



Schlussbericht 07. November 2014

Blue BONSAI BB5+

Pilotanlage für die dezentrale Biogas-Aufbereitung
zu Erdgasqualität für kleine Produktionsmengen von
5 bis 50 Nm³/h

Kurzfassung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Biomasse und Holzenergie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Apex AG, CH- 4658 Däniken

Klimastiftung, CH-8022 Zürich

FOGA (Forschungs- Entwicklungs- und Förderungsfonds der schweizerischen Gasindustrie),
CH-8603 Schwerzenbach

Auftragnehmer:

Apex AG
Industriestrasse 31
CH-4658 Däniken
www.apex.eu.com

Autoren:

Sibylle Duttwiler, Duttwiler Energietechnik, info@reg-en.ch
Ueli Oester, Apex AG, uoester@apex.eu.com

BFE-Bereichsleiter: Bruno Guggisberg

BFE-Programmleiter: Sandra Hermle

BFE-Vertragsnummer: SI/500807-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung/ Abstract	4
2.	Einleitung	5
2.1.	Ausgangslage.....	5
2.2.	Projektpartner.....	5
3.	Konzept Blue BONSAI, Blue FEED.....	5
4.	Gewählte Technologie.....	6
5.	Anlagen-Beschrieb	7
5.1.	Blue BONSAI BB1, Reidermoos	7
5.2.	Blue FEED BF15, Bachenbülach	8
6.	Erste Betriebserfahrungen	9
7.	Wirtschaftlichkeit	10
7.1.	Kostenrechnung Blue BONSAI BB1, BB6, BB12.....	10
7.2.	Kostenrechnung Blue FEED BF12, BF24.....	11
7.3.	Vergleich mit anderen Technologien.....	12
8.	Ausblick.....	13
8.1.	Testanlagen Reiden und Bachenbülach.....	13
8.2.	Zukünftige Bautypen.....	13
8.3.	Nachfolgeprojekt Blue BONSAI (Aufbereitung mit Tankstelle).....	13
8.4.	Weiteres: CO ₂ als Wertstoff	13
9.	Dank	14
i.	Abbildungsverzeichnis.....	14
ii.	Liste der Berichterstattungen	14

1. Zusammenfassung/ Abstract

Das Projekt Blue BONSAI möchte die Aufbereitung von Biogas zu Treibstoff (Biomethan) für kleine Anlagen (kleiner 50 Nm³/h) ermöglichen. Hierzu wurden zwei Testanlagen mit Membrantrennung gebaut, während einem Jahr erprobt und optimiert. Eine kleine Aufbereitungsanlage mit Tankstelle (Kapazität ca. 1.5 Nm³/h Biomethan) steht bei einem Landwirtschaftsbetrieb mit Biogasproduktion in Reiden, LU, eine grössere mit Netzeinspeisung (Kapazität ca. 15 Nm³/h) ist bei Axpo Kompogas in Bachenbülach installiert.

In Reiden wurden in 2'500 Betriebsstunden 3'700 Nm³ Biomethan (ca. 37'000 kWh) erzeugt und über 100 Fahrzeugbetankungen durchgeführt. In Bachenbülach wurden in 3000 Betriebsstunden 43'000 Nm³ Biomethan (ca. 86'000 kWh) erzeugt und ins Erdgasnetz eingespeist. Zwei verschiedene Membran-Verschaltungen wurden erprobt (ein-resp. dreistufig), diverse Randbedingungen wurden untersucht (Begleitstoffe im Rohgas, Temperatur-Schwankungen, Start-Stop-Verhalten, etc.) und Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchgeführt.

Die Resultate werden in diesem Bericht erläutert und fliessen in das Design zukünftiger Anlagen ein. Im Nachfolgeprojekt wird eine Biogas-Aufbereitungsanlage mit Tankstelle als Pilotanlage gebaut, betreut und weiter optimiert werden.

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Bisher existiert kein marktreifes, kostengünstiges Produkt für die Aufbereitung von Biogas für kleine Produktionsmengen (kleiner 50 Nm³/h).

Bestehende, grosstechnische Biogas-Reinigungstechnologien (Druckwechseladsorption, chemische oder physikalische Wäschen) wären bei einem Down-Scaling auf diese Kapazitäten nicht wirtschaftlich und werden deshalb in der Regel erst ab einer Gasproduktion über 100...250 Nm³/h eingesetzt.

Die Apex AG verfolgt seit 2006 das Ziel, in diesem Bereich ein Produkt auf den Markt zu bringen. In Zusammenarbeit mit Fachhochschulen (FH Bern und FH Brugg-Windisch) wurden Marktanalysen, Projektarbeiten und eine technische Machbarkeitsstudie (KTI) für ein kryogenes Verfahren durchgeführt.

Der Markt wurde laufend beobachtet und nachdem Evonik Fibres GmbH kostengünstige Membran-Module für die Biogas-Aufbereitung auf den Markt brachte, entschieden wir im Februar 2012, mit dieser Technologie weiterzufahren - das vorliegende Projekt wurde gestartet.

2.2. Projektpartner

Als Hauptumsetzungspartner zeichnen Apex AG und Duttwiler Energietechnik verantwortlich.

Weitere Partner sind: Evonik Fibres GmbH als OEM-Partner für die Membran-Technologie und HAUG Kompressoren AG als OEM-Partner für die Kompressoren.

Für die finanzielle Unterstützung konnten wir das BFE, die Klimastiftung Schweiz und die FOGA (SVGW) gewinnen.

Wir sind dankbar für die wertvolle Unterstützung von Reto Grossenbacher für den Test-Standort in Reiden, sowie der Axpo Kompogas AG und Energie 360°AG für den Test-Standort in Bachenbülach.

3. Konzept Blue BONSAI, Blue FEED

Mit den Anlagen-Typen Blue BONSAI und Blue FEED soll die Biogasaufbereitung zu Erdgasqualität auch für kleinere, dezentrale Anlagen verfügbar werden.

