

**Exkursion der Arbeitsgruppe Nachhaltige Energieversorgung (AGNE) am 21.06.2018 zur Firma Viessmann Allendorf/Eder. Besichtigung und Vorstellung der**

- **biotechnologischen Power-to-Gas (PtG)-Anlage, der**
- **Biogasanlage und der**
- **Brennstoffzellenheizungstechnologie**

Es ist bewundernswert, wie dieses Familienunternehmen sich als Vorreiter für die Entwicklung alternativer und nachhaltiger Energietechnologien einsetzt. Im Nachgang der interessanten Informationsveranstaltung haben engagierte Ingenieure des Gastgebers noch ein paar zusätzliche Hintergrundinformationen bereitgestellt, die im folgenden beschrieben und ausgewertet werden.

### **Biotechnologische Power-to-Gas Anlage, ein Baustein zur Decarbonisierung: $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Energie}$**

Die **klassisch-chemische PtG-Anlage** bedient sich nicht etwa des  $\text{CO}_2$  aus der Luft, sondern der  $\text{CO}_2$ -angereicherten Abgase  $\text{CO}_2$ -intensiver Industrieanlagen (Erzeugung von Stahl, Aluminium, Zement und anderer essentieller Werkstoffe jeglicher Zivilisation). Eine penible Nachreinigung des  $\text{CO}_2$  vor Einspeisung in den heterogenkatalytischen Hydrierreaktor ist hierbei essentiell.

Das eingespeiste  $\text{CO}_2$  der **biotechnologischen PtG-Anlage** stammt dagegen i.d.R. aus Klärwerken oder Biogasanlagen: **Kommunales Klärgas besteht aus ca. 65%  $\text{CH}_4$  und 35%  $\text{CO}_2$** . Dieses muss vor der enzymatischen Hydrierung nicht vorgereinigt werden, ein Vorteil gegenüber klassisch-chemischen Verfahren! Nach der Hydrierung besteht das Biogas hauptsächlich aus Methan.

Weitere Vorteile der Biotechnologie gegenüber klassischer heterogener PtG-Katalyse:  
Die exergone enzymatisch-katalytische  $\text{CO}_2$ -Reduktion mit Wasserstoff aus EE-Überschussstrom durch anaerobe Bakterienstämme läuft bei Raumtemperatur bis  $65^\circ\text{C}$  (statt bei ca.  $450^\circ\text{C}$ ) ab.

Der biochemisch arbeitende Katalysator vermehrt sich, anstatt langsam durch Katalysatorgifte (Schwefelverbindungen, Blausäure) an Aktivität zu verlieren. Der Biokat hat durch biologische Gentechnik im Laufe der Evolution gelernt, mit den Biogiften umzugehen, ja teilweise sogar einen energetischen Nutzen daraus zu ziehen. Da Wasser und Bakterienmasse neben Methan beim Prozess entstehen, wird die sich anreichernde Katalysatorbrühe zurück in die Biogasanlage oder in das Klärwerk nebenan gepumpt und auf diese Weise nachhaltig entsorgt. **All dies ist aber nicht ohne Risiko:** Methanogene Bakterien sind auch in anaeroben Bereichen nicht luftdicht abgeschlossener städtischer Kläranlagen am Werke. Gelangt das dort erzeugte Methan in die Umwelt, oder hat die Folie der hermetisch geschlossenen Biogasanlage wie leider häufig festgestellt auch nur eine geringe Leckage, so ist der beabsichtigte Effekt der Treibhausgas-Einsparung dahin! **Methan ist ein 25-fach schlimmeres biogenes Treibhausgas als das anorganische  $\text{CO}_2$ , verantwortlich für ca. 20% des anthropogen beeinflussbaren Treibhauseffektes!**

Um dieses Biogas in einer Brennstoffzelle (z.B. Brennstoffzellenheizgerät Vitovalor) nutzen zu können, wird es zunächst aufbereitet und als sogenanntes **Biomethan** entsprechend den Anforderungen des DVGW in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist. An der Verbrauchsstelle, z.B. an einem Brennstoffzellenheizgerät, gibt es dann keinen physikalischen Unterschied zwischen fossilem Erdgas und Biomethan.

