

Geothermisches Tiefenwasser als ein Baustein für die regenerative Methanerzeugung

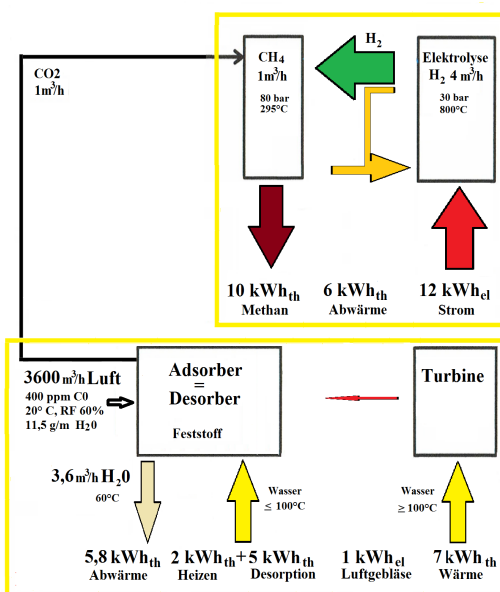
Dr. Anno von Reth

Keywords: Klimaneutrale Energieversorgung, Helmeth, Climeworks, Absorptions-Kraft-Kreislauf, Riffkalke

Zusammenfassung: Es wird ein Modell zur regenerativen Methanerzeugung aus Wasserstoff und Kohlendioxid dargestellt mit Abwärmenutzung aus der Methanisierungsanlage bei der Hochtemperatur-elektrolyse und Strom- und Wärmezuleitung zur Kohlendioxid-erzeugung aus geothermischem Tiefenwasser in NRW.

1. Einleitung: <Für das Jahr 2030 ist im Rahmen der CO₂-Reduktionsziele ein hoher Anteil an fossilem Erdgas in der Energieversorgung Deutschlands angesetzt. Dieses wird überwiegend importiert. Eine klimaneutrale Energieversorgung für Deutschland bedingt, dass fossiles Erdgas ersetzt wird. Dieser Zustand soll 2050 erreicht sein.

2. Ziel: Erdgasnetz durch regenerative Methanerzeugung erhalten



Modell
"Helmeth"

Modell
"Climeworks"
+
"Tiefenwasser"

Daten : ZSW, KIT

Eine klimaneutrale Energieversorgung für Deutschland bedingt, dass fossiles Erdgas ersetzt wird. Dies kann durch eine Methanerzeugung aus Wasserstoff und Kohlendioxid erfolgen. In diesem Verfahren muss viel Hochtemperaturwärme abgeführt werden. Die Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mittels Strom kann auf niedriger oder hoher Temperatur durchgeführt werden. Charakteristisch für die Hochtemperatur-elektrolyse ist, den Strombedarf durch Wärmeinput zu senken. Die technische Lösung ist im sogenannten "Helmeth"-Verfahren durch Wasserverdampfung und dessen Überhitzung gelöst. Entsprechend einer Darstellung des ZSW wird - bezogen auf ein m³ Methan mit Wärmehalt von ca. 10 kWh ca. 6 kWh -

Abwärme in den Elektrolyseapparat geleitet. Im Vergleich zur Elektrolyse mit Wasser sinkt der Strombedarf von 18 auf 12 kWh, also um ein Drittel. In weiterer technischer Vervollkommenung des Verfahrens besteht die Aussicht, den Wirkungsgrad der Methanerzeugung auf 88% zu steigern. Methan wird mindestens mit gleichem elektrischen Wirkungsgrad wie Wasserstoff erzeugt. Wird dieses Verfahren angewendet, ist ein genereller Ersatz des Erdgasnetzes durch ein neues Wasserstoffnetz nicht sinnvoll. Klimaneutral kann Kohlendioxid nur aus der Luft – mittels Strom und Wärme - gewonnen werden. Die Wahl des "Helmeth"-Verfahrens zur gekoppelten Methan- und Wasserstoff-erzeugung bedeutet, dass für die Kohlendioxid-erzeugung eine andere Wärmequelle gefunden werden muss. Räumlich können hierbei Kohlendioxid-erzeugung und Methanisierung getrennt sein.