Das aufbereitete Biomethan kann bei dezentralen Anlagen direkt für eine Biogas- Tankstelle genutzt werden (Blue BONSAI). An Standorten mit Erdgasnetzanschluss kann es ins Erdgasnetz eingespeist werden (Blue FEED).

Die Anlage kann bei beliebigen Fermenter-Typen und Standorten (z.B. landwirtschaftliche Biogasanlagen (siehe Illustration unten), Kläranlagen, industrielle Biogasanlagen (z.B. Kompogas)) zur Aufbereitung eines Teilstroms von Rohgas eingesetzt werden.

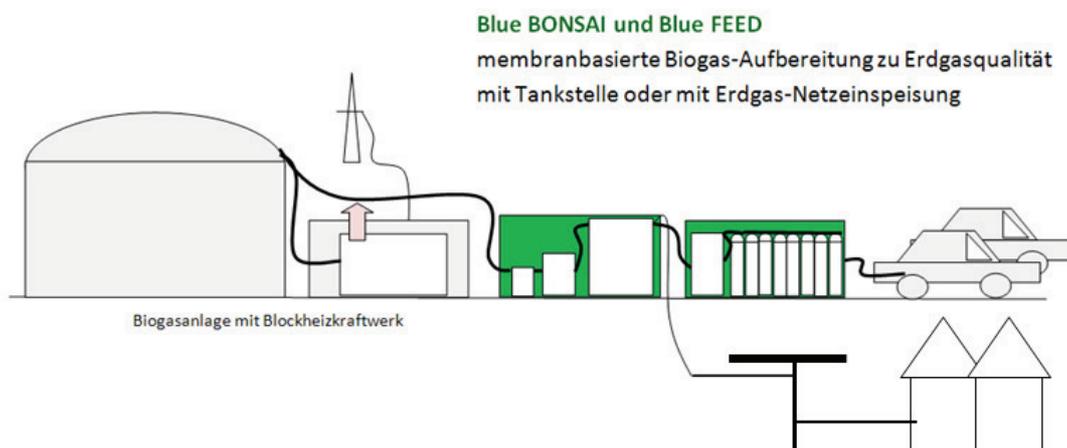


Abbildung 1: Illustration Blue BONSAI und Blue FEED (Illustration S. Duttwiler)

Mit der Aufbereitung des Biogases in einer Blue BONSAI- oder einer Blue FEED- Anlage

- werden fossile Treibstoffe ersetzt,
- wird ein 100%-ig regenerativer Treibstoff aus Abfallstoffen erzeugt,
- wird die flächendeckende Verfügbarkeit von (Bio)-Erdgas erhöht,
- wird an Orten ohne Erdgasnetz (Bio)-Erdgas als Treibstoff erst verfügbar.
- In Kombination mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) ermöglicht die Aufbereitungsanlage
 - einen flexibleren Betrieb (Strom/ Treibstoff) nach Bedarf,
 - bei schwankenden Produktion, insbesondere bei Überproduktionen kann der Fackelbetrieb vermieden oder reduziert werden,
 - und die Gasausbeute gesteigert werden.
- Dem Anlagenbetreiber bietet die Aufbereitung eine Alternative zu herkömmlicher Nutzung von Rohgas in BHKWs oder in Heizzentralen.
- Das Stromnetz kann gezielt entlastet und der Ertrag weiter optimiert werden.
- In zukünftigen Projekten kann das Offgas als CO₂-Lieferant genutzt (z.B. zur Methanisierung) und noch grössere Mengen an regenerativem Treibstoff produziert werden.

4. Gewählte Technologie

Eingesetzt wird die Membran von Evonik Fibres GmbH. Die Trennung von CH₄ und CO₂ erfolgt mittels Polyimid-Hohlfasern (siehe Fotos unten).



Abbildung 2: Die Evonik-Membran (Fotos von Evonik Fibres GmbH)

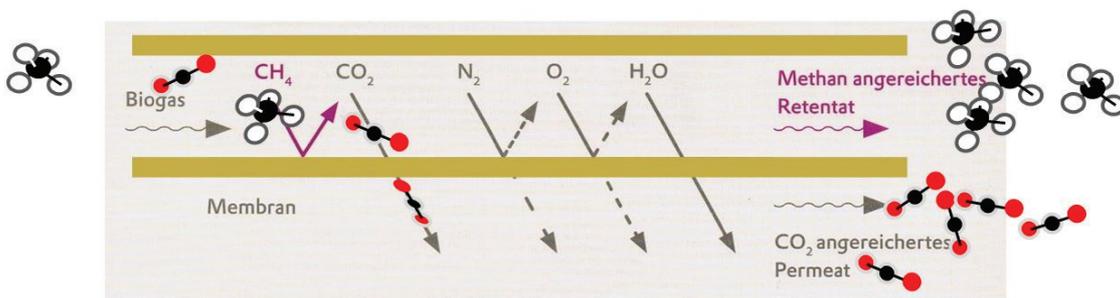


Abbildung 3: Funktion der der Membran-Trennung (Illustration von Evonik Fibres GmbH, ergänzt durch S. Duttwiler)

Das CO₂-Molekül mit linearer Struktur (rot-schwarz dargestellt) permeiert schneller durch die Poren der Hohlfaserwand, das CH₄-Molekül mit räumlicher Struktur (weiss-schwarz dargestellt) bleibt eher in der Hohlfaser und kann so abgetrennt werden.

Im Projekt wurden die sogenannt einstufige und die von Evonik patentierte dreistufige Membran-Verschaltung eingesetzt. Beide haben ihre Vor- und Nachteile, die während dem Projekt genauer untersucht wurden.

5. Anlagen-Beschrieb

Im Projekt Blue BONSAI wurden zwei Funktionsmuster gebaut und an zwei Standorten getestet.

