



Schlussbericht vom 31.07.2018

---

## Blue BONSAI

# Klein-Biogasaufbereitungsanlage mit Biogas-Tankstelle



© U. Oester, Apex AG, 2017



Duttwiler Energietechnik

**Datum:** 31. Juli 2018

**Ort:** Bern

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger:**

Apex AG  
Industriestrasse 31, CH-4658 Däniken  
[www.apex.eu.com](http://www.apex.eu.com)  
Duttwiler Energietechnik  
Gewerbezentrum AROVA, Winterthurerstrasse 702, CH-8247 Flurlingen  
[www.reg-en.ch](http://www.reg-en.ch)

**Autoren:**

Ueli Oester, Apex AG, [uoester@apex.eu.com](mailto:uoester@apex.eu.com)  
Sibylle Duttwiler, Duttwiler Energietechnik, [info@reg-en.ch](mailto:info@reg-en.ch)

**BFE-Programmleitung:** Yasmine Calisesi, [yasmine.calisesi@bfe.admin.ch](mailto:yasmine.calisesi@bfe.admin.ch)

**BFE-Projektbegleitung:** Sandra Hermle, [sandra.hermle@bfe.admin.ch](mailto:sandra.hermle@bfe.admin.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/501124-01

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

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)



## Zusammenfassung

Die neu entwickelte Biogas-Aufbereitungsanlage (Kapazität: 6 Nm<sup>3</sup>/h Biomethan) mit integrierter Biogas-Tankstelle ging im Sommer 2016 in Betrieb und erreichte im ersten Betriebsjahr fast 2'000 Betriebsstunden mit einer geringen Anzahl von Störungen. Der Betankungsbetrieb funktionierte gut, was fehlte war eine genügende grosse Anzahl an Tankkunden für eine bessere Auslastung. Als Folge einer Design-, Kosten- und Betriebsanalyse wurde im Herbst 2017 die Anlage umgebaut und weist heute eine doppelte Aufbereitungskapazität auf (12 Nm<sup>3</sup>/h Biomethan), dies bei gleichen oder leicht geringeren Gesamtkosten. Die spezifischen Investitions- und Betriebskosten wurden halbiert. Viele Besucher aus der Schweiz, Europa und Übersee bekundeten grosses Interesse am Konzept, bemängelten aber die relativ hohen Gestehungskosten von Biomethan im Vergleich zu fossilem Erdgas.

Das Design mit vielen neuartigen Elementen stösst selbst bei Behördenvertretern auf Interesse und findet Anklang bei potentiellen Kunden.

In den nächsten Monaten werden weitere Betriebserfahrungen gewonnen, die Anlage optimiert und die Kleinserien-Produktion vorbereitet. Parallel dazu werden Kunden und Standorte in der Schweiz für diesen Anlagentyp gesucht.

## Abstract

The newly developed biogas upgrading system (capacity of 6 Nm<sup>3</sup>/h biomethane) with its integrated vehicle refuelling station went into operation in summer 2016. It accumulated almost 2'000 operating hours in its first year of service with only minor errors.

The vehicle refuelling worked well, however, the lack of more customers resulted in a low utilization rate. As a result of a design, cost and operation analysis the upgrading system underwent a major redesign in fall 2017. It now works with double its previous capacity (12 Nm<sup>3</sup>/h biomethane), at the same or slightly lower total cost of production. Hence, the cost of the investment and the operation were cut in half.

Many visitors from Switzerland, Europe and abroad showed a large interest in the concept, however, still argued the relatively high cost of biomethane production in comparison to natural gas.

The design with its many novel features created interest with potential customers and even with certification officers.

Operation experience will be collected during the next months, the system optimized and small series production steps initiated.

Potential customers and locations for the installation of biomethane refuelling stations within Switzerland are being searched simultaneously.

## Take-Home Messages

- Mit den passenden Rahmenbedingungen können kleine Biogasmengen (ab ca. 20 Nm<sup>3</sup>/h) wirtschaftlich zu Biomethan aufbereitet werden. Dies sind insbesondere tiefe Rohbiogas-Kosten und ein guter Absatz beim Treibstoffverkauf (Anlagen-Auslastung mindestens 50%).
- Das Biomethan kann sowohl zur Einspeisung ins lokale Erdgasnetz als auch für die direkte Fahrzeug-Betankung verwendet werden, wenn kein Erdgasnetz vorhanden ist. So werden In-sellösungen ermöglicht.
- Das entwickelte Aufbereitungs-Konzept enthält neuste Gas-Sensor-Technologien. Diese erfordern jedoch die Anpassung der Einspeiserichtlinie.
- Das schweizerische Potential für die Aufbereitung von kleinen Biogasmengen ist beträchtlich. Über 400 Kläranlagen und über 100 Landwirtschaftsbetriebe produzieren bereits Biogas für die Verstromung. Angesichts der Umstrukturierung des KEVs, sowie der teilweise unzureichend genutzten Abwärme, ist die Biogas-Aufbereitung eine gute, gefragte Option. Auch das noch ungenutzte Biomassepotential ist enorm. Gegen 50 landwirtschaftliche Biogasanlagen sind aktuell in Planung.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Take-Home Messages</b> .....	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Ausgangslage</b> .....	<b>5</b>
<b>Ziele des Projektes BlueBONSAI</b> .....	<b>6</b>
<b>Anlagenbeschrieb</b> .....	<b>7</b>
<b>Projekt-Etappen</b> .....	<b>8</b>
1.1. Bau, Installation und Inbetriebnahme Blue BONSAI BB6.....	8
1.2. Betankungskonsole mit Batch-Registrierung .....	9
1.3. Erfahrungen im Tankstellenbetrieb .....	10
1.4. Wahl Prozessführung 1- oder 3-stufige Membran .....	10
1.5. Redesign der Biogasaufbereitungs-Module.....	11
1.6. Weltneuheit: zwei neue Gasqualitäts-Sensoren .....	12
1.7. Abklärungen wegen Odorierung .....	13
1.8. Zusammenarbeit mit Behörden.....	14
1.9. Berechnungen der Wirtschaftlichkeit einer Biogastankstelle .....	15
<b>Ergebnisse</b> .....	<b>16</b>
1.10. Kennzahlen und Vergleich .....	16
1.11. Betriebserfahrungen mit der BONSAI BB6 und BB12 .....	18
1.12. CO <sub>2</sub> -Kompensationen mit Biomethan: Upgrade-Verkauf.....	19
<b>Kommunikation/ Vermittlung</b> .....	<b>20</b>
<b>Ausblick</b> .....	<b>21</b>
<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>22</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>22</b>
<b>Referenzen</b> .....	<b>23</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>24</b>



## Ausgangslage

Die Aufbereitung von Biogas zu Erdgasqualität war vor einigen Jahren erst ab ca. 200 Nm<sup>3</sup>/h wirtschaftlich realisierbar, da nur grosstechnische Anlagen (z.B. Aminwäsche) dafür in Frage kamen. Kleinere Anlagengrößen existierten nicht und das Runterskalieren von Grossanlagen ergab keine genügende Kostenreduktion. Andere Anlagenbauer fokussieren auf Grossanlagen, da es vor einigen Jahren im Ausland (insbesondere Deutschland) genügend solcher Projekte gab.

Die Schweiz mit ihren geografisch kleinen Strukturen hat kleine Biogasanlagen mit kleineren Produktionsmengen ( $\ll$  100 Nm<sup>3</sup>/h), wodurch solche Grossanlagen nicht dem Schweizer Bedarf entsprechen.

Im Vorprojekt (Blue BONSAI) ab 2012 und in diesem Nachfolgeprojekt ab 2015 wurde deshalb der Fokus konsequent auf kleine, kostengünstige Anlagentechnik gesetzt.

Ausgangspunkt für die Realisierung der Kleinanlagen "Typ BlueBONSAI" war, dass Evonik Fibres GmbH ab 2012 mit einer kostengünstigen Membran zur Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus Biogas auf den Markt kam und mit Apex als Anlagenbauer eine Partnerschaft einging. Diese Membranen eignen sich sehr gut für die Aufbereitung kleinster Mengen und lassen sich gut skalieren.

In der Schweiz wurde bisher die Verstromung von Biogas durch die KEV (Kostendeckende Einspeisevergütung) gefördert. So ist ein Grossteil bestehender Anlagen mit Blockheizkraftwerken zur Verstromung ausgestattet. Da die KEV aber ausläuft, wird die Biogasaufbereitung zu Treibstoffqualität (zur Einspeisung ins Erdgasnetz oder zur direkten Nutzung in einer Biogastankstelle) eine immer wichtigere Alternative.

Mit Kleinanlagen lassen sich Inseltankstellen und Kombinationen mit BHKW und Biogas-Tankstelle zur optimierten Eigenversorgung realisieren.

## Ziele des Projektes BlueBONSAI

Das Projekt beinhaltete folgende, erreichte Ziele:

- Vollzug des Schritts vom Funktionsmuster hin zum Prototypen einer marktfähigen Anlage
- Bau einer Pilot-Aufbereitungsanlage mit Biogas-Kleintankstelle mit Nenndurchsatz von 6 Nm<sup>3</sup>/h (wurde während Projekt auf 12 Nm<sup>3</sup>/h erweitert)
- Halböffentlicher Betrieb der Biogas-Kleintankstelle während zwei Jahren
- Testen und Optimieren der Komponenten für Kleinanlagen (technisch, wirtschaftlich)
- Aufzeigen der Wirtschaftlichkeit und Grenzen einer Kleinanlage, inklusive Abklärung von CO<sub>2</sub>-Kompensationsgeldern

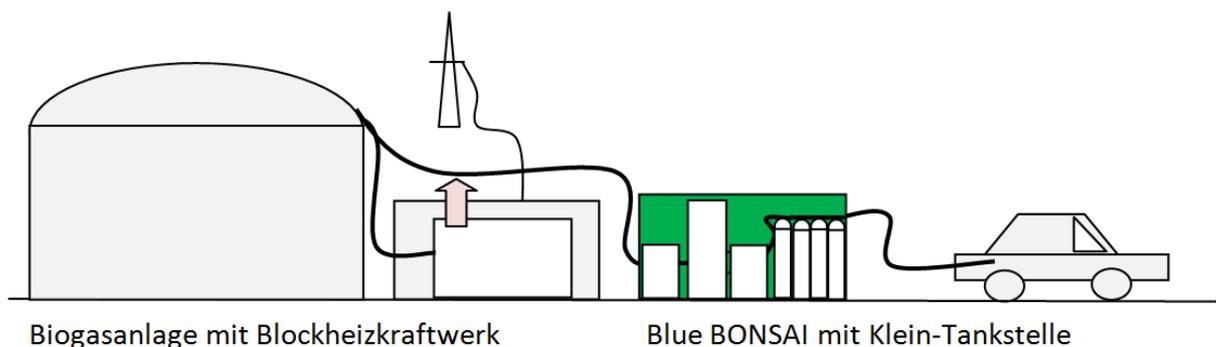


Abbildung 1: Illustration einer BlueBONSAI in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk

Mit der Aufbereitung von Biogas in einer kleinen Biogas-Aufbereitungsanlage

- wird fossiler Treibstoff CO<sub>2</sub>-neutral ersetzt, Ressourcen geschont und das Klima geschont
- wird die Verfügbarkeit von (Bio)-Erdgas erhöht; durch den Ersatz von Diesel oder Benzin werden Abgase (NO<sub>x</sub>, Partikel) reduziert
- wird an Orten ohne Erdgasnetz (Bio)-Erdgas als Treibstoff (ohne Netz-Investitionen) erst verfügbar

Insgesamt werden Bedürfnisse von Umwelt, Fahrzeug-Nutzern und Biogas-Anlagen-Betreibern einbezogen und unterstützt.

