

# Ökobilanz

## Biomethan-Aufbereitungsanlage

### Meilen



EMPA, Technology and Society Lab  
Life Cycle Assessment & Modelling Group  
im Auftrag von Erdgas Zürich

# 1 Zusammenfassung

## Ökobilanz zur Biomethan-Aufbereitungsanlage Meilen

Erdgas Zürich hat sich zum Ziel gesetzt, die Bio-Erdgas Produktion zu steigern und ins Erdgasnetz einzuspeisen. Ähnlich wie bei Biotreibstoffen liegt die Hauptmotivation bei der Nutzung von „Bio-Erdgas“ in der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Weitere wichtige Aspekte sind die Unabhängigkeit von Erdgas-Förderländern, die regionale Schaffung von Arbeitsplätzen und die generelle Schonung der Umwelt.

Die Biomethan-Aufbereitungsanlage in Meilen am Zürichsee verwendet das BCM<sup>®</sup>-Verfahren und gilt bei Erstellung dieser Studie als Pilotprojekt in der Schweiz.

## Untersuchungsrahmen, Systemgrenzen, Funktionelle Einheit

Die Biomethan-Aufbereitungsanlage Meilen ist gekoppelt an die ARA Meilen, welche schon seit Jahrzehnten existiert hat. Für die Ökobilanz wird die Anlage ab Faulturm in die Systemgrenzen miteinbezogen.

Die Funktionelle Einheit der Untersuchung ist 1 m<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup>) Biomethan aus Klärschlamm, aufbereitet nach dem BCM-Verfahren, mit einer Reinheit von 99 vol.-% (Methangehalt).

## Ziele

Ziel dieser Untersuchung ist, die Umweltauswirkungen von produziertem Biomethan mit dem handelsüblich angebotenen Erdgas und ähnlichen Energieträgern für Heiz- und Transportzwecke zu vergleichen. Zudem soll erörtert werden, welchen Anteil der BCM-Prozess in einer Lebenszyklusanalyse ausmacht. Dabei werden alle Lebenszyklusphasen bis und mit Einsatz als Treibstoff oder Heizenergieträger mit eingeschlossen.

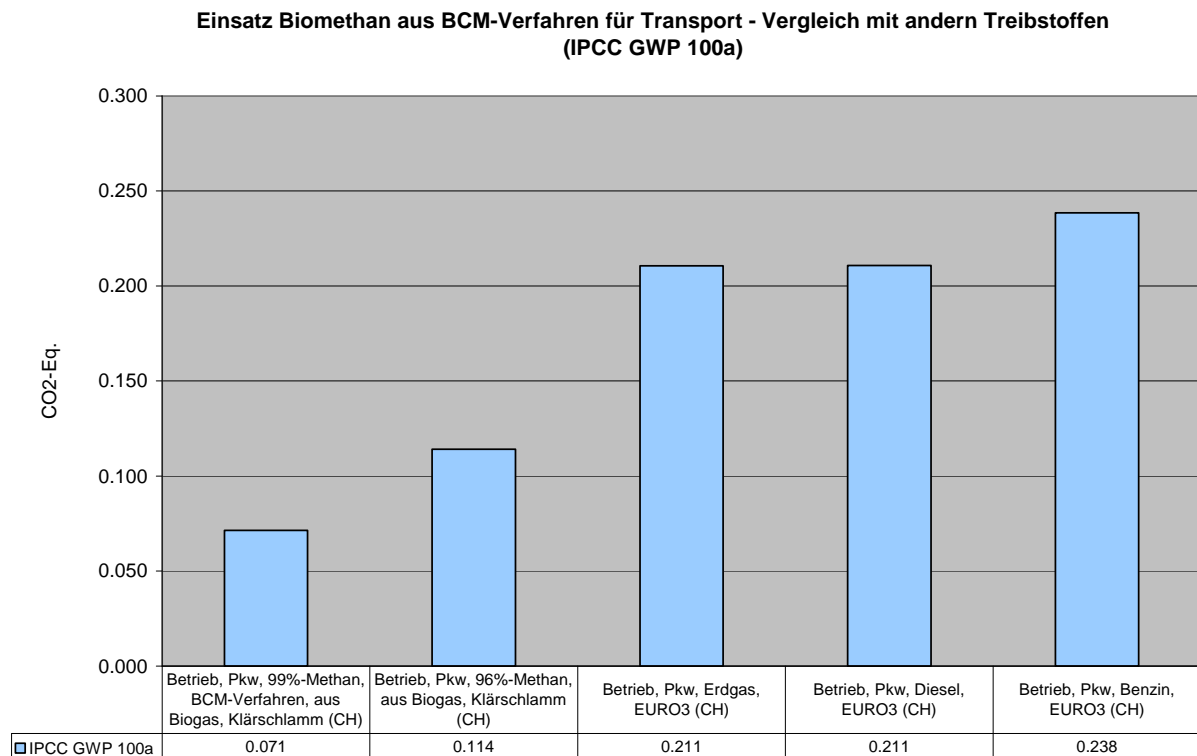
## Ökobilanzmethode

Die vorliegende Untersuchung ist in weitgehender Übereinstimmung mit der internationalen Normenreihe ISO 14040ff [5] erarbeitet worden. Zur Bewertung der Sachbilanz wird einerseits das Treibhausgaspotential (IPCC GWP 100a) untersucht, für eine Gesamtbetrachtung die Methoden der ökologischen Knappheit 2006 (UBP06) und des Eco-Indicator 99 (EI99) angewandt. Diese beiden letzteren Bewertungsmethoden ermöglichen sowohl eine Bewertung in einzelnen Wirkungskategorien als auch eine volle Aggregation, d.h. die Umweltbelastung wird in einer einzigen Zahl ausgedrückt. Die Einheit ist Umweltbelastungspunkte (UBP06) bzw. Eco-Indicator Punkte (EIP99).

## Resultate

Sowohl auf Basis Transport als auch auf Basis Heizwärme schneidet das durch das BCM-Verfahren aufbereitete Biomethan von allen Vergleichsvarianten dieser Ökobilanz am besten ab. Dies kommt bei der Betrachtung der Treibhausgasemissionen (IPCC GWP 100a) am stärksten zum Ausdruck. Bei den aggregierten Bewertungsmethoden UBPO6 und EI99 sind die Unterschiede ebenfalls deutlich. Über-

raschend ist, dass die Luft-Wärmepumpe im Fall von UBP06 viel schlechter abschneidet als das BCM-Biomethan, im Fall von EI99 jedoch etwas besser.



Die Umweltbelastung der einzelnen Lebensphasen bei der Herstellung und Verbrennung (für Heizzwecke) von BCM-Biomethan teilt sich folgendermassen auf: Herstellung Biorohgas 65.3%, BCM-Verfahren 29.5% und Heizprozess 5.2%.

## Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Der Einsatz von BCM-Biomethan bringt im Vergleich mit dem Referenzprodukt (Benzin für Transport bzw. Leichtöl fürs Heizen) Treibhausgasreduktionen von 60-70% (IPCC GWP 100a)
- Damit werden die Richtlinien der Mineralölsteuerbefreiung von mindestens 40% weniger Treibhausgasemissionen als fossiles Benzin klar erfüllt ([7], Art. 14)
- Die Umwelteinflüsse werden im Vergleich zu heutigen Standardenergieträgern stark reduziert (sowohl bei der UBP06- als auch bei der EI99-Methode). Dies gilt sowohl für den Einsatz als Treibstoff als auch für den Einsatz als Brennstoff für Heizzwecke.

## 2 Ausgangslage

Erdgas Zürich hat sich zum Ziel gesetzt, die Bio-Erdgas Produktion zu steigern und ins Erdgasnetz einzuspeisen. Dabei müssen die vorgegebenen Qualitätsanforderungen bei der Bio-Erdgas Aufbereitung eingehalten werden, wobei eine entsprechende Zertifizierung den gewünschten Nachweis erbringen soll. Dieses angestrebte Zertifizierungssystem existiert aber bisher weder in Deutschland noch in der Schweiz. In Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) soll nun der gesamte Prozess der Bio-Erdgas Herstellung nach ökologischen Kriterien anhand der Aufbereitungsanlage Meilen (ZH) analysiert und geprüft werden.

Ähnlich wie bei Biotreibstoffen liegt die Hauptmotivation bei der Nutzung von „Bio-Erdgas“ in der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Weitere wichtige Aspekte sind die Unabhängigkeit von Erdgas-Förderländern, die regionale Schaffung von Arbeitsplätzen und die generelle Schonung der Umwelt.

Die Biomethan-Aufbereitungsanlage in Meilen am Zürichsee verwendet das BCM<sup>®</sup>-Verfahren und gilt bei Erstellung dieser Studie als Pilotprojekt in der Schweiz.

### 2.1 Untersuchungsrahmen und Zielsetzung

Die Biomethan-Aufbereitungsanlage in Meilen ist gekoppelt an die schon bestehende Abwasser-Reinigungsanlage (ARA) in Meilen. Bis und mit Faulturm haben also alle Prozesse seit Jahren existiert, weshalb die ARA selbst nicht in die Ökobilanz der Aufbereitungsanlage einfließt. Es gilt jedoch zu beachten, dass ein Teil der eingesetzten thermischen Energie der BCM-Anlage in die ARA rückgeführt wird, um den Klärschlamm auf idealer Temperatur zu halten. Dieser Umstand wird bei der Festlegung der Systemgrenzen mitberücksichtigt.

Ziel dieser Untersuchung ist, die Umweltauswirkungen von produziertem Biomethan mit dem handelsüblich angebotenen Erdgas und ähnlichen Energieträgern für Heiz- und Transportzwecke zu vergleichen. Die Reduktion von Treibhausgasemissionen lässt sich durch einen Lebenszyklus-basierten Ansatz nachweisen. Des Weiteren soll aber auch die gesamte Umweltbelastung bilanziert werden, was mit zwei bekannten Ökobilanzbewertungsmethoden (UBP06 und EI99) geschieht. In einer letzten Untersuchung wird die Umweltbelastung der Biomethan-Aufbereitung noch den einzelnen Lebensphasen zugeordnet.