5.1. Blue BONSAI BB1, Reidermoos

Steckbrief BB1 Reidermoos (LU)

- Typ Blue BONSAI, Betrieb als Biogas-Tankstelle
- 1-stufige Membran-Verschaltung
- Rohgas aus landwirtschaftlicher Biogasanlage, ca. 30 Nm³/h, grösster Teil wird verstromt, Abwärme intern und teils extern genutzt.
- Rohgas-Bezug für die Aufbereitung ca. 2.8 Nm³/h
- Produktionsmenge der Aufbereitung: ca. 1.5 Nm³/h (ca. 15 kW Treibstoffleistung)
- Steuerung minimal gehalten, Messungen werden (Gasqualität, Temperaturen) periodisch, punktuell, manuell durchgeführt.

Die Inbetriebnahme erfolgte im Oktober 2013. Die Aufbereitungs-Anlage läuft parallel zum Blockheizkraftwerk (meist nur tagsüber von 6 bis 21 Uhr).

Die Anlage wurde mehrfach modifiziert (Verbesserung der Kältetrocknung, der Wärmetauscher und weiterer Module). Regelmässig getankt wurden Fahrzeuge der Familien Grossenbacher und Oester, der Apex AG und einer weiteren Firma aus der Region.



Abbildung 4: Biogas-Zapfstelle mit Fermenter im Hintergrund



Abbildung 5: Einfache Fahrzeugbetankung



Abbildung 6: Manuelle 2-Bank-Konsole für die Fahrzeugbetankung



Abbildung 7: Erstes Funktionsmuster [1] im Betrieb, im Hintergrund der Hochdruckspeicher [2]



Abbildung 8: Der Hochdruckspeicher besteht aus 12 x 75 Liter Einzelflaschen



Abbildung 9: Zweite BB1 am früheren Platz der ersten

5.2. Blue FEED BF15, Bachenbülach

Steckbrief BF 15 Bachenbülach (ZH)

- Typ Blue FEED, Aufbereitung mit Einspeisung ins Erdgasnetz
- 3-stufige Membran-Verschaltung
- Rohgas aus industrieller Biogasanlage der Axpo Kompogas AG, ca. 170 Nm³/h, grösster Teil wird verstromt, Abwärme intern und teils extern genutzt.
- Rohgas-Bezug für die Aufbereitung zwischen 24 und 30 Nm³/h
- Produktionsmenge der Aufbereitung: ca. 15 Nm³/h (ca. 150 kW Treibstoffleistung)
- Biomethan wird ins Erdgasnetz der Energie 360° AG eingespeist
- Steuerung Siemens S7 mit Visualisierung und Fernzugriff
- Umfangreiche Messtechnik

Die Inbetriebnahme erfolgte im September 2013.



Abbildung 11: Die Blue FEED BF15 in Bachenbülach



Abbildung 10: Die Einspeisestation der Energie 360° AG (Schlauch für Gasanalyse während der Inbetriebnahme).

Die Installation wurde mehrfach optimiert (Ansaug- und Einspeisestrecke, Abscheider) und Feinheiten in der Steuerung angepasst.
Ab Februar 2014 erfolgte ein regelmässiger Betrieb mit 10 Stunden/ Tag Einspeisung.

März bis Mai wurden diverse Interventionen, Tests und Umbauten wegen auftretenden Terpenen im Rohgas nötig. (Ähnliche Betriebsprobleme sind durch Mike Keller von Biopower Nordwestschweiz AG dokumentiert¹). Ab Juni konnte fast rund um die Uhr produziert und eingespeist werden. Dadurch konnte die Gas- und Energieausbeute der Axpo Kompogas gesteigert und der (im Sommer typische) Fackelbetrieb deutlich reduziert, oft ganz verhindert werden.

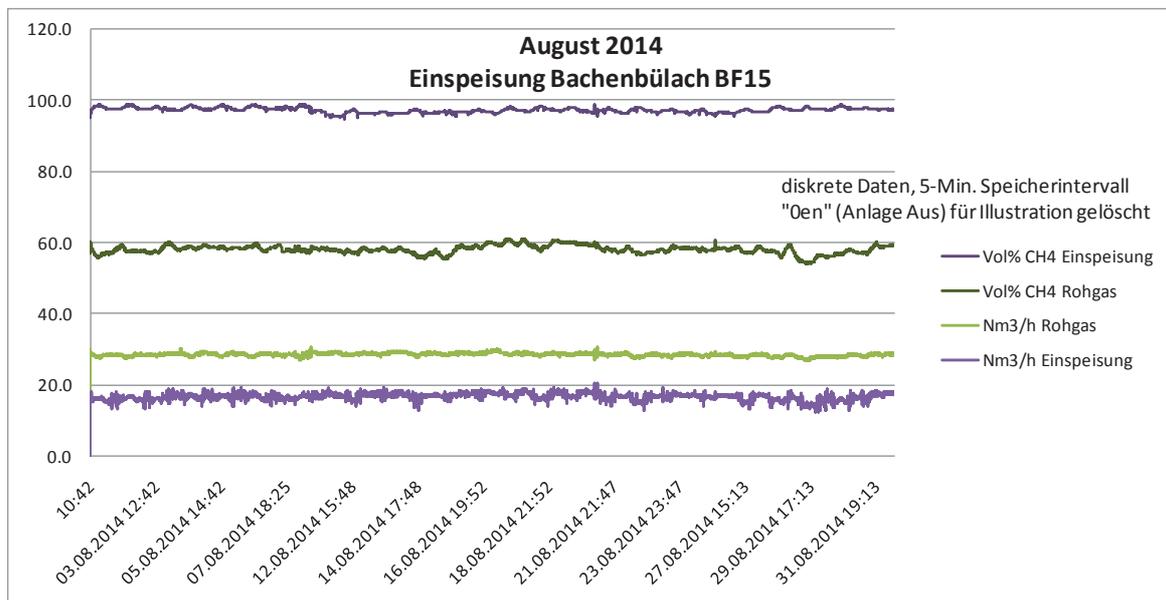


Abbildung 12: Einblick in die Produktion in Bachenbülach von August 2014 mit einer Einspeisemenge von 10'834 Nm³ zu durchschnittlich 97.2 Vol.% CH₄

6. Erste Betriebserfahrungen

Die Testanlagen wurden während einem Jahr betrieben.

