde dies 750 bis 1000 t TM entsprechen. Von den Feuchtwiesen und Riedflächen zusammen würden ausgehend von den 200 ha somit rund 12,5 bis 15 t FM/ha*a in die Entsorgung gelangen (3,75 bis 4,5 t TM/ha*a, bei einem Trockenmassegehalt von 30% gemäss (AXPO s.d.).

Verteilt man diese Menge proportional auf die Unterhaltsfläche des Kantons 140 ha Ried (70%) und 60 ha anderes (wahrscheinlich Feuchtwiesen, da Trockenwiesen mit grosser Wahrscheinlichkeit von Landwirten gepflegt werden; 30%) so würden folgende Verhältnisse entstehen:

Riedflächen: (525 bis 700 t TM, 2,525 bis 3,15 t TM/ha*a)

Dies entspricht 20% bis 25% der jährlich anfallenden 2730 t TM Material von Riedflächen (9100 t FM/a).

Feuchtwiesen: (225 bis 300 t TM Jahr; 1,125 bis 1,35 t TM/ha*a)

Der theoretische Anfall beträgt 740 bis 2060 t TM/a. Rechnet man mit 2000 t TM entspricht dies 11,25 bis 15% der entsorgten Menge.

Potenzialberechnung Strassenbegleitgrün (Autobahn) Kanton Zürich

Potenzialberechnung		Einheit	Bemerkung
Was			
Fläche Gebietseinheit VII ZH/SH/SZ	218	ha	Angabe Tiefbauamt Kanton Zürich für Gebietseinheit VII (ZH, SH, SZ)
Strecke Autobahn Gebietseinheit VII	320	km	Autobahnen und Autostrassen
Grünfläche pro km	0,68	ha/km	Grundlage für Berechnung ZH/CH
Strecke Nationalstrassen Kanton ZH	151	km	Nationalstrassen in Betrieb (max. 6 Spurig) Quelle: Astra (2014)
Grünfläche Nationalstrassen Kanton ZH	102,87	ha	
Biomasseaufwuchs	13	t FM/ha*a	Literaturwert von Romeiß et al. (2006) Für Intensivbereich mit 2 Schnitten
Aufwuchs Kanton ZH	1337	t FM/a	
Biogasertrag min.	128	Nm ³ /t FM	Wert: AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Biogasertrag max.	150	Nm ³ /t FM	Quelle: Romeiß et al. (2006) für Autobahn
Biogasertrag Kanton ZH min.	171174	Nm ³ /a	
Biogasertrag Kanton ZH max.	200594	Nm ³ /a	
Methangehalt	50	%	für Wert AXPO (s.d.)
	55	%	für Wert Romeiß et al. (2006)
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial min.	3071710	MJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial max.	3959626	MJ	Werte Romeiß et al. (2006)
Energiepotenzial min.	3072	GJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial max.	3960	GJ	Werte Romeiß et al. (2006)
Berechnung Anteile Biomasseströme			
	Anteil %	Menge t	
		FM/a	
Entsorgung	90	1204	
Ernteverlust	10	134	
Total	100	1337	

Potenzialberechnung Strassenbegleitgrün (Kantonsstrassen) Kanton Zürich

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche ZH	325	ha	Angabe Tiefbauamt Kanton Zürich für Kantonsstrasse
Entsorgungsmenge	3500	t FM/a	Entsorgungsmenge gem. Ausschreibung des TBA ZH
Aufwuchs	11,8	t FM/ha*a	Berechnet aus Tonnage und Fläche*
Aufwuchs ZH (max)	3835	t FM/a	Gemäss Literaturwert
Biogasertrag min.	128	Nm ³ /t FM	Quelle: AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Biogasertrag max.	150	Nm ³ /t FM	Quelle: Romeiß et al. (2006) für Autobahn
Biogasertrag ZH min.	490880	Nm ³ /a	
Biogasertrag ZH max.	575250	Nm ³ /a	
Methangehalt min.	50	%	für Wert AXPO (s.d.)
Methangehalt max.	55	%	für Wert Romeiß et al. (2006)
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial ZH min.	8808842	MJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial ZH max.	11355147	MJ	Werte Romeiß et al. (2006)
Energiepotenzial ZH min.	8809	GJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial ZH max.	11355	GJ	Werte Romeiß et al. (2006)

Potenzialberechnung Bahnbegleitgrün Kanton Zürich

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche mager Kanton ZH*	28,99	ha	IVEG
Fläche fett Kanton ZH*	300,70	ha	IVEG
Aufwuchs mager	2,35	t TM/ha*a	Warthman et al. (2009)
Aufwuchs fett	2,95	t TM/ha*a	Warthman et al. (2009)
Aufwuchs ZH mager	68	t TM/ha*a	
Aufwuchs ZH fett	887	t TM/ha*a	
Aufwuchs Total	955	t TM/ha*a	
Biogasertrag	255	Nm ³ /t TM	AXPO (s.d.) Landschaftspflegegrün
Biogasertrag ZH	243573	Nm ³ /a	
Methangehalt	50	%	AXPO (s.d.) Landschaftspflegegrün
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial ZH	4370918	MJ/a	
Energiepotenzial ZH min.	4371	GJ/a	