### 3 Methodische Grundlagen

#### 3.1 Methode der Ökobilanzierung

Die Ökobilanz ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen, durch

- Zusammenstellung einer Sachbilanz von relevanten Input- und Outputflüssen eines Produktsystems;
- Beurteilung der mit diesen Inputs und Outputs verbundenen potentiellen Umweltwirkungen;
- Auswertung der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung hinsichtlich der Zielsetzung der Studie.

Die Ökobilanz-Studie untersucht die Umweltaspekte und potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebenswegs eines Produktes von der Rohstoffgewinnung, über die Produktion, Anwendung (Nutzung) bis zur Beseitigung (d.h. „von der Wiege bis zur Bahre“) [5]. Demgemäss ist die vorliegende Untersuchung in weitgehender Übereinstimmung mit der internationalen Normenreihe ISO 14'040ff [5] erarbeitet worden.

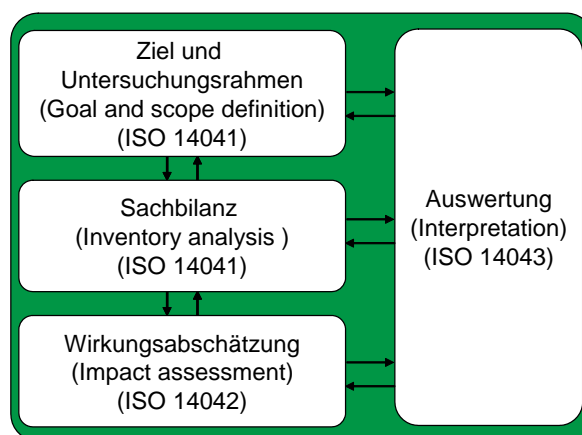


Abb. 1: Methodische Schritte beim Life Cycle Assessment (Ökobilanz von Produkten) nach ISO 14'040 [5]

Zur Bewertung der Sachbilanz im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden in dieser Untersuchung das Treibhauspotential (IPCC GWP 100a), die Methode der Ökologischen Knappheit 2006 (UBP06) sowie der Eco-Indicator 99 herangezogen (siehe Kapitel 3.3). Die beiden letzterwähnten Bewertungsmethoden ermöglichen eine volle Aggregation des Resultates, d.h. die Umweltbelastung wird in einer einzigen Zahl ausgedrückt. Je höher die Zahl, desto grösser die Umweltbelastung.

##### 3.1.1 Begriffsbestimmungen

**Biogas:** Biogase sind sämtliche Gase, die aus einer biologischen oder physikalischen Umwandlung aus Biomasse entstehen können (Methan-Anteil ca. 40-60%). Vor der Aufbereitung ist es eine wassergesättigte Gasmischung mit den Hauptkomponenten Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) [2].

**Bio-Erdgas:** Bio-Erdgas ist auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas. Die Biogasaufbereitung umfasst vor allem eine weitgehende Entfernung des Kohlendioxid- und Schwefelwasserstoff-Anteils. Die Anforderungen an Bio-Erdgas sind in der Richtlinie G13 des Schweizerischen Vereins des Gas- und

Wasserfaches (SVGW) festgehalten. Diese Richtlinie muss zwingend und vollumfänglich erfüllt sein, so dass Bio-Erdgas in ein Erdgasnetz eingespeist werden darf [2].

### 3.2 BCM<sup>®</sup>-Verfahren

Die Aufbereitung von Biogas zu Bio-Erdgas (Biomethan) in der Anlage von Meilen erfolgt mittels Amin-Wäsche nach dem BCM<sup>®</sup>-Verfahren. BCM steht für „Biogas CO<sub>2</sub> Methan“ und bezeichnet ein Waschverfahren, welches von der Firma DGE Wittenberg entwickelt wurde. Dieses Verfahren arbeitet drucklos. Das bedeutet geringeren apparativen und energetischen Aufwand. Die Reinigung der Gase erfolgt über eine chemische Reaktion, was eine höhere Reinheit des Biomethans, eine bessere Ausbeute und damit weniger Restmethan bedeutet – und dies bei allen Lastzuständen wie wechselnd anfallender Biogasmenge [8].

Nach Eintritt des Biogases wird es zuerst in einem Wasserwäscher vorbehandelt und die sauren Bestandteile und mitgeführten Schmutzpartikel ausgeschieden. Die Zugabe von Natronlauge hält den pH-Wert konstant. Das im Wäscher vorbehandelte Biogas gelangt nun in die Waschkolonne. Hier absorbiert eine aminhaltige Waschflüssigkeit das CO<sub>2</sub>; der Methangehalt steigt auf mindestens 98%. Anschließend gelangt das Biogas in einen Wärmetauscher, wo es durch Abkühlung vorentfeuchtet, auf rund 100 mbar verdichtet und dann der Resttrocknung zugeführt wird. Mit Hilfe eines kleinen Druckwechseladsorptionsfilters wird das aufbereitete Biogas getrocknet. Am Schluss garantiert ein Aktivkohlefilter – Polzeifilter genannt – die Feinentschwefelung [8].

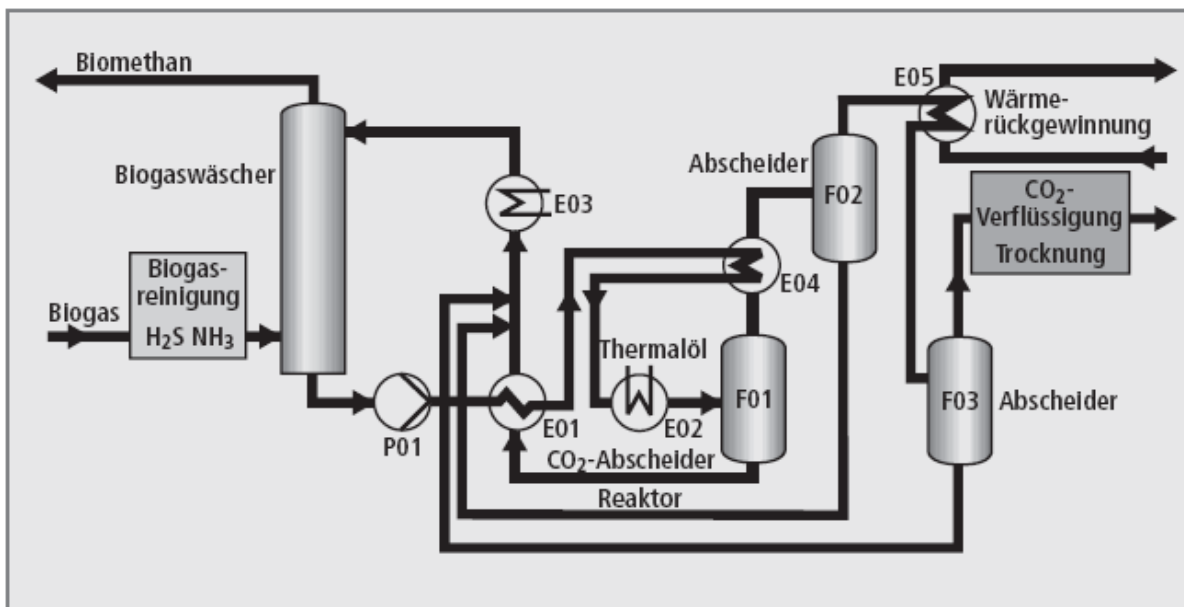


Abb. 2: Vereinfachtes Schema zum BCM-Verfahren [8]

Die mit CO<sub>2</sub> beladene Amin-Waschlösung wird über eine Wärmerückgewinnung entspannt, was einen Teil des CO<sub>2</sub> entfernt. Danach wird sie durch eine Erhitzung auf 150°C vollständig regeneriert und über die Wärmerückgewinnung in einen Abscheider geleitet, auf Normaldruck entspannt und wieder der Waschkolonne zugeführt. Die Abwärme erzeugt Warmwasser, das zum Heizen z.B. im Fermenter der Biogasanlage genutzt werden kann. Das aus dem Biogas gelöste CO<sub>2</sub> wird an die Umwelt abgegeben [8].

Die «Produktreinheit» des Biomethans beträgt 99%. Die Erhitzung der Waschlösung geschieht über einen Thermoölkreislauf; der Thermoölkessel wird durch Erd- oder Biogas befeuert. Der Energieaufwand hält sich dank der Wärmerückgewinnung in Grenzen. Das BCM-Verfahren kommt aus mit einem Strom-Aufwand von nur 0,01 kWh/Nm<sup>3</sup>/h Biogas plus 0,064 kWh thermischer Energie pro kW auf-

bereitetem Biogas. Das Verfahren funktioniert in jedem Druckbereich. Das Restmethan liegt bei kleiner als 0,1%. Ebenso kann die Hälfte der eingesetzten thermischen Energie zur Raumheizung oder zur Heizung des Fermenters eingesetzt werden [8].

### 3.3 Systemgrenzen

Die Bestimmung der Systemgrenzen ist zentral für eine seriöse Durchführung der Ökobilanz.

In einer vergleichenden Ökobilanz dürfen für die Bilanz nicht relevante Prozesse weggelassen werden. Die ARA Meilen hat schon jahrelang vor der Verkuppelung mit der Bio-Erdgas Aufbereitungsanlagen von Erdgas Zürich existiert, und sie würde auch noch jahrelang unabhängig davon existieren. Deshalb macht es für diese Untersuchung Sinn, nur die zur Biomethan-Aufbereitungsanlage gehörenden zusätzlichen Prozesse in die Systemgrenzen aufzunehmen (ab Faulturm). Die folgende Abbildung zeigt die Systemgrenzen innerhalb des Gesamtsystems.