In Reiden wurden in 2'500 Betriebsstunden 3'700 Nm³ Biomethan (ca. 37'000 kWh) erzeugt und über 100 Betankungen durchgeführt.

In Bachenbülach wurden in 3'000 Betriebsstunden 43'000 Nm³ Biomethan (ca. 430'000 kWh) erzeugt und ins Netz eingespeist.

Insgesamt wurden 467'000 kWh produziert. Dies entspricht ca. 934'000 Fahrkilometern, über 23 Weltumrundungen oder 154 Tonnen eingespartem CO₂.²

Die Einflüsse von Luft-Entschwefelung, Membran-Verschaltung (ein- oder dreistufig), Umgebungstemperaturen, Rohgasqualitäten (Methangehalt, Begleitstoffe wie H₂S, Terpene, NH₃/NH₄⁺ und Wasser) wurden untersucht.

Die Membranen sind sehr empfindlich auf Verunreinigungen, die Vorreinigung des Rohgases ist deshalb essentiell. Verschmutzte Membranen lassen sich (zumindest bei rechtzeitigem Eingreifen) regenerieren. Bei Apex wurde dafür ein Regenerations-Teststand gebaut.

Strom-Messungen in Bachenbülach zeigen, dass für die dreistufige Membran-Verschaltung mit Einspeisung ins Gasnetz (Blue FEED) unter 0.06 kWh_{el}/ kWh Biomethan benötigt werden (oder unter 6 % bezogen auf die erzeugte Energiemenge). Für die Aufbereitung mit Hochdruckverdichtung in einer Blue BONSAI werden 0.1 kWh_{el}/ kWh Biomethan angenommen (zusätzliche Verdichterleistung erforderlich).

Der Prozess zeigt ein schnelles Start-/Stopp-Verhalten und die Membran-Trennung ist sehr geeignet für das Konzept der Kleinanlagen.

¹ "Biogasaufbereitung mit Membrantechnologie", Mike Keller, Aqua & Gas N°4 2014

² Grob gerechnet mit: 10 kWh/ Nm³; 50 kWh/ 100km; 330g CO₂/kWh ("well to wheel", Ersatz von Benzin).

7. Wirtschaftlichkeit

7.1. Kostenrechnung Blue BONSAI BB1, BB6, BB12

Es wurden verschiedene Anlagengrößen durchgerechnet: eine BB1, eine BB6 und eine BB12 mit einem angenommenen Verkaufspreis von CHF 80'000.-, CHF 280'000.-, CHF 380'000.- zuzüglich Tiefbau und Anschlüsse vor Ort (CHF 20'000.- bis 50'000.-). Bei allen Anlagengrößen wurde ein Erlös durch CO₂-Zertifikate angenommen.

Annahmen:

Abschreibungszeit	a	15
Zinssatz	%/a	4%
Kosten Erzeugung Rohgas (z.B. landwirtschaftliche Biogasanlage)	Rp./kWh	5
Strom-Eigenbedarf bezogen auf erzeugte Energie (Einkauf zu 20 Rp./kWh)	%	10%
Erlös Treibstoffverkauf Tankstelle	Rp./kWh	22
Erlös aus CO ₂ -Zertifikaten (angenommene 100.-/t CO ₂)	Rp./kWh	3.3
Auslastung	%/a	0.70
Betriebsstunden	Std./a	6132

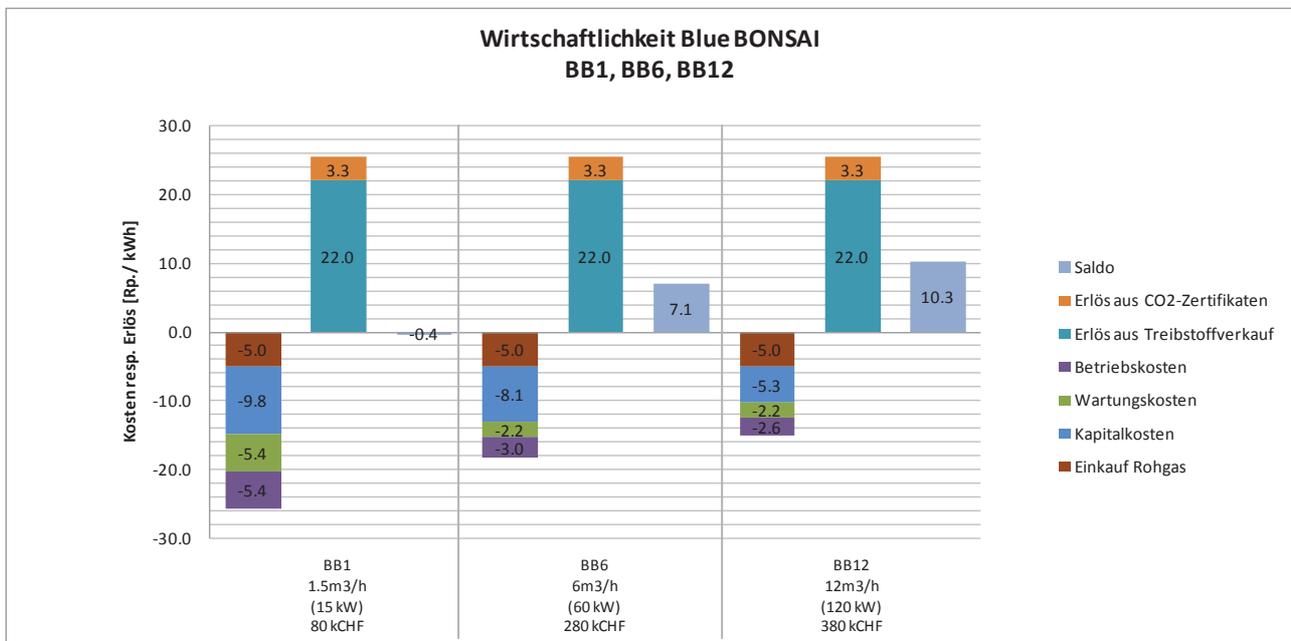


Abbildung 13: Kostenrechnung für drei verschiedene Anlagengrößen bei 70% Auslastung.

