



# AUS WIND WIRD WASSERSTOFF



WARUM WINDGAS FÜR  
DIE ENERGIEWENDE  
UNVERZICHTBAR IST

GREENPEACE

**ENERGY**

Mein Strom. Mein Gas.  
Meine Entscheidung.



# LIEBE LESERINNEN UND LESER,

nur selten wird die Widersprüchlichkeit von Politik so offensichtlich wie Ende Juni dieses Jahres. An einem Tag machte sich Bundesumweltministerin Barbara Hendricks mit ihren 27 EU-Kollegen

für eine rasche Ratifizierung des Pariser Klimaschutzabkommens stark. Am nächsten Tag schickte das Kabinett ein Erneuerbare-Energien-Gesetz 2016 (EEG) in das Parlament, das die Energiewende in Deutschland radikal abwürgt. Heute hü, morgen hott – da stellt sich die Frage: Was will die Bundesregierung in der Klimapolitik eigentlich erreichen?

Wenn Deutschland die Paris-Ziele ernst nimmt, muss es die Energiewende deutlich beschleunigen und seine Treibhausgas-Emissionen bereits bis 2040 auf null absenken. Mit dem neuen EEG 2016 wären wir erst im Jahr 2150 am Ziel. Absurd. Dabei sind erneuerbare Kraftwerke schon heute billiger als die fossile Konkurrenz, wenn alle Kosten eingerechnet werden – zum Beispiel die für die Folgen des Klimawandels, für Gesundheitsschäden oder für Altlasten aus dem Braunkohleabbau.

Zudem ist auch bei 100 Prozent erneuerbaren Energien die für eine Industrienation wichtige Versorgungssicherheit gewährleistet – für bis zu drei Monate, wenn die Sonne einmal so lange nicht scheint oder der Wind nicht wehen sollte. Möglich ist das durch Windgas oder Power to Gas. So wird die Umwandlung von regenerativem Strom in erneuerbaren Wasserstoff und Methan genannt, die in großen Mengen im Gasnetz eingespeichert werden können.

Greenpeace Energy bietet als Windgas-Pionier schon seit 2011 seinen *proWindgas*-Tarif an, mit dem unsere

inzwischen 14.000 Windgas-Kunden durch einen Förderbetrag die Entwicklung dieses unverzichtbaren Langzeitspeichers für erneuerbare Energien voranbringen. Doch die Bundesregierung behindert die Entwicklung dieser Technologie.

In der Wirtschaft hingegen hat das Umdenken längst begonnen. Sektorkopplung heißt das Zauberwort. Denn nicht nur bei der Stromerzeugung, auch in den Sektoren Verkehr, Wärmeversorgung und Industrie muss Deutschland Kohle, Öl und Gas durch klimafreundliche Roh- und Brennstoffe ersetzen. Das kann im erforderlichen Umfang nur mit Windgas gelingen.

Was Power to Gas leisten kann, wie der Stand der Technologie ist, welche Verfahren erforscht werden und welche Perspektiven Windgas in unserem künftigen Energiesystem hat, dazu soll diese Broschüre kompakte Informationen liefern.

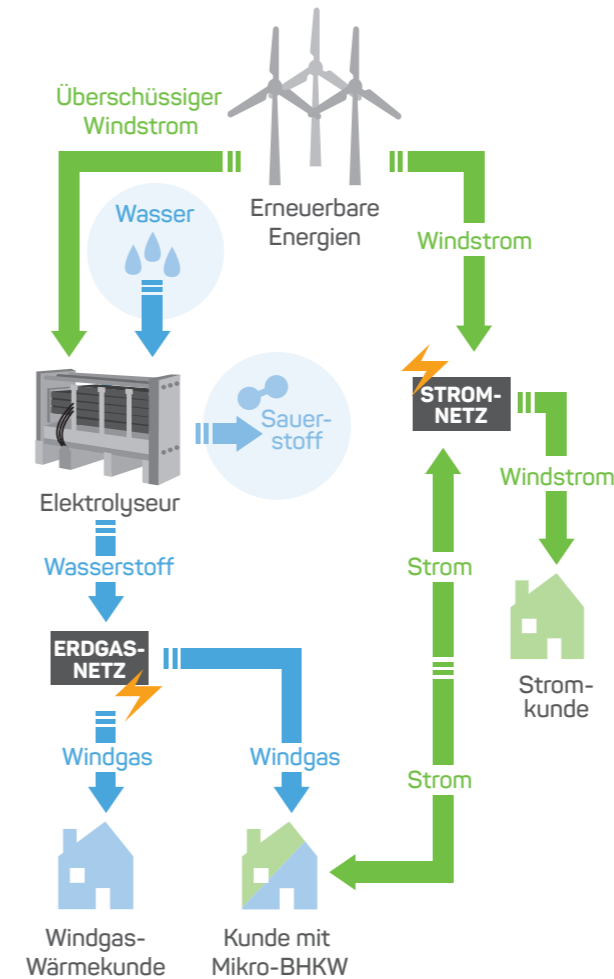
Noch ist Deutschland Weltspitze bei Power to Gas. Wenn die Bundesregierung die bestehenden unfairen Markthindernisse für Windgas beseitigt, können neue Arbeitsplätze und Exportmärkte entstehen, denn auch andere Industrienationen brauchen Windgas, um ihre Emissionen drastisch zu senken. Dazu verpflichten sie die Klimaziele von Paris.

Die Zeit ist reif für Windgas. Die Bundesregierung muss diese Chance für die Energiewende nutzen. Dann wird aus Widersprüchlichkeit wieder konsequente Politik.

Herzlichst

Nils Müller und Sönke Tangermann  
Vorstand Greenpeace Energy eG

## SO FUNKTIONIERT WINDGAS



## INHALT

- 02** Vorwort: Die Zeit ist reif – für Windgas
- 04** 10 Windgas-Fakten, die jeder kennen sollte
- 06** Windgas-Wissen kompakt: Wichtige Begriffe zum Thema Power to Gas
- 08** Die Windgas-Story: Meilensteine aus fünf Jahren
- 11** Interview: 3 Fragen an Nils Müller zu den Erfahrungen mit *proWindgas*
- 12** Wirtschaft macht Windgas: Power to Gas ist reif für den Markt
- 14** Neue Studien zu Windgas: Erfolgsgarant für die Energiewende
- 18** Power to Gas: Im Fokus der Forschung
- 20** Meilenstein am Main: Neuer Windgas-Elektrolyseur in Haßfurt
- 22** Brücken-Technologie: Energiewende bei Industrie, Verkehr & Co.
- 26** Fazit: Was sich für Windgas ändern muss
- 28** Impressum

# 10 WINDGAS-FAKTEN, DIE JEDER KENNEN SOLLTE



## SCHLÜSSELTECHNOLOGIE 01

Die Windgas-Technologie wandelt die im Zuge der Energiewende wachsenden Stromüberschüsse aus Wind- und Solarkraftwerken per Elektrolyse in erneuerbaren Wasserstoff und (in einem zweiten Schritt) in Methan um.

**So geht keine Kilowattstunde Grünstrom verloren.** mehr → S. 6



## SEKTORKOPPLUNG 03

Erneuerbarer Strom wird künftig zwar zur Primärenergiequelle für sämtliche Wirtschaftssektoren, kann aber nicht den gesamten Bedarf von Industrie, Verkehr und Wärmeversorgung abdecken. Hier stellt Windgas bislang **fossil erzeugte Ausgangsstoffe** für die Chemieindustrie oder **Kraftstoffe** für Lastverkehr, Luft- und Schifffahrt in erneuerbarer Form und in den erforderlichen Mengen bereit. mehr → S. 22

## 02 LANGZEITSPEICHER

Windgas verfügt **als einzige Speicher-Option über die nötige Kapazität**, um die deutsche Stromversorgung auch in einem vollständig erneuerbaren Energiesystem bis zu drei Monate aufrechtzuerhalten, selbst wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint. mehr → S. 15



## 04 VERSORGUNGSSICHERHEIT

Windgas bietet vielfältige Dienstleistungen für eine sichere erneuerbare Energieversorgung – als **Speicher- und Übertragungsoption** sowie als **Flexibilitätsoption zur Stabilisierung der Netzspannung** (Regelleistung). mehr → S. 16



## INFRASTRUKTUR 05

Windgas **nutzt** mit dem Gasnetz samt dessen unterirdischen Speichern bereits **vorhandene** – und bezahlte – **Infrastruktur** zur Speicherung der erneuerbaren Gase und zu deren Transport über große Entfernungen. So behält das Netz seinen Funktion, auch wenn darin kein fossiles Erdgas mehr fließt. mehr → S. 15



## 100 % ERNEUERBARE 07

**Eine Stromversorgung zu 100 Prozent aus Wind, Sonne und Co. ist nur mit Windgas möglich.** Ohne Windgas lassen sich in Deutschland maximal 86 Prozent erreichen. Auch zur Dekarbonisierung des Verkehrs, der Industrie und der Wärmeversorgung, also zur drastischen Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesen Sektoren, ist Windgas unverzichtbar. mehr → S. 14



## EFFIZIENZSPRÜNGE 09

Die Windgas-Technologie wird durch Forschung und Entwicklung immer **effizienter** – und damit immer **wirtschaftlicher**. Während die Wirkungsgrade von Windgas-Wasserstoff und -Methan von derzeit rund 50 Prozent auf 80 Prozent steigen werden, sinken die Investitionskosten pro Kilowatt installierter Leistung durchschnittlich um 75 Prozent. mehr → S. 17

## 06 KOSTENDÄMPFUNG

Der Aufbau von Windgas-Kapazitäten ist volkswirtschaftlich sinnvoll. Langfristig **senkt** Windgas die **Systemkosten** allein im Stromsektor um **mehrere Milliarden Euro pro Jahr**. Anfänglich höhere Investitionen werden so über die gesamte Energiewende hinweg durch Einsparungen mehr als ausgeglichen. mehr → S. 15