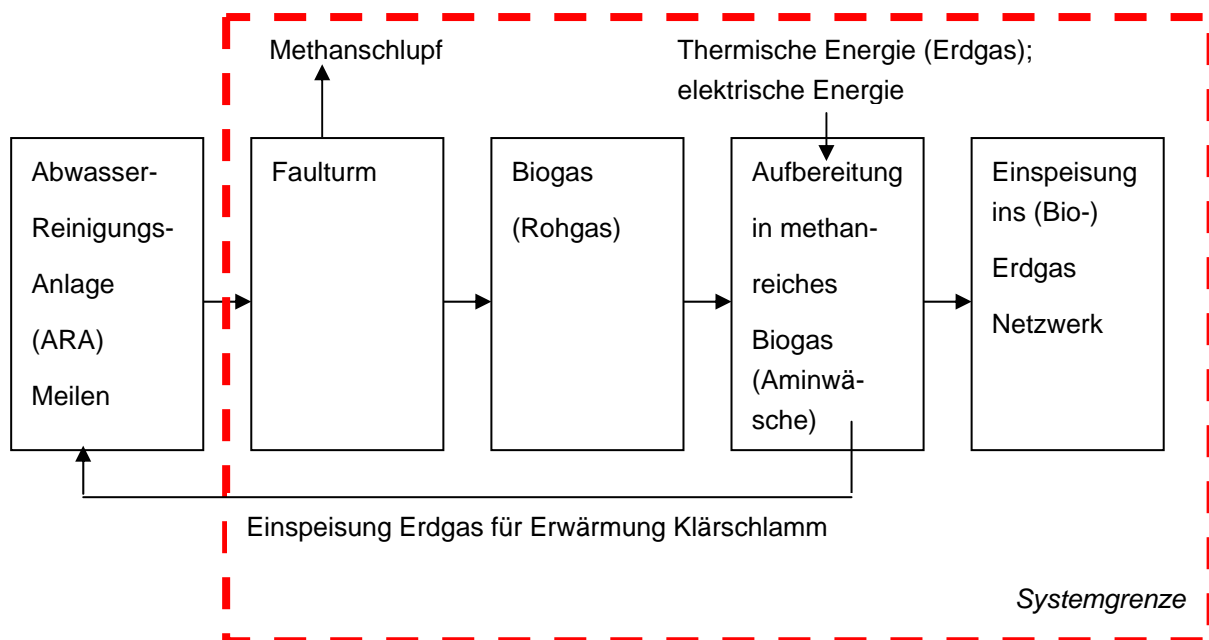


Abb. 3: Systemgrenze für die Ökobilanz der Bio-Erdgas Aufbereitungsanlage in Meilen.

### 3.4 Bewertungsmethoden

#### 3.4.1 Treibhauspotential – IPCC GWP 100a

Das (relative) Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential, Greenhouse Warming Potential oder GWP) oder CO<sub>2</sub>-Äquivalent gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Als Vergleichswert dient Kohlendioxid; die Abkürzung lautet CO<sub>2</sub>e (für equivalent). Der Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum; oft werden 100 Jahre betrachtet [9].

Beispielsweise beträgt das CO<sub>2</sub>-Äquivalent für Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren 25: Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan 25-mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als ein Kilogramm CO<sub>2</sub>. Das Treibhauspotential ist aber nicht mit dem tatsächlichen Anteil an der globalen Erwärmung gleichzusetzen, da sich die Emissionsmengen der verschiedenen Gase stark unterscheiden. Mit die-



sem Konzept können bei bekannten Emissionsmengen die unterschiedlichen Beiträge einzelner Treibhausgase verglichen werden. Maßgeblich sind dabei die Zahlen gemäß dem vierten Sachstandsbericht des IPCC aus dem Jahr 2007, bei einem Zeithorizont von 100 Jahren [9].

### 3.4.2 Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006

Die aktualisierte Methode der ökologischen Knappheit 2006 (UBP06) beruht wie deren Vorgänger aus dem Jahre 1997 auf dem Prinzip „Distance-to-target“. Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert. Als Schutzgüter berücksichtigt die Methode implizit die menschliche Gesundheit, die Überlebensfähigkeit der Ökosysteme sowie die Ressourcen. Je nach Wertmuster werden die Schutzgüter anders gewichtet. Die Emissionsziele werden anhand gesetzlicher Vorgaben festgelegt.

Die Methode rechnet die verschiedenen Umwelteinwirkungen in Punkte um, damit die Werte zusammengezählt und untereinander verglichen werden können. Die Ökofaktoren präsentieren sich damit formal wie eine Nutzwertanalyse, wobei diese aus der gegenwärtigen Umweltsituation (aktueller Fluss) und der durch die Umweltpolitik angestrebten Zielsituation (kritischer Fluss) sowie dem Berechnungsalgorithmus bestimmt werden können [3].

### 3.4.3 Eco-Indicator 99

Ausgangspunkt der EIP99 Methode ist klar der Bewertungsschritt, d.h. die Schutzgüter und nicht das Ergebnis der Sachbilanz. Als Schutzgüter, deren Beeinträchtigung mittels einer Ökobilanz zu quantifizieren sind, werden menschliche Gesundheit, Ökosystemgesundheit und Ressourcenentwertung berücksichtigt. Die Methode berücksichtigt zwei Arten von Unsicherheiten, nämlich die Datenunsicherheit und die Unsicherheiten in den Modellen. Bei der Modellbildung sind Annahmen über Parameter und Modellgrenzen notwendig, die Werturteile beinhalten und die Ergebnisse beeinflussen können. Drei verschiedene Wertemuster werden in der Methode benutzt, was zu drei in sich konsistenten Schadensmodellen führt. Die Ausgestaltung der Wertemuster erfolgt auf der Basis der Kulturtheorie und umfasst die folgenden drei Kulturtypen:

**E (Egalitarian):** Zukünftige Generationen sind ebenso wichtig wie die heutigen (Langzeitperspektive); weit entfernt lebende Menschen sind ebenso wichtig wie die eigene Familie (vorsichtige Grundhaltung)

**I (Individualist):** Hier und heute sind sehr wichtig (Kurzzeitperspektive); eigene Familie und nähere Umgebung sind wichtiger als Menschen anderer Regionen (risikofreudige Grundhaltung)

**H (Hierarchist):** Wägt jeweils zwischen der Gegenwart und der Zukunft, zwischen dem Hier und der Welt und zwischen Risiken und Nutzen ab

In dieser Ökobilanzstudie werden Werte der hierarchistischen Sichtweise (H,A) wiedergegeben, da sie aus heutiger Sicht der Dinge am realistischsten erscheint [4].



## 4 Modellierung und Sachbilanz

### 4.1 Modellierung und Prozess-Abbildung in SimaPro

Aufgrund der Systemgrenzen wird hier dargelegt, welche Prozesse in die Modellierung dieser Ökobilanz einfließen sollen. Die Modellierung erfolgt mit der bekannten und weltweit verwendeten Ökobilanz-Software SimaPro. Wo immer möglich, werden schon vorgegebene Prozesse aus der ecoinvent Datenbank (ecoinvent 2.1) verwendet. Bei jenen Prozessen, welche nicht direkt durch einen ecoinvent Datensatz abgebildet werden können, wird ein bezüglich Umweltauswirkungen vergleichbarer ecoinvent Prozess eingesetzt.

### 4.2 Sachbilanz

In der folgenden Sachbilanztabelle (Tab. 1) wird dargelegt, welche Prozesse in die Ökobilanz der Biomethan-Aufbereitungsanlage Meilen einfließen, und durch welche ecoinvent Datensätze [1] sie in SimaPro abgebildet werden. In der Spalte „Bemerkung“ ist aufgeführt, wie die Input-Werte ermittelt wurden. Der neu erstellte Datensatz fürs Biomethan nach BCM-Verfahren heisst „Methane, 99 vol-%, from sewage sludge, at BCM-purification /m<sup>3</sup>/(CH)“ [auf Deutsch: „Methan, 99 vol-%, aus Klärschlamm, ab BCM-Aufbereitung/m<sup>3</sup>/(CH)“].

Tab. 1: Sachbilanz Biomethan-Aufbereitungsanlage Meilen

Prozess Ressourcen	ecoinvent Datensatz	Bemerkung / Input-Werte
Infrastruktur	Facilities, chemical production (RER)	Schätzung aus ecoinvent übernommen Wert: 4.0E-11 units
Energie: elektrisch	Electricity, medium voltage, at grid (CH)	2.5 kWh Erdgas für 100 kWh Biomethan werden mit elektrischer Energie erzeugt; Brennwert Biomethan 10.6 - 13.1 kWh/Nm <sup>3</sup> ; hier Wert 11 kWh/Nm <sup>3</sup> genommen, also 2.5 kWh für ca. 9.1 Nm <sup>3</sup> Biomethan Wert: 2.5/9.1 = 0.275 kWh
Energie: thermisch	Natural gas, high pressure, at consumer (CH)	Primärenergie Erdgas 8 kWh pro 100 kWh Biomethan; Brennwert Biomethan 10.6 - 13.1 kWh/Nm <sup>3</sup> ; hier Wert 11 kWh/Nm <sup>3</sup> genommen, also 8 kWh für ca.9.1Nm <sup>3</sup> Biomethan Wert: 3.6*8/9.1 = 3.16 MJ

Prozess Ressourcen	ecoinvent Datensatz	Bemerkung
Biogas aus Klärschlamm	Biogas, from sewage sludge, at storage (CH)	Aus 100 Nm <sup>3</sup> Rohgas werden 60 Nm <sup>3</sup> Biomethan erzeugt; Faktor 10/6 = 1.67 m <sup>3</sup>
Natronlauge zur Aufrechterhaltung des PH-Wertes	Sodium hydroxide, 50% in H <sub>2</sub> O, production mix, at plant (RER)	50 l Natronlauge pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan; Wert: 50/240000 = 0.000208 kg
Amine für Aminwäsche	Monoethanolamine, at plant (RER)	500 l Amine pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan; Wert: 500/240'000 = 0.00208 kg
Wasser für Aminwäsche	Tap water, at user (CH)	500 l Wasser pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan; Wert: 500/240'000 = 0.00208 kg
Silicagel für Restentfeuchtung	Silicone product, at plant (RER)	110 l Silicagel pro 1'200'000 m <sup>3</sup> Biomethan (5 Jahre); Dichte Silicagel 2.2 g/cm <sup>3</sup> ; Wert: 110*2.2/1200000 = 0.0002 m <sup>3</sup>