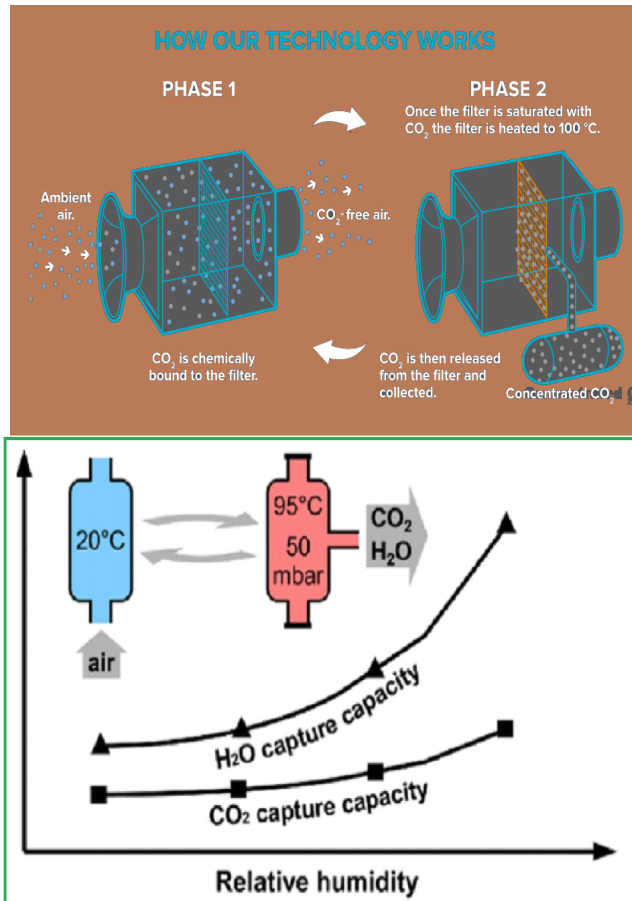
Regenerative Wärmequellen niedriger Temperaturen sind leichter zu erschließen als solche für höhere Temperaturen. Wasser ist unterhalb 100°C einfach zu speichern. Zur Kohlendioxid-gewinnung aus der Luft wird (zur Zeit ?) nur im Verfahren der Fa. „Climeworks“ Wärme unter 100°C benötigt. Diese kann mittels geothermischem Tiefenwasser bereitgestellt werden. Daher wird für

die Kohlendioxidherzeugung das Modell „Climeworks“+„Tiefenwasser“ vorgeschlagen, wobei die benötigte Strommenge ab einer Thermalwassertemperatur von 150°C erzeugt werden kann.

Zum Antrieb der Ventilatoren wird Strom benötigt in Höhe von ca. 1 kWh pro m³ Kohlendioxid. Für die Aufheizung des Sorptionsmaterials und die Desorption werden ca. 7 kWh Wärme benötigt. Gleichzeitig ergibt sich eine Abwärmequelle, da Wasserdampf aus der Luft mitabsorbiert wird und dessen Kondensationswärme etwa 3,5 mal so hoch ist wie dessen Desorptionswärme.

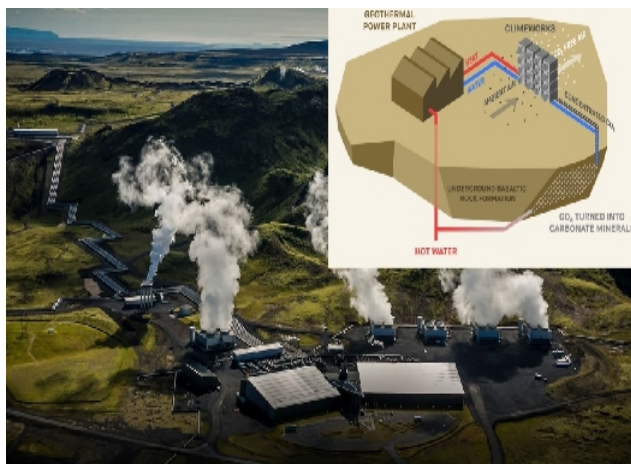
3. Ziel: Hohe Stromerzeugung bei Kraft-Wärme-Kopplung