Das Rohbiogas kann aus einem beliebigen Fermenter stammen (Klärgas, landwirtschaftliche oder industrielle Biogasanlage), wird in der Aufbereitungsanlage vorgereinigt, entfeuchtet und mittels Membranen (Trennung von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) zu Treibstoffqualität aufbereitet. Im weiteren Schritt wird das Biogas auf den für die Betankung notwendigen Hochdruck verdichtet (bis 300 bar) und in Gasspeicher-Bündeln gespeichert. Die Fahrzeug-Betankung erfolgt wie bei einer öffentlichen Tankstelle aus diesen Speicherbündeln.

Im Betrieb mit einem bestehenden Blockheizkraftwerk ermöglicht die Aufbereitungsanlage:

- einen flexibleren Betrieb (Strom/ Treibstoff) nach Bedarf
- die gesicherte Gasnutzung bei schwankender Produktion (insbesondere bei Überproduktion)
- die Biogausausbeute zu intensivieren
- die Erhöhung der Biogausausbeute trotz (oft bestehender) Strom-Einspeisungs-Limitierungen durch Trafostation oder KEV-Limiten

## Anlagenbeschreibung

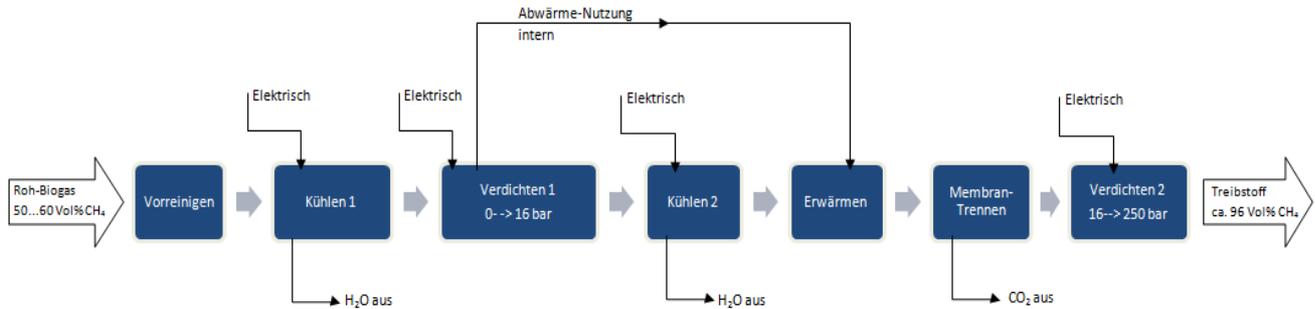


Abbildung 2: Fließschema zur Erzeugung von Treibstoff aus Roh-Biogas

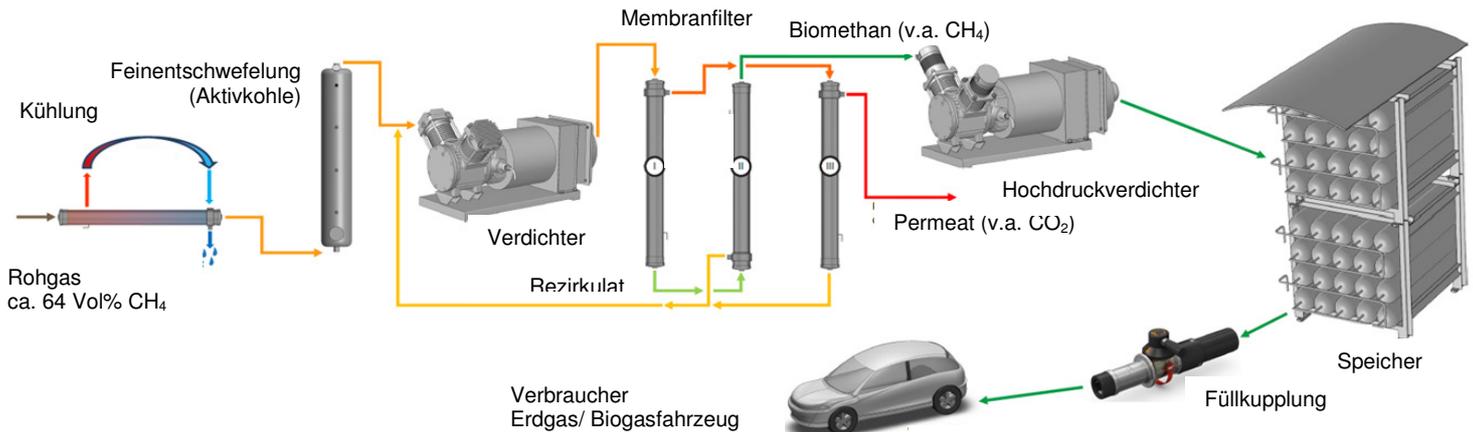


Abbildung 3: Illustratives Fließschema, wie es auf der Informationstafel in Schönenwerd angebracht ist.

### Hauptelemente der Anlage:

#### Vorkonditionierung vom Klärgas

Das zugeführte Klärgas wird abgekühlt und das anfallende Kondenswasser abgeschieden. Ein Seitenkanalverdichter erhöht anschliessend den Förderdruck leicht und das vorgetrocknete Klärgas durchläuft den Aktivkohlefilter, der unerwünschte Gasbegleitstoffe (wie Schwefelwasserstoff  $\text{H}_2\text{S}$  und Siloxane) entfernt.

#### Erste Verdichterstufen

Ein Verdichter komprimiert das Klärgas in zwei Stufen auf den notwendigen Betriebsdruck der Aufbereitungsmembrane (ca. 15 barg).

Anschliessend wird das Klärgas ein zweites Mal abgekühlt und entwässert, um ein Kondensieren innerhalb der Membran zu verhindern. Mittels Wärmeauskopplung aus dem Verdichter (Abwärmenutzung) wird das entwässerte Klärgas wiedererwärmt und so mit geringem Feuchtegehalt den Membranen zugeführt.

#### Aufbereitung Rohgas zu Biomethan

Die Gasaufbereitung erfolgt mit einer 3-stufigen Verschaltung der drei Membranen. Das Klärgas durchläuft die erste und zweite Membrane und erreicht danach eine sehr trockene Gasqualität (Drucktaupunkt typi-



scherweise <- 60°C) mit einem Methangehalt von >96 Vol% CH<sub>4</sub>. (Die Qualität ist einstellbar, liegt mit 96 Vol% auf dem Zielwert gemäss Einspeiserichtlinie G13).

Das Permeat aus der ersten Stufe enthält noch einen Methananteil von ca. 10 Vol% und wird zur dritten Membranstufe geführt. Hier wird es weiter aufbereitet, sodass das Permeat aus der dritten Stufe einen Methananteil von ca. 1 Vol% bezogen auf die verarbeitete Rohgasmenge enthält. Dieses Offgas wird über Dach an die Atmosphäre abgeleitet.

Das Retentat aus der dritten Membranstufe sowie das Permeat aus der zweiten Membranstufe enthalten gemeinsam gegen 25 Vol% Methan und werden als Rezirkulat vor den Verdichter zurückgeführt, wo sie wieder mit dem neuen Klärgas vermischt der Aufbereitung zugeführt werden.

### **Weitere Verdichtung zur Druckspeicherung**

Das Biomethan aus der Aufbereitung wird in zwei weiteren Verdichtungsstufen auf den Speicherdruck (ca. 270 bar) für die Fahrzeugbetankung verdichtet und dort vorgehalten.

### **Fahrzeugbetankung**

Erdgas-/Biogas-Fahrzeuge werden direkt aus dem Hochdruckspeicher betankt. Dies geschieht analog zu bestehenden Erdgastankstellen mittels einer 3-stufigen Kaskadenbetankung (3-Bank-System). Die betankten Biomethan-Mengen werden mit einem Coriolis-Massendurchfluss-Messer erfasst.

Für die Kleintankstelle wurde eigens eine Steuerung mit Bedienpanel entwickelt, als kostengünstige Möglichkeit zur Kundenregistrierung, Tankdatenerfassung- und Abrechnung.

Die Tankstelle wird als halb-öffentliche Tankstelle betrieben, d.h. Kunden können sich bei Apex AG registrieren lassen und erhalten einen Batch für das Freischalten und die Registrierung der Betankungsdaten.

### **Steuerung**

Die Anlagen-Steuerung ist mit Fernwirktechnik ausgeführt. Die Visualisierung auf dem Human-Machine-Interface (HMI) zeigen die wichtigsten Prozess- und Tankdaten, sowie Störungsmeldungen an. Über GSM können diese Daten online abgerufen werden. Viele gespeicherte Messdaten werden zu Analysezwecke verwendet und die Tankdaten für die Rechnungsstellung aufbereitet.

## **Projekt-Etappen**

### **1.1. Bau, Installation und Inbetriebnahme Blue BONSAI BB6**

Die Pilotanlage Blue BONSAI BB6 (mit 6 Nm<sup>3</sup>/h aufbereitetem Biogas) wurde mit den Erfahrungen aus den früheren Projekten konstruktiv, steuerungstechnisch und elektrotechnisch neu entwickelt.