Prozess Ressourcen	ecoinvent Datensatz	Bemerkung
Aktivkohle	Charcoal, at plant (GLO)	50 kg Aktivkohle pro Jahr, d.h. pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan; Wert: 50/240'000 = 0.000208 kg
Thermalöl	Lubricating oil, at plant (RER)	200 l pro 5 Jahre; Dichte Thermalöl 0.9 kg/m <sup>3</sup> ; Wert: 40/240000*0.9 = 0.00015 kg

Prozess Emissions to air	ecoinvent Datensatz	Bemerkung
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Carbon dioxide, biogenic	0.4 m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> pro m <sup>3</sup> Biomethan; Wert: 1.98*0.4 = 0.792 kg
Abwärme	Heat, waste	aus ecoinvent übernommen (1.8 MJ)

Schwefelwasserstoff (Entschwefelung)	Hydrogen sulfide	12 ppm H <sub>2</sub> S im Rohgas (H <sub>2</sub> S hat Molekulargewicht von 34, Methan von 16); auf 1 m <sup>3</sup> Biomethan berechnet (aus 100 m <sup>3</sup> Rohgas gibt's 60 m <sup>3</sup> Biomethan)  Wert: $6/1000000 \cdot 34/16 \cdot 1.67 \cdot 0.72 = 1.53 \text{ E-5 kg}$
Methanschlupf („Restmethan“)  BCM-Verfahren	Methane, biogenic	Restmethan <0.1 % des Methans im Rohbiogas; Dichte Methan 0.72 g/l, 720 g/m <sup>3</sup>  Wert: $0.72 \cdot 0.001 = 0.00072 \text{ kg}$

Prozess Emissions to water	ecoinvent Datensatz	Bemerkung
Abwasser Wasserwäsche	Waste water	Abwasser von Wasserwäsche: 5 m <sup>3</sup> pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan;  Wert: $5/240000 = 2.08 \text{ E-5 m}^3$
Abwasser Aminwäsche (Wasser)	Waste water	Abwasser Aminwäsche, jährlich getauscht: 500 l pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan;  Wert: $0.5/240000 = 2.08 \text{ E-6 m}^3$
Abwasser Aminwäsche (Amine)	Methyl amine	Abwasser von Aminwäsche, jährlich getauscht: 500 l pro 240'000 m <sup>3</sup> Biomethan;  Wert: $500/240000 = 0.00208 \text{ kg}$

Der oben beschriebene neue Datensatz zu Biomethan per BCM-Verfahren wird aus dem fürs Projekt „Ökobilanz von Energieprodukten“ erarbeiteten Datensatz „Methan, 96 vol-%, aus Biogas, aus Klärschlamm, ab Aufbereitung (CH)“ adaptiert. Die Daten (Verbrauchszahlen) dazu stammen von Erdgas Zürich, welche die Aufbereitungsanlage in Meilen betreut und Messungen vorgenommen hat.

Für den Vergleich mit anderen Energieträgern in Bezug auf Transport und Heizzwecken wurden auf Basis des „Methan, 99 vol-%...“ Datensatzes weitere Datensätze erstellt:

- „Betrieb, Pkw, 99-% Methan, BCM-Verfahren, aus Biogas, Klärschlamm (CH)“
- „Wärme, Biomethan, BCM-Verfahren (CH)“

Diese neuen Datensätze werden in den Resultatkapiteln 5.1. bis 5.3. diskutiert.

## 5 Bewertete Sachbilanz – Resultate

In diesem Kapitel werden drei Vergleiche beschrieben. Zuerst wird ermittelt, wie das Biomethangas nach BCM-Verfahren als Treibstoff abschneidet (Kap. 5.1). Dabei wird es mit schweizerischem Standard-Biomethan, mit handelsüblichem Erdgas, sowie Diesel und Benzin verglichen.

In Kapitel 5.2 wird der Einsatz von BCM-Biomethan zu Heizzwecken untersucht. Hier erfolgt der Vergleich mit Leichtöl, Erdgas, und der Luft-/Wasser Wärmepumpe in der Schweiz bzw. in Europa (z.B. Deutschland).

Alle Vergleiche in den Kapiteln 5.1 und 5.2 werden mit den drei Bewertungsmethoden IPCC GWP 100a, UBP06 und EI99 durchgeführt.

Kapitel 5.3. untersucht die verschiedenen Stadien der Prozesskette von BCM-Biomethan bis zur Verbrennung zu Heizzwecken, und zeigt deren Umweltauswirkungen am Beispiel der EI99-Bewertungsmethode.

Im letzten Resultatekapitel 5.4 wird noch der Miteinbezug von (thermischer) Energieabgabe an die Kläranlage (ARA) Meilen näher betrachtet. Es soll der Frage nachgegangen werden, wie sich die Abgabe an Wärmeenergie an die ARA im Vergleich mit dem Rohgasbezug ökologisch auswirkt.

## 5.1 Vergleich auf Basis Transport

Ein Primärziel des neuen Biogas-Aufbereitungsverfahrens muss sein, die Reduktion der Treibhausgase anzustreben. Da Methan ein 25-mal stärkeres Treibhausgaspotential als CO<sub>2</sub> aufweist, ist der so genannte Methanschlupf, also das Restmethan im Aufbereitungsprozess, von zentralem Interesse.

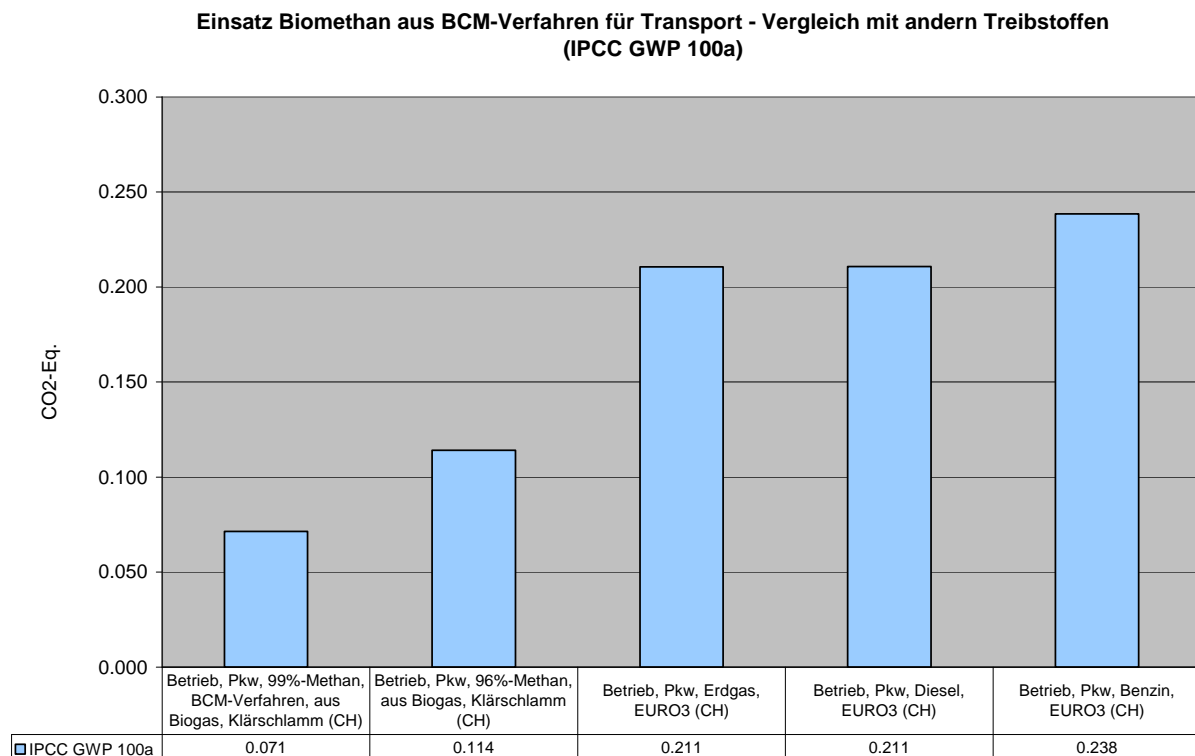


Abb. 4: Einsatz von Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage von Erdgas Zürich in Meilen im Vergleich mit anderen Treibstoffen. Berechnet auf 1 km Betrieb mit einem Personenkraftwagen und ausgewertet in Treibhausgaspotentialen (IPCC GWP 100a).

Um einen aussagekräftigen Vergleich mit Referenztreibstoffen machen zu können, wird jeweils der Betrieb eines Personenkraftwagens pro einem gefahrenen Kilometer (1 km) dargestellt. Miteinbeziehen in diesen Betrieb sind der Treibstoffverbrauch und die entstehenden Luftemissionen, die Staubemissionen sowie die ausgestossenen Schwermetalle.

Die Bewertung mit der IPCC Methode „Global Warming Potential“ auf 100 Jahre Verweildauer zeigt, dass im Vergleich mit der Referenz (Erdgas/Diesel/Benzin) das eingesetzte BCM-Methan bis zu 65% der Treibhausgasemissionen eingespart werden können (Abb. 4). Selbst im Vergleich mit dem Standard Biomethan aus ecoinvent (Aufbereitung mit Druckwechseladsorptionsverfahren PSA) schneidet das BCM-Methan aus Meilen eindeutig besser ab.