## 08 ENERGIESICHERHEIT

Windgas **verringert die Abhängigkeit von Energieimporten** aus problematischen Lieferländern und instabilen Weltregionen. Steigende Preise für fossile Energieträger, besonders in Krisenzeiten, werden so ein immer geringeres Risiko für die deutsche Wirtschaft. mehr → S. 14



## 10 WERTSCHÖPFUNG

Statt in teure Importe von Öl, Erdgas und Kohle werden die Kosten für die Energieversorgung in Deutschland investiert. **Das schafft Arbeitsplätze und stärkt Forschung und Entwicklung.** Noch sind deutsche Firmen Weltmarktführer in der Windgas-Technologie, die künftig auch in vielen anderen Nationen für die Energieversorgung wichtig werden dürfte. Auch dies sichert Arbeitsplätze. mehr → S. 14





# WINDGAS-WISSEN KOMPAKT

## WICHTIGE BEGRIFFE ZUM THEMA POWER TO GAS

### WINDGAS

**Windgas** wird per Elektrolyse aus überschüssigem erneuerbarem Strom erzeugt (**Definition** ----> **siehe unten**). Da die zu erwartenden Überschüsse primär von Windkraftanlagen erzeugt werden, wurde für das Konzept wie für den Energieträger selbst der Begriff „**Windgas**“ geprägt. Es können aber auch Überschüsse z.B. von Photovoltaikanlagen genutzt werden, um sie in erneuerbaren Wasserstoff und (in einem weiteren Schritt) Methan umzuwandeln.

**Windgas** ist mehr als ein erneuerbares Gas, es ist ein Energiespeichersystem, das aus einer Einspeicher-Einheit (Elektrolyseur), einer Speicher-Einheit (Gasnetz) sowie einer Ausspeicher-Einheit (z. B. Kraft-Wärme-Kopplungsanlage) besteht.

### ÜBERSCHÜSSIGER STROM

**Überschüssig** ist **Strom** aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen, wenn er vom Stromnetz respektive am Markt nicht abgenommen werden kann. Dies geschieht, wenn die Stromproduktion die Nachfrage übersteigt und fehlende Flexibilitätsoptionen (**Definition** ----> **siehe rechts**) bezie-

**Windgas** kann sowohl als Wasserstoff als auch in Form von Methan in großen Mengen im bestehenden Gasnetz mit- samt dessen unterirdischen Kavernen und Porenspeichern eingelagert werden. So kann das „fluktuierende“ (also je nach Wetter und Jahreszeit variierende) Dargebot der erneuerbaren Energien ausgeglichen und Energiebedarf sowie Energieproduktion auch über längere Zeiträume im Gleichgewicht gehalten werden. Dadurch gewährleistet **Windgas** Versorgungssicherheit und -qualität.

Zudem können moderne, reaktionsschnelle Windgas-Anlagen auch kurzfristige Schwankungen bei Stromproduktion und -verbrauch ausgleichen und so das Netz stabilisieren. //

hungsweise technische oder marktbedingte Limitierungen die Verwertung dieser Überschüsse verhindern. Derzeit werden Windkraft- und Solaranlagen dann abgeregelt bzw. vom Netz genommen. //

### FLEXIBILITÄTSSOPTIONEN

Windgas ist nur eine von vielen **Flexibilitätsoptionen**. Diese ermöglichen es, das Gleichgewicht zwischen Stromproduktion und -verbrauch und damit die Stabilität des Stromnetzes zu gewährleisten. Zudem helfen sie, das schwankende Dargebot fluktuierender erneuerbarer Energien (EE) auszugleichen. So kann z. B. die Leistung und damit der Verbrauch großer Indus-

trieanlagen je nach Stromproduktion herauf- oder heruntergefahren werden (Lastmanagement). Es kann die Produktion von EE-Anlagen flexibel gesteuert werden, überschüssiger Strom ins Ausland verkauft oder fehlende Mengen dort eingekauft werden. Hinzu kommen Netzausbau sowie weitere Speichertechnologien wie Pump- und Batteriespeicher. //

### POWER TO X

Möglich sind auch andere Umwandlungs- bzw. Speicherungsformen für erneuerbaren Strom. Sie werden unter **Power to X** zusammengefasst. Gemeint sind damit neben Windgas (Power to Gas) unter anderem auch Power to Heat (Speicherung in Form von Wärme), Power to Liquid (z. B. Um-

wandlung in erneuerbare Kraftstoffe) oder Power to Chemicals (chemische Grundstoffe). Bei erneuerbaren Kraftstoffen und Chemikalien ist Power to Gas in Form von Wasserstoff oder Methan aber oft die Grundlage, der weitere Syntheseschritte folgen. //

### GREENPEACE ENERGY

Als Branchen-Pionier hat Greenpeace Energy schon im Oktober 2011 das Gasprodukt *proWindgas* auf den Markt gebracht. Den darin enthaltenen erneuerbaren Wasserstoff liefert seit Dezember 2014 ein Alkali-Elektrolyseur von Enertrag im brandenburgischen Prenzlau. Zudem betreibt **Greenpeace Energy** seit Ende Oktober gemeinsam mit den Städtischen Betrieben Haßfurt einen neuartigen PEM-Elektrolyseur mit 1,25 Megawatt Spitzenleistung und versorgt mit diesem Wasserstoff ebenfalls seine *proWindgas*-Kunden. Die Energiegenossenschaft **Greenpeace Energy** wurde 1999 von Greenpeace Deutschland gegründet und arbeitet

bis heute nach ökologischen Vorgaben der Umweltschutzorganisation. **Greenpeace Energy** versorgt rund 115.000 Kunden mit Ökostrom. Dazu kommen gut 14.000 Kunden für das Gasprodukt *proWindgas*. Als Genossenschaft ist **Greenpeace Energy** in alleinigem Besitz seiner mehr als 23.000 Genossenschaftsmitglieder. Sie arbeitet aus Prinzip nicht profitmaximierend, sondern an einer möglichst effizienten Umsetzung der Energiewende, mit besonderem Augenmerk auf die Beteiligung von Bürgerenergie-Akteuren am Anlagenbau und auf den Schutz von Natur und Umwelt. //

2011



## GREENPEACE ENERGY STARTET *pro*WINDGAS

Eine echte Innovation: Im Oktober 2011 kommt das weltweit erste Gasprodukt mit erneuerbarem Wasserstoff auf den Markt und setzt Zeichen für die Energiewende.

2014



## WINDGAS-EINSPESUNG INS GASNETZ BEGINNT

Wasserstoff marsch: Ein kleiner Dreh am Ventil als Fortschritt für die Energiewende – ab Dezember strömt Windgas von Enertrag in Prenzlau durchs Gasnetz.



## STARKES INTERESSE AM ÖKOLOGISCHEN GASPRODUKT

Kein Scherz: Am 1. April 2015, nur dreieinhalb Jahre nach dem Start, wird der 10.000ste *pro*Windgas-Kunde gezählt – die Druckerei oeding print aus Braunschweig.

2015



## DER ZWEITE ELEKTROLYSEUR WIRD ANS NETZ ANGESCHLOSSEN

Die nächste Stufe: Greenpeace Energy und das Stadtwerk Haßfurt nehmen einen neuartigen PEM-Elektrolyseur in Betrieb, der Wasserstoff ins Gasnetz einspeist.

2016

# DIE WINDGAS-STORY

## MEILENSTEINE AUS FÜNF JAHREN



**Eine Vision wird Wirklichkeit: Greenpeace Energy erkannte das Potenzial von Windgas schon früh und bietet seit fünf Jahren das Gasprodukt *pro*Windgas mit erneuerbarem Wasserstoff an. Auch andere steigen jetzt ein, denn ohne Windgas wird die Energiewende nicht gelingen.**

Wie macht man das Stromnetz fit für steigende Anteile erneuerbarer Energien? Welche Speichertechnologien stehen uns in Zukunft zur Verfügung? Fragen, die die 300 Teilnehmer auf dem Energiekongress von Greenpeace Energy in Berlin im Herbst 2010 leidenschaftlich diskutieren. Auch um Elektrolyse und Wasserstoff drehen sich die Debatten. Nicht überraschend, denn bei der Hamburger Energiegenossenschaft arbeitet man hinter den Kulissen bereits seit Monaten unter Hochdruck an einem Konzept, erneuerbare Energien wie Windstrom in Gas umzuwandeln und ins Gasnetz einzuspeisen.

### NEUER SPEICHER FÜR ERNEUERBARE

Der Begriff „Windgas“ wird allerdings erst einige Monate später geprägt. Die Bezeichnung für das erneuerbare Gas findet sich erstmals in einem Gutachten, das der Wissenschaftler Prof. Michael Sterner für Greenpeace Energy erstellt – und in dem die enormen Potenziale dieser Technologie beschrieben werden: eine Speicherkapazität von 220 Terawattstunden in den vorhandenen Erdgasspeichern, was etwa 2.500 Pumpspeicherkraftwerken entspricht. So könnten mit Windgas auch längere „Dunkelflauten“ – also Phasen mit wenig Wind und Sonne – abgedeckt werden.

Im März 2011 stellt Greenpeace Energy das Windgas-Konzept – das als „Power to Gas“ bis dato nur wenigen Spezialisten bekannt war – erstmals der breiten Öffentlichkeit vor. Es ist die Zeit intensiver Debatten um den ökologischen und sicheren Umbau unserer Stromversorgung. Gerade erst hat das Reaktorunglück von Fukushima die Welt erschüttert – und in Deutschland den raschen Atomausstieg eingeleitet. Gute Konzepte für eine erneuerbare Versorgung sind gefragt denn je – und Windgas trifft den Nerv, das Interesse der Medien ist groß.