Mit dem Zweckverband der Abwasserregion (ZAS) in Schönenwerd konnte ein gut geeigneter Standort, nicht weit der Apex AG, gefunden werden. Der Vertrag mit dem ZAS wurde Ende 2015 unterzeichnet, die darauf folgende Bauausschreibung lief ohne Einsprachen bis Anfang Januar 2016. Nach Erhalt der Brandschutzbewilligung der Solothurner Gebäudeversicherung erfolgte am 17. Februar 2016 die Baubewilligung durch die Gemeinde Schönenwerd.

Die Anlage wurde im März 2016 in der Werkhalle von Apex in Däniken mit Luft als Testmedium in Betrieb genommen. Das Betanken wurde mittels Stickstoff-Flaschenbündeln getestet.

Der SVGW/TISG hat Funktionsbeschreibung und Rohrleitungs- und Instrumentenschema vorgängig erhalten, die gebaute Anlage in Däniken im März 2016 besichtigt und für betriebsbereit befunden.

Anfangs Mai wurde die Anlage nach Schönenwerd transportiert und Rohrleitungen und Stromanschluss wurden erstellt. Am 17. und 19. Mai 2016 erfolgte die Inbetriebnahme.



Abbildung 4: Transport von Däniken nach Schönenwerd



Abbildung 5: Fertig installierte Blue BONSAI BB6 mit Zapfhahn auf der ARA Schönenwerd

## 1.2. Betankungskonsole mit Batch-Registrierung

Eine Betankungskonsole macht schnell einen beträchtlichen Teil der Gesamtinvestition einer Tankstelle aus, insbesondere wenn sie ein manipulationssicheres Kreditkarten-Zahlsystem beinhalten soll. Ein solches System wurde von Anfang an als zu kostenintensiv für eine Kleinanlage angesehen. Für die BlueBONSAI-Anlage wurde deshalb eigens ein kompaktes, zweckmässiges Registrier- und Messsystem entwickelt.

Die Registrierung mittels Batch schaltet die Tankstelle frei. Wie bei konventionellen Erdgastankstellen werden Fahrzeuge mit einem 3-Bank Kaskadensystem durch Überströmen in etwa drei Minuten betankt. Die bezogene Biogasmenge wird mit einem Coriolis-Massendurchflussmesser erfasst und gespeichert. Für das Inkasso können die Daten fern ausgelesen und in Excel aufbereitet werden. Die Neuentwicklung passt in den gesteckten Kostenrahmen und hat von Beginn an störungsfrei funktioniert.

Die Handhabung von Registrierung und Betankung ist einfach, Kundenrückmeldungen sind positiv.

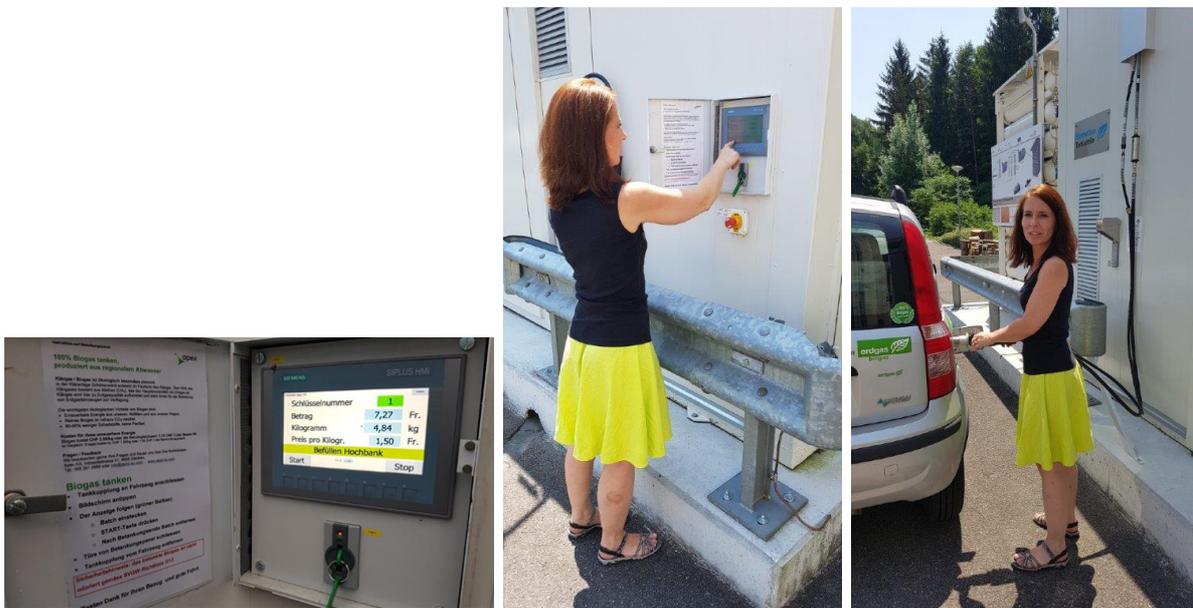


Abbildung 6: Einfache Handhabung: Registrierung mit Batch am Betankungspanel, dann Biogas tanken



### 1.3. Erfahrungen im Tankstellenbetrieb

Die Tankstelle wird halb-öffentlich betrieben. Tankkunden sind bisher fünf Privatkunden, drei Mitarbeiter von Apex und die Apex AG selbst mit sieben Geschäftsfahrzeugen. Die Anlage ist so erst zu 25% ausgelastet.

Die Kunden-Akquisition gestaltete sich als schwierig.

Nebst eingeschränkten Öffnungszeiten und dem etwas abgelegenen Standort, war der Hauptgrund wohl der als teuer empfundene Biogas-Preis, der ca. 70% über dem aktuellen Erdgaspreis, resp. 20% über dem momentanen Benzinpreis (2.50/kg resp. 1.70/lit Benzinäquivalent) lag. Für die Festlegung des Preises dienten die eigene Kostenkalkulation, andererseits Umfragen bei Gastankstellenbetreibern. Die Preisspanne für Biomethan lag bei 2.60 bis 2.80 CHF/kg.

Beinahe ein Jahr wurde versucht, das Biogas zu den tatsächlichen Kosten von aufbereitetem Biogas zu verkaufen. Dann wurde der Verkaufspreis reduziert, und Kunden tanken seither gleich günstig, wie an einer normalen Erdgastankstelle (1.50/kg resp. 1.02/lit Benzinäquivalent). Die Mehrkosten der Biogasaufbereitung werden separat als sogenannte "Biogas-Upgrades" verkauft (resp. im Moment durch die Apex AG übernommen). Dieses System folgt den Leitlinien des SVGW und ermöglicht, mehr Tankkunden anzusprechen, den Absatz zu steigern und so die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen.



Abbildung 7:  
Bruno Rufibach von Apex bei der  
ersten Biogas-Betankung mit der BB6



Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-neutral mit Biogas tanken: Apex-Fahrzeug, das seit der Beschaffung im Herbst 2016 fast ausschliesslich mit aufbereitetem Klärgas aus Schönenwerd fährt (über 90% von bisher gefahrenen 24'000 km)

### 1.4. Wahl Prozessführung 1- oder 3-stufige Membran

Die Evonik Membran-Module erlauben es, verschiedene Prozessführungen zu realisieren. Für die Biogasaufbereitung kommen im Wesentlichen die 1-stufige oder die 3-stufige Membranschaltung zur Anwendung. Die 1-stufige benötigt lediglich eine Membran (resp. bei höheren Durchflüssen mehrere parallel), nach der die Produktgasqualität bereits erreicht ist; das Offgas aber enthält noch einen bedeutenden Anteil Methan, weshalb es zurück in den Fermenter geführt werden muss. Hier vermischt sich das Offgas mit dem Roh-Biogas, weshalb diese Prozessführung nur geeignet ist, wenn die Treibstoffproduktion der deutlich kleinere Verbraucher ist, z.B. neben einem parallel betriebenen BHKW. Bedarf die Treibstoffproduktion mehr als Grössenordnung 10% der gesamten Biogasproduktion, so beeinflusst das Rückführgas die Rohgasqualität zu stark und beeinträchtigt den Betrieb des BHKWs, welches auf die Rohgasqualität optimiert betrieben wird. So wurde in Schönenwerd die 1-stufige Schaltung nur kurz getestet, und dann auf die 3-stufige gewechselt, weil der Einfluss auf den BHKW-Betrieb zu stark war.

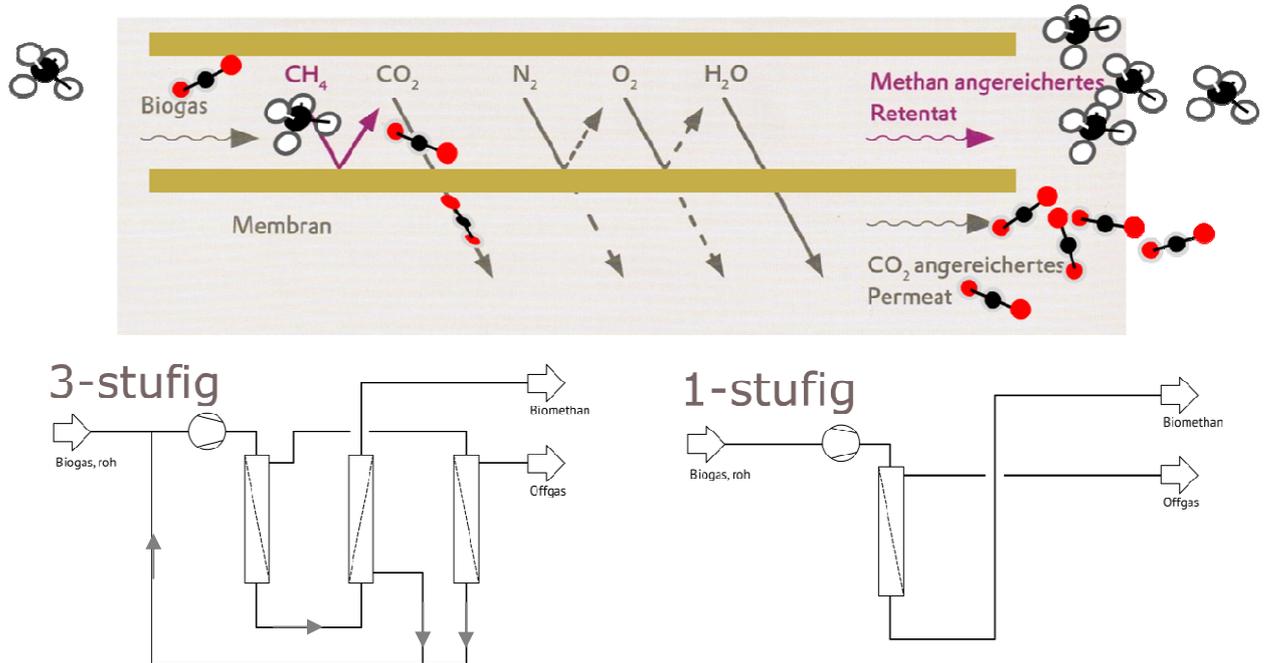


Abbildung 9: Skizzierter Querschnitt durch eine einzelne Membran-Hohlfaser (oben): CO<sub>2</sub> (stäbchenförmig) geht durch die Poren, CH<sub>4</sub> (tetraederförmig) verbleibt eher in der Hohlfaser; Schema der 3- und der 1-stufigen Membran (unten).