Die Treibhausgasbilanz ist aber nur ein Aspekt in der Bewertung eines Produktes oder einer Technologie. Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt deshalb denselben Vergleich mit der auf schweizerische Verhältnisse abgestimmten Bewertungsmethode „Ökologische Knappheit“. Sie bewertet 7 Einzelkategorien (Abfall, Ressourcen, Emission in Luft, Boden und Wasser). Gleichzeitig können diese Wirkungskategorien aber zu Umweltbelastungspunkten (UBP06) aufaggregiert werden. Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, dass sich die die Verhältnisse unter den betrachteten Treibstoffen ähnlich verhalten wie bei der oben beschriebenen IPCC Methode. Mit dem einzigen Unterschied, dass die Umweltaus-

wirkungen von Erdgas, Diesel und Benzin pro gefahrenem Pkw-Kilometer stärker voneinander abweichen als bei der Betrachtung der Treibhausgaspotentiale.

**Einsatz Biomethan aus BCM-Verfahren für Transport - Vergleich mit andern Treibstoffen (UBP06)**

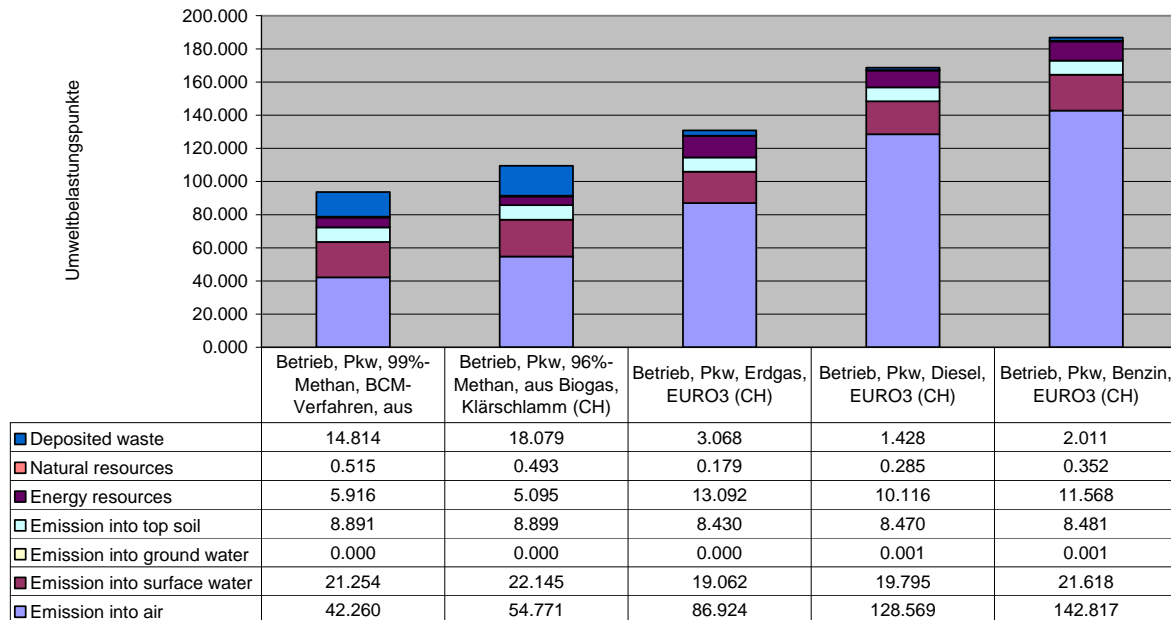


Abb. 5: Einsatz von Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage von Erdgas Zürich in Meilen im Vergleich mit anderen Treibstoffen. Berechnet auf 1 km Betrieb mit einem Personenkraftwagen und ausgewertet in Umweltbelastungspunkten der Methode der Ökologischen Knappheit.

Als letzte Bewertungsmethode wird hier noch die Eco-Indicator 99 Methode eingesetzt (Abb. 6). Der Eco-Indicator ist für Europäische Verhältnisse entwickelt worden, und wird weltweit akzeptiert. Die Methode beschreibt 10 verschiedene Wirkungskategorien, welche sich wie bei der UBPO6-Methode aggregieren lassen. Im Vergleich zur Methode der Ökologischen Knappheit zeigt sich wiederum ein ähnliches Bild, mit dem einzigen Unterschied, dass das Biomethan aus der Meilemer Aufbereitungsanlage etwas schlechter abschneidet als das Standard-Biomethan aus ecoinvent. Grund dafür ist der Einsatz von Erdgas für die thermische Energie, welche ja zu 60% in die ARA abgegeben wird, um den Klärschlamm auf Betriebsniveau zu halten. Da die Eco-Indicator 99 Bewertungsmethode fossile Ressourcen viel stärker gewichtet als die UBPO6-Methode, verschiebt sich das Verhältnis zuungunsten des BCM-Biomethans.

Einsatz Biomethan aus BCM-Verfahren für Transport - Vergleich mit andern Treibstoffen (EI99)

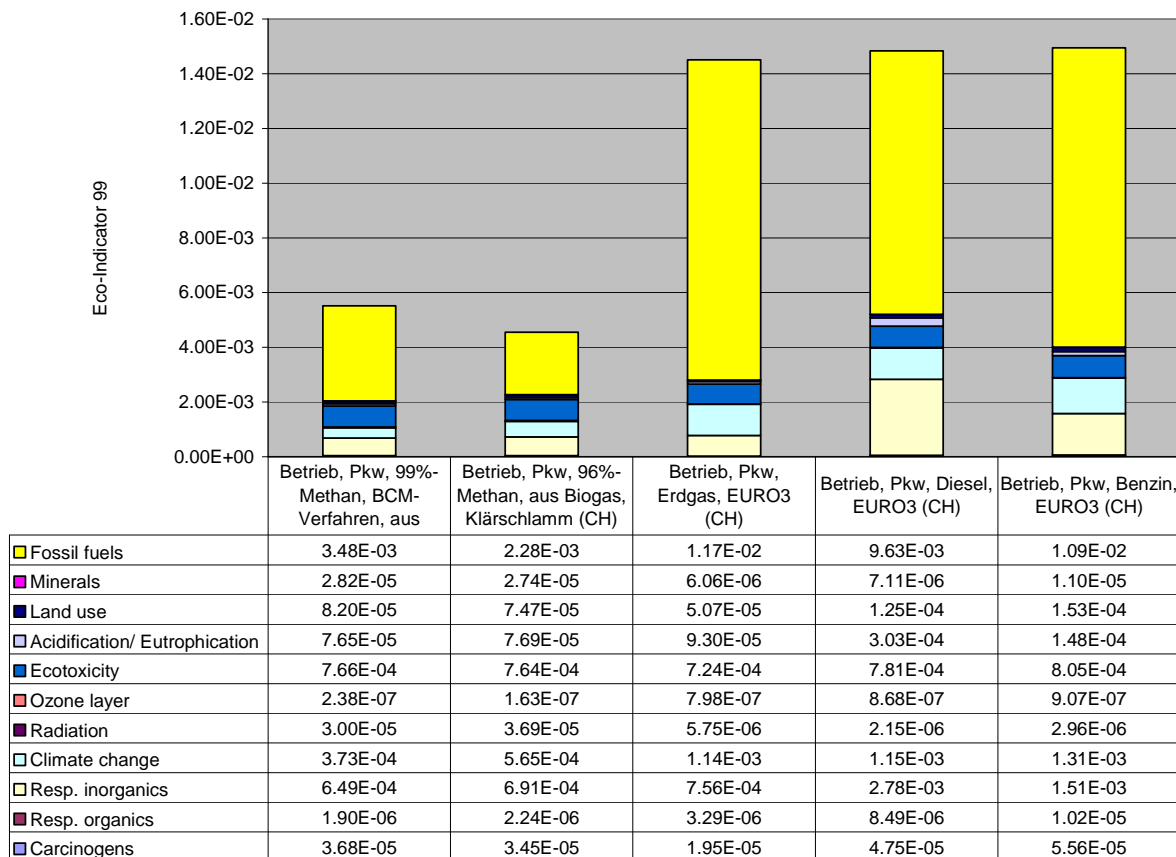


Abb. 6: Einsatz von Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage von Erdgas Zürich in Meilen im Vergleich mit anderen Treibstoffen. Berechnet auf 1 km Betrieb mit einem Personenkraftwagen und ausgewertet in Eco-Indicator 99 Punkten.

## 5.2 Vergleich auf Basis Heizwärme

Neben der Verwendung von Bio-Erdgas als Treibstoff wird es häufig auch fürs Heizen eingesetzt. Der folgende Vergleich soll aufzeigen, wie sich das Bio-Erdgas aus dem BCM-Verfahren gegenüber den Referenz-Energieträgern Leichtöl und Erdgas behauptet. Daneben ist eine Gegenüberstellung mit einer Luft-Wasser Pumpe ebenfalls sinnvoll. Abbildungen 7-9 veranschaulichen den Einfluss des Strommixes, indem einerseits eine Wärmepumpe aus der Schweiz und andererseits eine gleiche Wärmepumpe aus dem Europäischen Raum (mit UCTE-Strom) erfasst werden.

Wie beim Vergleich auf Basis Transport werden hier die Bewertungsmethoden IPCC GWP 100a (Treibhausgaspotential), UBP06 (Ökologische Knappheit) sowie EI99 (Eco-Indicator) angewandt. Die funktionelle Einheit ist bei allen berechneten Varianten 1 MJ erzeugte Wärme.

Bezüglich Treibhausgaspotentials (Abb. 7) schneidet nur die Wärmepumpe mit schweizerischem Strommix annähernd gut ab wie der Energieträger „Biomethan aus BCM-Verfahren“. Sowohl die mit Leichtöl erzeugte Wärme als auch die Varianten mit Erdgas und „europäischer“ Wärmepumpe liegen bezüglich CO<sub>2</sub>-Äquivalenten um Faktor 3-4 höher. Beim Erdgas würde der Balken für einen 10 kW-Boiler jedoch etwas kürzer ausfallen. Für den ausgeführten Vergleich konnte leider nur ein Boiler <100 kW aus ecoinvent herangezogen werden.