### **Energetischer Wirkungsgrad der PtG-Speichertechnologie:**

Dieser wurde gemeinsam mit Ingenieuren und Angaben von Viessmann durchkalkuliert. Bei allen EE-Speichertechnologien sind es entweder hohe Kosten bei hohem Wirkungsgrad (z.B. immobile riesige Lithiumionen-Batterie-Stacks gekoppelt mit einer riesigen E-Autoflotte) oder eine relativ niedrige Energieeffizienz bei relativ niedrigen Kosten (PtG oder Redoxflow-Batterien), was uns von der Lösung unserer massiven EE-Speicherprobleme derzeit noch trennt.

Der Anteil der Windenergie am Primärenergiebedarf Deutschlands betrug 2017 erst 2,8%. So wenig das erscheinen mag, so vorhersehbare Folgen hatte das: Statt den Netz-destabilisierenden Überschussstrom aus Windkraft und PV allein 2017 zu Negativpreisen von ca. 100 Millionen Euro an willige Abnehmer zu entsorgen, statt 1,4 Milliarden(!) Euro allein 2017 für netzstabilisierende Abschaltungen der Erzeuger zahlen zu müssen, muss zukünftig dieser **Ökostrom mit einer** technisch aufwendigen, leider auch teuren **Technologiekette gespeichert** werden, z.B.: **Wasser-Elektrolyse** zu Wasserstoff – **CO<sub>2</sub>-Methanisierung** und Verteilung im vorhandenen Erdgasnetz – **Methan-zu-Wasserstoff Rückkonvertierung** im Verbund mit einer **Brennstoffzellenheizung** mit Stromgewinnung dezentral im Keller eines Hauses. **So entsteht wieder echter Ökostrom mit geringem CO<sub>2</sub>-Footprint.**

### **Wirkungsgrad der Einzelschritte und nach ihrer Kopplung:**

#### **Elektrolyse:**

Derzeit **70% der Stromenergie aus EE-Quellen lassen sich in chemische Energie in Form von Wasserstoff umwandeln**, der Rest ist Wärme auf niedrigem Niveau (50°C). Durch teure, aufwendige Modifizierung der Elektrodenoberflächen (Platineinsatz) lassen sich die Überspannung abbauen und so noch weitere 10% an Wirkungsgrad herausholen. Nutzung der Abwärme als Gebäudeheizung bringt maximal noch mal 10% Energienutzung. Wir rechnen defensiv mit 70% für wirtschaftlich bezahlbare Technologie (Viessmann-Anlage).

#### **Methanisierung von CO<sub>2</sub> mit dem Ziel der Decarbonisierung:**

Derzeit bereits beachtliche **70% energetischer Wirkungsgrad(!)**: Das thermodynamisch theoretisch mögliche Maximum liegt bei 77%. Auch hier könnte durch Nutzung der 50-65°C Abwärme für Gebäude oder Gewächshausheizung die energetische Ausbeute noch geringfügig verbessert werden. Wir rechnen aber defensiv mit 70%, die in der besichtigten, weltweit fast einzigartigen modulierbaren PtG-Anlage realisiert sind.

Somit liegt der **Gesamtwirkungsgrad der energetischen Nutzung von Überschuss-Ökostrom** in der **Gewinnung von Biomethan** derzeit bei **49%** (0,7 x 0,7 x 100%). Dieses Biomethan liefert in

einem modernen **GuD-Gaskraftwerk** das Maximum des thermodynamisch mit Dampfturbinen Machbaren, nämlich Strom mit **60% Wirkungsgrad**. Das bedeutet: **Bezogen auf Überschuss-Ökostrom liegt die Energieausbeute** bei dieser hochmodernen, technisch anspruchsvollen und auch noch bezahlbaren Speichertechnologie bei **29,4%** ( $0,7 \times 0,7 \times 0,6 \times 100\%$ ): **1.000 Kilowattstunden stecke ich rein, 294 Kilowattstunden kommen als Ökostromenergie wieder raus.**