3.1 Betriebsweise des Climeworks-Verfahrens



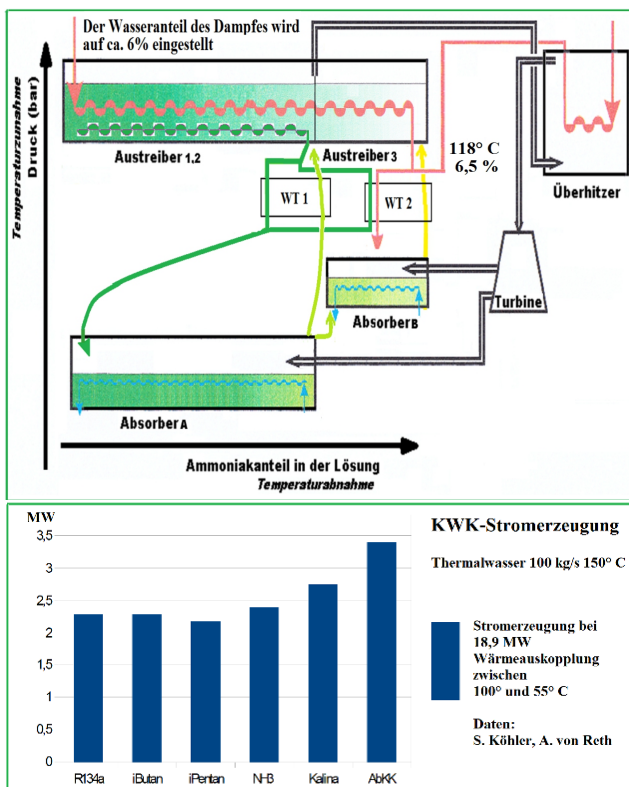
Die Wärmebereitstellung für die Apparate des "Climeworks"-Verfahrens ist in Island bereits, gekoppelt an ein großes Geothermiekraftwerk, ausgeführt, dort mit dem Ziel Kohlendioxid - durch Gesteinsbildung - langfristig aus der Atmosphäre abzuscheiden.

Das „Climeworks“-Verfahren arbeitet mit mehreren in Reihen gestapelten Apparaten. Deren Einzelapparate verbrauchen in alternierenden Phasen Strom oder Wärme (unter 100°C). Für diese werden Kurzzeitspeicher benötigt. Zur Desorption werden die Apparate jeweils verschlossen und die Luft herausgepumpt. Das Sorptionsmaterial wird kontinuierlich bis 100°C aufgeheizt, wobei der mitabsorbierte Wasserdampf bei niedrigen Temperaturen, das Kohlendioxid mit zunehmender Aufheiztemperatur kontinuierlich desorbiert wird. In der hier favorisierten Betriebsweise wird abschließend das Kohlendioxid mit Wasserdampfpfhlung vollständig bei 95°C Temperatur desorbiert. Das desorbierte Kohlendioxid wird mittels Schwerkraft vom Wasser getrennt, indem dieses z.B. bei 0,2 bar kondensiert wird. Anschließend wird das Sorptionsmaterial auf unter 50°C gekühlt und dann wieder auf Atmosphärendruck gebracht, um so für einen neuen Ladezyklus bereitzustehen. Förderung von geothermischem Tiefenwasser und „Climeworks“-Verfahren werden mit ca. 8000 h/a betrieben.



Mit der Luftfeuchtigkeit steigen sowohl Wärmeverbrauch als auch die abgeschiedenen Mengen an CO₂ und Wasserdampf (~60°C). Dessen Kondensationswärme kann sowohl intern als auch extern ganz oder teilweise genutzt werden, wobei die Kondensationstemperatur durch vorherige Kompression des Wasser/Kohlendioxid-Gases - im Vergleich zu einem normalen Wärmepumpenverfahren mit niedrigerer Stromzufuhr – erhöht werden kann.

3.2 Betriebsweise des Absorptions-Kraft-Kreislaufs



Um das lokale Stromnetz hierfür nicht zu belasten, wird eine lokale Stromerzeugung mittels geothermischer Wärme unterstellt. Voraussetzung ist eine Thermalwassertemperatur über 100°C. Der Wärmeanteil über 100°C wird zur Stromerzeugung genutzt, derjenige unter 100°C wird den „Climeworks“-Verfahren zugeleitet. Bei einer Desorptionstemperatur von 60°C steht unterhalb der Temperatur von 55°C ausreichend Wärme bereit. Dann ergibt sich im Temperaturbereich zwischen 100°C und 55°C - bei einer angenommenen Thermalwassermenge von 100kg/s - ein Wärmebedarf des „Climeworks“-Verfahrens von 18,9 MW. Die Höhe der Stromerzeugung wird für eine Thermalwassertemperatur von 150°C berechnet. Zum Vergleich werden – entsprechend einer Auswahl in der Dissertationsschrift von S.Köhler - verschiedene Kraftwerkskreisläufe und mein Absorptions-Kraft-Kreislauf (=AKK) herangezogen. Die jeweiligen Rücklauftemperaturen des Thermalwassers werden gegenüber der ursprünglichen Auslegung auf 100°C angehoben, indem ein

Teilstrom des Thermalwassers (mit 150°C) an dem Kraftwerk vorbeigeleitet wird. Der verbleibende Teilstrom zum Kraftwerk wird um so kleiner je tiefer die Rücklauftemperatur liegt. Für diese Art von Kraft-Wärme-Kopplung wird mit meinem Absorptions-Kraft-Kreislauf die höchste Stromerzeugung erzielt.