Tabelle 1: Vergleich zwischen 1- und 3-stufiger Membranschaltung

Membran-Schaltung	Produktgas	Offgas	Merkmale
3-stufig	≥96 Vol% CH <sub>4</sub>	≤ 1 Vol% CH <sub>4</sub> wird an Atmosphäre abgegeben (oder ev. anders genutzt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betrieb unabhängig von andern Verbrauchern wie parallel arbeitendes BHKW</li> </ul>
1-stufig	≥96 Vol% CH <sub>4</sub>	Ca. 20 Vol% CH <sub>4</sub> , wird in Fermenter rückge- führt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weniger Sensorik, Regelungstechnik, Membran → günstiger.</li> <li>0% Methanschlupf, da Offgas rückgeführt wird.</li> </ul>

## 1.5. Redesign der Biogasaufbereitungs-Module

Der im Verlauf des Projekts getroffene Entscheid für eine neue Kompressor-Typenreihe brachte auch ein komplettes Redesign der gesamten Aufbereitungskette mit sich. So wurden sämtliche Komponenten-Anordnungen und Verrohrungen noch einmal hinterfragt und technisch, montage- und kostenseitig optimiert. Das Aufbereitungsmodul wurde so konzipiert, dass aus einer BB12 mit wenigen Änderungen und im gleichen Container eine BB24 mit nochmal doppelter Kapazität gebaut werden kann.

Seit Frühling 2018 ist die umgebaute Anlage als BB12 im Betrieb und weist per Ende Juni 2018 etwa 120 Betriebsstunden auf. Die erreichten Betriebsstunden sind tief, da die ARA Schönenwerd deutlich weniger Klärgas produziert (Grund: Wegfall von energiereichen Industrieschlämmen). Das Klärgas wird deshalb in erster Linie für den Eigenbedarf der ARA im Blockheizkraftwerk genutzt, und die Biogastankstelle kann nur noch nach Absprache stundenweise betrieben werden.

Dennoch wird die Anlage so viel wie möglich betrieben und wenn immer möglich werden die Fahrzeuge der bestehenden Kunden und die Betriebsfahrzeuge von Apex betankt.

## 1.6. Weltneuheit: zwei neue Gasqualitäts-Sensoren

In der Anlage in Schönenwerd konnten als Weltneuheit zwei neue Produktgas-Sensoren eingesetzt werden: der gasQS von Mems AG und der Nanomass von TrueDyne Sensors AG (Endress+Hauser).



Abbildung 10: Der gasQS® von MEMS AG ist schnell montiert

Für die Gasqualitätsmessung mit dem mikro-elektromechanischen Typ gasQS® der Mems AG wird die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  im binären Gasmisch bestimmt und daraus die Gasqualität abgeleitet. An einer anderen bestehenden Testanlage von Apex (Bachenbülach) wurde dieser neue Sensor bereits 2015 einem Dauerlauf unterzogen, und Mems hatte ihn darauf zur Marktreife gebracht.



Abbildung 11: Nanomass von TrueDyne (Endress+Hauser) mit Vor-Ort-Anzeige und drei Bedientasten für die Inbetriebnahme

Aufgrund der unterschiedlichen Dichte von  $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$  kann mit dem neuentwickelten Dichtemesser „Nanomass“ von Truedyne Sensors AG die Produktgasqualität bestimmt werden. Neben der Dichte werden die Gastemperatur und der Betriebsdruck gemessen.

Beide Sensoren zeichnen sich aus durch ihre geringe Baugrösse, ihre Zuverlässigkeit und Wartungsfreiheit. Regelmässige Nachjustierungen mit Referenzgasen entfallen.

Im Frühling 2016 erhielten beide Sensoren die ATEX-Zulassung und können in der Ex-Zone der Aufbereitungsanlage verbaut werden. Die beiden unterschiedlichen Messverfahren zeigten im Betriebsmodus mit veränderten Prozessvariablen eine gute Korrelation der Messwerte (siehe Graf).

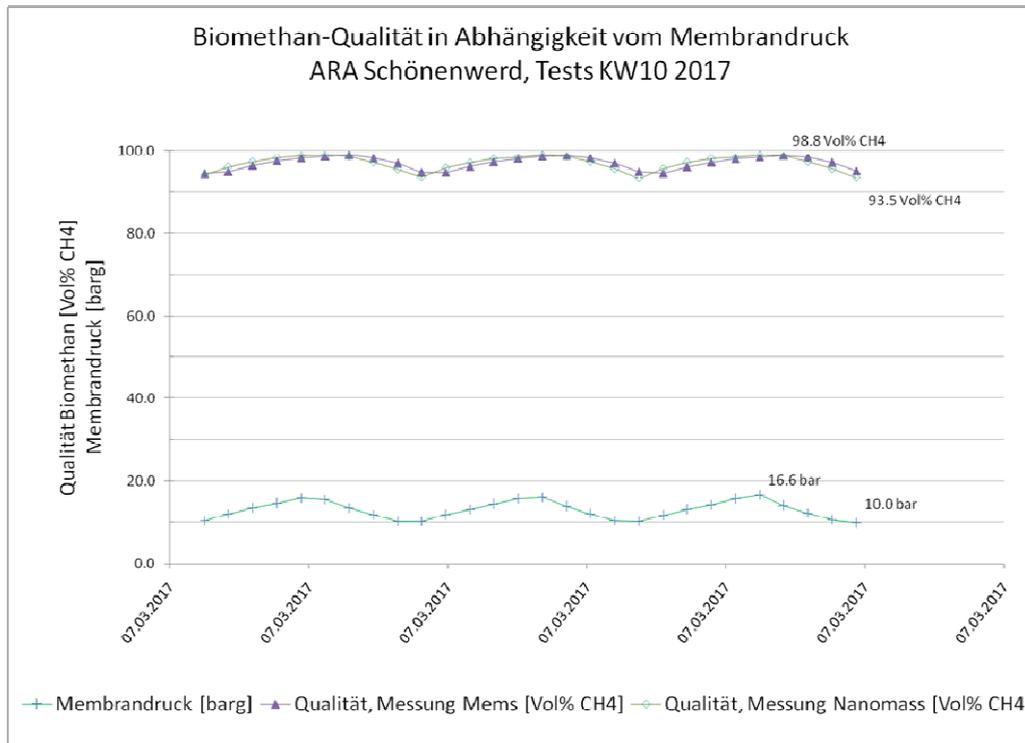


Abbildung 12: Messwerte zeigen gute Korrelation der beiden neuen CH<sub>4</sub>-Messgeräte. Zusätzlich zeigt der Test die starke Abhängigkeit der Biomethan-Qualität vom Betriebsdruck (höherer Druck = höhere Qualität).

Die neuen Produktgassensoren haben von Anfang an gut funktioniert und korrelieren. Bisher sind keine Störungen aufgetreten, die auf die Gasanalytik zurückzuführen sind. Die Firmen Mems AG und Truedyne Sensors AG verfolgen unsere positiven Erfahrungen mit den Geräten und stehen mit uns periodisch in Kontakt. Unsere Erfahrungen wurden in der Dezember 2017-Ausgabe von Aqua & Gas veröffentlicht.

## 1.7. Abklärungen wegen Odorierung

Eine konventionelle Odoranlage ist sehr kostspielig (ca. CHF 30'000 ohne Installation) und für kleine Biomethanmengen kaum erhältlich. Ausserdem ist die Einspritzung von Kleinstmengen des Odormittel THT ins Biomethan ungenau.

Grundsätzlich gilt: für die Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz, ist die Odorierung des Biomethans vorgeschrieben. Eine Ausnahme kann gewährt werden, falls die eingespeisten Biomethanmengen so gering sind, dass am ersten Bezugspunkt im Erdgasnetz die Odorierung noch genügend ist.

Für die Fahrzeug-Betankung kann (muss aber nicht) die Richtlinie SVGW G13 angewandt werden. Diskussionen mit dem SVGW/TISG und der OZD haben ergeben, dass eine Odorierung nur vorgeschrieben wird, wenn eine öffentliche Betankung ansteht.

In der Anlage Schönenwerd ist keine Odorierung eingebaut. Dies wird vom SVGW für eine Tankstelle mit eingeschränktem Kundenkreis akzeptiert, vorausgesetzt die Kunden sind darüber informiert.



## 1.8. Zusammenarbeit mit Behörden

### SVGW G13

Die Regelwerke (z.B. SVGW G13) sehen bestimmte Minimalanforderungen für die Einspeisung von aufbereitetem Bio- oder Klärgas ins Erdgasnetz vor, ohne Differenzierung nach Technologien. Einige der Muss-Kriterien sind bei ausreichender Methanqualität im Produktgas mit der Membrantechnologie automatisch technologiebedingt erfüllt (z.B. die Gastrockenheit).

Mehrere Vorstösse wurden eingereicht und Besprechungen mit dem technischen Inspektorat der Gasindustrie (SVGW/TISG), dem Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG) und der Oberzolldirektion (OZD) fanden statt. Diverse Themen rund um die Zulassungen von kleinen Biogas-Aufbereitungsanlagen mit neuen Elementen, die teilweise im Regelwerk des G13/G18 nicht vorgesehen sind wurden diskutiert: das Ziel, den spezifischen Charakteristiken der Membran-Technologie Rechnung zu tragen. Ausserdem sollen „Kleinanlagen“ von gewissen Ausnahmen profitieren können, auf die die Regelwerke nicht spezifisch eingehen.

Neuartige Sensoren verfügen über Messtechnologien, die nur sehr selten mit Prüfgasen kalibriert werden müssen. Auf in der Anlage installierte Prüfgas-Speicherflaschen kann somit verzichtet werden. Die an verschiedenen Anlagen durchgeführten Messungen und die ermittelten Daten untermauern unsere Argumentationen für die neuen Überwachungsmethoden der Biogas-Aufbereitung.