**Einsatz Biomethan aus BCM-Verfahren für Wärmeproduktion - Vergleich mit andern Energieträgern (IPCC GWP 100a)**

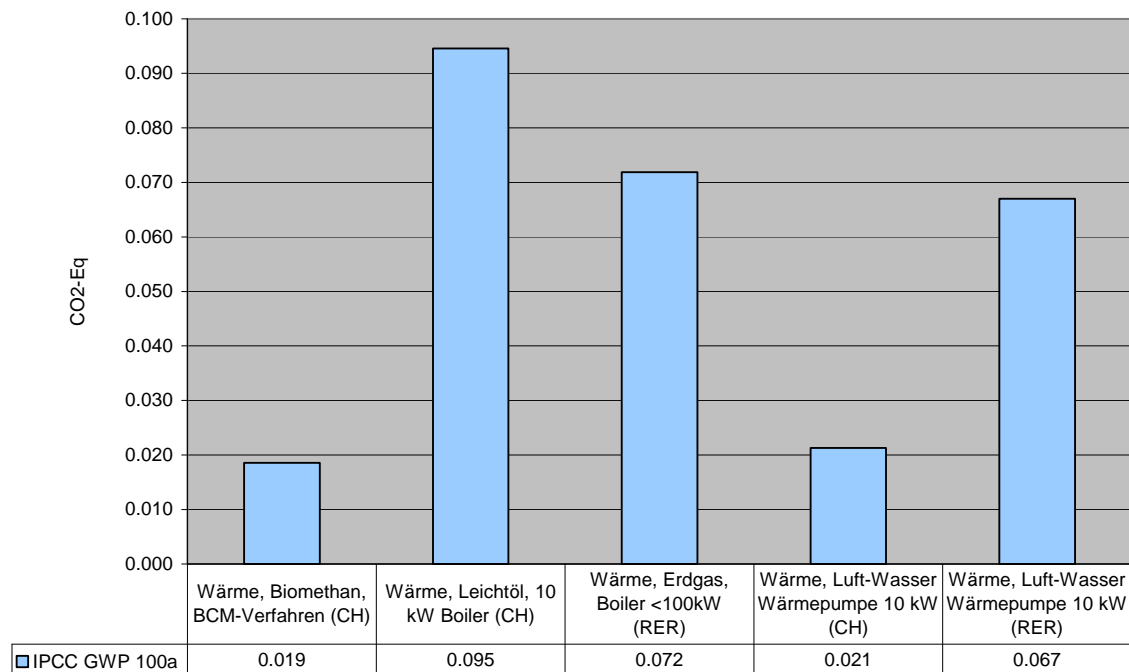


Abb. 7: Einsatz von Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage von Erdgas Zürich in Meilen im Vergleich mit anderen Heizenergietyten. Berechnet auf 1 MJ Wärme mit einer 10 kW Boiler- oder Pumpenanlage und ausgewertet in Treibhauspotentialen (IPCC Greenhouse Warming Potential 100a).

Die Tendenzen der abgebildeten Vergleichsvarianten sind auch bei der UBP06-Methode ähnlich (Abb. 8), mal abgesehen von der Tatsache, dass hier die Wärmepumpen relativ schlechter abschneiden als bei der alleinigen Betrachtung des Treibhausgaspotentials (Abb. 7). Abfälle werden bei der UBP06 offensichtlich stärker gewichtet als bei anderen Bewertungsmethoden. Luftemissionen machen bei allen Wärmetypen den grössten Anteil der Umweltbelastungen aus – mit Ausnahme der Luft-Wärme Wasserpumpe mit Schweizer Strommix.

**Einsatz Biomethan aus BCM-Verfahren für Wärmeproduktion - Vergleich mit anderen Energieträgern (UBP06)**

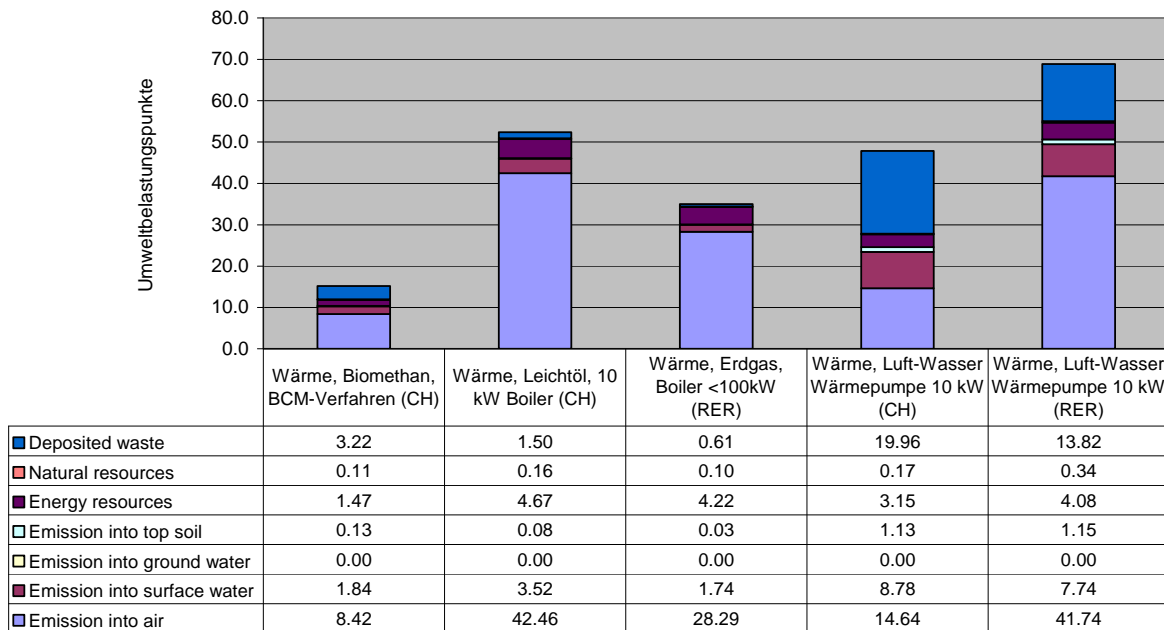


Abb. 8: Einsatz von Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage von Erdgas Zürich in Meilen im Vergleich mit anderen Heizenergietypen. Berechnet auf 1 MJ Wärme mit einer 10 kW Boiler- oder Pumpenanlage und ausgewertet in Umweltbelastungspunkten der Methode der Ökologischen Knappheit.

**Einsatz Biomethan aus BCM-Verfahren für Wärmeproduktion - Vergleich mit anderen Energieträgern (EI99)**

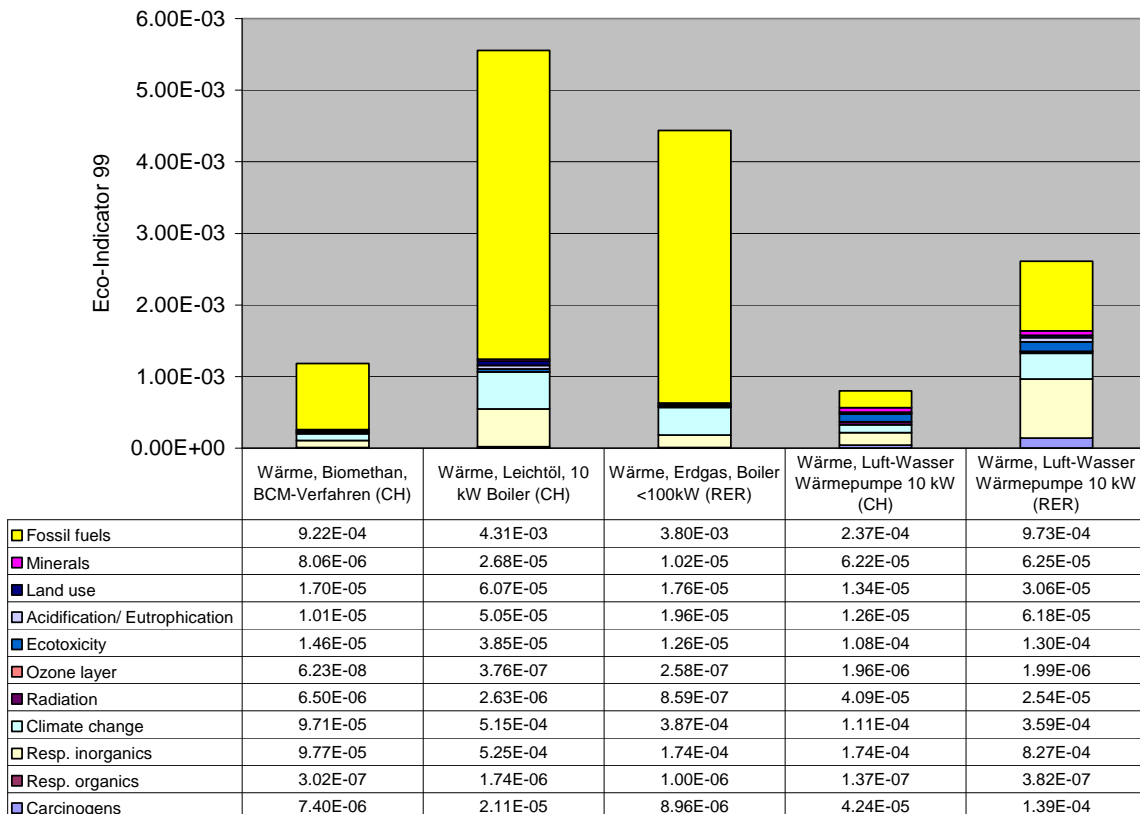
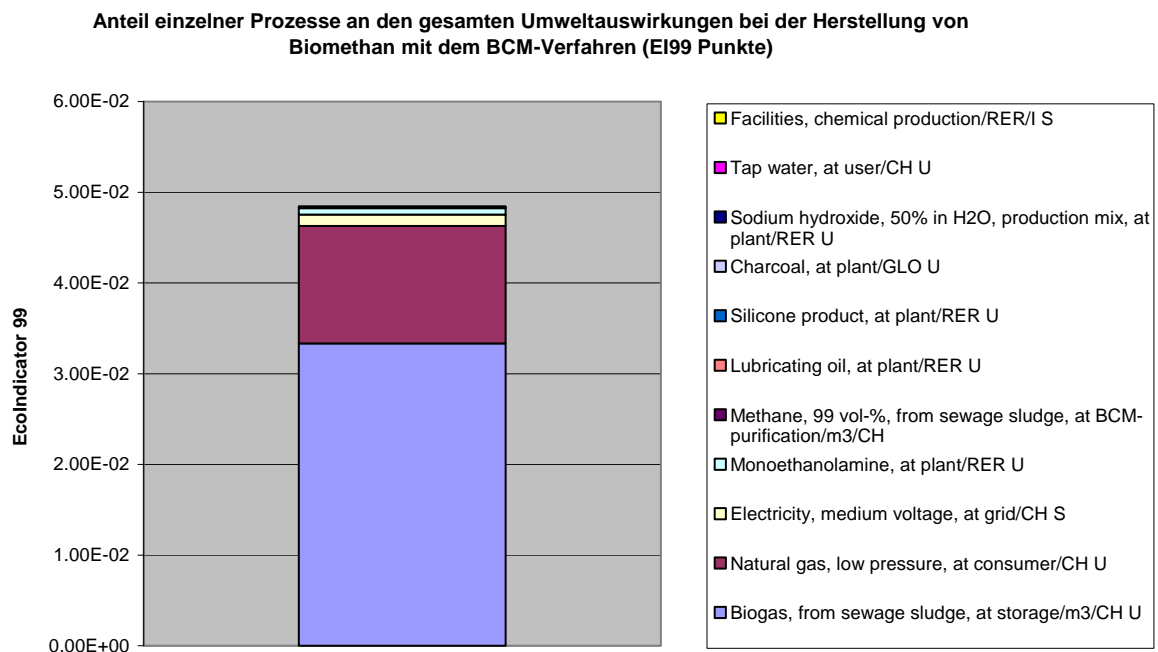