### ANERKENNUNG AUS DER FACHWELT

Doch noch fehlen die rechtlichen Rahmenbedingungen, um Windgas überhaupt ins Netz einspeisen zu können. Mit einem parlamentarischen Abend in Berlin gelingt es Greenpeace Energy, das Konzept auf die politische Agenda zu heben – mit Erfolg: Windgas wird kurz darauf ins

Energiewirtschaftsgesetz aufgenommen und dort im Wesentlichen mit Biogas gleichgestellt.

Der Weg für eine Vermarktung ist frei – und schon im Sommer 2011 können Gas-Kunden in den neuen *pro*Windgas-Fördertarif wechseln, dem ersten dieser Art in Deutschland. Die Nachfrage übertrifft die Erwartungen: Innerhalb weniger Wochen haben sich bereits mehr als 3.000 Verbraucher für das neue Angebot entschieden. Nachdem im Oktober die Gas-Belieferung der Kunden beginnt, steigt die Zahl der Verträge bis zum Jahresende sogar auf 5.000 an. Noch im Herbst startet Greenpeace Energy ein spezielles Beratungsangebot für den Windgas-Einsatz in Mikro-Blockheizkraftwerken und informiert über Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeit. Schon ein halbes Jahr später geht das erste Mikro-BHKW eines *pro*Windgas-Kunden in Betrieb.



## AUS WIND WIRD WASSERSTOFF!

proWindgas, unser Speicher für erneuerbare Energie



städtischebetriebe  
haßfurt

windgas  
haßfurt



Die innovative Idee findet schnell in Fachwelt und Politik Anerkennung: Der Utopia Award des gleichnamigen Portals für nachhaltigen Konsum geht noch im Herbst 2011 an proWindgas. Und im darauffolgenden Jahr hebt der damalige Bundesumweltminister Peter Altmaier in einem Zehn-Punkte-Programm zur Energiewende die Rolle von Windgas als „besonders interessant“ hervor. Das Konzept wird zudem vom Bundespräsidenten und von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt als ausgewähltes Projekt auf der „Woche der Umwelt“ im Park von Schloss Bellevue präsentiert.

Der 12. Dezember 2014 ist kalt und diesig im brandenburgischen Prenzlau. Dennoch wollen an diesem Wintermorgen Journalisten, Dutzende Neugierige und sogar das japanische Fernsehen diesen historischen Moment miterleben: Die offizielle Einspeisung von Windgas für die Kunden von Greenpeace Energy ins öffentliche Gasnetz beginnt – und dies nur wenige Monate nach dem Baubeginn der Mischstation, in der Erdgas und das Windgas aus einem Alkali-Elektrolyseur der Firma Enertrag zusammengeführt werden.

### WINDGAS REIF FÜR DEN MARKT

Prenzlau zeigt: Die Windgas-Technologie ist reif für den Markt. Dass sie sogar zum entscheidenden Baustein für eine konsequente Energiewende werden könnte, konstatiert eine wichtige Studie, die Greenpeace Energy im August 2015 präsentiert. Die Politik indes versäumt es, mit der im Sommer 2016 beschlossenen EEG-Reform wichtige Weichen zu stellen, um der Wasserstoff-Technologie im großen Maßstab zum Marktdurchbruch zu verhelfen.

Doch die Windgas-Story geht weiter, ihr jüngstes Kapitel wird in Unterfranken geschrieben: Greenpeace Energy und die Städtischen Betriebe Haßfurt nehmen im Oktober 2016 einen Elektrolyseur der neuesten Generation in Betrieb, der die inzwischen 14.000 proWindgas-Kunden der Energiegenossenschaft versorgen soll. Bereits ab 2017 sollen sie von den beiden Anlagen in Prenzlau und Haßfurt pro Jahr mit rund zwei Millionen Kilowattstunden des Öko-Wasserstoffs versorgt werden. //

## 3 FRAGEN AN NILS MÜLLER



### NILS MÜLLER

ist seit 2014 Vorstand des bundesweit aktiven Ökoenergieanbieters Greenpeace Energy eG. Zuvor war der studierte Betriebswirt Geschäftsführer von Planet energy, der Kraftwerkstochter der Energiegenossenschaft.

? 2011 führte Greenpeace Energy proWindgas als Innovation in den Gasmarkt ein. War das ein Risiko?  
**NILS MÜLLER** Wir hatten uns das zwar gut überlegt, riskant war es trotzdem. Vorher kannten ein paar Dutzend Experten Windgas, noch weniger glaubten an den Erfolg von erneuerbarem Wasserstoff und Methan. Schließlich steckte die Technologie noch in den Kinderschuhen, für die Energiewirtschaft und die Politik war Windgas kein Thema. Wir haben es trotzdem gemacht und sind heute natürlich froh, dass wir die Bedeutung von Windgas oder Power to Gas für den Erfolg der Energiewende schon früh erkannt haben. Denn die kann nur mit einem leistungsstarken Langzeitspeicher für die Erneuerbaren gelingen – und da ist Windgas unschlagbar und unverzichtbar.

? Was war der größte Lerneffekt in dieser Zeit?  
**NILS MÜLLER** Wie mühsam es ist, eine neue Technologie voranzubringen. Wir haben – zusammen mit dem Windgas-Erfinder Prof. Sterner aus Regensburg und anderen – Studien erstellt, Fachkonferenzen beackert, Artikel geschrieben und Vorträge gehalten, bis sich Verbände, Medien und schließlich Politiker endlich damit zu beschäftigen begannen. Es hat sich zum Glück aber bestätigt: Eine Idee, deren Zeit gekommen ist, setzt sich

gegen alle Widerstände durch. Inzwischen haben wir viele Mitstreiter, die Industrie steigt ein, die Deutsche Energie-Agentur macht sich für Power to Gas stark. Dazu ist die Technologie für die Serienfertigung bereit. Das wird ein wichtiger Durchbruch, denn dann sinken die Preise für Windgas und der Markt wächst.

? Was sind die Ziele für die nächsten fünf Jahre?  
**NILS MÜLLER** Spätestens 2020 müssen wir in großem Stil in die Windgas-Technologie einsteigen. Das erfordern schon die Paris-Ziele: Bis 2030 muss der Ausstieg aus der Braunkohle gelingen, dann übernehmen die Erneuerbaren endgültig die Hauptlast der Stromproduktion, bis 2040 müssen Deutschlands Treibhausgas-Emissionen auf null sinken. Deshalb ist es entscheidend, dass die Bundesregierung Windgas jetzt rasch in ihre Energieszenarien einplant. Das ist bislang nicht der Fall. Dabei braucht Windgas keine Subventionen, es braucht nur den Abbau unfairer Marktthemnisse. Daran arbeiten wir. Und parallel dazu steigern wir natürlich den Wasserstoff-Anteil in unserem proWindgas.

# WIRTSCHAFT MACHT WINDGAS

Von Stadtwerken bis hin zu Automobilkonzernen – branchenübergreifend erkennen immer mehr Unternehmen das Potenzial von Power to Gas. Die Wettbewerbsfähigkeit der Technologie wird aber nach wie vor politisch erschwert.

Wie sehr der Windgas-Markt in Bewegung ist, zeigen allein die Meldungen aus den letzten Monaten: So präsentierte der französische Konzern Alstom Ende September auf der Bahntechnik-Messe „innotrans“ in Berlin den weltweit ersten Brennstoffzellen-Zug. Bis 2020 sollen 14 der „Coradia iLint“ genannten Züge zwischen Cuxhaven und Buxtehude fahren, wie Niedersachsens Wirtschaftsminister Olaf Lies mitteilte. Bislang reisen Bahnpassagiere auf der Strecke per Dieselantrieb. Die Technik könne einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten, ergänzte Lies, wenn die Brennstoffzellen mit Wasserstoff aus überschüssigem Windstrom betrieben würden. Andere Bundesländer wollen nachziehen, ein hoher Windgas-Bedarf ist absehbar.

## HIGHTECH-MOBILITÄT MIT WASSERSTOFF

Für Aufsehen sorgte im September auch die „Energy Observer“, ein ebenfalls in Frankreich entwickelter Hightech-Katamaran ([www.energy-observer.org](http://www.energy-observer.org)), der ausschließlich mit an Bord erzeugten erneuerbaren Energien von Februar 2017 an die Welt umrunden soll. Wenn Solarzellen und Windrotoren mehr Strom erzeugen, als das Schiff verbraucht, wird der Überschuss mit einem Mini-Elektrolyseur in Wasserstoff umgewandelt, gespeichert und per Brennstoffzelle rückverstromt, sobald Wind- und Solarenergie nicht genügend Antrieb liefern.

Im Energiesektor hat Greenpeace Energy, das bereits im Oktober 2011 ein *proWindgas*-Produkt auf den Markt gebracht hat, inzwischen erste Nachahmer. So betreiben die Stadtwerke Mainz seit 2015 in ihrem Energiepark die derzeit größte PEM-Elektrolyseanlage (zur Technik ----> S. 18) der Welt mit einer Leistung von sechs Megawatt. Der aus Ökostrom gewonnene Wasserstoff wird an eine Wasserstofftankstelle für Brennstoffzellen-Fahrzeuge geliefert, als hochreines Industriegas genutzt oder im Gasnetz gespeichert. Andere städtische Versorger wollen folgen: Im fränkischen Haßfurt ging im Oktober ein PEM-Elektrolyseur ans Netz (----> S. 20), als Nächste wollen Neumünster und Pirmasens erneuerbaren Wasserstoff in ihr Energiesystem integrieren, weitere Stadtwerke arbeiten ebenfalls an diesem Schritt.