Die Gestehungskosten für hochverdichtetes Biomethan liegen rechnerisch bei 25.7 Rp./kWh (BB1), 18.2 Rp./kWh (BB6) resp. 15 Rp./kWh (BB12). Dem gegenüber stehen die möglichen Einnahmen von 25.3 Rp./kWh.

Die Berechnungen zeigen, dass eine wirtschaftliche Aufbereitung mit Tankstelle ab einer Grösse von 6 Nm³/h Biomethan möglich ist.

Unterhalb dieser Grösse kann eine Anlage nicht wirtschaftlich betrieben werden oder nur unter gewissen Bedingungen (günstigeres Rohgas, günstigeres Kapital, höherer Treibstoff-Verkaufspreis, Aufrechnung der gesparten Fahrwege zur Tankstelle, etc.).

Mit den angenommenen Randbedingungen erreicht die BB6 den Break Even in 12.7 Jahren, die BB12 in 5.7 Jahren.

7.2. Kostenrechnung Blue FEED BF12, BF24

Es wurden zwei Anlagengrößen gerechnet: eine BF12 (geplanter Verkaufspreis CHF 380'000.-) und die BF24 als Erweiterung (angenommener Verkaufspreis CHF 500'000.-). Für den Tiefbau, Anschluss ans Erdgasnetz, Stromzuleitungen vor Ort wurden zusätzliche CHF 120'000.- angenommen.

Bei beiden Anlagengrößen wurde ein Erlös durch CO₂-Zertifikate angenommen.

Es wurde mit einem tieferen Gestehungskosten für das Rohgas gerechnet (4 Rp./kWh), wie es auf einer ARA vorkommen kann. Erschwerend wirkt der tiefere Biomethan-Verkaufspreis, da dem Gasnetzbetreiber (nicht direkt dem Endkunden) verkauft wird. Positiv zu Buche schlägt die erhöhte Auslastung (angenommene 95%), da mit dem Erdgasnetz rund um die Uhr ein gesicherter Abnehmer zur Verfügung steht.

Annahmen:

Abschreibungszeit	a	15
Zinssatz	%/a	4%
Kosten Erzeugung Rohgas (z.B. Abwasserreinigungsanlage)	Rp./kWh	4
Strom-Eigenbedarf bezogen auf erzeugte Energie (Einkauf zu 20 Rp./kWh)	%	6%
Erlös Treibstoffverkauf Einspeisung	Rp./kWh	12
Erlös aus CO ₂ -Zertifikaten (angenommene 100.-/t CO ₂)	Rp./kWh	3.3
Auslastung	%/a	0.95
Betriebsstunden	Std./a	8322

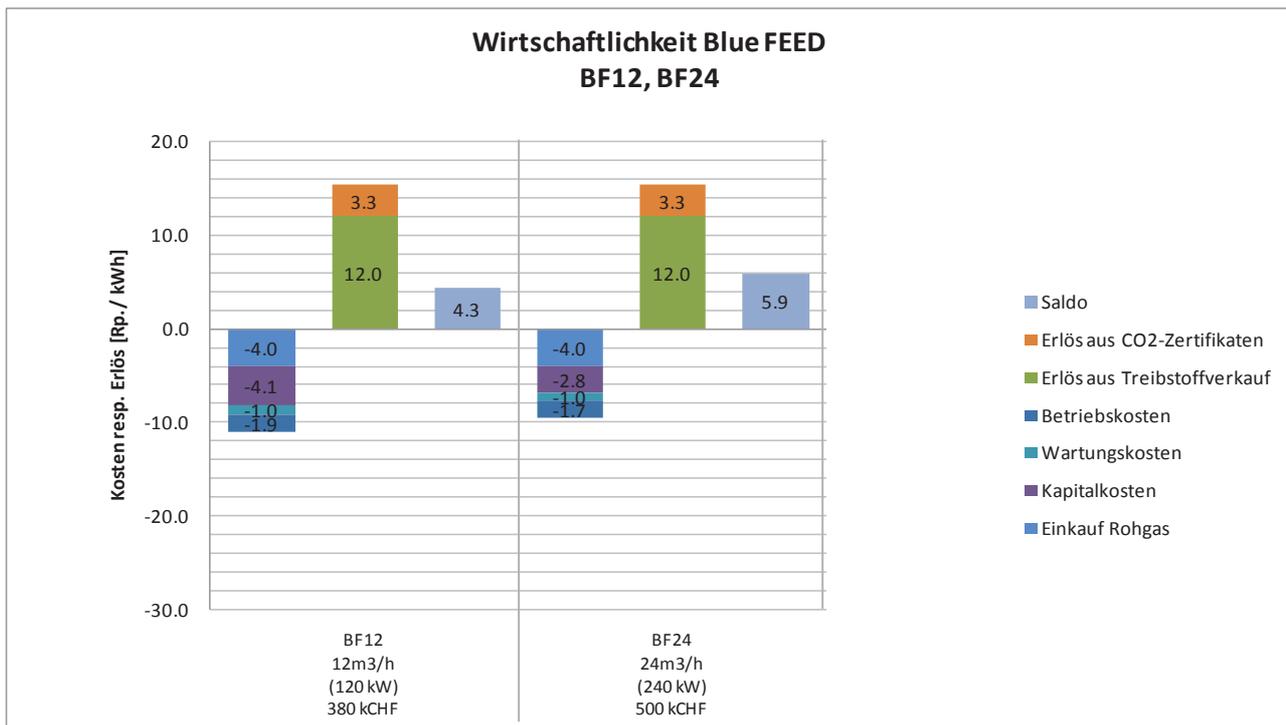


Abbildung 14: Kostenrechnung für die Blue FEED BF12 und Blue FEED BF24 bei 95% Auslastung