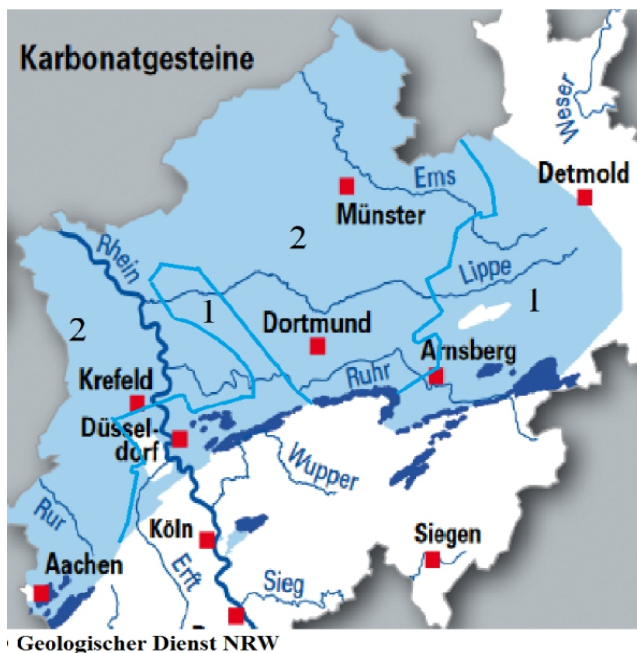
Dessen Teilkreisläufe und Apparate sind aus dem Sorptionskreislauf mit Ammoniak und Wasser entwickelt, wobei der dortige Teilkreislauf zur Kälteerzeugung entfällt. Zwar werden grundsätzlich mehrere verkoppelte Teilkreisläufe gebildet, die mit abnehmendem Temperaturniveau abnehmende Teilwirkungsgrade aufweisen. Jedoch verbleiben nunmehr zwei Teilkreisläufe mit den höchsten Teilwirkungsgraden. Die Austreibung erfolgt in beiden Teilkreisläufen auf gleichem Druckniveau. Nur der geringere Anteil der jeweils zugeleiteten Lösung wird verdampft. Die Temperatur der verbleibenden Lösung steigt an. Unter 100°C wird nur ein Teilstrom des Thermalwassers in Höhe von 8% zur Lösungsaufwärmung benötigt. Ein Alleinstellungsmerkmal dieses Verfahrens ist, dass der Entspannungsdampf auf einen Wasseranteil von 6% eingestellt wird. Bei Nassdampfentspannung auf einen Dampfgehalt von 92% verflüssigt sich dieser energiereichere Stoff nahezu vollständig und erhöht die Leistung gegenüber reinem Nassdampf von Ammoniak erheblich.

Erhöht man den Druck für einen Teil – zum Beispiel die Hälfte - des aus der Luft mitabgeschiedenen Wasserdampfes (im Beispiel bei 0,2 bar) auf 1 bar, so kann mit der Kondensationswärme bei 100°C die Wärmezufuhr an die Climeworksapparate verdoppelt werden. Durch erhöhtes Wärmeangebot kann die Stromerzeugung (im Beispiel um 27% bei 150°C Thermalwassertemperatur) im AKK-Verfahren erhöht werden.

4. Ziel: NRW wird Zentrum regenerativer Kohlendioxidherzeugung

4.1 Das Geothermiereservoir in NRW

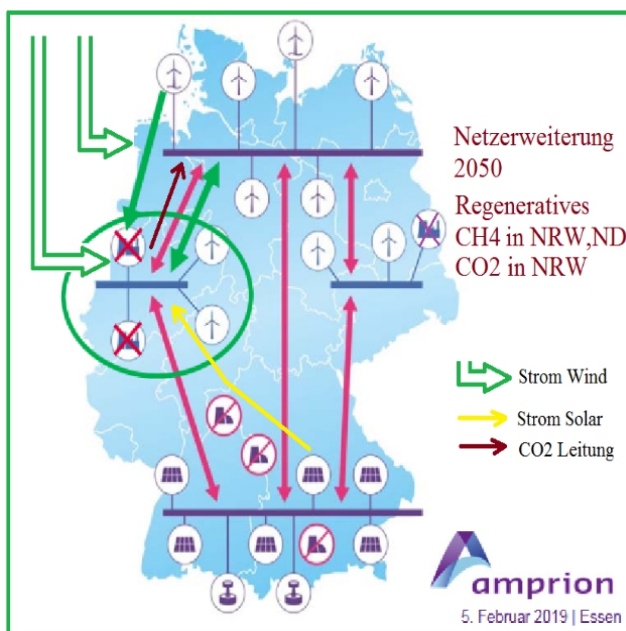
Geothermische Tiefenwässer aus Karbonatgesteinen sind wegen der großen Förderungsmengen nach den Erfahrungen des Bayrischen Molassebeckens besonders aussichtsreich für geothermische Nutzung. Für NRW ist das Erwartungsgebiet aus dem Devon (blau 1,2) und dem darüberliegenden Karbon (blau 2) dargestellt.



Hierbei werden Nutzungsbedingungen für die Riffkalke als besonders günstig eingeschätzt. Bei den Kohlenkalken sind die größeren Vorkommensflächen als Plattenkalke erwartet. Die Mächtigkeit der Devonischen Kalke ist ungewöhnlich groß (über 500 m). Sie sind als Riffablagerungen und als daraus hervorgegangene Schuttstromablagerungen zu erwarten. Von diesen tiefen Horizonten sind nur die des Karbon außerhalb Deutschlands geothermisch bisher genutzt. Obwohl der geologische Kenntnisstand z.Z. unzureichend ist, kann das Reservoir in NRW als sehr groß eingeschätzt werden. Kapazitätsschätzungen liegen z.Z. nur für das Ruhrgebiet vor. Das hydrothermale Potential für Fernwärmenutzung für beide Horizonte wird angegeben:

Unterkarbon (Kohlenkalk/Kulm)	10400 GWh/a
Massenkalke (Devon)	59200 GWh/a

4.2 Netzentwicklung 2050



Nach dem Ausstieg aus der Kohleverstromung wandelt sich Nordrhein-Westfalen vom Stromexportland zum Stromimportland. Darauf aufbauend hat der Netzbetreiber amprion einen Stromnetzausbau für den Zeithorizont 2035 konzipiert, das u.a. die Verlängerung der Gleichstromleitung von Nordseestrom in das nördliche Ruhrgebiet vorsieht. Darauf aufbauend ist ein Netzausbau für regenerative Methanherzeugung für das Jahr 2050 dargestellt. Um die Erdgasversorgung Deutschlands mit zumindest zum erheblichen Teil auf regenerativ erzeugtes Methan umzustellen, sind zwei Bausteine notwendig:

1. NRW wird Zentrum der Kohlendioxid-erzeugung.
2. Der Strom für die Wasserstoffherzeugung ist auf der Nordsee zu erzeugen

Die Methanisierungsanlagen können sowohl im Bereich der Nordseeküstenregion Niedersachsens(=ND) als auch Nordrhein-Westfalen sein. Es sind entweder erhebliche Strommengen oder Kohlendioxidmengen zu transportieren. Natürlich ist der Stromtransport aufwändiger und die Trassenführung schwieriger durchzusetzen, sodass diesbezüglich Vorteile für die "Küstenlösung" einzuschätzen sind. In Niedersachsen (ND) können große Erdgasspeicher genutzt werden. Für Nordrhein-Westfalen bestehen Vorteile darin, dass im Fall der sogenannten Dunkelflaute Strom von der Nordsee allenfalls kurzfristig versiegt und Stromunterdeckung im Bedarfschwerpunkt NRW entgegengewirkt wird, indem die Methanisierung ausgesetzt wird. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass Überschussstrom (= Solarstrom aus Süddeutschland) genutzt werden kann. Dies vergrößert die Volllaststundenzahl der Methanisierungsanlagen, die grundsätzlich durch die Kopplung an Nordseestrom höher als 4000h/a anzusetzen ist.

5. Fazit: Regenerative Methanherzeugung: Reservoir 300 000 GWh/a

► 60 Mio. t CO₂ für 300 000 GWh/a Methan ► 70 GW Windstrom (Nordsee)

Für eine Klimaneutrale Energieversorgung ist ein Teilmodell für den Ersatz des fossilen Erdgases

vorgestellt. Die sollte allerdings nicht isoliert betrachtet werden. Insbesondere besteht ein hoher Zusammenhang einer klimaneutralen Energieversorgung mit

- dem Kohlendioxidbedarf bei der Erzeugung des Grundstoffs Ethen für die Kunststoffproduktion
- der Alternative: Energetische Vollsanierung älterer Gebäude bzw. deren Ersatz durch Neubau oder deren energetische Teilsanierung kombiniert mit regenerativer Methanversorgung aus bestehendem Erdgasnetz

Zu den Werten sei bemerkt, dass die notwendige Kapazität des geothermischen Reservoirs gesenkt werden kann, indem - wie geschildert – adsorbierter Wasserdampf zur Kohlendioxidherzeugung genutzt wird.

Für die Nordsee gibt es Planungsüberlegungen, deutlich mehr als 70 GW Windstrom zu erzeugen.

Quellenangaben

Barth, Peter: Netzentwicklungsplan 2019: Wie geht es weiter mit dem Umbau des Transportnetzes? 23. Fachkongress Zukunftsenergien 5. Februar 2019 Essen

Bracke, Rolf: Wärmepotentiale nutzen - Einsatz der Geothermie erleichtern *Landtag NRW Drucksache 17 /2562 31.10.2018*

Charles, Louise; Gutknecht, Valentin; Snæbjörnsdóttir, Sandra Ósk; Sigfússon, Bergur: Creating a Carbon Dioxide Removal Solution by combining rapid Mineralization of CO₂ with direct air capture *International Carbon Conference 2018, ICC 2018, 10–14 September 2018, Reykjavik, Iceland ScienceDirect*

Gebald, Christoph.; Repond, Nicolas; Wurzbacher, Jan Andre *US2017203249 (A1) — 2017-07-20*
Dimosthenis, Trimis: Helmeth Integrated High-Temperature Electrolysis and Methanation for Effective Power to Gas Conversion *Cordis EU*

Gebald, Christoph; Steinfeld, Aldo; Wurzbacher, Jan Andre: Separation of CO₂ from Air by Temperature-Vacuum Swing Adsorption Using Diamine-Functionalized Silica Gel

Gebald, Christoph; Piatkowski, Nicolas; Steinfeld, Aldo; Wurzbacher, Jan Andre: Concurrent Separation of CO₂ and H₂O from Air by a Temperature-Vacuum Swing Adsorption/Desorption

Cycle Environ. Sci. Technol., 2012, 46 (16), pp 9191–9198

Horst, Juri; Scholz, Alexander; Viebahn, Peter; Zelt, Ole: Technologiebericht 4.4 Verfahren der CO₂-Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende *Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme gGmbH 29. März 2018*

Köhler, Silke: *Geothermisch angetriebene Dampfkraftprozesse Berlin 2005*

von Reth, Anno: Method of operation of an absorption power cycle for a binary mixture of ammonia and water *EP2546380 2013-01-09*

von Reth, Anno: Der Absorptions-Kraft-Zyklus in der Geothermie *Der Geothermiekongress 2018*

Salamon: EU-Projekt DGE-ROLLOUT für Wärme aus der Tiefe *Geologischer Dienst NRW*

Gruber, Manfred: Effizienzsteigerung der Power to Gas Technologie durch thermische Integration von Hochtemperatur Dampfelektrolyse und CO₂ Methanisierung – das Helmeth Projekt *Jahrestreffen der ProcessNet-gasreinigung & Energieverfahrenstechnik 22.03.2017*

Schmidt, Maik; Schwarz, Simon; Stürmer, Bernd; Wagener, Leon; Zuberbühler, Ulrich: Technologiebericht 4.2a Power-to-gas (Methanisierung chemisch-katalytisch) innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende *Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg | v3 vom 13. April 2018*

Tennet: Windenergie-Verteilkreuz in der Nordsee „Energie-Inseln“

Wurzbacher, Jan: Capturing CO₂ from Air *Herbstworkshop Energiespeichersysteme, TU Dresden 29 November 2017*

Zuberbühler, Ulrich: ZSW: CO₂ - Rohstoff aus Luft: Entwicklung eines hoch effizienten Verfahrens zur CO₂ -Bereitstellung aus Luft als Basis für die Erzeugung regenerativer Rohstoffe *Statuskonferenz 17./18.04.2018*

Dr. Anno von Reth

Lagesche Str.21

33102 Paderborn

avonreth@gmx.net