Dass neben kommunalen Energieversorgern auch Konzerne wie E.ON/Uniper oder RWE/innogy mit der Windgas-Technologie experimentieren und eigene Elektrolyseure betreiben, ist zwar nicht unbedingt überraschend. Es zeigt aber, wie sehr das Power-to-Gas-Prinzip inzwischen auch von der konventionellen Strom- und Gaswirtschaft ernst genommen wird – weil sie dessen großes wirtschaftliches Potenzial erkannt hat. Denn alle Energie-Strategen wissen, dass das Problem der bislang noch fehlenden Langzeitspeicher bei hohen Erneuerbaren-Anteilen im künftigen Energiesystem ebenso gelöst werden muss wie der



„Coradia iLint“: den weltweit ersten Brennstoffzellen-Zug präsentierte der Bahnkonzern Alstom im September

Ersatz fossiler Energieträger wie Benzin, Diesel, Kerosin & Co. im Verkehrssektor, im Wärmebereich oder in der Industrie. Das geht nur mit Power to Gas. Wer hier ins Spiel kommen will, muss erneuerbaren Wasserstoff oder Methan im Angebot haben.

Die VW-Tochter Audi mischt bereits mit und betreibt im niedersächsischen Werlte einen Wasserstoffelektrolyseur. Das hier produzierte „e-Gas“ wird in Methan umgewandelt und ist an rund 650 deutschen Erdgastankstellen verfügbar. Mit dem synthetischen Methan deckt Audi den Verbrauch von Kunden seiner g-tron genannten Erdgas-Modelle ab und senkt so – wenn auch in noch geringem Umfang – den Flottenverbrauch seiner Spritschlucker.

## INDUSTRIE-PLATTFORM POWER TO GAS

Immer mehr Industrie- und Technologiefirmen schließen sich auf der Power-to-Gas-Plattform der Deutschen Energie-Agen-

tur (dena) zusammen, um Wissen zu teilen und die Technik wie auch die politischen Rahmenbedingungen zu verbessern ([www.powertogas.info](http://www.powertogas.info)).

Sie eint nicht nur ein Interesse an neuen wirtschaftlichen Chancen durch die Energiewende, sondern auch Kritik an mangelnder Unterstützung aus der Politik. Denn noch wird Windgas stark benachteiligt (----> S. 26).

Da würden es viele sicher sehr schätzen, wenn Niedersachsens Wirtschaftsminister Lies seinen schönen Worten vom Wasserstoff aus überschüssigem Windstrom für die neue Brennstoffzellen-Bahn Taten folgen ließe – in Form von Gesetzesinitiativen. Einen Anstoß könnte er auch gleich seinem niedersächsischen SPD-Kollegen geben: Sigmar Gabriel. Denn bislang verweigert der Bundeswirtschaftsminister Power to Gas eine faire Chance im Energiemarkt. //

# NEUE STUDIEN ZU WINDGAS

## ERFOLGSGARANT FÜR DIE ENERGIEWENDE

**Wie wichtig erneuerbarer Wasserstoff und Methan für die Energiewende sind, haben diverse Studien untersucht. Trotz Abweichungen bei Teilaspekten sind sich die meisten Wissenschaftler einig: Nur mit Windgas gelingt die vollständige Dekarbonisierung Deutschlands.**

Anfang Oktober hat Deutschland das Weltklimaschutzabkommen von Paris ratifiziert. Bereits im November könnte es in Kraft treten und die internationale Gemeinschaft mit der Umsetzung der Paris-Ziele beginnen: Sie will den Anstieg der globalen Temperaturen „möglichst“ auf 1,5 Grad Celsius begrenzen, um katastrophale Folgen des Klimawandels abzuwenden.

So erfreulich das ist, die nötigen Konsequenzen aus dem völkerrechtlich verbindlichen Abkommen will die Bundesregierung bislang nicht recht ziehen. Eigentlich müsste die deutsche Energiewende nach Paris deutlich beschleunigt werden und der Ausstoß von Treibhausgasen schon bis 2040 auf null sinken. Doch Berlin hält weiter am Zieljahr 2050 fest und will bis dahin einen Anteil von 80 Prozent erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung erreichen. Zu wenig also. Und zu spät.

### 100 PROZENT SIND MÖGLICH

An fehlendem Wissen kann es nicht liegen. Schon im August 2015 haben Forscher der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH) und des Berliner Analyseinstituts Energy Brainpool aufgezeigt, wie sich 100 Prozent klimafreundlicher Strom aus Wind, Sonne und Co. kostengünstig erreichen lassen. Und dies – wichtig für eine Industrienation wie Deutschland – ohne Abstriche an der Versorgungssicherheit.

In ihrer Studie „Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für das Gelingen der Energiewende“ gelangten die Wissenschaftler um den Regensburger OTH-Professor Michael Sterner und den Berliner Energiemarkt-Spezialisten Thorsten Lenck zu spannenden Erkenntnissen (bei denen die ehrgei-

zigen Ziele in Folge des Paris-Abkommens noch nicht eingerechnet werden konnten): Danach lässt sich in Deutschland durch den Einsatz der Windgas-Technologie – also durch die Umwandlung von erneuerbarem Strom per Elektrolyse in Wasserstoff (und in einem zweiten Schritt in Methan) – bis 2050 eine Versorgung mit 100 Prozent erneuerbarem Strom erreichen. Nach den Plänen der Bundesregierung wären maximal 86 Prozent möglich. Eine erneuerbare Vollversorgung wäre mit Windgas zudem volkswirtschaftlich um Milliarden Euro jährlich günstiger als im Regierungsszenario mit 80 Prozent erneuerbaren und 20 Prozent fossilen Energien.

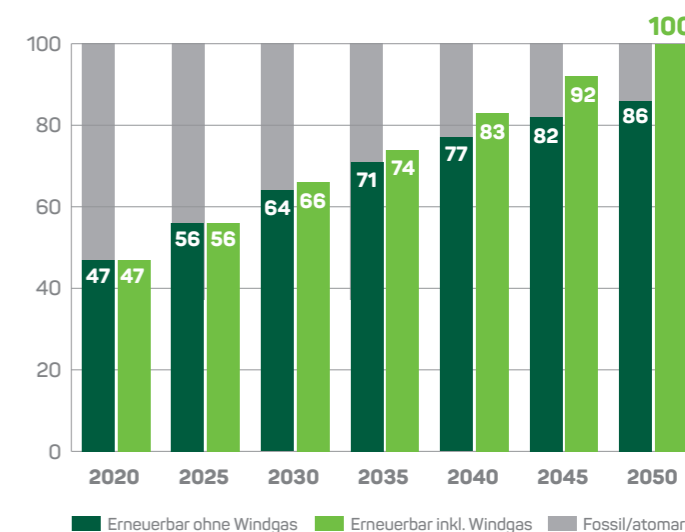
„Die Anfangsinvestitionen in den Ausbau von Windgas-Anlagen erhöhen die Kosten eines Stromsystems mit Windgas zwar zunächst“, erklärt Prof. Sterner, „diese Ausgaben amortisieren sich aber zusehends und werden bis 2050 deutlich überkompensiert, wie die berechneten Szenarien zeigen.“ Dabei waren die Kostenannahmen beim Vergleich eines Stromsystems mit und ohne Windgas konservativ und nicht zugunsten der Windgas-Variante ausgelegt.

### MIT WINDGAS WIRD ES GÜNSTIGER

Der Kostenvorteil für das Windgas-System ergibt sich unter anderem aus den vermiedenen Kosten für den Import



## MÖGLICHER ERNEUERBAREN- ANTEIL MIT UND OHNE WINDGAS



fossiler Energieträger und für den Erwerb von CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten für deren Verbrennung. Zudem können mit Windgas Stromüberschüsse sinnvoll genutzt werden, es geht keine Kilowattstunde erneuerbarer Strom mehr verloren. Im Jahr 2050 liegt die jährliche Kostenersparnis mit Windgas im Systemvergleich zwischen fast zwölf und knapp 18 Milliarden Euro, ermittelte das Forscherteam.

Dabei erweist sich als günstig, dass für die Speicherung des erneuerbaren Wasserstoffs und Methans das vorhandene, bereits bezahlte Gasnetz genutzt werden kann – auch dann noch, wenn aus Klimaschutzgründen kein fossiles Erdgas mehr verbrannt werden darf. Die Speicherkapazitäten (mitsamt der unterirdischen Lagerstätten) reichen aus, um bis zu

### WARUM WINDGAS DIE ENERGIEWENDE SICHER MACHT UND KOSTEN SENKT

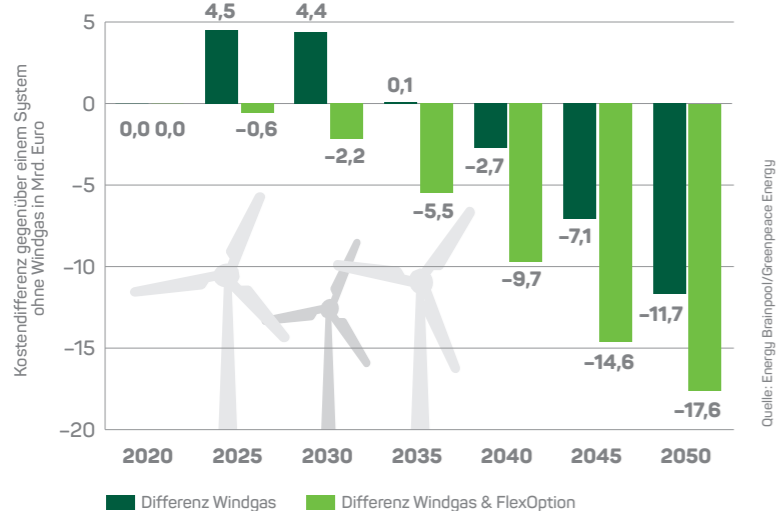
Lang- und Kurzfassung einer Windgas-Studie der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg und Energy Brainpool, August 2015







## VERRINGERUNG DER ENERGIE- WENDEKOSTEN DURCH WINDGAS



drei Monate lange „Dunkelflauten“ zu überbrücken. In solchen Phasen mit wenig Wind und geringer Sonneneinstrahlung werden die eingespeicherten Gase über Gaskraftwerke rückverstromt. Damit ist ein zentrales Argument von Energiewende-Kritikern widerlegt, mit erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne lasse sich in Deutschland keine sichere Stromversorgung gewährleisten.