Auf diese Weise konnte auf gewisse Sensoren verzichtet, Bau- und Betriebskosten eingespart und die Zuverlässigkeit gesteigert werden, ohne die Sicherheit und die Gasqualität zu beeinträchtigen.

Die Akzeptanz für solche Kleinanlagen mit neuartiger Messmethodik ist im Wandel und stimmt zuversichtlich, obwohl noch einige Herausforderungen anstehen.

Die Erfahrungen aus dem Projekt BlueBONSAI erhärteten die Argumente:

- Die Langzeittests mit den neuen CH<sub>4</sub>-Sensoren (MEMS und Nanomass) zeigten die Zuverlässlichkeit der Messgeräte auf.
- Die Aufzeichnung der Drucktaupunkt-Messungen (DTP) im Produktgas (Anlage BF25 in Reinach) über drei Jahre festigte die Argumentation, dass die Membrantechnologie trockenes Biomethan produziert, typischerweise DTP < -60°C. Dieser Wert ist weit besser als die Einspeise-Richtlinie G13 es erfordert (DTP < -8 °C bei Einspeisedruck).
- Die CH<sub>4</sub>-Messwerte im Offgas mit dem MEMS-Sensor sind vielversprechend. (Die Messresultate sind in der Anlage Schönenwerd allerdings derzeit noch nicht vollständig erfasst und ausgewertet, um sie für die Prozessführung zu verwenden).

### Oberzolldirektion OZD

Die Besprechungen mit der OZD wurden notwendig, weil die Berichterstattung über die vertankten Biome thanmengen der zwei Aufbereitungsanlagen „Reidermoos“ und „Schönenwerd“ nicht den üblichen Mess- und Melderichtlinien entsprechen. Als Resultat der Besprechungen wurde folgende Regelung vereinbart: Generell wird künftig zwischen drei Anwendungsfällen der Biogas-Aufbereitung zu Treibstoff unterschieden, die unterschiedlich gehandhabt werden:

- **Treibstoff für den Eigenbedarf**
  - Es kommt ein stark vereinfachtes Mess- und Meldesystem zur Anwendung. Mit einfachsten Mitteln misst und registriert der Produzent und Konsument monatlich die produzierten und konsumierten Biomethan-Mengen und meldet diese an die Clearingstelle der Gasindustrie (VSG)
  - Das Biomethan muss nicht odoriert werden
- **Eingeschränkter Kundenkreis**
  - Das produzierte und verkaufte Biomethan wird mit anerkannten Messmitteln gemessen und registriert und monatlich bez. quartalsweise der Clearingstelle gemeldet
  - Die Betankungsmengen werden mit einem eichfähigen Massendurchfluss-Messer erfasst, analog konventioneller Erdgas-Tankstellen. Alle zwei Jahre wird die Genauigkeit des Massendurchfluss-Messers überprüft
  - Die Freischaltung, Erfassung und Speicherung der Tankdaten erfolgt mittels einfachem Batch-System



- Das Biomethan muss nicht odorisiert werden, die Kunden müssen jedoch darüber informiert sein (z.B. im Bezugsvertrag und/ oder am Betankungspanel)
- **Öffentliche Biomethan-Tankstelle** entspricht einer öffentlicher Erdgas-/Biogas-Tankstelle
  - Das produzierte und verkaufte Biomethan wird mit anerkannten Messmitteln gemessen und registriert und monatlich bez. quartalsweise der Clearingstelle gemeldet
  - Die Betankungsmengen werden mit einer eichamtlich zugelassenen Zapfsäule (mit geeichtem Massendurchfluss-Messer) erfasst, analog konventioneller Erdgas-Tankstellen. Alle zwei Jahre wird die Genauigkeit des Massendurchfluss-Messers eichamtlich überprüft
  - Die Freischaltung, Erfassung und Speicherung der Tankdaten erfolgt mittels konventionellem Tankautomat
  - Das Biomethan muss odorisiert werden

## 1.9. Berechnungen der Wirtschaftlichkeit einer Biogastankstelle

Die Kostenkalkulation für die Typen BlueBONSAI BB6 und BB12 wurden im Verlauf des Projekts aktualisiert und Wirtschaftlichkeitsrechnungen erstellt.

Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung ist generell sehr individuell und Standort spezifisch. So fallen Rohgas-Einkaufspreis, Strompreis, Höhe der Kapitalverzinsung stark ins Gewicht. Wir beschränken uns in diesem Kurzbericht deshalb auf die wichtigsten Resultate:

- eine BB6 kann kaum wirtschaftlich betrieben werden (Invest zu hoch resp. Erlöse zu gering)
- eine BB12 kann knapp wirtschaftlich betrieben werden, Break Even wird in etwas über 12 Jahren erreicht
- Erlöse aus Upgrade-Verkauf sind zwingend. Ohne solche Fördergelder ist auch die BB12 derzeit nicht konkurrenzfähig im Direktvergleich mit fossilem Erdgas.

In unserer Rechnung wird die Wirtschaftlichkeit rechnerisch ab einer Auslastung von 50% erreicht. Dies entspricht einem durchschnittlichen Betrieb von 12 Stunden pro Tag. Dies wären 12 Betankungen von PWs pro Tag (gerechnet mit 15 kg/ Betankung) oder einer Betankung eines Personenbusses pro Tag (150 kg/ Betankung).

Eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit kann erreicht werden durch:

- Erhöhung der Auslastung über 50% auf Zielwert 75% (eine noch höhere Auslastung ist für eine Tankstelle eher unrealistisch). Der Break Even könnte dann in 5-6 Jahren anstatt 12 Jahren erreicht werden.
- Erhöhung des Upgrade-Verkaufspreises
- Erhöhung der Treibstoffpreise (z.B. sobald fossile Treibstoff-Preise steigen)



# Ergebnisse

## 1.10. Kennzahlen und Vergleich

		nur Aufbereitung		Aufbereitung und Hochdruckverdichtung zu BioCNG				
		Typ BF20	bis	Typ BF60	Typ BB1	Typ BB6	Typ BB12	Typ BB24
Menge Biomethan	Nm <sup>3</sup> /h	20		60	1,5	6	12	24
Leistung Biomethan	kW <sub>chem</sub>	200		600	15	60	120	240
Rohgasmenge Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h	30		60	2,5	10	20	40
Typische Betriebs-Auslastung (Einspeisung bis 100%, Tankstelle 50-75%)	%	90%		90%	50%	50%	50%	50%
Produktion Biomethan bei gewählter Auslastung	Nm <sup>3</sup> /a	157'680		473'040	6'570	26'280	52'560	105'120
	kWh/a	1'576'800		4'730'400	65'700	262'800	525'600	1'051'200
	kg/a (0,8 kg/Nm <sup>3</sup> )	197'100		591'300	8'213	32'850	65'700	131'400
Bei Tankstelle: Betankungen/Tag bei 50% Auslastung, PW, 15 kg/ Betankung	Anz.	-		-	1	6	12	24
Anschlussleistung kW	kW	15		45	3	10	20	40
Leistungsaufnahme inkl. Nebenaggregate	kW	9		26	2	6	10	19
Spezif. Eigenstromverbrauch inkl. Nebenaggregate	kWh/Nm <sup>3</sup> Biomethan	0,05		0,04	0,14	0,10	0,08	0,08
	in % Biomethan	4,50%		4,33%	14,0%	10,0%	8,3%	7,9%
Zielpreis für die Anlage Standardausführung CHF ohne Installation vor Ort	CHF	480'000		550'000	80'000	350'000	350'000	400'000
	CHF/Nm <sup>3</sup> installiert	24'000		9'167	53'333	58'333	29'167	16'667
	CHF/ kW installiert	2'400		917	5'333	5'833	2'917	1'667
Verdichtertechnologie für die Aufbereitung		Schraubenverdichter (o. Tauchkolben)		Schraubenverdichter (o. Tauchkolben)	Tauchkolben	Tauchkolben	Tauchkolben	Tauchkolben

Abbildung 13: Kennzahlen und Vergleich Biogasaufbereitung und Tankstelle verschiedener Anlagengrößen

Die nachfolgende Grafik zeigt die typische Problematik von Kleinanlagen, die auf die installierte Leistung bezogen, deutlich teurer sind als grössere Anlagen. Die zwei oberen Kurven zeigen die Kosten für die Biogasaufbereitung (mit/ ohne Hochdruckverdichtung), die untere zeigt eine klassische Erdgastankstelle. Die Grafik wurde ergänzt mit technisch vergleichbaren grösseren Anlagen von anderen Anbietern (grau gestrichelte Kurve, Punkte), die auf grössere Anlagen fokussieren.

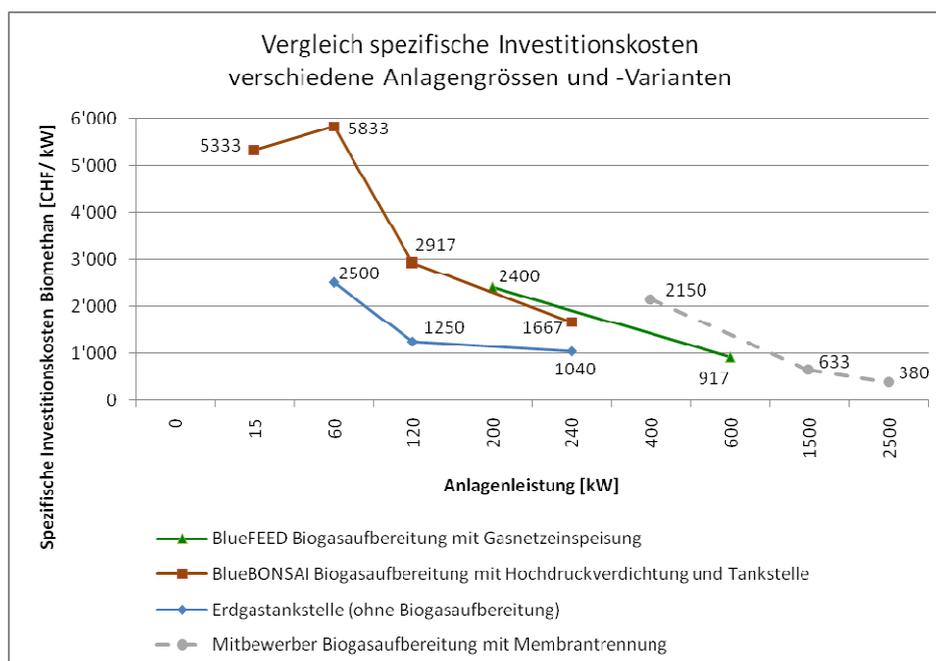


Abbildung 14: Spezifische Investitionskosten im Vergleich für die Biogasaufbereitung mit/ ohne Hochdruckverdichtung für die Biogastankstelle, sowie Vergleich mit Erdgastankstelle.