### **Alternative Konvertierung von Biomethan zu Wasserstoff und dessen Verwendung in einem dezentralen Brennstoffzellengerät:**

Dies dient der Rückgewinnung von Ökostrom und gleichzeitig von Wärmeenergie für die Brauchwasserheizung. **Das hochmoderne, subventionierte Vitovalor von Viessmann garantiert beachtliche 40% Energieersparnis gegenüber reiner Erdgasverbrennung.** Es besitzt eine **Gesamtenergieausbeute von 90%**. Davon werden variierbar 35% zu Strom, 55% werden zur Warmwasseraufbereitung verwendet. Wird das Gerät mit Biomethan betrieben, bedeutet dies: **44%** ( $0,7 \times 0,7 \times 0,9 \times 100\%$ ) **der Energie des in Form von Biomethan gespeicherten Überschuss-Ökostroms findet als Wärmeenergie (27% Anteil) und Stromenergie (17% Anteil) zurück in das Wohnhaus, von dessen PV-Dach der Ökostrom eingespeist wurde.** Nicht ohne Grund bietet Viessmann daher auch Batterie-Stacks als alternative Speicherlösung für den Hausgebrauch an!

Dem deutschen Bürger und Politikern wird von Lobbyisten eingeredet: Jede Einzeltechnologie PV und Windkraft, die EE-Speicherung und Rückumwandlung sind ohne kräftige Subventionen nicht überlebensfähig. **Erzeugung von Strom über PV und Wind ist aber nicht mehr teurer als der Kohlestrom, wozu dann noch subventionieren?** Etwa, um Investoren auf Kosten der kleinen Leute auch in einer Null-Zins-Phase reich zu machen? Wirtschaftlich zwingend geboten sind **nur Subventionen für neue Technologien wie Speicherung und Rückwandlung**, allein dafür sollten Zwangsabgaben auch reserviert werden – ganz zu schweigen von **viel substanziellerer Förderung der Forschung!** Es sind die fehlenden Speicher- und Rückwandlungslösungen, die das Unternehmen Energiewende höchstgradig gefährden, denn die gemessen am Bedarf mal positive, mal negative Energieeinspeisung eines Windparks kann mittels hocheffizienter Lithiumionen-Batterien unmöglich kostengerecht abgepuffert werden! Es fehlen schlicht die Rohstoffe dafür!

### **Energiepuffer für Windparks:**

Hierfür werden zukünftig kleine chemische Fabriken der Energiespeicherung, d.h. beispielsweise Redoxflow-Batterie-Fabriken oder PtG-Fabriken dringend benötigt. Sie werden i.d.R. wohl direkt neben jeweils 10 Windräder in den Wald gebaut werden müssen. Da stellt sich die Frage, welche Leistung die PtG-Anlage hatte, die von der Arbeitsgruppe Nachhaltige Energieversorgung (AGNE) besichtigt wurde? Dazu haben freundlicherweise Ingenieure weitere Informationen im Nachgang zur Verfügung gestellt: Die maximal mögliche Leistung in dem besichtigten, ausbaufähigen Set-up beträgt beachtliche 1,2 MW(!), die aktuelle Leistung der derzeitig eingesetzten PEM-Stacks zur Elektrolyse beträgt allerdings nur 300 kW. Bei vollem Ausbau der Anlage wird es dann also viermal so viele Elektrolysezellen und viermal so viele 6-Meter hohe Reaktorkessel mit Begasungsrührern geben. Das bedeutet: Von einer kleinen Fabrikanlage viermal so groß wie die besichtigte kann

etwa die Energie, die ein einziges Windrad der 4 MW-Klasse, das onshore einen Wirkungsgrad von max. 30% seiner Nennleistung liefert, in chemische Energie (Biomethan) umgesetzt werden.

## **Was bedeutet all dies für eine Energiewende mit einer garantiert nachhaltigen und auch sicheren Energieversorgung?**

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gibt uns mittels Statistik die Antwort (Quelle: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Energiegewinnung-und-Energieverbrauch/energiedaten-energiegewinnung-verbrauch-03.html>).