### EINE SICHERE ENERGIEVERSORGUNG

Die Stromüberschüsse im Zuge der Energiewende werden bis 2050 stark anwachsen: 154 Terawattstunden im Jahr 2050 prognostizieren die Wissenschaftler, das entspricht 20 Prozent der deutschen Stromerzeugung im Jahr 2012. Wie hoch der Bedarf an Elektrolyse-Kapazitäten ist, um diese

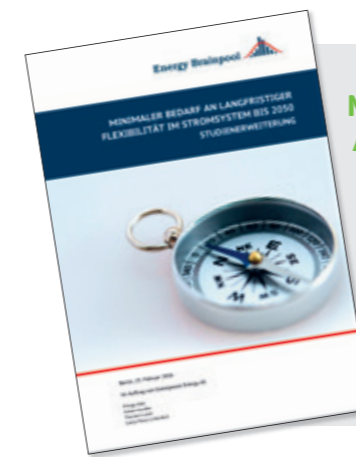
rechnungen, wäre ein Netzanschluss von 1 Gigawatt Elektrolyseuren jährlich spätestens ab dem Jahr 2020, die Zubauemenge sollte dann alle fünf Jahre verdoppelt werden. So sind die rund 80 Gigawatt an Windgas-Elektrolyseuren erreichbar, die zum Erhalt der Versorgungssicherheit beim Erreichen der 100-Prozent-Erneuerbaren-Marke im Jahr 2040 notwendig sind.

### PREISE WERDEN ZÜGIG SINKEN

„Die Technologie ist reif für den Einstieg in die Serienfertigung, mit der die Windgas-Anlagenpreise zügig fallen“, sagt der OTH-Speicherexperte Prof. Sterner. Zwar ist sie noch zu kostenintensiv, um über kleine ökologisch motivierten Nischen- und Pioniermärkte hinaus Fuß zu fassen. So ist

Menge in Windgas umzuwandeln, präzisierte Energy Brainpool in einer Kurzstudie von Februar dieses Jahres (siehe Studien-Kasten → S. 17): „Spätestens bei einem Anteil von dann 74 Prozent Erneuerbaren im Stromsektor wird Windgas systemnotwendig“, erklärt Studienleiter Thorsten Lenck. Ab dann sei ohne Elektrolyseure keine sichere Stromversorgung mehr möglich, selbst wenn alle anderen sogenannten Flexibilitätsoptionen (Definition → S. 7) vollständig ausgeschöpft wären.

Unter dem Druck der Paris-Ziele muss der Ausbau der Windgas-Kapazitäten zügig beginnen: Kostenoptimal, ergaben neue Berechnungen, wäre ein Netzanschluss von 1 Gigawatt Elektrolyseuren jährlich spätestens ab dem Jahr 2020, die Zubauemenge sollte dann alle fünf Jahre verdoppelt werden. So sind die rund 80 Gigawatt an Windgas-Elektrolyseuren erreichbar, die zum Erhalt der Versorgungssicherheit beim Erreichen der 100-Prozent-Erneuerbaren-Marke im Jahr 2040 notwendig sind.



### MINIMALER BEDARF AN LANGFRISTIGER FLEXIBILITÄT IM STROMSYSTEM

Kurzstudie zur Erweiterung der Windgas-Studie 2015 des Berliner Analyseinstituts Energy Brainpool, Februar 2016

Windgas derzeit nur marktfähig in der grünen Wärmeversorgung über Modelle wie das Gasprodukt *proWindgas* von Greenpeace Energy oder als aus grünem Strom gewonnener Kraftstoff für ökologisch motivierte Autofahrer.

Doch Forschungsinstitute, Anlagenbauer und Energieunternehmen arbeiten bereits intensiv daran, die Wirkungsgrade der verschiedenen Elektrolyseverfahren (siehe dazu auch → S. 18–19) deutlich zu steigern und zusätzlich durch neue Technologien die Produktionskosten zügig zu senken. Das Verbesserungspotenzial ist beträchtlich, wie auch andere Erneuerbaren-Technologien schon bewiesen haben.

Bei der Photovoltaik zum Beispiel sanken die Kosten im Zeitfenster 1980 bis 2013 laut einer Untersuchung des Fraunhofer ISE-Instituts um 20 Prozent je Verdopplung der installierten Leistung. In ihrer Studie von 2015 wählten die Regensburger Forscher um Prof. Sterner einen konservativeren Wert von 13 Prozent Kostenabsenkung bei der Wasserstoffproduktion je Verdopplung der installierten Leistung. Doch auch dann sinken die Investitionskosten binnen nur

fünf Jahren von durchschnittlich 2.000 Euro im Jahr 2014 auf ca. 600 Euro pro Kilowatt Elektrolyseurleistung. Bei der Methanproduktion sinken die Anlagenkosten im gleichen Zeitraum von durchschnittlich 3.000 Euro auf rund 850 Euro je Kilowatt.

### HÜRDEN DURCH DIE POLITIK

Bei einer frühen Marktentwicklung mit entsprechender Kostendegression könnte Power to Gas so zügig konkurrenzfähig werden. Noch aber wird Windgas in vieler Hinsicht durch unfaire Regeln im Markt benachteiligt und durch hohe zusätzliche Abgaben belastet. Trotz seiner Bedeutung für das Gelingen der Energiewende wird es zudem weder im Erneuerbaren-Energien-Gesetz noch in den Energieszenarien der Bundesregierung berücksichtigt (siehe auch → S. 26–27). Das aber wäre nötig, um es möglichst system- und kostenoptimal in die künftige erneuerbare Energieerzeugung zu integrieren. Schließlich hat Windgas im Vergleich mit anderen Speichertechnologien einen Kostenvorteil aufgrund seiner Vorzüge als Langzeitspeicher: „Soll Strom in großen Mengen über Zeiträume länger als eine Woche gespeichert werden, ist Windgas in Deutschland mit Abstand die günstigste Technologie“, resümiert Prof. Michael Sterner. Und ohne Langzeitspeicher wird die Energiewende nicht gelingen.

Zudem ist Windgas nicht nur im Stromsektor von zentraler Bedeutung: Power to Gas ist ebenso für Mobilität, Wärme und Industrie unverzichtbar, weil auch dort die CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch sinken müssen (zum Thema Sektorkopplung siehe auch → S. 22–25). //

# POWER TO GAS

## IM FOKUS DER FORSCHUNG

**Diverse Pilotprojekte forschen derzeit an der Optimierung der Elektrolyse zur möglichst effizienten Gewinnung von erneuerbarem Wasserstoff. Denn das Potenzial für Verbesserungen ist längst nicht ausgereizt. Noch liegt Deutschland technologisch in der Spitzenposition.**

Zur Umwandlung von Wind- und Solarenergie in erneuerbaren Wasserstoff werden derzeit vor allem die Alkali-, die Hochtemperatur- sowie die PEM-Elektrolyse in rund 30 Pilotprojekten erprobt. Während es bei der Hochtemperatur-Elektrolyse noch überwiegend um Grundlagenforschung geht, wird bei den beiden anderen Verfahren vor allem an der Verbesserung des Wirkungsgrades und an einer günstigen Serienfertigung gearbeitet – und damit an der raschen Senkung der Windgas-Kosten.

### ALKALI-ELEKTROLYSE

Das am besten erprobte und derzeit günstigste Verfahren ist die Alkali-Elektrolyse. Kein Wunder: Das Prinzip ist bereits seit rund 80 Jahren im industriellen Einsatz. Hierbei wird Wasser ( $H_2O$ ) mithilfe von Gleichstrom, der zwischen einer Kathode (negative Elektrode) und einer Anode (positive Elektrode) fließt, unter Zugabe von Kalilauge in seine Bestandteile Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) zerlegt. Das Verfahren hat aber noch erhebliches Verbesserungspotenzial. So gehen Experten davon aus, dass sich der Wirkungsgrad bei der Wasserstoff-Produktion per Elektrolyse von derzeit 54 Prozent auf bis zu 84 Prozent im Jahr 2050 steigern lässt. Neben Enertrag, aus dessen Alkali-Elektrolyseur im brandenburgi-

schen Prenzlau Greenpeace Energy bereits jetzt Wasserstoff bezieht, arbeitet z.B. auch der Energiekonzern EON an der Weiterentwicklung der Technik.

### PEM-ELEKTROLYSE

Die derzeit effizienteste Form zur Umwandlung von Ökostrom in Wasserstoff ist das PEM-Verfahren (Proton-Exchange-Membrane). Dieser Anlagentyp besteht aus einer für Protonen durchlässigen Polymer-Membran, die eine Reaktion ohne die Zugabe chemischer Hilfsmittel ermöglicht. Der Elektrolyseur erreicht durch seine Bauart schon wenige Sekunden nach dem Start seine Betriebstemperatur und kann im Betrieb binnen Millisekunden auf Schwankungen im Stromnetz reagieren. Dabei produziert er Windgas von sehr hoher Reinheit. Der Wirkungsgrad liegt aktuell bei ungefähr 67 Prozent und soll auf deutlich über 80 Prozent steigbar sein. Allerdings ist die vergleichsweise junge Technologie noch nicht so ausgereift wie die Alkali-Elektrolyse. Zudem ist sie bei den Kosten je Kilowatt installierter Leistung noch etwas teurer als die Alkali-Elektrolyse. Derzeit arbeiten in Deutschland unter anderem Enertrag, H-TEC und Siemens an der Verbesserung der Anlagen bis zur Serienfertigung, was die Wasserstoff-Preise sinken lassen wird.