Abb. 9: Einsatz von Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage von Erdgas Zürich in Meilen im Vergleich mit anderen Heizenergietypen. Berechnet auf 1 MJ Wärme mit einer 10 kW Boiler- oder Pumpenanlage und ausgewertet in Eco-Indicator 99 Punkten.

Die ausgewerteten Eco-Indicator 99 Punkte zeigen einen praktisch identischen Verlauf wie die Treibhausgaswirkung am Beispiel der IPCC-Methode. Wie Abbildung 9 bestätigt, ist die fossile Energie vor allem beim Leichtöl und Erdgas für den grössten Impact verantwortlich. Die Luft-Wasser Wärmepumpe mit schweizerischem Strommix schneidet in der Eco-Indicator Methode sogar leicht besser ab als das fürs Heizen eingesetzte Biomethan aus der BCM-Aufbereitungsanlage Meilen.

### 5.3 Hauptverursacher der Umweltauswirkungen im Lebenszyklus von BCM-Biomethan

In einem weiteren Vergleich wird hier noch auf den Beitrag der Einzelprozesse auf die gesamten Umweltauswirkungen bis und mit Verheizen von BCM-Biomethan eingegangen. Unterschieden werden die Biogas(Rohgas)-Produktion, das BCM-Aufbereitungsverfahren, sowie die nachfolgende Verteilung und die Erzeugung von Wärme.

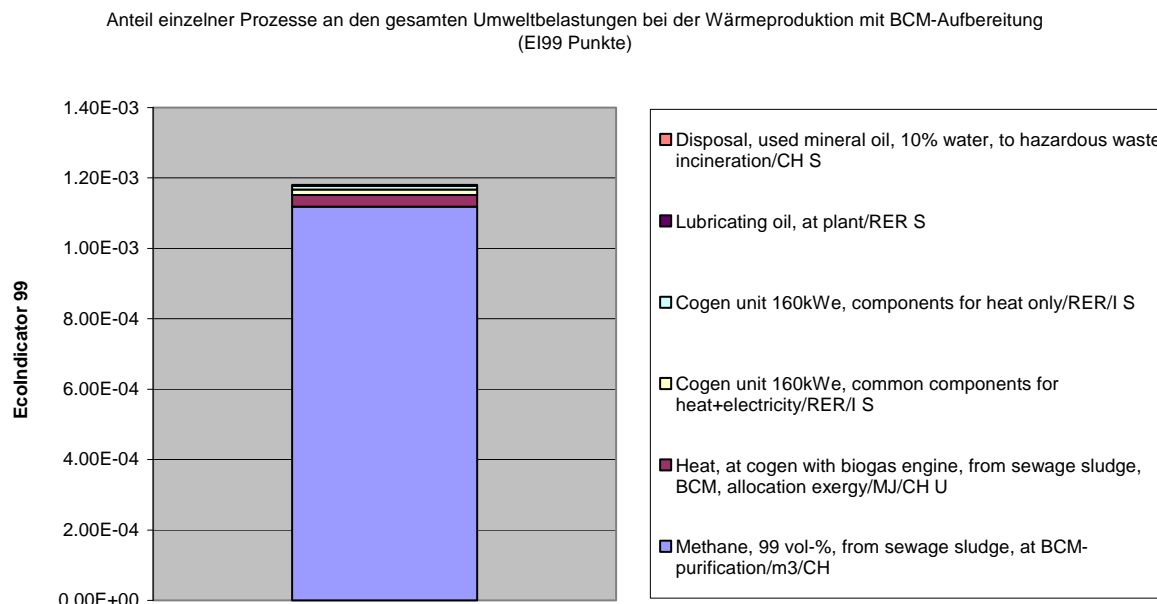


Prozess	EI'99	in %
Biogas, from sewage sludge, at storage/m3/CH U	3.33E-02	68.84%
Natural gas, low pressure, at consumer/CH U	1.29E-02	26.70%
Electricity, medium voltage, at grid/CH S	1.26E-03	2.59%
Monoethanolamine, at plant/RER U	7.18E-04	1.48%
Methane, 99 vol-%, from sewage sludge, at BCM-purification/m3/CH	8.27E-05	0.17%
Lubricating oil, at plant/RER U	4.22E-05	0.09%
Silicone product, at plant/RER U	4.17E-05	0.09%
Charcoal, at plant/GLO U	1.32E-05	0.03%
Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U	1.08E-05	0.02%
Tap water, at user/CH U	2.04E-08	0.00%
Facilities, chemical production/RER/I S	2.88E-11	0.00%
<b>Total</b>	<b>4.84E-02</b>	<b>100.00%</b>

Abb. 10: Beitrag von Einzelprozessen zu den gesamten Umweltauswirkungen von Biomethan bis und mit BCM-Aufbereitung

Abbildung 10 zeigt, wie sich die Inputs sowie Outputs des Prozesses „Methan, 99 vol-%, aus Klärschlamm, ab BCM-Aufbereitung/m3/(CH)“ bezüglich Umweltbelastung aufteilen. Knapp 70% der Ge-

samtbelastung des BCM-Biomethangases geht zu Lasten der Biorohgas-Herstellung. Die restlichen Prozente kommen aus dem Einsatz von externem Erdgas (gut 26%) sowie weniger als 3% aus der Elektrizität zur Betreibung der BCM-Anlage. Die Emissionen der BCM-Aufbereitungsanlage sind im Vergleich zu den gesamten Umweltbelastungen (EI99) verschwindend klein (0.17%).

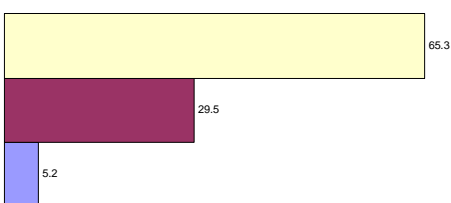


Prozess	EI99	in %
Methane, 99 vol-%, from sewage sludge, at BCM-purification/m3/CH	1.12E-03	94.76%
Heat, at cogen with biogas engine, from sewage sludge, BCM, allocation exergy/MJ/CH U	3.29E-05	2.79%
Cogen unit 160kWe, common components for heat+electricity/RER/I S	1.50E-05	1.27%
Cogen unit 160kWe, components for heat only/RER/I S	1.04E-05	0.88%
Lubricating oil, at plant/RER S	3.47E-06	0.29%
Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH S	1.90E-07	0.02%
Total	1.18E-03	100.00%

Abb. 11: Anteil der Aufbereitung von BCM-Methan (inklusive aller Vorketten) an den gesamten Umweltauswirkungen beim Verheizen

Wird noch ein Prozessschritt mehr in die Beurteilung miteinbezogen (Abb. 11; Verwendung von BCM-Biomethan zu Heizzwecken), dann sieht man, dass der Herstellungsprozess (Rohgasherstellung und BCM-Verfahren) fast 95% der gesamten Umweltauswirkungen (EI99) ausmacht. Nur gerade knapp 3% können der Infrastruktur sowie den Heizemissionen zugeschrieben werden.

Beim Heizen mit Biomethan geschieht die Aufteilung auf die einzelnen Lebensphasen also folgendermassen (berechnet aus Abb. 10 und 11):

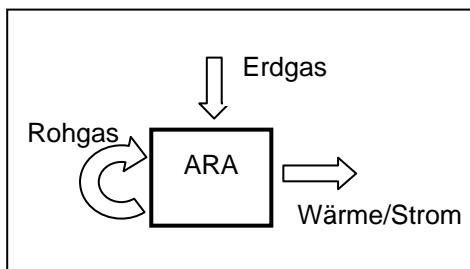
Lebensphase			
Herstellung Biorohgas (ARA)	0.6884*0.9476	65.3%	
BCM-Verfahren	0.3116*0.9476	29.5%	
Heizprozess	0.0524	5.2%	
Total		100%	

Hauptverantwortlich für die Umweltbelastung bei der Erzeugung von Biorohgas ist der Methanschluß, also das Methan, welches in der ARA und im Faulturm entweicht. Beim BCM-Aufbereitungsverfahren hat das eingesetzte und extern bezogene Erdgas die grössten Auswirkungen auf die Umwelt. Für den anschliessenden Heizprozess (5.2% der Gesamtbelastungen) fließen nur noch die Luftemissionen in die Bewertung ein.