In 2017 betrug der **Primärenergieverbrauch** von Deutschland 13.525 Petajoule. Die 2017 auf 29.840 Windräder (davon 1.170 offshore) stark ausgebaute Windenergieerzeugung stemmte hiervon gerade mal 380 Petajoule, mit anderen Worten: **2,8% des Energiebedarfes von Deutschland wurden 2017 durch Windenergie gedeckt**. Rein auf die Stromerzeugung begrenzt liegt der Windkraftanteil 2017 bei 16%, aber **Strom ist nur für einen Bruchteil der energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich**. Ein hoher Impact auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Industrielandes Deutschland (mit 2% Anteil am Welt-CO<sub>2</sub>-Ausstoß) ist rechnerisch folglich nur zu erwarten, falls die **Zahl der Windkraftanlagen sich verzehnfachen würde**, wenn also Windkraft 28% des Primärenergiebedarfes bei gleichzeitig sehr deutlichen Energieeinsparmaßnahmen abdecken würde (und der Rest ebenfalls aus 100% erneuerbaren Quellen PV, Wasserkraft, Biogas... käme). Dieses beispielsweise von den GRÜNEN angestrebte Ziel (ob man es nun vorbehaltlos unterstützen mag oder auch nicht) muss der Bevölkerung in all seinen Konsequenzen als zwingend notwendiges Szenario einer echten Energiewende von den Politikern auch ehrlich erklärt werden, denn **1.000-1.500 der modernsten onshore Windkraftanlagen liefern in ihrer volatilen Art gerade mal die Energie eines einzigen modernen Steinkohle- oder GuD-Gaskraftwerks**. Wenn wir mit unserem dezentralisierenden Energiewendeplan auch **nur 10% der durch diese Windräder produzierten Energie (EE) in einem Puffer speichern** möchten, um bei Bedarf max. 3-5% dieser EE wieder rausholen zu können, was für eine nachhaltige, halbwegs sichere Energieversorgung ohne fossile und nukleare Kraftwerke zwingend notwendig wäre, so müssten für jedes ersetzte Kern-, Kohle- oder Gaskraftwerk nicht nur 1.000-1.500 Windräder, sondern für jedes **zusätzlich auch noch 100 PtG-Chemiefabriken (alternativ 100 riesige Redoxflow-Chemiefabriken)** in die Wälder gleich neben die Windparks gebaut werden: **Auf 10 Windräder eine Chemiefabrik, die gerade mal die durchschnittlich erzeugte Energiemenge eines Windrades konvertiert und chemisch speichert**. Selbst mit dieser ungeheuren Umweltzerstörung ist es noch nicht getan: Die biotechnologischen PtG-Anlagen können wegen der Entsorgung ihrer Abfälle **nur im Verbund mit Biogasanlagen** betrieben werden, die ebenso **flächendeckend gebaut** werden müssten. **Wo kommt dann der ganze Mais dafür her?** Antwort siehe unten! Das ganze System wird trotz intelligenten Grids dennoch nur funktionieren, wenn große Schneisen in die Wälder für bezahlbare Überlandleitungen gehauen werden, denn auch die Stromautobahnen müssen Abstände zu Wohngebieten nicht ohne Grund einhalten. Leider weitgehend unberücksichtigt in der öffentlichen Diskussion ist die Tatsache, dass zwingend **notwendige neue Mega-Stromtrassen durch das Energiewendeland** für eine kräftige lokale **Klimaerwärmung** durch Wärmeverluste und für gesundheitsschädlichen **Elektrosmog** sorgen.