Berechnung Biomasseströme

	Fläche (ha)	Anteil %		Anteil %	Menge t TM/a
Fett	300,70	91,2			871
Mager	28,99	8,8	Landwirtschaft (2/3)**	5,9	56
			Entsorgung (1/3)**	2,9	28
Total	329,69	100			955

**Verhältnis Bewirtschaftung im Kanton Zürich

***Relevante IVEG Kategorien gemäss Warthman et al. (2009)**

Objekt ID	Vegetation	Area ha
5	Fettwiese	105
10	Hochstaudenflur/Schlagflächen	65
13	Magerwiese	29
20	Übergangsstreifen	130
Summe		330

Potenzialberechnung Grünflächen im Siedlungsgebiet Kanton Zürich

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche ZH	1197	ha	Zonenplan Kt. Zürich Freihaltezonen B (Parkanlage, Friedhof, Festplatz, Sportanlage, Freibad) sowohl kantonal als auch kommunal
Davon Rasen 56%	670	ha	Gemäss Untersuchung Grünflächen Grün Stadt Zürich (Bircher et al. 1999)
Aufwuchs	12	t FM/ha*a	Wert abgeleitet von Rohler et al. (2015): Werte für Zierrasen 12, Mehrschnittsrasen 7–12, Landschafts- und Gebrauchsrasen 8–13 t FM/ha*a
Aufwuchs ZH	8043	t FM/a	
Biogasertrag	128	Nm ³ /t FM	Quelle: AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Biogasertrag min.	1029611	Nm ³ /a	
Methangehalt	50	%	Wert AXPO (s.d.)
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial	18476378	MJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial	18476	GJ	Werte AXPO (s.d.)

Berechnung Biomasseströme (anhand Fallbeispiel Stadt Zürich)

Unterhaltsfläche	738	Angabe Axel Fischer, Grün Stadt Zürich
GSZ (ha) (A)		
Unterhaltsfläche	1300	Angabe Hans-Jürg Bosshard, Grün Stadt Zürich
GSZ (ha) (B)		
Entsorgungsmenge	4000	
Grüngut t FM		
Entsorgungsmenge	5,4	Entspricht ungefähr dem anfallenden Biomasseabfall der Literatur von 5 t FM/ha*a für städtische Grünanlagen sowie Sport- und Freizeitanlagen (Kaltschmitt 2009)
t FM/ha*a (A)		
Entsorgungsmenge	3,1	
t FM/ha*a (B)		

Berechnung effektiver Anteile nicht möglich, da Grün Stadt Zürich zwar die Gesamtmenge erfasst, jedoch nicht um was für Materialien es sich handelt. Aufgrund der Aussagen der Experten und der Praxis dürfte der Anteil bei den genannten 10% liegen.

Biomasseströme	Anteil %	Menge
Auf Fläche	90	7239
Entsorgung	10	804
Total		8043

Potenzialberechnung Feuchtgebiete Schweiz (Hochrechnung)**Potentialberechnung**

Was		Einheit	Bemerkung
Feuchtgebiete CH	9325	ha	Feuchtgebiete Landeskarte CH
Riedflächen	4185	t TM/a	aus Berechnung
Feuchtwiesen (max)	2065	t TM/a	aus Berechnung
Gesamtmenge Biomasse Kt. ZH	6250	t TM/a	
Tonne TM pro ha	5,1	t TM/a	Gesamtmenge Biomasse Kt. ZH proportional verteilt auf Feuchtgebiete gemäss Landeskarte.
Biomasse Feuchtgebiete CH	47538	t TM/a	Berechnet aus Fläche Feuchtgebiete Landeskarte CH und Tonne TM pro ha Kanton ZH
Biogasertrag min.	255	Nm ³ /t TM	Quelle: AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Biogasertrag max.	475	Nm ³ /t TM	Quelle: AXPO (s.d.) Riedgras
Biogasertrag CH min.	12122120		
Biogasertrag CH max.	22580419		
Methangehalt	50	%	für Wert AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
	55	%	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepot. min.	217531438	MJ	für Wert AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Energiepot. max.	445726182	MJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras
Energiepot. min.	217531	GJ	für Wert AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Energiepot. max.	445726	GJ	für Wert AXPO (s.d.) Riedgras

Berechnung Biomasseströme in Prozent

	Menge (t)	Anteil %
Ernteverlust	4754	10
Landwirtschaft	35653	75
Entsorgung	7131	15
Total	47538	100

Potenzialberechnung Autobahn Schweiz (Hochrechnung)