Mit den angenommenen Randbedingungen liegen die Gestehungskosten für eingespeistes Biomethan bei 11.4 Rp./kWh (BF12) resp. bei 9.4 Rp./kWh (BF24). Dem gegenüber stehen die möglichen Einnahmen von 15.3 Rp./kWh.

Der Break Even wird bei der BF12 in 12.9 Jahren, bei der BF24 in 5.3 Jahren erreicht. Wie bei der Blue BONSAI sind auch hier der Rohgas-Einkaufs- und der Gas-Verkaufspreis für den Erfolg entscheidend.

7.3. Vergleich mit anderen Technologien

In den folgenden Grafen werden die Gestehungskosten und die Investitionskosten verglichen. Vergleichsdaten gibt es erst für grössere Anlagen. Exemplarisch wurden folgende Daten herangezogen:

Quelle	Anlagentyp	Kosten
Gestehungskosten für Biomethan in der Schweiz, Leitfaden "Landwirtschaftliche Biogasanlagen, Gaseinspeisung" (Energie Schweiz, Informationsstelle Biomasse, 2008)	Ab ca. 100 Nm ³ /h Rohgas [>50 Nm ³ /h Biomethan]	Abschätzung je nach Randbedingungen 2.7 und 16.2 Rp./kWh
Gestehungskosten 2013 für Biomethan in Deutschland, "Biogas-Monitoringbericht 2014" (Bundesnetzagentur Deutschland)	Diverse Technologien, durchschnittliche Anlagengrösse 412 Nm ³ /h Biomethan	Minimum 1.68 EURct/kWh, Maximum 9.3 EURct/kWh, mengengewichtetes Mittel 7.49 EURct/kWh
Investitionskosten je kW installiert, "Faustzahlen Biogas" 2. Auflage 2009, KTBL Darmstadt	Druckwasserwäsche (DWW), 250 Nm ³ /h Rohgas [137.5 Nm ³ /h Biomethan, 1375 kW] ³	1'145'000 EUR [1'374'000 CHF] ³
Investitionskosten je kW installiert, "Faustzahlen Biogas" 2. Auflage 2009, KTBL Darmstadt	Druckwechseladsorption (PSA), 500 Nm ³ /h Rohgas [275 Nm ³ /h Biomethan, 2750 kW] ³	1'407'500 EUR [1'689'000 CHF] ³