## Die Biogasanlage als Baustein im Verbund mit der PtG-Anlage:

Es seien hier noch ein paar Daten zu Biogasanlagen nachgereicht, die zum Betrieb der biotechnologischen PtG-Anlage essentiell sind. Diese Daten wurden freundlicherweise von Viessmann nachgereicht. Die Biogasanlage II in Allendorf verarbeitet ca. 13.000 t Mais-Häcksel pro Jahr. Mais ist eine der Rekord-Energiepflanzen. **Pro Hektar kann man mit 50 t Ertrag an Mais rechnen!** Dieser Ertrag auf einer Fläche von 100 x 100 Metern ist allerdings nur durch **intensive Landwirtschaft, meist subventioniert in Monokultur unter Einsatz von Pestiziden, Kunstdünger und schweren Maschinen** zu erzielen (die zwei letzteren erzeugen einen kräftigen CO<sub>2</sub>-Footprint, der durch Einsatz des unter Beschuss stehenden Glyphosats typischerweise deutlich geringer wird). Damit wären es etwa 260 ha Anbaufläche, mit anderen Worten **eine Fläche von 1,0 x 2,6 km gnadenlos ausgebeuteten Ackerlandes, das eine Biogasanlage bedient** und somit für ökologischen Nahrungsanbau oder als Zufluchtsort für eine Vielfalt von Insekten ausfällt. Auf die kritische Zwischenfrage zur Nachhaltigkeit dieser Ökotechnologie wurde erläutert, dass eine Biogasanlage grundsätzlich mit allen organischen Substraten, die granuliert rühr- und pumpbar sind, betrieben werden kann. Je nach Substrat entstehen mehr oder weniger Methan sowie unterschiedliche Kosten für die Beschaffung und Logistik. Tendenziell sollen **zukünftig vermehrt Abfallstoffe** (Landschaftspflege- und Gartenabfälle, Abfälle der Lebensmittelindustrie usw.) sowie schnell wachsende Pflanzen und Bäume, Hackschnitzel von Ästen zur Erzeugung von Biogas genutzt werden. Der Natur zuliebe möge dieses Ziel auch zügig umgesetzt werden: Subventionen nicht mehr für Mais, sondern für die zweifelsfrei nachhaltige energetische Abfallverwertung!

## Eine Kläranlage im Verbund mit der PtG-Anlage

Wie groß müsste eine Kläranlage ausgelegt sein, um eine 1 MW PtG-Anlage zu betreiben? Bei einer Leistungsaufnahme von 1 MWh/h lassen sich etwa 200 Nm<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub> produzieren. Um 200 Nm<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub> in Methan zu verwandeln sind 50 Nm<sup>3</sup>/h CO<sub>2</sub> notwendig. 35% davon sind im Klärgas enthalten. Demnach sind etwa 140 Nm<sup>3</sup>/h Klärgas notwendig. Dies entspricht etwa einer Zahl von 85.000 Einwohnergleichwerten. Mit anderen Worten: **Sämtliche Fäkalien der Bewohner Marburgs und Umgebung liefern in einer Kläranlage das notwendige sauerstoffarme CO<sub>2</sub>, für dessen Konvertierung zu Biomethan der Strom eines einzigen Windrades benötigt wird.** Sehr positiv zu werten: Jauche und Mist von intensiver Tierhaltung kann auf diese Weise ebensogut entsorgt werden. Das Grundwasser würde auf diese Weise weniger durch Nitrat belastet werden!

## Welche Lösung des Energiewende-Problems wird vorgeschlagen?

Sicher liegt die Lösung unseres Energiewende-Problems in einer Vielfalt von Technologien und nicht in einer Windrad-Monokultur in grenzwertig windschwachen Waldregionen. Und sicher gelingt die Energiewende nicht mit radikalen Maßnahmen, wie sie häufig gefordert werden: Oben wurde belegt, gerade mal 2,8 % des deutschen Primärenergiebedarfes werden derzeit durch Windenergie gedeckt. Wo kommen wir ökologisch bzgl. Naturschutz hin, wenn 100% EE-Abdeckung in 10-30 Jahren ernsthaft politisch umgesetzt werden, wenn der Strom für 100% Elektromobilität auch des Schwerlastverkehrs überwiegend aus Windrädern kombiniert mit der in

der Bevölkerung akzeptierten PV kommen soll?! Die Verdopplung der Leistung bislang eingesetzter Technologien zur Gewinnung erneuerbarer Energie in den letzten 7 Jahren hat **nachweislich nicht zu einer Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Deutschland** geführt; der nahm jüngst sogar zu; das liegt auch an der Zunahme des Individual- und Schwerlastverkehrs. Wer die technischen Zusammenhänge oben versteht, wird sich darüber aber nicht mehr wundern!