**Vierversprechende Forschung: Hochtemperatur-Dampfelektrolysekammer von sunfire in Dresden**

### HOCHTEMPERATUR-ELEKTROLYSE

Mit einem Wirkungsgrad von bis zu 90 Prozent ist die Hochtemperatur-Elektrolyse eine vielversprechende Alternative – aber noch in einem frühen Stadium der Entwicklung. Hier wird eine Keramikmembran zur Elektrolyse eingesetzt. Statt Wasser wird auf 800 Grad erhitzter Wasserdampf zugeführt. Auch dieses Verfahren läuft chemiefrei ab, zudem muss pro Kilowattstunde Wasserstoff weniger Strom als bei der Alkali-Elektrolyse eingesetzt werden. In der Grundlagenforschung für diesen Anlagentyp engagiert sich unter anderem die deutsche sunfire GmbH.

### TECHNOLOGIEFÜHRER DEUTSCHLAND

Bei der Power-to-Gas-Technologie nimmt Deutschland derzeit weltweit eine Vorreiterrolle ein. Prof. Michael Sterner,

einer der Entwickler des Windgas-Konzepts, sieht darin eine große Chance für künftiges Wirtschaftswachstum: „Nach aktuellem Stand könnten wir hier zum klimafreundlichen Exportweltmeister werden. Wir sollten den Vorsprung beim Ausbau von Langzeitspeichern für erneuerbare Energien also halten“, so Sterner. „Die Windgas-Technologie, die wir in Deutschland entwickeln, wird früher oder später global relevant. Dieses Potenzial haben aber auch schon Staaten wie die USA oder China erkannt.“

Auch bei anderen Technologien für die Umwandlung erneuerbarer Energien (Power to X) ist Deutschland führend in der Forschung: etwa bei Power to Heat (Wärmespeicher), Power to Liquid (erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe) oder Power to Chemicals (Grundstoffe für die Chemieindustrie). //

# MEILENSTEIN AM MAIN

## NEUER WINDGAS-ELEKTROLYSEUR IN HASSFURT



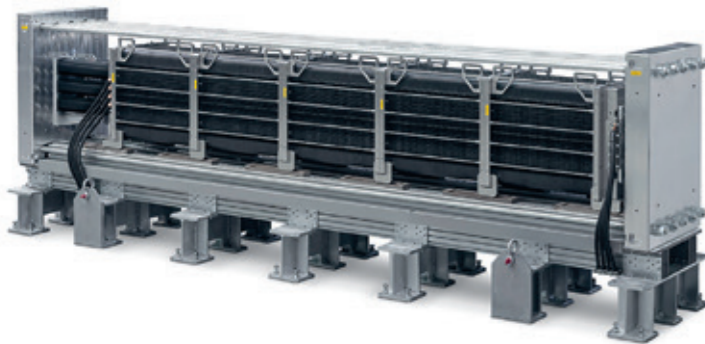
Wie ein innovatives fränkisches Stadtwerk mit Greenpeace Energy bei der Energiewende vorangeht und zum Vorbild für andere kommunale Energieversorger wird.

Die Zukunft der Energieversorgung kommt so sauber daher wie ein Testgerät im Reinraumlabor: In einem Stahlrahmen hinter blank poliertem Sicherheitsglas schimmern 250 schwarze Kunststoffzellen voller Hightech-Membranen. Armdicke, mit glänzendem Metallgeflecht ummantelte Schläuche pumpen Wasser in die „Stacks“ – und Wasserstoff und Sauerstoff aus den Zellen-Paketen hinaus. Ein intensives Summen erfüllt die Luft, sonst ist es in diesem Zweckbau am Mainhafen von Haßfurt so still, dass man das Klackern der Laptop-Tastaturen hört, auf denen die Ingenieure ihre Kommandos tippen.

Zufrieden lugt ihnen Norbert Zösch über die Schulter. Der Stadtwerk-Chef der fränkischen 14.000-Einwohner-Stadt

ist selbst Ingenieur und neugierig, wie sich die jüngste Erfindung seines Energiewende-Werkzeugkastens in der Praxis schlägt. Alle Werte im laufenden Betriebstest leuchten grün. Der „Silyzer 200“ von Siemens, ein Elektrolyseur der neuesten Generation mit 1,25 Megawatt Leistung, ist eines von weltweit sechs Modulen dieser Bauart, die erneuerbaren Strom in Windgas wandeln – in klimafreundlichen Wasserstoff, der ins Gasnetz eingespeichert werden kann. In dem sogenannten PEM-Elektrolyseur wird Wasser mithilfe von Polymer-Membranen in seine Bestandteile aufgespalten. Als Nebenprodukt entweicht Sauerstoff durch ein schalldämpftes Ventil nach außen, damit bloß kein Zischen die Nachbarn stört. „Wir sollten den Status als Luftkurort beantragen“, scherzt Zösch. Realistischer dürfte es allerdings sein, den Sauerstoff später zu verkaufen.

„Sauberer und effizienter geht es kaum“, sagt Nils Müller, Vorstand der Energiegenossenschaft Greenpeace Energy, die den Elektrolyseur gemeinsam mit dem Stadtwerk betreibt. „Mit überschüssigem Strom aus dem nahen Bürgerwindpark Sailershäuser Wald und aus weiteren Windenergie- und Solaranlagen werden wir hier künftig pro Jahr eine Million Kilowattstunden Öko-Wasserstoff für unsere proWindgas-Kunden erzeugen.“



(v. li.): Nils Müller, Greenpeace Energy, Bürgermeister Günther Werner und Stadtwerk-Chef Norbert Zösch

Zösch ruft auf dem Computer die Leitstellen-Software des Stadtwerks auf, für Laien ein Gewirr aus Linien, Zahlen und Symbolen. Auf dem Bildschirm heben und senken sich Kurven und Balken. „Hier sehen wir in Echtzeit den Stromverbrauch von Haßfurt und die Produktion aller erneuerbaren Kraftwerke in unserem Netz“, erklärt Zösch. „Wenn wir mehr produzieren, als wir verbrauchen, kann der Elektrolyseur binnen Millisekunden auf volle Leistung hochgefahren werden, um das Stromnetz zu stabilisieren.“ Auch dies ein wichtiger Baustein für den Erfolg der Energiewende. Denn diese Fähigkeit entkräftet die Kritik, mit Wind- und Solar-kraft könne keine verlässliche Stromversorgung aufgebaut werden, weil deren Produktion je nach Wetter und Jahreszeit stark schwanken kann. „Diese Argumente sind von der Wirklichkeit längst überholt“, sagt Zösch. „Wir verdienen mit dem neuen Elektrolyseur sogar zusätzliches Geld für die Stromnetzstabilisierung.“

Ein weiterer Ansporn für den Stadtwerk-Chef, diese Innovation mit dem Windgas-Pionier Greenpeace Energy voranzutreiben. „Was wir hier heute als Technologie auf den Weg bringen“, sagt Nils Müller, „sind zentrale Elemente unseres künftigen Energiesystems: Wir erproben das Zusammenspiel von Wind- und Solarenergie mit leistungsfähigen erneuerbaren Speichern für eine stabile Energieversorgung.“ Er ist sicher, dass andere Stadtwerke bald folgen, denn die Preise für die Technologie werden zügig sinken – und damit der Preis für den Wasserstoff.

Die Anlage wird heruntergefahren. Alle Systeme laufen rund. Zufrieden klappen die Techniker ihre Rechner zu. Der Silyzer ist bereit für die Windgas-Produktion, die am 21. Oktober beginnt. In der unscheinbaren Halle einer kleinen Stadt mit großem Engagement steht dann ein neuer Meilenstein im Kampf gegen den Klimawandel. //

# BRÜCKEN-TECHNOLOGIE

## ENERGIEWENDE BEI INDUSTRIE, VERKEHR & CO.

**In der Stromversorgung haben die erneuerbaren Energien zwar Fortschritte gemacht. Doch für eine erfolgreiche Energiewende müssen auch in Verkehr, Wärmeversorgung und Industrie fossile Energieträger vollständig ersetzt werden. Diese Sektorkopplung kann nur mit Windgas gelingen.**

Es gab Zeiten, da galt Deutschland international als ein Vorbild bei der Energiewende. Mit einem gewissen Recht, denn kaum ein anderes Industrieland von dieser Bedeutung hatte sich ähnlich ernsthaft auf den Weg in eine erneuerbare Zukunft gemacht. Doch selbst der Musterknabe hat den weitaus größten Teil der Strecke noch vor sich: 2015 betrug der Anteil regenerativer Energien am gesamten deutschen Energieverbrauch gerade einmal 12,6 Prozent – es fehlen also noch 87 Prozent bis zu einer vollständigen Energiewende.

Diese ernüchternde Zahl präsentierte ein Wissenschaftler-Team der Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) um Prof. Volker Quaschnig in der Studie „Sektorkopplung durch die Energiewende“, die im Juni 2016 gemeinsam mit Greenpeace Energy vorgestellt wurde. Zwar betrug nach den Zahlen der Forscher der Erneuerbaren-Anteil im Stromsektor im Jahr 2015 immerhin rund 35 Prozent, dafür aber liegen andere Sektoren mit hohem Energieverbrauch beim Einsatz der Erneuerbaren noch weit zurück, ermittelten die Forscher: Die Raumwärme in privaten Haushalten wird zu lediglich 14 Prozent aus erneuerbaren Energien gedeckt, bei Warmwasser sind es neun Prozent. Die Prozesswärme in

Industrie, Gewerbe und Handel stammt gar nur zu vier Prozent aus erneuerbaren Quellen. Im Verkehrssektor ist es nicht besser: Ganze 4,4 Prozent des Energiebedarfs werden hier erneuerbar erzeugt.