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche Gebietseinheit VII ZH/SH/SZ	218	ha	Angabe Tiefbauamt Kanton Zürich für Gebietseinheit VII (ZH, SH, SZ)
Strecke Autobahn Gebietseinheit VII	320	km	Autobahnen und Autostrassen
Grünfläche pro km	1	ha/km	Grundlage für Berechnung ZH und CH
Strecke Nationalstrassen Schweiz	1811	km	Nationalstrassen in Betrieb (bis 6 Spurig) Quelle: Astra (2014)
Grünflächen Nationalstrassen Schweiz	1234	ha	
Aufwuchs	13	t FM/ha*a	Literaturwert von Romeiß et al. (2006) Für Intensivbereich mit 2 Schnitten
Aufwuchs CH	16039	t FM/a	
Trockenmasse	4812	t TM/a	Umrechnung Trockenmasse Faktor 0,3 (Trockenmassegehalt 30%)
Biogasertrag min.	128	Nm ³ /t FM	Wert: AXPO (s.d.) Landschaftspflegema- terial
Biogasertrag max.	150	Nm ³ /t FM	Quelle: Romeiß et al. (2006) für Autobahn
Biogasertrag CH min.	2052950	Nm ³ /a	
Biogasertrag CH max.	2405800	Nm ³ /a	
Methangehalt min.	50	%	für Wert AXPO (s.d.)
Methangehalt max.	55	%	für Wert Romeiß et al. (2006)
Heizwert Methan	35,89	MJ/N m ³	
Energiepotenzial CH min.	36840181	MJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial CH max.	47489295	MJ	Werte Romeiß et al. (2006)
Energiepotenzial CH min.	36840	GJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial CH max.	47489	GJ	Werte Romeiß et al. (2006)

Berechnung Anteile Biomasseströme

	Anteil in %	Menge t FM/a
Entsorgung	90	14435
Ernteverlust	10	1604
Total	100	16039

Potenzialberechnung Bahnbegleitgrün Schweiz (Hochrechnung)

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche mager CH*	278	ha	IVEG
Fläche fett CH*	1816		IVEG
Aufwuchs mager	2,35	t TM/ha*a	Warthman et al. (2009)
Aufwuchs fett	2,95	t TM/ha*a	Warthman et al. (2009)
Aufwuchs ZH mager	653	t TM/ha*a	
Aufwuchs ZH fett	5357	t TM/ha*a	
Aufwuchs Total	6011	t TM/ha*a	
Biogasertrag	255	Nm ³ /t TM	Wert: AXPO (s.d.) Landschaftspflegegrün
Biogasertrag ZH	1532678	Nm ³ /a	
Methangehalt	50	%	Wert: AXPO (s.d.) Landschaftspflegegrün
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial ZH	27503898	MJ	
Energiepotenzial ZH	27504	GJ	

Berechnung Biomasseströme

	Fläche (ha)	Anteil %		Menge
Fett	1816	86,7		5213
Mager	278	13,3	Landwirtschaft (2/3)**	8,9
			Entsorgung (1/3)**	4,4
Total	2094	100		6011

**Verhältnis Bewirtschaftung im Kanton Zürich

***Relevante Kategorien IVEG gemäss Warthman et al. (2009)**

Objekt ID	Vegetation	Fläche ha
5	Fettwiese	957
10	Hochstaudenflur/Schlagflächen	299
13	Magerwiese	278
20	Übergangsstreifen	560
Summe		2094

Potenzialberechnung Grünanlagen im Siedlungsgebiet Schweiz (Hochrechnung)

Was		Einheit	Bemerkung
Fläche Schweiz	13456	ha	Arealstatistik NOAS04_72_09 Kategorien 31 öffentliche Parkanlagen, 32 Sportanlagen, 36 Friedhöfe
Davon Rasen 56%	7535	ha	Gemäss Untersuchung Grünflächen Grün Stadt Zürich (Bircher et al. 1999)
Aufwuchs	12	t FM/ha*a	Wert abgeleitet von Rohler et al. (2015): Werte für Zierrasen 12, Mehrschnitttrasen 7–12, Landschafts- und Gebrauchsrasen 8–13 t FM/ha*a
Aufwuchs CH	90424	t FM/a	
Trockenmasse	27127	t TM/a	Umrechnungsfaktor 0,3 (30% Trockenmassegehalt)
Biogasertrag	128	Nm ³ /t FM	Quelle: AXPO (s.d.) Landschaftspflegematerial
Biogasertrag CH	11574313	Nm ³ /a	
Methangehalt	50	%	für Wert AXPO (s.d.)
Heizwert Methan	35,89	MJ/m ³	
Energiepotenzial	207701046	MJ	Werte AXPO (s.d.)
Energiepotenzial	207701	GJ	Werte AXPO (s.d.)

Berechnung Biomasseströme Schweiz

Biomasseströme	Anteil %	Menge
Auf Fläche	90	81382
Entsorgung	10	9042
Total	100	90424