Zu beachten: die BlueBONSAI BB1 ist eigentlich nicht direkt mit der BlueBONSAI BB6 vergleichbar, denn als "Eigenversorger-Tankstelle" hat sie keine Betankungsmessung und Tankdaten-Registrierung. Dies ist bei einer BB6 bereits eingebaut und eingerechnet für den halb-öffentlichen Betrieb. Deshalb sind die spezifischen Kosten bei der BB6 gegenüber der BB1 grösser. Dies untermauert auch die Entscheidung, die Anlagen-Entwicklung auf die kosteneffizientere BB12 zu fokussieren. Der Vergleich der BlueBONSAI (braune Kurve, Quadrate) mit Erdgastankstellen ohne Biogasaufbereitung (blaue Kurve, Rhomben) zeigt die Mehr-Kosten von Biogas-Treibstoff gegenüber fossilem, importiertem Erdgas-Treibstoff. Für kleinere Tankstellen (60 kW) sind es +3'333.- CHF/ kW, für grössere Tankstellen (240 kW) +627.- CHF/ kW.

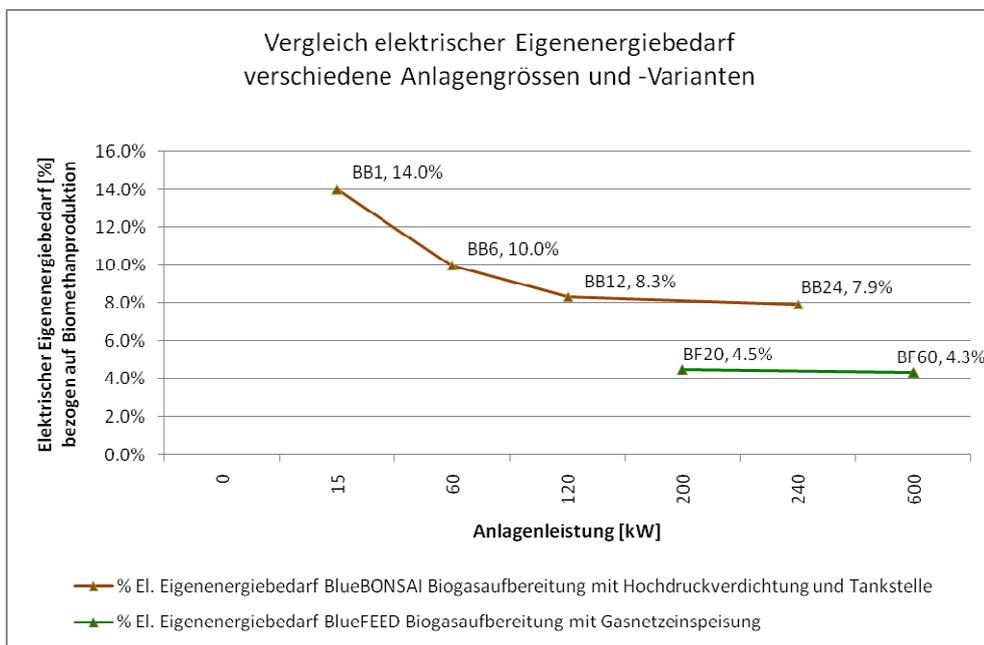


Abbildung 15: Vergleich des elektrischen Eigenenergiebedarfs mit Hochdruckverdichtung für die Biogastankstelle (BlueBONSAI) resp. für die Gasnetzeinspeisung (BlueFEED).

Obige Kurven zeigen den elektrischen Eigenenergiebedarf von Biogasaufbereitungsanlagen mit/ ohne Hochdruckverdichtung inklusive aller Komponenten wie Kompressor und Nebenaggregate wie Kaltwassersatz, Steuerung, Raumheizung.

Für eine Biogasaufbereitung inklusive Hochdruckverdichtung (BlueBONSAI) muss etwas weniger als das Doppelte (8-10%) zur reinen Biogasaufbereitung (BlueFEED) gerechnet werden (4-5%).

Der elektrische Eigenenergiebedarf verbessert sich deutlich bei grösseren Anlagen dank effizienteren Kompressoren und weil die Nebenaggregate bezogen auf die Gesamtleistung weniger ins Gewicht fallen.



## 1.11. Betriebserfahrungen mit der BONSAI BB6 und BB12

### Erfahrungen zu Wärme-/Kälte-Haushalt und Winterbetrieb

Das installierte System (Rohgas-Entwässerung, Kälte-Rekuperation, Wärme-Auskopplung aus dem Haug-Verdichter für die Wiedererwärmung des Biogases vor der Membrane) funktionierte gut und hat die Vorgaben erfüllt.

Die Kondensatableitung ins Freie fror allerdings einmal während der Kälteperiode im Januar 2017 zu und musste temporär umgeleitet werden, was für den Winterbetrieb zukünftig zu beachten ist.

Ebenso für den Winterbetrieb zu beachten: Raumheizungen brauchen viel elektrische Energie (1-2 kW). Wenn eine Anlage lange steht, kann dies zu einem beachtlichen Energieverbrauch im Verhältnis zum erzeugten Treibstoff führen.

### 2100 Betriebsstunden, 10'700 kg Biomethan

Mit der ursprünglichen BB6-Anlage wurde während der Betriebsphase im ersten Jahr (Sommer 2016 bis Sommer 2017) in ca. 2'000 Betriebsstunden etwa 12'000 Nm<sup>3</sup> (ca. 9'600 kg) Biomethan produziert. Hinzu kommen ca. 120 Betriebsstunden mit ca. 1'200 Nm<sup>3</sup> mit der seit Frühling 2018 installierten BB12.

Die gesamthaft erzeugte Energie während des Projekts beträgt somit: 13'400 Nm<sup>3</sup> Biomethan oder gut 134'000 kWh. Umgerechnet sind das 270'000 Fahrkilometer eines Kleinwagens oder 6.8 mal um den Äquator.

Genutzt wird die Tankstelle heute von 15 Fahrzeugen (Apex:7 Fahrzeuge, 8 Privatkunden).

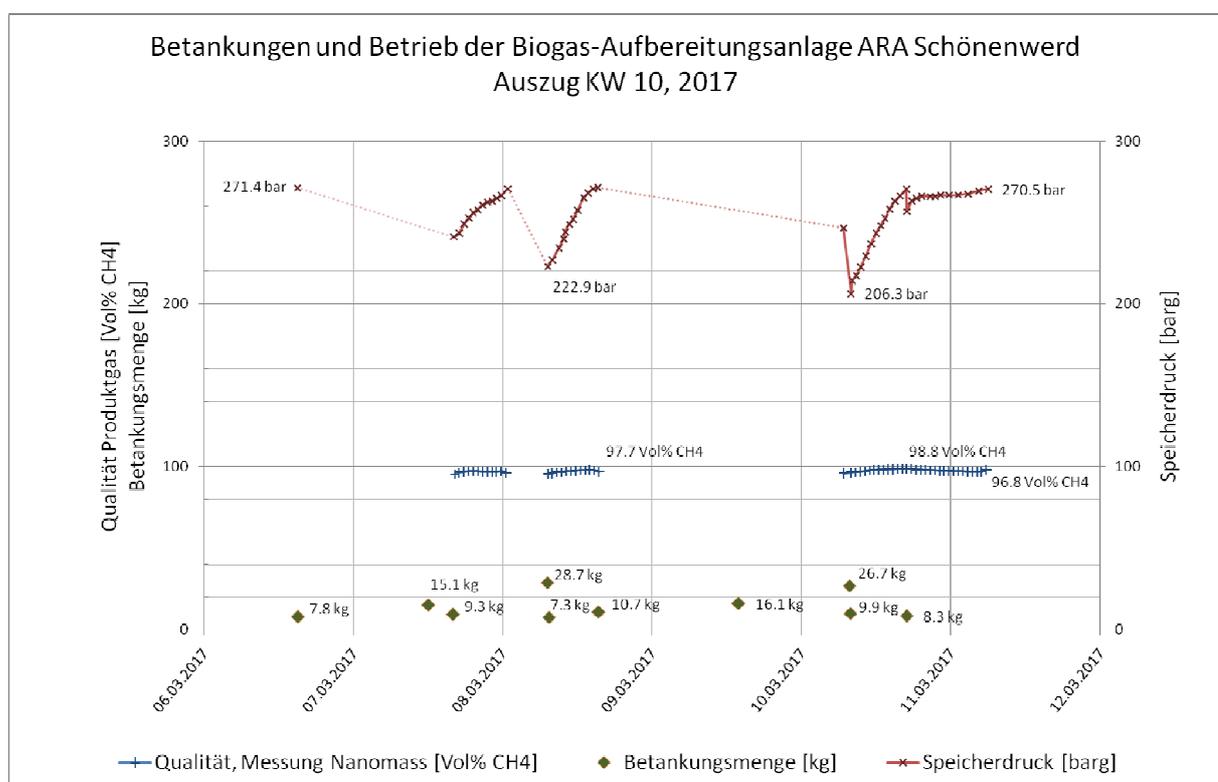


Abbildung 16: Auszug der gemessenen Tankstellen-Daten. Der Betrieb der Aufbereitungsanlage startet und stoppt in Abhängigkeit des Speicherdrucks. Die Produktgasqualität von 96 Vol% CH<sub>4</sub> wird jeweils nach einem Neustart der Anlage schnell erreicht.

Betriebsbedingt hat die noch nicht ausgelastete Tankstelle viele Start-Stopps. Auf den Betrieb hat das folgenden Einfluss:



Die Anlage muss sich beim Anfahren erst auf Betriebstemperatur erwärmen. Nach ca. 15 Min. stellt sich dann ein quasi stationärer Betrieb ein. Da die Methanqualität abhängig von der Betriebstemperatur des Membransystems ist, liegt sie in der Startphase etwas tiefer als im Dauerbetrieb. Diese Werte werden bei einer Tankstelle aber ausgeglichen, da sich im Gasspeicher eine Mischung bildet.

Generell eignet sich das Membransystem sehr gut für den Start/ Stopp-Betrieb einer Tankstelle: die Zeitspanne bis zum Normalbetrieb ist verhältnismässig kurz und bedeutet keine grosse Einschränkung.