Doch auch diese Sektoren müssen – als Konsequenz aus dem Weltklimaschutzabkommen von Paris – bis 2040 vollständig „dekarbonisiert“ werden, dürfen also kein Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder andere Treibhausgase mehr emittieren. Eine enorme Herausforderung. Aber auch eine, die Deutschland mit seinen technologischen Fähigkeiten und seiner wirtschaftlichen Kraft bewältigen kann.

### STROM SPIELT DIE ZENTRALE ROLLE

Strom aus erneuerbaren Energien wird dabei künftig eine zentrale Rolle spielen und nicht nur in Privathaushalten, sondern auch in den Sektoren Verkehr, Wärme und Industrie den Einsatz fossiler Energieträger wie Öl, Kohle und Gas zu großen Teilen ersetzen. Dadurch steigt der Stromverbrauch auch bei größter Energieeffizienz von heute 628 Terawattstunden (TWh) auf mindestens 1.320 TWh im Jahr 2040, prognostizieren die HTW-Forscher. In einem vollständig erneuerbaren Energiesystem, das sich auf Solar- und Windkraft stützt, die

je nach Wetter mal mehr, mal weniger Strom liefern, muss dieselbe Versorgungssicherheit herrschen wie heute üblich. Die nötigen Kapazitäten, um dann auch längere Flaute- und sonnenarme Phasen zu überbrücken, bietet nur Power to Gas (siehe auch → S. 15).

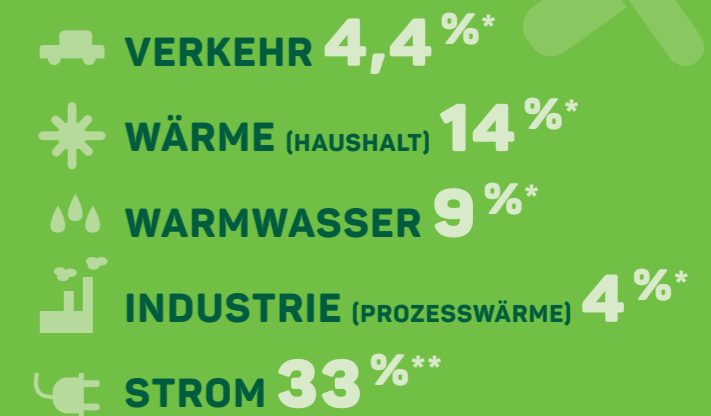
Doch selbst wenn die deutsche Pkw-Flotte in Zukunft fast ausschließlich aus Elektroautos besteht und wenn in der Industrie Produktionsprozesse weitgehend auf Strom umgestellt werden können, auch dann kann nicht aller Bedarf durch den direkten Einsatz von Strom gedeckt werden. Allein für den Schwerlastverkehr, für den Flugverkehr und für Containerschiffe, aber auch als Ersatz für bislang fossil erzeugte chemische Grundstoffe sind erneuerbarer Wasserstoff und synthetisches Methan unverzichtbar. Denn auf deren Basis lassen sich klimafreundliches Diesel und Kerosin herstellen, aber auch Ethen, Methanol und andere Grundprodukte der Mineralöl- und Chemieindustrie, die in enormen Mengen gebraucht werden.

In der umfassenden Studie „Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für das Gelingen der Energiewende“ von August 2015 bezifferte ein Team um Prof. Michael Sterner von der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH) den Bedarf im Verkehrs- und im Chemiesektor auf mehr als 640 TWh. „Nur durch den Einsatz von Windgas in der Kraftstoff- und Rohstoff-Herstellung können diese Sektoren ihre Klimaziele erreichen“, urteilt Sterner.

### ERNEUERBARE VOLLVERSORGUNG

Im Maximalfall wäre für die Vollversorgung aller Sektoren der deutschen Volkswirtschaft mit erneuerbaren Energien bei gleichzeitig nahezu vollständiger Dekarbonisierung von Industrie und Verkehr eine Windgas-Anlagenkapazität von mehr als 264 Gigawatt (GW) Einspeicherleistung notwendig. Durch den optimalen Einsatz aller verfügbaren Flexibilitätsoptionen (Begriffsdefinition auf → S. 7) dürfte sich die erforderliche Elektrolyseleistung aber auf knapp 80 GW reduzieren lassen (siehe auch → S. 16).

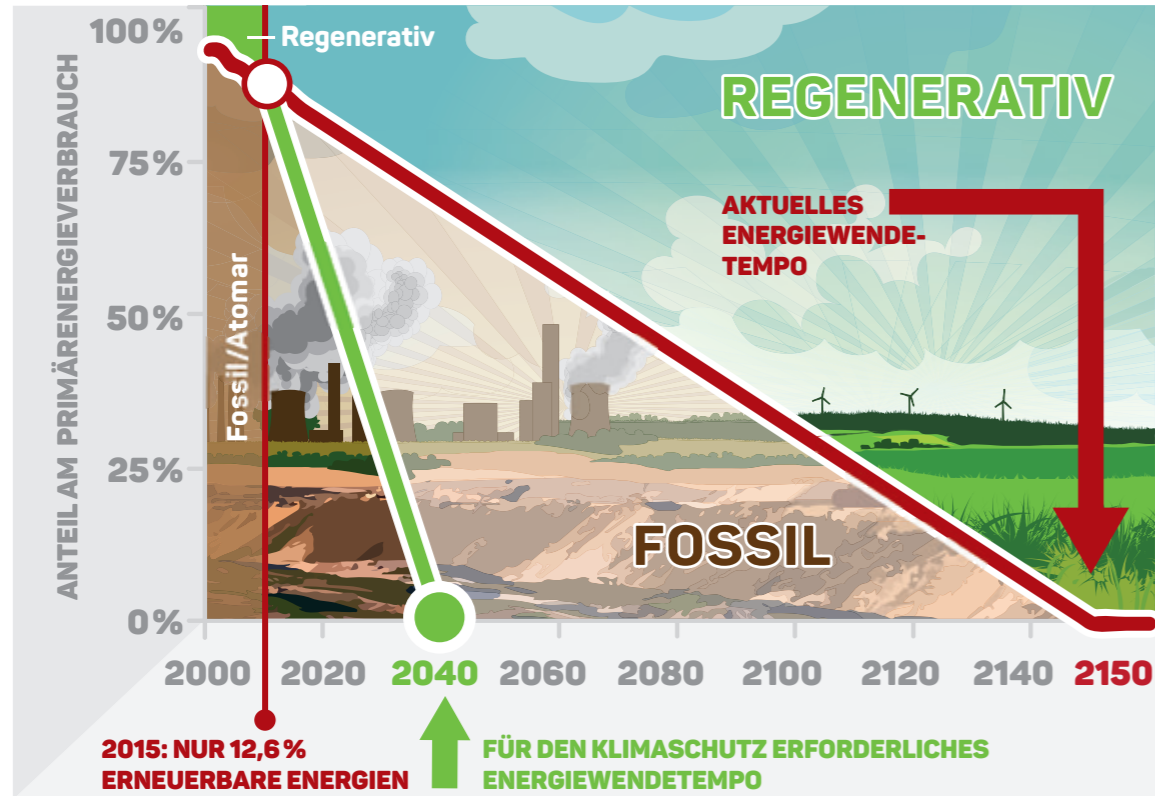
### NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DEUTSCHLAND



\*Daten 2014 Quelle BMWi – \*\*Daten 2015 Quelle HTW Berlin

## WINDGAS FÜR DIE ENERGIEWENDE

### AUSGANGSLAGE: PARIS-ZIELE ERFORDERN SCHNELLERE ENERGIEWENDE



- ▶ Das Ergebnis der HTW-Arbeitsgruppe um Prof. Volker Quaschnig deckt sich mit einer Greenpeace-Studie von Februar 2016:  
**Wir müssen die Energiewende bis 2040 schaffen.**
- ▶ Bei mittlerem Ausbautempo der Jahre 2000 bis 2015 würden Deutschland erst **2150 keine Treibhausgase mehr emittieren**; nach EEG 2016 lägen wir 2040 bei 30 Prozent EE und würden die Nullemission nie erreichen.
- ▶ **87 Prozent** der Energiewende liegen noch vor uns, denn
  - ▶ bislang gibt es Fortschritte nur im Stromsektor – wenn auch zu langsam
  - ▶ Verkehr, Wärmesektor und Industrie stehen bei der Dekarbonisierung noch fast bei Null.
- ▶ Notwendig ist also ein um den Faktor drei bis fünf schnellerer Ausbau der Erneuerbaren als von der Bundesregierung geplant, sonst sind die Paris-Ziele nicht zu erreichen.
- ▶ Aus der **Kohleverstromung müssen wir bis 2030 aussteigen**. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung hingegen nennt zum Kohleausstieg gar keinen Zeitpunkt mehr.

Mögen Studien des Bundesumweltministerium, des Bundeswirtschaftsministeriums und des Umweltbundesamtes zum Bedarf an Speicherlösungen für die Energiewende auch in manchen Aspekten zu unterschiedlichen Einschätzung gelangen und speziell beim Windgas-Bedarf zu anderen Ergebnissen kommen als die OTH-Wissenschaftler, so sind sie sich in einem zentralen Punkt doch weitgehend einig: Windgas wird – neben anderen Speicherlösungen – im Ergebnis dieser Untersuchungen in jedem Fall benötigt. Bei einem verzögerten Netzausbau wird es zur Behebung von Engpässen und Sicherstellung von Flexibilität gebraucht, bei planmäßigem Netzausbau zur Erhaltung der Systemstabilität und zur Dekarbonisierung der übrigen Energiesektoren. Alle erwähnten Studien empfehlen durchweg eine Förderung von Forschung und Entwicklung, um die Markteinführung von Speichertechnologien einschließlich Windgas voranzutreiben, damit es verfügbar ist, wenn es ab 2030 bis spätestens 2035 in großem Umfang systemnotwendig wird (siehe dazu auch → S. 16).

Für Prof. Michael Sterner ist der Ausbau der Windgas- oder Power-to-Gas-Kapazitäten entsprechend eine „no regret“-Option – man kann damit also nichts falsch machen. Denn Elektrolyseure sind sowohl für die Versorgungssicherheit eines vollständig erneuerbaren Stromsystems unverzichtbar als auch für die Produktion von erneuerbaren Gasen, die als Basis dienen für den Ersatz von fossilen Kraftstoffen im Verkehr und Grundstoffen der Chemieindustrie. Die dringend erforderliche Sektorkopplung, die Verknüpfung aller Wirtschaftssektoren und deren vollständige Dekarbonisierung, so Sterners Fazit, ist ohne Windgas nicht zu schaffen. //

# FAIRE CHANCEN

## WAS SICH FÜR WINDGAS ÄNDERN MUSS

Windgas muss. Weil sonst die Energiewende nicht klappt. Und die mittlerweile erreichten Fortschritte in der innovativen Speichertechnologie belegen: Windgas kann auch, was es muss. Das ist schon mal prima. Aber damit richtig Schwung in die Sache kommt, müssen wir noch ein Dilemma lösen. Und zwar dieses: Einerseits ist der Preis des erneuerbaren Gases, das aus Wind- oder Photovoltaikstrom gewonnen wird, derzeit noch hoch. Was daran liegt, dass die Windgas-Anlagen angesichts geringer Stückzahlen verhältnismäßig viel kosten und vor allem die regulatorischen Rahmenbedingungen nicht passen. Andererseits will die Politik – unter Verweis auf die hohen Windgas-Kosten – die Rahmenbedingungen derzeit nicht verbessern. So kann die Industrie wegen derzeit schlechter Absatzchancen die Produktionszahlen nicht hochfahren. Weshalb sich am hohen Preis vorerst nichts ändern wird.

### WEGE AUS DEM DILEMMA

Es gibt zwei Auswege aus dem Dilemma – auf beiden ist Greenpeace Energy aktiv: Mit unserem *proWindgas*-Produkt verändern wir den Markt. Das ist der erste Ausweg. *proWindgas* besteht heute aus einem kleinen Windgas- und einem großen Erdgas-Anteil. Durch die Mischkalkulation ist *proWindgas* dabei nicht teurer als viele Biogas-Angebote (die im Übrigen ebenfalls einen hohen Erdgas-Anteil aufweisen). Gleichzeitig jedoch können dank der Windgas-Nachfrage die ersten Elektrolyseure wirtschaftlich arbeiten. So ermöglichen die Kundinnen und Kunden von Greenpeace Energy, dass

die Windgas-Revolution technisch und marktlich ins Rollen kommt. Und es gibt uns Rückenwind, auch beim zweiten Ausweg aus dem Dilemma voranzukommen: dem Abbau der unfairen Rahmenbedingungen für Windgas.

### ENTLASTUNG FÜR VERBRAUCHER

Ein Beispiel: Klug platzierte Windgas-Elektrolyseure können Strom von solchen Windparks beziehen, die ansonsten etwa wegen Netzengpässen abgeschaltet werden müssten. Doch die heutigen Regularien erschweren dies; zudem fallen hohe Zusatzkosten an. Wenn man die Hürden abbaut, würde nicht nur Windgas mit einem Schlag viel günstiger. Weil keine Entschädigungen mehr an die Betreiber abgeschalteter Windkraftanlagen gezahlt werden müssten, könnten auch die Netzentgelte sinken – die Verbraucher würden unterm Strich entlastet.

Noch ein Beispiel: Meist entstehen die Netzengpässe nicht etwa, weil wir zu viel erneuerbaren Strom hätten. Vielmehr produzieren Kohlekraftwerke selbst bei starkem Wind oder Sonnenschein einfach mit hoher Leistung weiter, obwohl sie eigentlich gesetzlich verpflichtet wären, ihre Stromproduktion zu drosseln. Die Kohlemeiler nutzen dafür ein Schlupfloch: Weil sie sogenannte Systemdienstleistungen anbieten, die nötig sind, um das Stromnetz stabil zu halten, gelten sie als „must run“, wie das in der Energiewirtschaft heißt. Sie dürfen also weiterlaufen. Abgeregelt werden – trotz formalem Einspeisevorrang – die erneuerbaren Energien. Ein Riesenärger-

nis, das zu enormen Mehrkosten und zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Dabei gibt es eine Alternative: Windgas. Auch Elektrolyseure können Systemdienstleistungen anbieten. Und darüber hinaus können sie mit ihrem erneuerbaren Gas, das während längerer wind- und sonnenarmer Zeiten in Gaskraftwerken rückverstromt wird, die Kohlemeiler auch in der Stromproduktion vollends überflüssig machen.

Nur: Heute ist das bloß in Einzelfällen und im kleinen Maßstab bereits Realität. Warum? Weil es der heutige Rechtsrahmen so schwer macht, Windgas-Elektrolyseure zu bauen und zu betreiben. Netzbetreiber rücken die zur Standortauswahl nötigen Daten nicht heraus, Genehmigungsverfahren sind langwierig und kompliziert (und bieten dennoch keine ausreichende Rechtssicherheit), es gibt unnötige Zusatzkosten und Markthemmnisse.

### GRUND ZUM OPTIMISMUS

Natürlich kann das nicht so bleiben. Tut es auch nicht: Wir machen politischen Druck, wir schaffen mit wissenschaftlichen Untersuchungen die nötige Faktenbasis, die auch Skeptiker überzeugen kann. Und wir demonstrieren in der Praxis, dass Windgas wirklich funktioniert. Ganz wichtig sind hier auch die Kundinnen und Kunden von *proWindgas*. Sie ermöglichen überhaupt erst unsere Aktivitäten für Windgas. Und sie setzen ein wichtiges Signal, das in Politik und Branche bereits Wirkung zeigt. Das alles ist Grund genug für Optimismus. Wir werden

vermutlich noch Jahre für den Erfolg von Windgas kämpfen müssen; aber das kennen wir bereits aus der Auseinandersetzung um den Ausbau erneuerbarer Energien. Wir werden uns aber auch bei Windgas durchsetzen. Denn ebenso wie Windkraft, Photovoltaik und Co. hat auch Windgas noch ein Argument auf seiner Seite: Windgas ist nicht nur ein Muss, damit die Energiewende funktioniert. Es ermöglicht vor allem eine erneuerbare Energieversorgung, die sehr viel günstiger, smarter und sicherer ist als unser heutiges System. Und wenn alle ökologischen wie ökonomischen Argumente dafür sprechen – wer soll dann Windgas auf Dauer stoppen können? //



**MARCEL KEIFFENHEIM**  
leitet bei Greenpeace  
Energie den Bereich

**Politik und Kommunikation. Er studierte Politik und Völkerrecht und arbeitete mehr als 20 Jahre als Journalist, unter anderem für die Frankfurter Rundschau und das Greenpeace Magazin, bevor es ihn 2008 in die Energiepolitik zog.**

## Impressum

### Aus Wind wird Wasserstoff

Herausgeber:



Greenpeace Energy eG  
Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg  
Tel. 040 / 808 110-600  
Fax 040 / 808 110-666  
E-Mail: [info@greenpeace-energy.de](mailto:info@greenpeace-energy.de)  
Internet: [www.greenpeace-energy.de](http://www.greenpeace-energy.de)

Redaktion und Texte: Michael Friedrich (V. i. S. d. P.),  
Michelle König, Christoph Rasch, Marcel Keiffenheim

Korrektur: Katja Lange – [richtiggut.com](http://richtiggut.com)

Layout und Grafiken: Adrienne Rusch – [DieProjektoren.de](http://DieProjektoren.de)

Fotos/Bildnachweise: (S. 2) Enver Hirsch / Greenpeace Energy, (S. 6) Martin Künsting / Greenpeace Energy, (S. 8) Christoph Rasch / Greenpeace Energy, (S. 9) oeding print GmbH, Florian Jänicke / Greenpeace Energy, (S. 10) Jutta Krüger, Martin Künsting / Greenpeace Energy, Windgas Haßfurt GmbH, (S. 11) Enver Hirsch / Greenpeace Energy, (S. 13) Michael Wittwer / Alstom, (S. 19) sunfire GmbH, (S. 20) Siemens, (S. 21) Florian Jänicke / Greenpeace Energy, (S. 27) Henning Heide / Greenpeace Energy

- ▶ Die Windgas-Studien 2015 und 2016 (s. S. 14–17) finden Sie hier: [www.greenpeace-energy.de/service/download-center/windgas.html](http://www.greenpeace-energy.de/service/download-center/windgas.html)
- ▶ Die Webseite der OTH Regensburg: [www.oth-regensburg.de](http://www.oth-regensburg.de) (Windgas-Studie 2015)
- ▶ Die Webseite von Energy Brainpool: [www.energybrainpool.com](http://www.energybrainpool.com) (Windgas-Studie 2015 und 2016)
- ▶ Die Sektorkopplungsstudie (s. S. 22) finden Sie hier: [pvspeicher.htw-berlin.de/sektorkopplungsstudie/](http://pvspeicher.htw-berlin.de/sektorkopplungsstudie/)

Druck und Verarbeitung:  
Zollenspieker Kollektiv GmbH, Hamburg

Gedruckt auf 100 Prozent Recyclingpapier  
1. Auflage, Stand: Oktober 2016