### 5.4 Miteinbezug der Energieabgabe an die Kläranlage (ARA) Meilen

Schon vor der Installation der Biomethan-Aufbereitungsanlage in Meilen hat die Abwasserreinigungsanlage (ARA) Meilen Biogas (Rohgas) produziert. Damals wurde das Rohgas zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur für den Klärschlamm im Faulturm eingesetzt. Aus allfälligem zusätzlich anfallendem Rohgas wurde Strom und Wärme produziert. Nach Inbetriebnahme der BCM-Anlage hat sich das Energieschema der ARA Meilen verändert. Die nachfolgende Abbildung 12 zeigt, wie die Energieträger früher im ARA zirkulierten, und wie neu das Zusammenspiel mit der BCM-Aufbereitungsanlage aussieht.

Früher:



Heute:

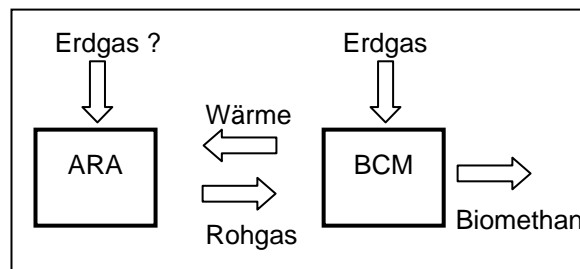


Abb. 12: Energieschema ARA Meilen vor und nach Inbetriebnahme der BCM-Aufbereitungsanlage

Die Biomethan-Aufbereitungsanlage bezieht demzufolge das Rohgas der ARA aus dem Faulturm, und wandelt es in hochwertiges Biomethangas um. Gleichzeitig gibt die Aufbereitungsanlage 60% der Abwärme an die ARA ab, zur nötigen Erwärmung des Klärschlammes.

Für die Betreiber der ARA Meilen bzw. der gekoppelten Biomethan-Aufbereitungsanlage ist es natürlich von Interesse herauszufinden, ob es sich lohnt, extern Erdgas zu beziehen und in Form von Wärme an die ARA abzugeben, oder ob wohl besser das aufbereitete Biomethan dazu verwendet werden sollte.

Der erste Balken in Abbildung 13 zeigt die BCM-Aufbereitungsanlage ohne Energieabgabe an die ARA (=100%). Die zweite Säule rechnet die abgegebene Menge an Erdgas an die ARA mit ein. Daraus erfolgt eine kleine Gutschrift für die BCM-Anlage, also knapp 5 % weniger Treibhausgase. Für die Gesamtbetrachtung aber muss der Rohgasbezug von der ARA der Erdgasabgabe an die ARA verrechnet werden, was durch den dritten Balken ausgedrückt wird.

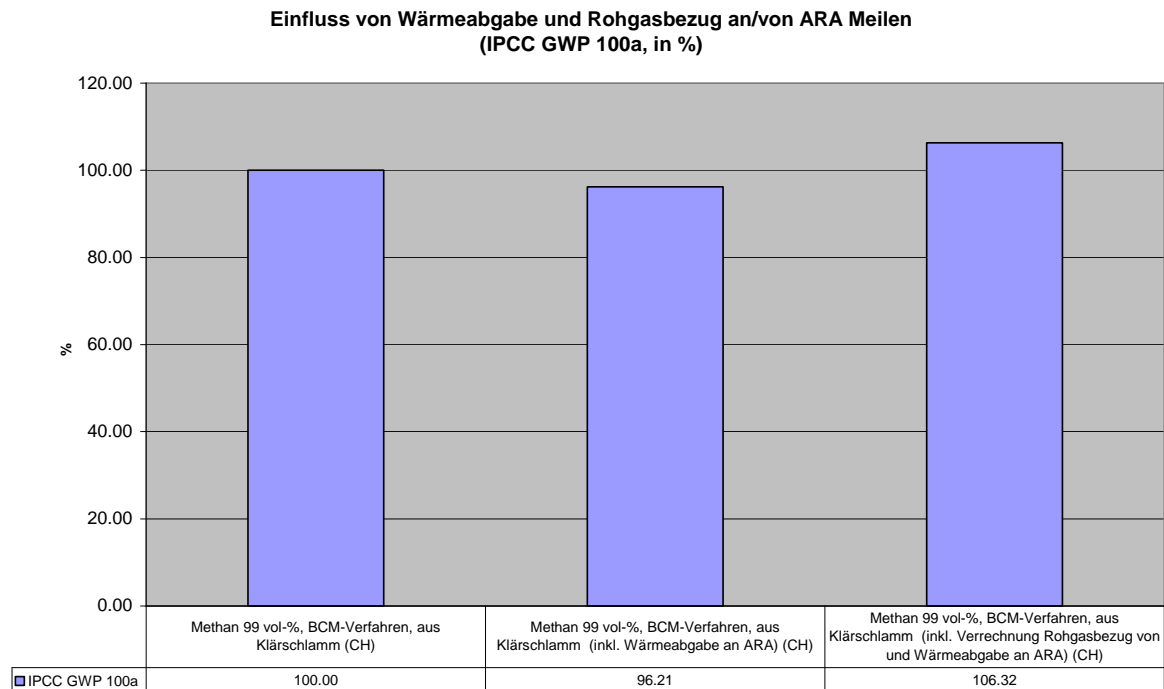


Abb. 13: Einfluss der Wärmeabgabe an die ARA Meilen im Gegensatz mit dem Rohgasbezug

Aus dieser Gegenüberstellung darf der Schluss gezogen werden, dass die heute vorherrschenden Energieflüsse in etwa aufgehen, sich der Rohgasbezug und die Abgabe von Erdgas (in Form von Wärme) bezüglich Treibhausgaspotential in etwa die Waage halten. Die Bewertung mit der Eco-Indicator 99 Methode zeigt übrigens ein praktisch gleiches Grössenverhältnis.

## 6 Schlussfolgerungen

Sowohl auf Basis Transport als auch auf Basis Heizwärme schneidet das durch das BCM-Verfahren aufbereitete Biomethan von allen Vergleichsvarianten dieser Ökobilanz am besten ab. Der Einsatz von extern zugeführtem Erdgas zur Erzeugung thermischer Energie müsste aufgrund der Eco-Indicator 99 Ergebnisse allenfalls überdacht werden. Hier kommt der Biomethan-Datensatz aus ecoinvent (v2.1) auf weniger Umweltbelastung (Abb. 6). Im Falle des Einsatzes von BCM-Biomethan fürs Heizen liegt der untersuchte Energieträger auf Höhe der Luft-Wasser Wärmepumpe (CH).

Der Miteinbezug des Wärmebedarfs des Faulturms der Abwasserreinigungsanlage Meilen wirkt sich auf die Gesamtbilanz leicht negativ aus, indem die Umweltbelastung um ca. 5% steigt (Kap. 5.4).

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Der Einsatz von BCM-Biomethan bringt im Vergleich mit dem Referenzprodukt (Benzin für Transport bzw. Leichtöl fürs Heizen) Treibhausgasreduktionen von 60-70% (IPCC GWP 100a)
- Damit werden die Richtlinien der Mineralsteuerbefreiung von mindestens 40% weniger Treibhausgasemissionen als fossiles Benzin klar erfüllt ([7], Art. 14)
- Die Umwelteinflüsse werden im Vergleich zu heutigen Standardenergieträgern stark reduziert (sowohl bei UBP06- als auch EI99-Methode)

Aufgrund dieser Ökobilanz kann der Schluss gezogen werden, dass es in Zukunft Sinn macht, ähnliche Biomethan-Aufbereitungsanlagen mit BCM-Verfahren zu bauen, und mit Kläranlagen (ARA) zu koppeln.



## 7 Bibliographie

- [1] ecoinvent (2007) ecoinvent Schweizer Zentrum für Ökoinventare, Version 2.1, Dübendorf, 2007.
- [2] erdgaszürich (2009) Biogas-Aufbereitungsanlage. Technische Beschreibung der Anlage nach dem BCM®-Verfahren der DGE Wittenberg. Erdgas Zürich AG, Zürich.
- [3] Frischknecht et al. (2007) Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006, Methode für die Wirkungsabschätzungen in Ökobilanzen, Auftraggeber u.a. Öbu, Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften und BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2007.
- [4] Goedkoop et al. (2000) The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Assessment, Methodology report, Second revised edition, PRé Consultants B.V., Amersfoort, 2000.
- [5] ISO (2006) Europäische Norm EN ISO 14040ff:2006, Umweltmanagement Ökobilanz: Prinzipien und allgemeine Anforderungen, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- [6] SVGW (2009) Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches. Messung der Gaszusammensetzung der Biogasaufbereitung Obermeilen. SVGW, Zürich.
- [7] UVEK (2009) Verordnung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) über den Nachweis der positiven ökologischen Gesamtbilanz von Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen (Treibstoffökobilanz-Verordnung, TrÖbiV). Online: <http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/15416.pdf> . Bern, April 2009
- [8] VSG (2008) Biogas ins Netz – neue Vorschriften und Verfahren. Basisinformation. Verband der Schweizerischen Gasindustrie VSG, (4/2008).
- [9] Wikipedia (2009) Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Seite „Treibhauspotenzial“. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Treibhauspotenzial&oldid=64926307> (Abgerufen: 1. Oktober 2009, 15:04 UTC)
- [10] Zah et al. (2007) Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen (Schlussbericht). EMPA, Abteilung Technologie und Gesellschaft, St. Gallen. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft.