

ALLES NUTZEN, WAS IM KLÄRGAS STECKT

Die Produktion von Biomethan hat im letzten Jahrzehnt stark zugenommen. Trotzdem liegt der Anteil von inländischem Biomethan im Schweizer Gasnetz erst bei rund 1%. Die Schweizer Gaswirtschaft möchte kräftig zulegen: Im Jahr 2030 soll der Anteil von erneuerbarem Gas im Wärmemarkt 30% betragen. Hierzu muss die Schweiz neue Produktionskapazitäten aufbauen, und erhebliche Mengen an erneuerbarem Gas müssen importiert werden. In der Zürcher Kläranlage Werdhölzli wurde in den letzten Monaten ein Verfahren zur Aufbereitung von Rohbiogas getestet, mit dem sich der Ertrag von Biogas-Anlagen markant steigern lässt.



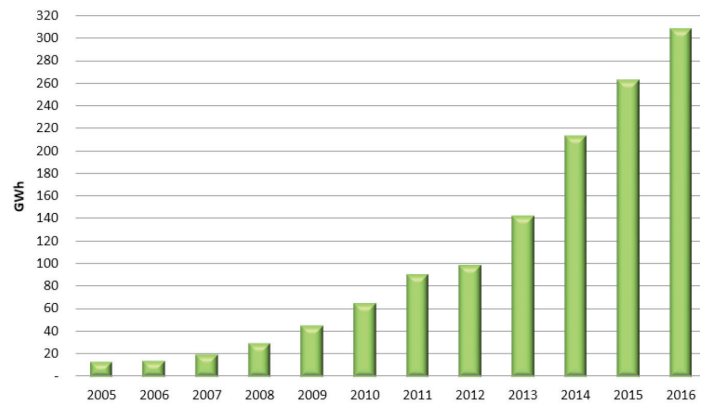
PSI-Wissenschaftler Dr.-Ing. Peter Jansohn (l.) erläutert Peter Dietiker, Bereichsleiter Erneuerbare Energien bei Energie 360°, die Methanisierungsanlage auf dem Gelände der Kläranlage Zürich-Werdhölzli. Foto: Energie 360°

Heute wird der grösste Teil des in der Schweiz verbrauchten Gases importiert. Das Erdgas stammt hauptsächlich aus Ländern der Europäischen Union (39%), aus Russland (33%) und Norwegen (20%). Erdgas setzt bei der Verbrennung CO_2 in der Atmosphäre frei, das zuvor in tiefen Erdschichten gebunden war, und trägt damit zur Verschärfung des Klimawandels bei. Diese Problematik entfällt bei der Verwendung von Biomethan (für die Begrifflichkeit siehe Textbox S. 5). Dieses setzt bei seiner Verbrennung nur so viel CO_2 frei, wie beim Heranwachsen der biogenen Ausgangsstoffe aus der Atmosphäre gebunden wurde und ist damit praktisch CO_2 -neutral. Das in der Schweiz vermarktete Biomethan stammt ausschliesslich aus Rest- und Abfallstoffen wie Küchen- und Gartenabfall, Klärschlamm oder Gülle. «Wir sind auf dem Weg in das Zeitalter erneuerbarer Gase», sagt Daniela Decurtins, Direktorin des Verbandes der Schweizerischen Gasindustrie (VSG).

Erneuerbares Gas wird seit 20 Jahren ins Erdgasnetz eingespeist. In den vergangenen zehn Jahren konnte die inländische Produktion auf 308 GWh (2016) verzehnfacht werden. Damit hatte Biomethan im letzten Jahr am landesweiten Gasabsatz von 39'029 GWh einen Anteil von 0,8%. Die Schweizer Gaswirtschaft möchte den Beitrag von erneuerbarem Gas zur Schweizer Gasversorgung kräftig erhöhen. Durch Steigerung der inländischen Produktion und Importe soll der Anteil im Jahr 2030 30% des Wärmemarkts (Heizung und Warmwasser für Haushalte) erreichen. Gemäss Schätzungen der ETH-Studie «Bioenergy in Switzerland» beträgt das schweizweite Potenzial für Energie aus Biomasse 23'000 GWh, ein grosser Teil davon liegt in der Landwirtschaft. «Aufgrund der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) wird ein Grossteil der heute bereits genutzten Biomasse verstromt, was aus der Perspektive des Energienutzens schlechter ist als die Einspeisung», sagt Decurtins.

60% mehr Biomethan

Neben der Erschliessung dieser schlummernden Reserve ist es auch sinnvoll, den Ertrag bestehender Biogas-Anlagen zu optimieren. Wie dies gelingt, führt seit Jahresbeginn eine Demonstrationsanlage («Cosyma») in der Kläranlage Zürich-Werdhölzli vor Augen. Betrieben wird sie vom Paul Scherrer Institut (PSI) im aargauischen Villigen mit Unterstützung der Biogas Zürich AG, einem Gemeinschaftsunternehmen der Entsorgung+Recycling Zürich (ERZ), Energie 360° AG (vormals Erdgas Zürich AG) sowie Limeco, dem öffentlichen Entsorgungsunternehmen im Limmattal. Energie 360° versorgt die Stadt Zürich und 40 Gemeinden im Grossraum Zürich mit Erdgas und Biomethan (letzteres wird der Kund-



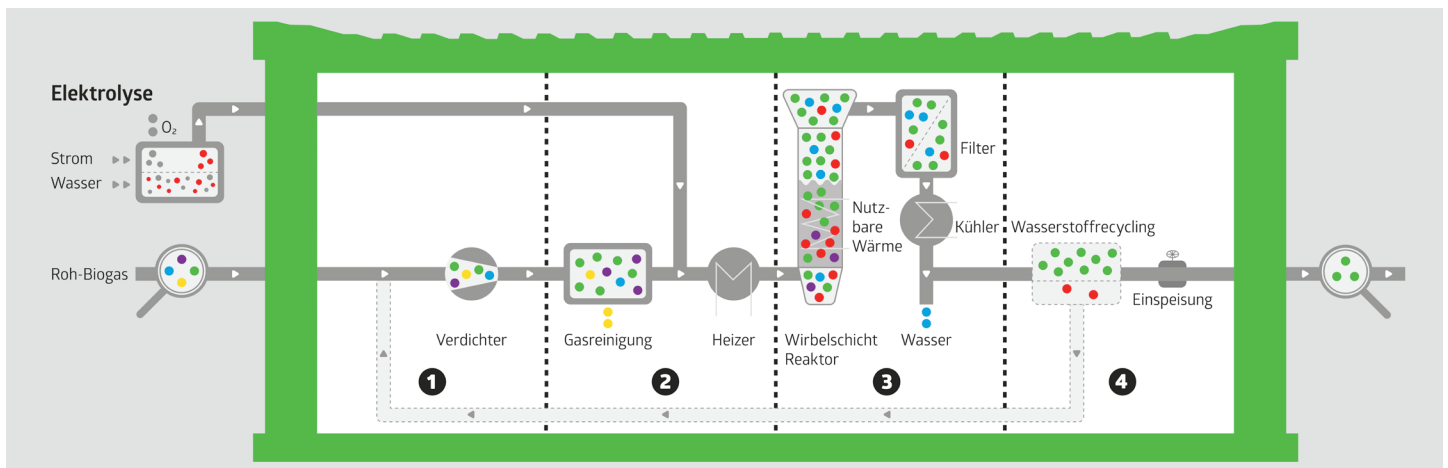
Die Produktion von Biomethan aus der Vergärung von biogenem Material (wie Klärschlamm, Grüngut oder Gülle) hat in den letzten Jahren stark zugenommen auf 308 GWh (2016). Biomethan deckt unterdessen knapp ein Prozent des Schweizer Gasbedarfs von 39'029 GWh (2016). Im Netz von Energie 360°, die die Grossregion Zürich mit Gas versorgt, hat Biomethan bei der Versorgung von Privathaushalten einen Anteil von 10%. Illustration: VSG

schaft gemeinhin unter der Bezeichnung «Biogas» angeboten).

Im Werdhölzli am Stadtrand von Zürich wird schon seit Jahren Biomethan erzeugt und ins Zürcher Gasnetz eingespeist. Das Biomethan stammt zum einen aus der Vergärung von Klärschlamm, zum anderen aus der Vergärung von Küchenabfällen und Grüngut. Bei diesen Vergärungsprozessen entsteht allerdings nicht direkt einspeisefähiges Biomethan, sondern zuerst Rohbiogas mit den Hauptbestandteilen Methan



Die PSI-Demonstrationsanlage «Cosyma» auf dem Gelände der Kläranlage Zürich-Werdhölzli. Die in einem mobilen Container untergebrachte Anlage produziert ein bis zwei Kubikmeter Biomethan pro Stunde, was einer Leistung von 10 bis 20 kW entspricht. Diese Gasmenge würde ausreichen, um ein Einfamilienhaus mit Heizwärme und Warmwasser zu versorgen. Foto: Energie 360°



Schematische Darstellung der Methanisierungsanlage «Cosyma», wie sie im ersten Halbjahr 2017 im Zürcher Klär- und Vergärwerk Werdhölzli in Betrieb war: Das Rohbiogas wird von Spurenelementen wie Schwefel und Siloxanen gereinigt, die später bei der Verbrennung des Biomethans korrosiv wirken würden und den Methanisierungskatalysator schädigen könnten. Das gereinigte Rohbiogas wird zusammen mit Wasserstoff durch den Wirbelschicht-Reaktor geleitet. Dabei reagiert das im Rohbiogas enthaltene CO_2 mit Wasserstoff zu Methan und Wasser (das bereits im Rohbiogas enthaltene Methan passiert den Reaktor unbeeinflusst). Nach der Abtrennung von überschüssigem Wasser und Wasserstoff steht das Biomethan zur Einspeisung ins Gasnetz bereit. Illustration: energie 360°/PSI

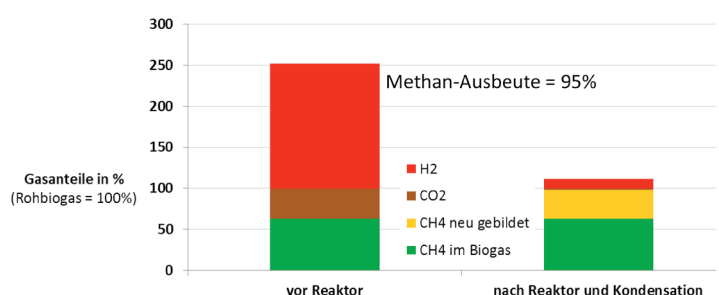
(rund 60%) und CO_2 (rund 40%). Dieses Rohbiogas muss zu Biomethan mit einem hohen Methangehalt (> 96%) aufbereitet werden, bevor es ins Gasnetz eingespeist werden kann. Hierzu wird das CO_2 beispielsweise durch Aminwäsche (so im Werdhölzli) oder ein anderes Verfahren aus dem Rohbiogas abgetrennt. Übrig bleibt Biomethan, das chemisch mit Erdgas identisch ist, aber nicht fossilen, sondern biogenen Ursprungs ist. Vom Werdhölzli werden pro Jahr 65 GWh Biomethan ins Netz eingespeist. Weitere 14 Kläranlagen und acht Vergärwerke in der Schweiz tragen in gleicher Weise zur Versorgung mit Biomethan bei.

Die Demonstrationsanlage im Werdhölzli soll es ermöglichen, die Biomethan-Produktion am Standort um 60% zu erhöhen – und das mit derselben Menge Rohbiogas wie bisher. Dies gelingt nicht durch Zauberei, sondern mit einem altbekannten chemischen Prozess: Statt das CO_2 aus dem Rohbiogas abzutrennen und in die Umwelt zu entlassen, wird es durch Zugabe von erneuerbarem Wasserstoff (H_2) in Methan verwandelt. So lässt sich die Menge von erneuerbarem Gas aus dem Rohbiogas markant steigern.

Stabile Methanproduktion aus Rohbiogas

Für die Methanisierung von CO_2 stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Demonstrationsanlage «Cosyma» im Werdhölzli verwendet das Wirbelschicht-Verfahren (vgl. Textbox S. 4). Entwickelt wurde «Cosyma» (für: Container-basiertes System einer Methanisierungsanlage) von Wissenschaft-

lern des PSI. Den Rahmen hierfür bildet ein zweijähriges Forschungsprojekt, das vom BFE, dem Forschungsfonds der Schweizerischen Gaswirtschaft (FOGA) und der Energie 360° AG finanziell unterstützt wurde. Im ersten Halbjahr 2017 hat die Anlage ihre Funktionstüchtigkeit unter realen Bedingungen unter Beweis gestellt, wie Projektleiter Andreas Kunz von Energie 360° berichtet: «Die Anlage lief im Herbst 2016 am PSI zunächst mit einer synthetischen Gasmischung, im Werdhölzli kam nun reales Rohbiogas zum Einsatz. Das darin enthaltene CO_2 wird durch die Anlage zuverlässig in Methan umgewandelt, wie die Erfahrungen der letzten Monate zeigen.



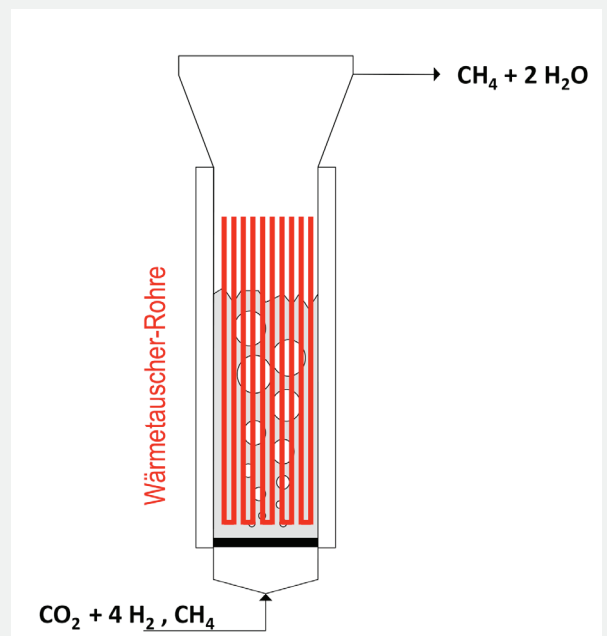
Die Methanisierungsanlage nutzt als Ausgangsstoff Rohbiogas, bestehend aus Methan (grün) und CO_2 (braun), und setzt diesem Wasserstoff (rot) zu. Das CO_2 und der Wasserstoff reagieren im katalytischen Wirbelschichtreaktor zu zusätzlichem Methan (gelb). Damit steigt die Methan-Ausbeute aus dem Rohbiogas um 60%. Ein Teil des Wasserstoffs wird bei der Reaktion nicht umgesetzt und muss abgetrennt werden, bevor das Biomethan (grün/gelb) ins Gasnetz eingespeist werden kann. Grafik: PSI

WIE CO₂ ZU BIOMETHAN VEREDELT WIRD

Biomethan ist chemisch gesehen dasselbe wie Erdgas, nämlich ein Gas mit einem hohen Anteil an Methan (CH₄). Methan lässt sich aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂) herstellen. Dabei gilt die Formel $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$. Neben Methan entsteht also Wasser. Für die Methanisierung stehen verschiedene, teilweise schon lange bekannte Verfahren zur Verfügung. Die Demonstrationsanlage «Cosyma» im Zürcher Klär- und Vergärwerk Werdhölzli geht nun einen neuen Weg: In einem Feldtest wird die *direkte* Methanisierung eingesetzt, also die Methanisierung eines Rohgas-Gemisches, ohne das CO₂ vorher abzutrennen. Das Rohgas wird dabei durch einen katalytischen Reaktor geleitet. Das darin enthaltene Methan passiert den Reaktor unverändert, während das im Rohgas enthaltene CO₂ mit zugeführtem Wasserstoff zu Methan reagiert. Für diesen Methanisierungsprozess nutzen die Forscher einen Wirbelschicht-Reaktor. Das ist ein bekannter Reaktortyp, der bei «Cosyma» aber erstmals für die Aufbereitung von Rohbiogas mittels Power-to-Gas eingesetzt wird. Der Katalysator schafft die Bedingungen, dass das im Rohbiogas enthaltene CO₂ mit Wasserstoff zu Methan reagieren kann.

Das Rohbiogas strömt von unten in den Reaktor und wird durch eine Verteilerplatte gleichmässig über den Querschnitt des Reaktors verteilt (siehe Grafik). Das Gas trifft dann auf die mit Nickel beschichteten Katalysatorpartikel und wirbelt sie auf. Dabei läuft auf der Oberfläche des Nickels die eigentliche Methanisierungsreaktion ab, bei der CO₂ und H₂ zu CH₄ und H₂O reagieren. «Wir setzen einen Wirbelschicht-Katalysator ein, weil dieser in einer einzigen Reaktionsstufe eine hohe Methanausbeute ermöglicht und die im Prozess entstehende Wärme dank der Partikelverwirbelung gut abgeführt werden kann», sagt Dr.-Ing. Peter Jansohn, in dessen Labor der Reaktor entwickelt wurde.

Die Betriebstemperatur liegt bei 300 bis 350 °C. Sie ist genügend hoch gewählt, so dass der aus Nickel gefertigte Katalysator gut arbeitet, aber nicht zu hoch, denn das würde die Methanausbeute mindern. Die Reaktionswärme wird über einen Wärmetauscher (in der Grafik rot eingezeichnet) abgeführt und kann für beliebige Zwecke genutzt werden. Eine zweite wichtige Einflussgrösse neben der Temperatur ist die Menge des zugeführten Wasserstoffs: Wird zu wenig Wasserstoff eingesetzt, droht eine Verkokung des Reaktors, wird zu viel verwendet, bleibt am Reaktor-ausgang Rest-Wasserstoff übrig, was nicht erwünscht ist.



Bei der Demonstrationsanlage im Klärwerk Werdhölzli besteht das Gasgemisch nach Verlassen des Wirbelschicht-Reaktors und der Trocknung (Wasserabtrennung mittels Kondensation) aus 87% Methan, 10% Wasserstoff und 3% CO₂. Um einspeisefähiges Biomethan zu erhalten, wird in einem weiteren Prozessschritt der nicht umgesetzte Wasserstoff über eine H₂-Membran abgetrennt und zur Wirbelschicht zurückgeführt. Jetzt ist das Gas trocken genug und verfügt über einen hinreichend hohen Methan-Anteil (> 96%) sowie einen genug tiefen H₂-Anteil (< 2 Vol-%), so dass es als Biomethan ins Netz eingespeist werden kann.

Statt eines *Wirbelschicht-Reaktors* kann als Katalysator auch ein *Festbett-Reaktor* eingesetzt werden. An der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Winterthur wird im BFE-finanzierten Projekt SMARTCAT gegenwärtig an einem Festbett-Reaktor geforscht, der robust ist gegen Schwefelverunreinigung, der überschüssiges Wasser aus dem Methanisierungsprozess absorbieren und darüber hinaus einen Methananteil von 100% erzeugen kann. Bei diesem Verfahren ist ein 100%iger Umsatz des H₂, dem eigentlichen Kostenträger, möglich. Ganz ohne herkömmlichen Katalysator kommt die *biologische Methanisierung* aus. Hier sorgen Mikroorganismen für die Umwandlung von CO₂ und H₂ in Methan und Wasser. Zur Zeit ist an der ZHAW in Wädenswil eine Versuchsanlage im Aufbau, mit der die biologische Methanisierung untersucht werden soll. BV

Der auf 1000 h angelegte Testlauf bestätigt bisher die Langzeitstabilität des Reaktors. Korrosions- oder Foulingprobleme wurden nicht festgestellt und die Gasreinigung funktionierte einwandfrei.» Werden diese Ergebnisse mit dem Projektabschluss bestätigt, wäre eine wichtige Voraussetzung für den kommerziellen Betrieb dieses Anlagentyps geschaffen. Eine solche Anlage müsste nämlich möglichst durchgängig betrieben werden, sagt Dr. Tilman Schildhauer, Senior Scientist im Labor für Thermische Prozesse am PSI: «Eine solche Methanisierungsanlage arbeitet nur wirtschaftlich, wenn sie praktisch im Dauereinsatz betrieben werden kann, da das Rohgas kontinuierlich anfällt und ein periodischer Betrieb grosse Speicherkapazitäten erfordern würde.»

Die Wissenschaftler des PSI und die Verantwortlichen von Energie 360° sehen in der neuen Anlage eine vielversprechende Option für die Steigerung der Biomethan-Produktion. Soll sämtliches Rohbiogas an Standort Werdhölzli auf diesem Weg veredelt werden, müsste die Anlage um einen Faktor 900 hochskaliert werden. Die jährliche Produktion würde mit einer solchen Investition von heute 65 GWh auf 100 GWh zunehmen. Neben der Skalierung auf die kommerzielle Grösse müsste die Anlage – da mit leichtem H₂-Überschuss gefahren wird – auch mit einer Membran zur Abscheidung und Rückführung von nicht umgesetztem Wasserstoff ausgerüstet werden, damit das Biomethan den für die Einspeisung erforderlichen Methangehalt (> 96%) erreicht. Damit am Ende des Prozesses tatsächlich ein nicht-fossiles Gas entsteht, muss für die Methanisierung des CO₂ erneuerbarer Wasserstoff verwendet werden. «Für eine künftige kommerzielle Anlage wollen wir den Wasserstoff mit einem Elektrolyseur herstellen, der mit erneuerbarem Strom betrieben wird. Nur so basiert das erzeugte Gas auf erneuerbaren Ressourcen und ist wirklich Biomethan», sagt Peter Dietiker, Bereichsleiter Erneuerbare Energien bei Energie 360°.

Wirtschaftlichkeit hängt an den Stromkosten

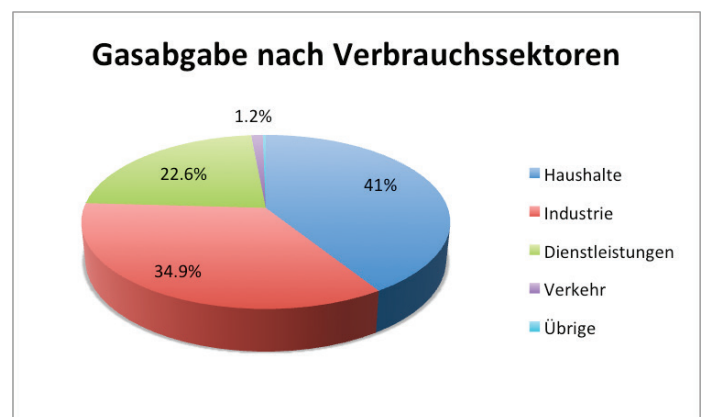
Die Nutzung von erneuerbarem Strom zur Herstellung von Wasserstoff («Power-to-gas-Technologie») ist technisch erprobt. Noch nicht abschliessend geklärt ist, ob auf diesem Weg die Methanisierung von CO₂ zu Biomethan wirtschaftlich ist. Die Stromkosten bei der Elektrolyse sind nämlich die entscheidende Einflussgrösse; sie bestimmt, ob sich die Biomethan-Herstellung mittels Power-to-gas rechnet. Nach Berechnungen von Energie 360° muss der Strompreis unter 4,5 Rp/kWh liegen, damit das Verfahren bei Investitions- und Betriebskosten mit der angestammten Biomethan-Herstellung

WAS «BIOMETHAN» IST – UND WAS NICHT

Bei der Vergärung von biologischen (pflanzlichen/tierischen) Abfällen, aber auch von Klärschlamm oder Gülle entsteht Rohbiogas. *Rohbiogas* besteht zur Hauptsache aus Methan/CH₄ (rund 60%) und Kohlendioxid/CO₂ (rund 40%). Rohbiogas kann durch Abtrennung des Kohlendioxids zu *Biomethan* aufbereitet werden: Dieses Gas – chemisch betrachtet fast ausschliesslich Methan – ist biogenen Ursprungs und erfüllt die Anforderungen zur Einspeisung ins Erdgasnetz. Biomethan ist chemisch gesehen identisch mit *Erdgas*, letzteres stammt aber nicht aus einem Gärungsprozess, sondern ist fossilen Ursprungs.

Bei der Demonstrationsanlage «Cosyma» wird das CO₂ im Rohbiogas durch Zugabe von Wasserstoff methanisiert. Die PSI-Forscher bezeichnen das dabei entstehende Gas ebenfalls als *Biomethan*, auch wenn nur das darin enthaltene CO₂ biologischen Ursprungs ist, nicht aber der Wasserstoff. Neben dem Biomethan aus Biogas kann *synthetisches Erdgas* (engl. SNG) auch durch Umsetzung von Produktgas aus der Holz- oder Kohlevegung hergestellt werden.

Der Begriff *Biogas* wird mit verschiedenen Bedeutungen verwendet. Was genau gemeint ist, bedarf jeweils einer Erläuterung. BV



Die Schweizer Gaswirtschaft will den Anteil von Biomethan im Wärmemarkt auf 30% im Jahr 2030 anheben. Mit Wärmemarkt ist der Gasverbrauch durch Haushalte für Heizung und Warmwasser gemeint. Grafik: B. Vogel/VSG/Schweizerische Gesamtenergiestatistik

durch CO₂-Abtrennung Schritt hält. Zwar liegen die Gesteungskosten für Solar- und Windstrom im Durchschnitt noch über 4,5 Rp/kWh., doch an der Strombörse wird dieser Wert bei Überangebot von erneuerbarem Strom schon zeitweise unterboten.

Mit dem oben beschriebenen Verfahren kann erneuerbarer Strom mit einem Wirkungsgrad von ca. 50% in Methan umgewandelt werden (wobei die Abwärme aus dem Methanisierungsprozess noch nicht berücksichtigt ist). Trotz der Umwandlungsverluste sei dieser Prozess sinnvoll, da er erlaube, anderweitig nicht verwertbaren Strom aus Wind- und Solarkraftwerken gasförmig zu speichern, sagt Peter Dietiker, der auch Mitglied der Geschäftsleitung von Energie 360° ist. «Bereits heute produzieren wir in der Schweiz Biomethan in einem Umfang, der klimapolitisch und wirtschaftlich relevant ist. Wir arbeiten darauf hin, «überschüssigen» Strom aus erneuerbarer Produktion in den nächsten Jahren für die Erzeugung von Biomethan zu nutzen.» Trotz der guten Erfahrungen mit «Cosyma» ist für das Zürcher Unternehmen zur Zeit noch offen, welche Technologie gegebenenfalls für eine Methanisierungsanlage genutzt wird.

Erhebliches Potenzial

Würden das Werdhölzli und die 22 weiteren Klär- und Gärwerke, die heute bereits Biomethan ins Netz einspeisen, mit der neuen Technologie ausgerüstet, liessen sich pro Jahr zusätzlich 180 GWh Biomethan produzieren. Weitere 955 GWh Biomethan kämen zusammen, wenn die insgesamt 73 Anlagen, die heute Rohbiogas verstromen und in der Nähe des Gasnetzes liegen, von der Stromproduktion auf die Biomethan-Produktion mit dem oben beschriebenen Verfahren umstellen würden. Damit liesse sich der Anteil von inländischem Biomethan im Schweizer Erdgas-Netz von aktuell 0,8% auf 3,7% steigern (dies allerdings teilweise auf Kosten des erneuerbaren Stroms, der heute mit Biogasanlagen erzeugt wird). Damit wären die für das Jahr 2030 im Wärmemarkt angepeilten 30% zwar noch nicht erreicht, aber es wäre doch ein Schritt in die Richtung des ambitionierten Ziels.

➤ **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Dr. Sandra Hermle (sandra.hermle[at]bfe.admin.ch), Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Bioenergie.

➤ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Bioenergie finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/biomasse.