### **Messdaten, Qualität der Aufbereitung von Klärgas zu Biomethan**

Die Aufbereitung vom Klärgas funktioniert gut, sowohl mit der 3-fachen Verschaltung wie auch mit der einstufigen Variante, die kurzfristig zu Testzwecken verwendet wurde. Die realisierte Betriebsweise erzielt kontinuierlich 96 Vol% CH<sub>4</sub>. Kleinere, vernachlässigbare Schwankungen in der Produktgas-Qualität sind bedingt durch Temperaturschwankungen der Umgebung.

Begleitstoffe im Rohgas können die Gasqualität beeinflussen, falls die Vorreinigung mittels Aktivkohle nicht genügend funktioniert (z.B. gesättigte oder unpassende Aktivkohle). Begleitstoffe im Klärgas sind typischerweise H<sub>2</sub>S und Siloxane, welche in Schönenwerd durch Aktivkohle vor der Membran gut abgefangen werden. Andere Begleitstoffe wie Terpene, die vor allem bei industriellen Biogasanlagen auftreten, und die Membrane stark beeinträchtigen können, haben wir in Schönenwerd nicht beobachtet.

## **1.12. CO<sub>2</sub>-Kompensationen mit Biomethan: Upgrade-Verkauf**

Schweizer Biogas ist deutlich teurer als importierte, fossile Energie. Deshalb können CO<sub>2</sub>-Gelder oder Ähnliches für den "ökologischen Mehrwert" des Biogases unterstützend wirken und die Wirtschaftlichkeit einer Anlage erhöhen oder derzeit erst ermöglichen.

Nach einer groben Sichtung der unterschiedlichen Projekte oder Zertifizierungsmöglichkeiten (Klik, myclimate) wurde das Gespräch mit dem Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG) gesucht.

Der VSG nutzt im Mobilitäts-Sektor das System "Upgrade-Verkauf". So wird an einer Erdgas-/ Biogastankstelle ein reduzierter Tankpreis angeboten. Der Mehrpreis zu 100% Biogas kann durch Tankkunden freiwillig bezahlt werden, entweder direkt an der Zapfsäule mittels Produktwahltafel (Standard 10% Biomethan, 50% Biomethan, 100% Biomethan) oder über Internet. Auch KMUs, die freiwillig CO<sub>2</sub> kompensieren wollen, können diese Upgrades kaufen. Es ist denkbar, die Upgrades auch einem Gasversorger (z.B. Energie 360°) zu verkaufen.

Ein "Upgrade"-Käufer bezahlt für den ökologischen Mehrwert oder für die CO<sub>2</sub>-Kompensation und darf damit Werbung machen. Der "Upgrade-Verkäufer" (Biogas-Treibstoff-Produzent) hingegen darf dann keine Werbung mehr machen (Doppel-Verkauf oder Doppel-Vermarktung muss ausgeschlossen sein), was etwas einschränkend wirkt.

Dennoch erscheint uns das System momentan das einfachste, aus folgenden Gründen:

- es ist unter Gasversorgern etabliert
- Kunden sollen nicht noch ein anderes System erklärt bekommen
- der Upgrade-Preis darf selber festgelegt werden (VSG gibt keine Vorgaben). Dieser liegt in der Regel deutlich über dem CO<sub>2</sub>-Tonnen-Preis, der in CO<sub>2</sub>-Kompensationsprojekten erzielt werden kann (anders ausgedrückt: der derzeitige CO<sub>2</sub>-Preis würde die Biogas-Kosten nicht decken können, "Upgrades" aber schon<sup>1</sup>)
- der administrative Aufwand für die Registrierung bei der Clearingstelle des VSG (für Produktion und Verkauf von Biogas) muss ohnehin gemacht werden, die zusätzliche Meldung "Upgrade" bedeutet nur einen vernachlässigbaren Mehraufwand

<sup>1</sup> Bei (hoch angesetzten) 100 CHF/t CO<sub>2</sub> ergibt dies 3 Rp./kWh (150g CO<sub>2</sub>equ./km oder 300g CO<sub>2</sub>equ./kWh gegenüber Benzin kompensiert). Benötigt werden aber gegen 8-14 Rp./kWh für den ökologischen Mehrwert von Biogas-Treibstoff



## Kommunikation/ Vermittlung

Das Projektteam hat diverse eigene Artikel veröffentlicht, verschiedene Vorträge gehalten, und diverse Journalisten wurden auf das Projekt aufmerksam: z.B. Aqua und Gas, EE News, UmweltPerspektiven, Schweizer Bauer oder Terre & Nature - siehe ausführliche Liste unter "Referenzen".

Apex AG ist als Hersteller von Biogasaufbereitungsanlagen auf der Homepage von "RecordBiomap" aufgelistet: <https://biomethane-map.eu/Biomethane-Map.70.0.html>

U. Oester und S. Duttwiler nutzten auch Gelegenheiten wie die "Tractor Days" der Bucher Landtechnik AG und hielten Vorträge zu Biogas und Biogastreibstoff anlässlich von Verkäuferschulungen im September 2017 in Bulle, Niederweningen und Altishofen, wo der New Holland Biogas Traktor vorgestellt wurde.

Die Anlage Schönenwerd wurde vielen interessierten Besuchern und potentiellen Kunden aus der Schweiz und dem nahen Ausland gezeigt.

Es werden weiterhin gezielt Besuchergruppen eingeladen und informiert, um einerseits konkret zukünftige Anlagenkunden und Tankkunden zu gewinnen und andererseits Biogas als Treibstoff bekannter zu machen.

Unten folgen einige Impressionen.



Abbildung 18: Besuch Evonik Industries AG und Evonik Fibres GmbH



Abbildung 17: Schulungstag der Mitarbeiter von Apex AG und ARA Schönenwerd



Abbildung 19: Besuch der fahrBiogas Energie-Genossenschaft. Erklärungen Demonstration des Biogastanken.



Abbildung 20: Privater Tankkunde und audi g-tron (Fachhochschule Rapperswil) am Tanken in Schönenwerd

## Ausblick

Die Installation in Schönenwerd hat vielen Interessenten die Machbarkeit demonstriert und grosses Interesse unter Fachleuten geweckt.

Nach wie vor stellt die Wirtschaftlichkeit das wichtigste Entscheidungskriterium für die Projektrealisierung dar. Mit den getroffenen Massnahmen sind die wichtigsten Schritte zur Kostensenkung adressiert worden. Wir sind zuversichtlich, dass weiteres Potential besteht und ausgeschöpft werden kann.

Was nun nötig ist, ist die Realisierung von einigen Anlagen im kommerziellen Betrieb um damit Erfahrungen und Referenzen zu sammeln.

Konkrete Kundenanfragen sind Schweiz weit in Bearbeitung. Anfragen aus dem Ausland werden mit Zurückhaltung bearbeitet, da die Regelwerke nochmal anders sind, und es Wartungspartner vor Ort braucht. Apex ist hier aber offen für zukünftige Zusammenarbeiten und Partnerschaften.

Noch offene Fragen für die Situation in der Schweiz werden in gemeinsamen Studien mit Duttwiler Energietechnik, Ökostrom Schweiz und fahrBiogas Energie-Genossenschaft geklärt:

- "agriQnet: Biogastankstellen in der Landwirtschaft" (gefördert durch Bundesamt für Landwirtschaft). Was sind die heutigen Hinderungsgründe, wie sehen Lösungen aus, um Biogas-Tankstellen in der Landwirtschaft zu installieren? Die Untersuchung beinhaltet zwei Machbarkeitsstudien mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen für konkrete Biogasanlagen.
- "InfraBiogas" (mit Bundesamt für Energie): Wie kann man schlecht erschliessbare Biogasanlagen für Biomethan erschliessen (Standorte, die zu weit oder geografisch ungünstig entfernt vom Erdgasnetz sind für eine Gasnetzeinspeisung, aber auch zu schlecht gelegen für eine Biogas-Tankstelle)? Es werden regulatorische, technische und wirtschaftliche Hürden angeschaut und Lösungen gesucht. Z.B. wird angeschaut, ob und unter welchen Umständen der Gasflaschentransport über die Strasse zu einer besser gelegenen Tankstelle eine Lösung wäre und wie gross das so erschliessbare Potential in der Schweiz ist.



## Schlussfolgerungen

Die Entwicklung der kleinen Biogasaufbereitungsanlage in Kombination mit einer Biogas-Tankstelle war erfolgreich. Das Verdichter-Design für die Rohgasverdichtung und Biomethanspeicherung wurde realisiert und neue Gasanalytik für das Produktgas (CH<sub>4</sub>-Messung) integriert.

Das Design der BlueBONSAI BB12 erwies sich als gute Grösse für eine typische Insellösung. Die Anlage verarbeitet 20 Nm<sup>3</sup>/h Biogas zu 12 Nm<sup>3</sup>/h Biomethan und könnte bei guter Auslastung bis zu 12 Fahrzeuge pro Tag betanken. Diese Maximalmenge bedeutet eine Betankungskapazität von 50'000 bis 70'000 kg/Jahr, was dem Absatz einer kleineren öffentlichen Erdgastankstelle in der Schweiz entspricht.

Diese Tankstellengrösse ist ideal für den Verbundbetrieb mit einem BHKW: fehlen die Fahrzeuge, kann der Druckspeicher gefüllt und anschliessend Strom und Wärme produziert werden. Die Flexibilität wird wesentlich erhöht.

Die gebaute Anlage hat grosses Interesse geschürt: potentielle Kunden, Medienvertreter und Behördenmitglieder haben die Anlage besucht und darüber berichtet.

Mit den Veränderungen in der Klimapolitik in der Schweiz und Europa und den wachsenden Umweltproblematiken sind Lösungen gesucht, die eine nachhaltigere Mobilität versprechen. Biomethan wird ein wichtiger Faktor sein und Kleinanlagen werden eine wichtige Rolle in der dezentralen Mobilität spielen, vor allem um das flächendeckende Erdgas-/Biogas-Tankstellennetz zu ergänzen.

Die Wirtschaftlichkeit dieser Kleinanlagen im Vergleich mit den noch billigen fossilen Treibstoffen ist derzeit auf Förderungen wie den Upgrade-Verkäufen angewiesen.

Die Anlage in Schönenwerd ist ein enorm wichtiger Meilenstein der Marktentwicklung dezentraler Mobilitätslösungen mit Biomethan. Sie hat aufgezeigt, welche Anforderungen an den Anlagenbau, das Bewilligungsverfahren, die Kundenakzeptanz, die Wirtschaftlichkeit und letztlich für den Erfolg der Idee erfüllt werden müssen.