Die AGNE begrüßt **E-Mobilität und Car-Sharing**. Sie macht sich stark für die **Akzeptanz von Tiefengeothermie in der Bevölkerung**, eine Technologie, die unabhängig von Jahreszeiten und Wetter unbegrenzt Strom bedarfsgerecht liefert und zudem das zukünftig erforderliche Nah- und Fernwärmenetz nachhaltig bedient: Wenn man nur tief genug bohrt, an nahezu jedem Ort der Erde - Marburg und die küstennahen Meeresregionen wurden noch nicht einmal evaluiert! Dazu gab es eine eigene AGNE Informationsveranstaltung mit einem fachkundigen Marburger Diplomgeologen und eine Exkursion zu einem Geothermie-Kraftwerk.

Als **Brückentechnologie** hält die AGNE den Ausbau von 60-70% der Primärenergieversorgung durch **GuD-Gaskraftwerke** und die sofortige Abschaltung der Braunkohlekraftwerke sowie älterer uneffizienter Steinkohlekraftwerke für sinnvoll! **GuD-Kraftwerke haben nur ca. 50% des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Braunkohlekraftwerken(!)**, und sie sind im Gegensatz zu Windmühlen auch in der Lage, den Primärenergiebedarf eines Industrielandes wie Deutschland zu decken! Deutschland wäre viel, viel weiter in der Erfüllung seiner CO<sub>2</sub>-Einsparziele, wäre die weltweit führende Siemens-Technologie am thermodynamischen Limit optimierter, effizienter GuD-Kraftwerke im eigenen Energiewendeland stärker zum Einsatz gekommen. Statt dessen führt verfehlte Politik zu Siemens-Werkschließungen in wirtschaftlich unterentwickelten Regionen Deutschlands!

Als **komplementäre dezentrale hocheffiziente Nutzungsform für Erdgas** bietet sich die **Brennstoffzellen-Heizungstechnologie** an. Sie ist die **ideale Ergänzung zu PV und Solarthermie** auf dem Dach, die ggf. gekoppelt mit **Wärmepumpentechnik** von April bis Oktober den gesamten **Hausbedarf, nicht aber den Industrie- und Mobilitätsbedarf** an Primärenergie nachhaltig, d.h. auch sicher, abdeckt: Im Winter, wenn alle drei versagen, liefert die **Brennstoffzelle** Strom und Wärme gleichzeitig entweder aus fossilem oder aber synthetischem Erdgas, und zwar mit **40% höherer Energieeffizienz** als die reine Verbrennung. Erdgas wird es ohne Zweifel auch in >400 Jahren noch ausreichend auf der Erde geben. In Anbetracht des Beitrages des anthropogen erzeugten CO<sub>2</sub> zum unausweichlichen Klimawandel sollte man mit dem Erdgasverbrauch im Sinne einer Brückentechnologie begrenzt auf eine GuD-Kraftwerk-Amortisierungsphase, d.h. behutsam umgehen, bis nachhaltigere, bewiesenermaßen noch umweltfreundlichere und auch bezahlbare Technologien sich weltweit und nicht nur isoliert in Deutschland durchsetzen werden - **sofern zukünftig in äquivalenter Weise Forschung statt viel mehr Geldanlage staatlich gefördert wird!**

**Marburg, 24.06.2018**

**Kontakt: [agne@bi-windkraft-goerzhausen.de](mailto:agne@bi-windkraft-goerzhausen.de)**

**Prof. Dr. Jörg Sundermeyer, Chemiker, Universität Marburg**

Leiter der Arbeitsgruppe Nachhaltige Energieversorgung (AGNE),

die sich als parteiunabhängige, konstruktiv-kritische, fachlich informierte und forschersich aktive Sympathisantin einer nachhaltigen Energiewende sieht.