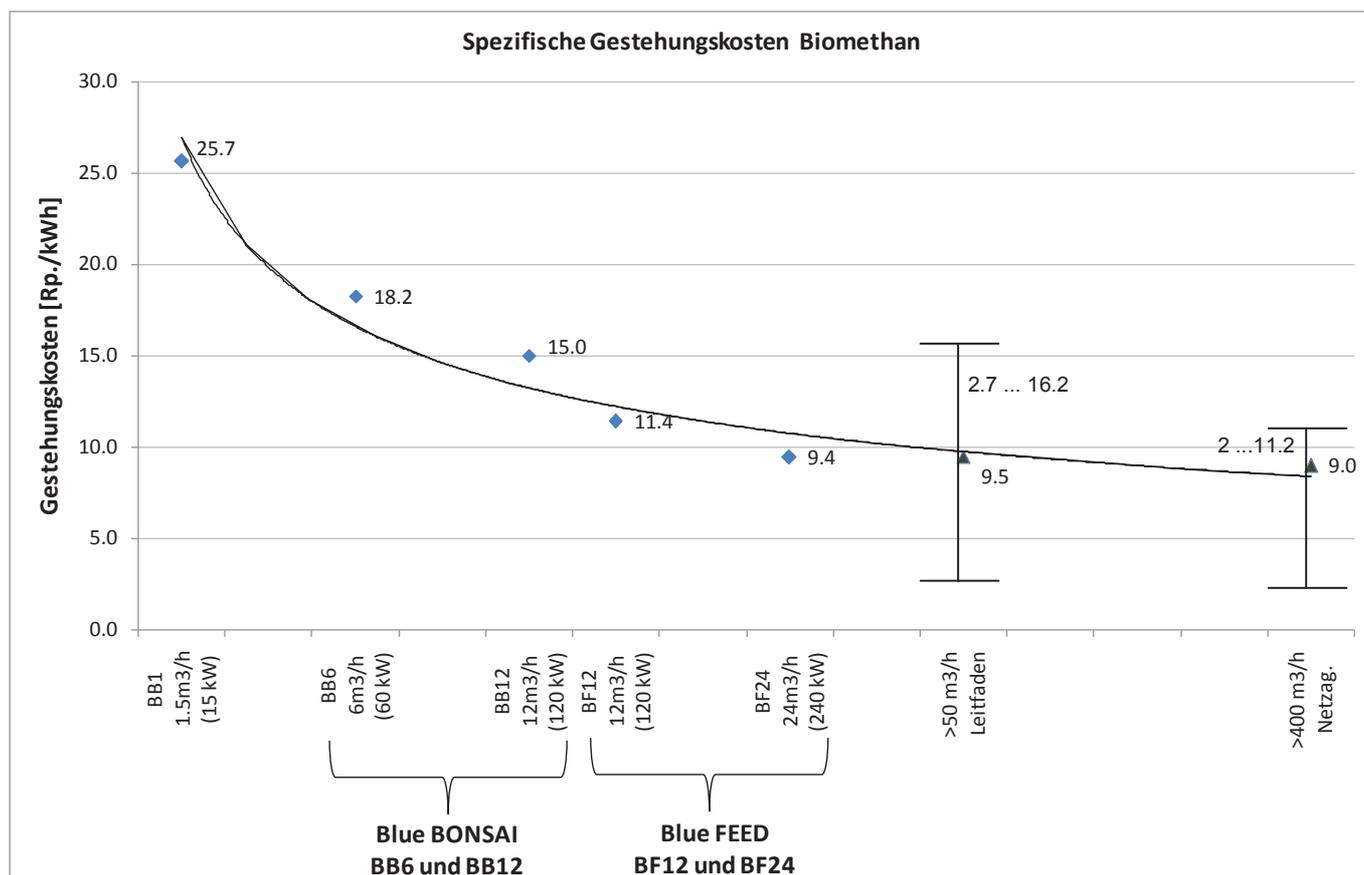


Abbildung 15: Vergleich der spezifischen Gestehungskosten von Biomethan

Wie zu erwarten (siehe Grafik), haben Kleinanlagen deutlich höhere spezifische Gestehungskosten. Aber bereits die BB12, die BF12 und die BF24 befinden sich im oberen Bereich von Grossanlagen. Da sehr viele Randbedingungen einspielen, ist für die Wirtschaftlichkeits-Beurteilung die individuelle Anlagen-Kalkulation entscheidend.

³ angenommene 55 Vol% CH₄ im Rohgas; Leistung gerechnet mit 10 kWh/Nm³ Biomethan; 1.2 CHF/EUR

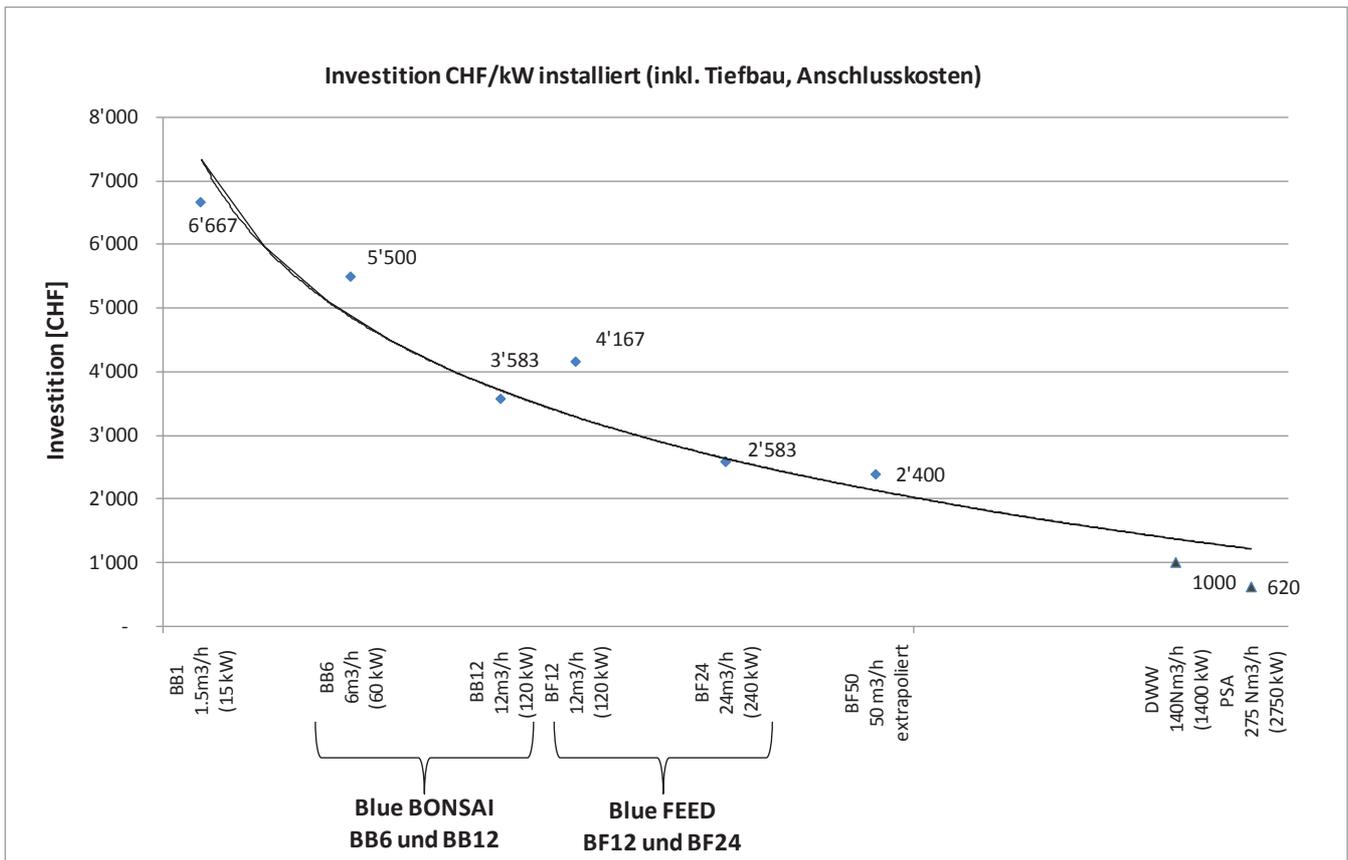


Abbildung 16: Kosten je kW installiert (inklusive Tiefbau- und Netzanschlusskosten)

Die Grafik zeigt die stark sinkenden spezifischen Investitionskosten mit steigenden Anlagengrößen. Der Fokus der Apex AG liegt bei den Kleinanlagen Blue BONSAI BB6 (erweiterbar auf BB12) und Blue FEED BF12 (erweiterbar auf BF24).