## Danksagung

An dieser Stelle möchten die Autoren U. Oester und S. Duttwiler sich herzlich bedanken bei:

- dem BFE für die grosszügige finanzielle Unterstützung und die angenehme und kompetente Begleitung
- dem Zweckverband der Abwasserregion Schönenwerd (ZAS), die uns ermöglichte, das Pilotprojekt auf ihrem Areal zu verwirklichen und uns wertvolle Rückmeldungen und Input für den kombinierten Betrieb mit ihrem BHKW lieferten
- der Gemeinde Schönenwerd für die speditive Abwicklung der Baugenehmigung
- dem SVGW/TISG und dem OZD für das kooperative Zusammenarbeiten
- den Biomethan-Kunden, die das aufbereitete Klärgas nutzen und uns Betriebserfahrungen sammeln liessen
- den Mitarbeitern von Apex, die mit Motivation, Engagement und Ausdauer den Bau, Anpassungen und den Anlagen-Betrieb garantierten
- dem FOGA und der Klimastiftung Schweiz, die das Vorprojekt unterstützt hatten



## Referenzen

Seit Projektbeginn sind folgende Berichte und Veröffentlichungen erfolgt:

- März 2013, "Minitankstelle - auch für Kläranlagen", Roger Strässle, Umweltperspektiven
- 21.08.2013, "Blue BONSAI" Posterpräsentation Sibylle Duttwiler, anlässlich 5-Jahres-Jubiläum Klimastiftung Schweiz, Rüşchlikon
- 27.02.2014, "Biogas direkt ab Hof", Medienmitteilung Klimastiftung Schweiz und LIFE Klimastiftung Liechtenstein
- 21.März 2014, "Ein Bonsai soll Wurzeln schlagen", Fabienne Muri, Willisauer Bote
- April 2014, "Swiss Country Report", Präsentation Nathalie Bachmann, IEA Bioenergy Task 37, Foz do Iguaçu Brazil
- 19.05.2014, "Auf dem Bauernhof reines Biogas tanken", Anita Vonmont (BFE), [www.ee-news.ch](http://www.ee-news.ch)
- 5 2014, "Reines Biomethan zum Tanken", Anita Vonmont, UFA-Revue (Deutsch)
- 5 2014, "Faire le plein en biométhane", Anita Vonmont, UFA-Revue (français)
- 4 2014, "Unbekannter Kraftstoff CNG?" (Absatz "Schweizer Weg: Blue Bonsai"), Dittmar Koop, Biogas Journal
- 02.07.2014, "Pilotanlage für Biogas-Aufbereitung in der Testphase", Sarah Meier, Zürcher Unterländer
- 11. September 2014, "Small Scale Biogas Upgrading Plant For Use As Vehicle Fuel", Präsentation U. Oester im Rahmen der internationalen Konferenz "Progress in Biogas III", Stuttgart
- Automne 2014, "Du carburant directement de la ferme au réservoir", Anita Vonmont (OFEN), Efficienc 21
- 2/2015 "Biomethan ab Hof", Dittmar Koop, Energie aus Pflanzen, S. 40-42
- März 2015 "Kleine Biogas-Aufbereitungsanlagen für Tankstellen und für Netzeinspeisung", U. Oester, S. Duttwiler, Aqua und Gas 3/2015, S. 52-28
- März 2015, "Die Tankstelle auf dem Bauernhof", Niklaus Salzmann, Tierwelt 12/2015, S. 9
- 23.04.2015 Vortrag "Blue BONSAI - Biogasaufbereitung für kleine Produktionsmengen", S. Duttwiler an der Tagung Biomasseforschung in der Schweiz 2015 (BFE), Ittigen
- Mai 2015 Image Broschüre BFE, "Die Tankstelle direkt beim Landwirt", S. Duttwiler
- 30.09.2015 Vortrag "Blue BONSAI: Biogas Upgrading For Small And Mid-Size Fleet, U. Oester (S. Duttwiler), Konferenz "Biomethane as fuel", Evonik Fibres, Österreichische Botschaft Berlin (DE)
- 14.10.2015 Einweihung Biogasanlage Reinach, IBAarau Wärme AG, mit Ansprache und Power-Point-Präsentation U. Oester, Besichtigung Aufbereitungsanlage
- 27.10.2015 Vortrag "Blue BONSAI, biogas-upgrading with filling station smaller 50 Nm<sup>3</sup>/h", S. Duttwiler (U. Oester), Konferenz "Progress in Biogas Mobility", Schwäbisch Hall (DE)
- 13.11.2015 Plakat-Ausstellung an Werkschau AEE, S. Duttwiler, Nationaler Kongress der erneuerbaren Energien und Energieeffizienz 2015, Basel
- 23.11.2015 Vorträge/ Führungen "Biomethan vom Bauernhof - Ein Modell mit Zukunft", S. Duttwiler, R. Grossenbacher, U. Oester und andere, ERFA Ökostrom Schweiz/ Biomasse Suisse, Reiden, LU
- 13.04.2016, Vortrag "Blue BONSAI/ Blue FEED - Biogasaufbereitung für kleine bis mittlere Flotten", U. Oester, anlässlich Biogasforum Bayern, Freising (DE).
- Oktober 2016, "Biogas tanken bei der ARA Schönenwerd", U. Oester, Niederämter Anzeiger (Publireportage)
- 02.11.2016, "Von der Kanalisation in den Tank, 100% Biogas tanken", S. Duttwiler, U. Oester, EE-News
- 11.11.2016: Artikel: 100% Biogas tanken bei der ARAS Schönenwerd (Monika Schaffner, Homepage: Biomasse Suisse)
- 3.04.2016, Vortrag "Blue BONSAI/ Blue FEED - Biogasaufbereitung für kleine bis mittlere Flotten", U. Oester, anlässlich Biogasforum Bayern, Freising (DE).
- 4. Jan. 2017: Vortrag: „BlueBONSAI 2.0: die zweite Generation der kleinen Biomethan-Tankstelle – Stand und Perspektiven“, Schwäbische Bauernschule, Bad Waldsee, Deutschland



- 12. Feb. 2017: Vortrag: „BlueBONSAI 2.0: die zweite Generation der kleinen Biomethan-Tankstelle – Stand und Perspektiven“, Universität Hohenheim, Deutschland
- Juli 2017, "Von der Kanalisation in den Tank", U. Oester, S. Duttwiler, Aqua&Gas N°7/8 2017
- 30.11.2017, "Du biogaz dans le réservoir", Bericht über Biogastankstelle in Reiden, Claire Muller, Terre & Nature
- Forum 7/ 2017: Mobilität, Mitgliederzeitschrift FFU, "Vom Abfall in den Tank - mit Biogas geht das!", S. Duttwiler
- 07.12.2017, "Du biogaz au biométhane", U. Oester, S. Duttwiler, Vortrag an Seminar von Biomasse Suisse, Bussigny
- 01.02.2018, "Entwicklung von kleinen Biogas-Aufbereitungsanlagen", U. Oester, S. Duttwiler, Vortrag Messe Biogas Offenburg
- 3/ 2018, "Abfall in den Tank- mit Biogas geht es!", S. Duttwiler mit Interview durch Michael Merz, UmweltPerspektiven
- 06.06.2018, "Die Biogas-Tankstelle auf dem Bauernhof", Christian Zufferey, SchweizerBauern

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Illustration einer BlueBONSAI in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk .....	6
Abbildung 3: Illustratives Fliessschema, wie es auf der Informationstafel in Schönenwerd angebracht ist. ....	7
Abbildung 2: Fliessschema zur Erzeugung von Treibstoff aus Roh-Biogas .....	7
Abbildung 4: Transport von Däniken nach Schönenwerd .....	9
Abbildung 5: Fertig installierte Blue BONSAI BB6 mit Zapfhahn auf der ARA Schönenwerd .....	9
Abbildung 6: Einfache Handhabung: Registrierung mit Batch am Betankungspanel, dann Biogas tanken .....	9
Abbildung 8: CO <sub>2</sub> -neutral mit Biogas tanken: Apex-Fahrzeug, das seit der Beschaffung im Herbst 2016 fast ausschliesslich mit aufbereitetem Klärgas aus Schönenwerd fährt (über 90% von bisher gefahrenen 24'000 km)..	10
Abbildung 7: Bruno Rufibach von Apex bei der ersten Biogas-Betankung mit der BB6 .....	10
Abbildung 9: Skizzierter Querschnitt durch eine einzelne Membran-Hohlfaser (oben): CO <sub>2</sub> (stäbchenförmig) geht durch die Poren, CH <sub>4</sub> (tetraederförmig) verbleibt eher in der Hohlfaser; Schema der 3- und der 1-stufigen Membran (unten). ....	11
Abbildung 10: Der gasQS® von MEMS AG ist schnell montiert .....	12
Abbildung 11: Nanomass von TrueDyne (Endress+Hauser) mit Vor-Ort-Anzeige und drei Bedientasten für die Inbetriebnahme .....	12
Abbildung 12: Messwerte zeigen gute Korrelation der beiden neuen CH <sub>4</sub> -Messgeräte. Zusätzlich zeigt der Test die starke Abhängigkeit der Biomethan-Qualität vom Betriebsdruck (höherer Druck = höhere Qualität).....	13
Abbildung 13: Kennzahlen und Vergleich Biogasaufbereitung und Tankstelle verschiedener Anlagengrössen.....	16
Abbildung 14: Spezifische Investitionskosten im Vergleich für die Biogasaufbereitung mit/ ohne Hochdruckverdichtung für die Biogastankstelle, sowie Vergleich mit Erdgastankstelle. ....	16
Abbildung 15: Vergleich des elektrischen Eigenenergiebedarfs mit Hochdruckverdichtung für die Biogastankstelle (BlueBONSAI) resp. für die Gasnetzeinspeisung (BlueFEED). ....	17
Abbildung 16: Auszug der gemessenen Tankstellen-Daten. Der Betrieb der Aufbereitungsanlage startet und stoppt in Abhängigkeit des Speicherdrucks. Die Produktgasqualität von 96 Vol% CH <sub>4</sub> wird jeweils nach einem Neustart der Anlage schnell erreicht. ....	18
Abbildung 17: Schulungstag der Mitarbeiter von Apex AG und ARA Schönenwerd .....	20
Abbildung 18: Besuch Evonik Industries AG und Evonik Fibres GmbH .....	20
Abbildung 19: Besuch der fahrBiogas Energie-Genossenschaft. Erklärungen Demonstration des Biogastanken. ...	21
Abbildung 20: Privater Tankkunde und audi g-tron (Fachhochschule Rapperswil) am Tanken in Schönenwerd .....	21