8. Ausblick

8.1. Testanlagen Reiden und Bachenbülach

Beide Testanlagen bleiben bis auf Weiteres in Betrieb, um weitere Langzeiterfahrungen zu sammeln und neue Komponenten und Verfahren zu erproben.

8.2. Zukünftige Bautypen

Für zukünftige Anlagen mit Tankstelle wurde die Grundgrösse BB6 (Blue BONSAI mit 6 Nm³/h Biomethan) festgelegt. Diese lässt sich auf einfache, modulare Weise auf eine BB12 (Blue BONSAI mit 12 Nm³/h Biomethan) erweitern.

Für eine Einspeisungsanlage kann mit dem gleichen Setup eine BF12 (Blue FEED mit 12 Nm³/h Biomethan) als Grundmodell realisiert werden, die sich auf eine BF24 (Blue FEED mit 24 Nm³/h Biomethan) erweitern lässt.

8.3. Nachfolgeprojekt Blue BONSAI (Aufbereitung mit Tankstelle)

Auf dem Schritt hin zur Kommerzialisierung der Kleinanlagen soll eine Pilotanlage mit Nenndurchsatz von 6 Nm³/h Biomethan (Blue BONSAI BB6, ca. 60 kW) gebaut und bei einer Biogasanlage betrieben werden. Das BFE (Sektion Cleantech) fördert dieses Vorhaben und das Projekt geht nahtlos ins Nachfolgeprojekt über.

8.4. Weiteres: CO₂ als Wertstoff

Die dreistufige Membran-Verschaltung erzeugt CO₂ in hoher Qualität, das heute schon zur weiteren Verwertung bereit steht (z.B. in Gewächshäusern) und zukünftig (durch z.B. Methanisierung mit H₂ aus Überschussstrom, Algenkultivierung,...) noch weitere wirtschaftliche und ökologische Möglichkeiten bietet.

9. Dank

Wir danken allen indirekt und direkt am Projekt beteiligten Personen, Firmen und Institutionen herzlich für die grosszügige und wohlwollende Unterstützung, die wir erfahren durften.

i. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Illustration Blue BONSAI und Blue FEED (Illustration S. Duttwiler).....	5
Abbildung 2: Die Evonik-Membran (Fotos von Evonik Fibres GmbH).....	6
Abbildung 3: Funktion der der Membran-Trennung (Illustration von Evonik Fibres GmbH, ergänzt durch S. Duttwiler).....	6
Abbildung 4: Einfache Fahrzeugbetankung.....	7
Abbildung 5: Biogas-Zapfstelle mit Fermenter im Hintergrund.....	7
Abbildung 6: Manuelle 2-Bank-Konsole für die Fahrzeugbetankung.....	7
Abbildung 7: Erstes Funktionsmuster [1] im Betrieb, im Hintergrund der Hochdruckspeicher [2].....	7
Abbildung 8: Zweite BB1 am früheren Platz der ersten.....	8
Abbildung 9: Der Hochdruckspeicher besteht aus 12 x 75 Liter Einzelflaschen.....	8
Abbildung 10: Die Einspeisestation der Energie 360° AG (Schlauch für Gasanalyse während der Inbetriebnahme).....	8
Abbildung 11: Die Blue FEED BF15 in Bachenbülach.....	8
Abbildung 12: Einblick in die Produktion in Bachenbülach von August 2014 mit einer Einspeisemenge von 10'834 Nm ³ zu durchschnittlich 97.2 Vol.% CH ₄	9
Abbildung 13: Kostenrechnung für drei verschiedene Anlagengrössen bei 70% Auslastung.....	10
Abbildung 14: Kostenrechnung für die Blue FEED BF12 und Blue FEED BF24 bei 95% Auslastung.....	11
Abbildung 15: Vergleich der spezifischen Gestehungskosten von Biomethan.....	12
Abbildung 16: Kosten je kW installiert (inklusive Tiefbau- und Netzanschlusskosten).....	13

ii. Liste der Berichterstattungen

Mehrere Artikel sind in der Presse und im Internet veröffentlicht worden, insbesondere auf Initiativen vom BFE und der Klimastiftung:

- "Minitankstelle - auch für Kläranlagen", Roger Strässle, *Umweltperspektiven*, März 2013
- "Blue BONSAI" Posterpräsentation Sibylle Duttwiler, anlässlich 5-Jahres-Jubiläum Klimastiftung Schweiz, 21. August 2013, Rüsclikon
- "Biogas direkt ab Hof", Medienmitteilung Klimastiftung Schweiz und LIFE Klimastiftung Liechtenstein, 27.02.2014
- "Ein Bonsai soll Wurzeln schlagen", Fabienne Muri, *Willisauer Bote*, 21. März 2014
- "Swiss Country Report", Präsentation Nathalie Bachmann, IEA Bioenergy Task 37, April 2014, Foz do Iguaçu Brazil
- "Auf dem Bauernhof reines Biogas tanken", Anita Vonmont (BFE), *www.ee-news.ch*, 19.05.2014
- "Reines Biomethan zum Tanken", Anita Vonmont, *UFA-Revue (Deutsch)*, 5 2014
- "Faire le plein en biométhane", Anita Vonmont, *UFA-Revue (français)*, 5 2014
- "Unbekannter Kraftstoff CNG?" (Absatz "Schweizer Weg: Blue Bonsai"), Dittmar Koop, *Biogas Journal*, 4 2014
- "Pilotanlage für Biogas-Aufbereitung in der Testphase", Sarah Meier, *Zürcher Unterländer*, 02.07.2014
- "Small Scale Biogas Upgrading Plant For Use As Vehicle Fuel", Präsentation U. Oester im Rahmen der internationalen Konferenz "Progress in Biogas III", 11. September 2014, Stuttgart
- "Du carburant directement de la ferme au réservoir", Anita Vonmont (OFEN), *Efficiency 21*, Automne 2014