

Samstags-Forum Regio Freiburg  
Woche der Sonne 2012



100. Jahrestag Nobelpreis an Paul Sabatier

## Erneuerbares Methan aus Wind- & Solar-Ökostrom

### Power-to-Gas-Technologie für Langzeitspeicherung & Erdgas-Ersatz

**Chance auf sichere Energieversorgung  
aus Wind und Sonne?**

Freiburg i.Br., 5. Mai 2012

Dr. Georg Löser, Gundelfingen i.Br.  
Vorsitzender von ECOtrinoa e.V., gemeinnütziger Verein  
[www.ecotrinova.de](http://www.ecotrinova.de) ecotrinova@web.de



## Wer wir sind

- **ECOtrinoVA e.V. [www.ecotrinova.de](http://www.ecotrinova.de)  
gemeinnütziger Verein, Sitz Freiburg i.Br.**

**eine Arbeitsgem. Freiburger Umweltinstitute**  
Umweltschutz lokal, (tri-)regional, international

**regionaler Zusammenschluß** von  
Instituten, Vereinen, Büros, Unternehmen, Bürgern  
zu Umweltforschung, -beratung, -erziehung u.a.



# Unsere Mitglieder

[www.ecotrinova.de](http://www.ecotrinova.de)

- Arbeitskreis Wasser des BBU e.V. [akwasser.de](http://akwasser.de)
- Energieagentur Regio Freiburg GmbH  
[energieagentur-freiburg.de](http://energieagentur-freiburg.de)
- Freib. Inst. f. Umweltchemie FIUC e.V. [umweltchemie.org](http://umweltchemie.org)
- Innovation Academy e.V. [innovation-academy.de](http://innovation-academy.de)
- Inst. f. Fortbildung/Projektmanagement [ifpro.de](http://ifpro.de)
- Öko-Institut/ Inst. f. angew. Ökologie e.V. [oeko.de](http://oeko.de)
- SolarSpar Genossenschaft CH [solarspar.ch](http://solarspar.ch)
- Umweltakademie Freiburg [umweltakademie.de](http://umweltakademie.de)
- [Trinat. Atomschutzverband TRAS](http://atomschutzverband.ch) [atomschutzverband.ch](http://atomschutzverband.ch)
- weitere Vereine, Unternehmen, Büros, Privatpersonen



# Unsere Projekte

2007-9 **2 Sonnen-Energie-Wege im Eurodistrikt\***

ab 2006 **Samstags-Forum Regio Freiburg,**  
**Gemeinschaftsprojekt** für Studierende, Vereine, Öffentlichkeit

2005/6 **Bibliotheksführer Klimaschutz+Umwelt Freiburg**

2004+5 **Nachhaltigkeit rheinüberschreitend\***  
für **Energie-Klimaschutz-Gewässer** im Eurodistrikt FR-COL-MUL

ab 2004 **ECOvalley Oberrhein - ECOtrinoVA-Nachrichten**  
für Ökologie, nachhaltiges Wirtschaften.

2003-5 **Agenda-21-Aktionsbibliothek Klimaschutz\***  
Heute: **Umweltbibliothek Freiburg** [Umweltbibliothek-freiburg.de](http://Umweltbibliothek-freiburg.de)

2003 **Wissenschaft für übermorgen. Politik, Wirtschaft,**  
**Universität vor den ökol. Herausforderungen** des 21. Jh.; Vorl.-Reihe

\* Gefördert vom Umweltministerium Baden-Württemberg, ECO-Stiftung, Agenda-21 Büro Freiburg

# Ökonomische Effekte des Ausbaus Erneuerbarer Energien

## Verteilungseffekte

z.B. Merit-Order-Effekt

z.B. EEG-Umlage

z.B. Besondere Ausgleichsregelung

z.B. vermiedene Energieimporte

z.B. Beschäftigungseffekt

z.B. BIP-Effekt der Energiepreise

## makroökonomische Effekte

## weitere Effekte

z.B. regionale Wertschöpfung

z.B. Innovationswirkung

z.B. Versorgungssicherheit

z.B. systemanalytische Differenzkosten

z.B. Portfolioeffekt

z.B. vermiedene Umweltschäden

## systemanalytische Effekte

## Förderung Erneuerbarer Energien

z.B. Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG),  
Marktanreizprogramm (MAP),  
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EeWärmeG)

5-2012

# „weiterer Nutzen“ des Ausbaus erneuerbarer Energien

7.3.4 in 2012 DLR et al S.241 /BMU

- **Die Förderung erneuerbarer Energien** wird seit 1990 von den verschiedenen Bundesregierungen stetig ausgebaut + weiterentwickelt. **Gründe** im EEG +EEWärmeG explizit genannt:
  1. im Interesse des **Klima- und Umweltschutzes** eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung ermöglichen,
  2. die **volkswirtschaftlichen Kosten** der Energieversorgung auch durch Einbeziehung langfristiger **externer Effekte** verringern
  3. **fossile Energieressourcen schonen**,
  4. die **Abhängigkeit von Energieimporten verringern**,
  5. die **Weiterentwicklung von Techniken** zur Erzeugung von Strom + Wärme aus erneuerbaren Energien fördern.
  6. *GL:+Effekte für den **Arbeitsmarkt + Wertschöpfung***
  7. *GL:+**Stromkostensenkungen** (Börse) durch Merit-Order-Effekt*

1 2012 DLR et al S.244 /BMU  
**Tabelle 7-10: Durch erneuerbare Energien vermiedene fossile Importe und Importausgaben im Szenario 2011 A im Vergleich zum „konstanten“ EE-Ausbauzustand im Jahr 1995**

|  | 2005       | 2008       | 2010        | 2015        | 2020        | 2025        | 2030        | 2040        | 2050        |
|--|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Vermiedene Importmengen, (PJ/a)</b>                                   |            |            |             |             |             |             |             |             |             |
| Mineralöl  | 196        | 262        | 328         | 584         | 761         | 1000        | 1227        | 1396        | 1831        |
| Erdgas   | 148        | 316        | 377         | 615         | 705         | 859         | 926         | 1329        | 1490        |
| Steinkohle   | 319        | 351        | 405         | 587         | 683         | 828         | 899         | 881         | 769         |
| <b>Fossiler Import gesamt</b>  | <b>683</b> | <b>930</b> | <b>1111</b> | <b>1787</b> | <b>2148</b> | <b>2686</b> | <b>3052</b> | <b>3606</b> | <b>4090</b> |
| <b>Vermiedene Importausgaben; Preispfad A, (Mrd. €<sub>2009</sub>/a)</b> |            |            |             |             |             |             |             |             |             |
| Mineralöl  | 1,6        | 3,1        | 3,4         | 7,3         | 10,7        | 15,6        | 21,1        | 28,9        | 44,0        |
| Erdgas   | 0,7        | 2,4        | 2,2         | 4,4         | 5,7         | 7,9         | 9,7         | 16,9        | 22,1        |
| Steinkohle   | 0,8        | 1,4        | 1,2         | 2,8         | 3,3         | 4,6         | 5,6         | 6,8         | 6,9         |
| <b>Fossiler Import gesamt</b>  | <b>3,1</b> | <b>6,9</b> | <b>6,8</b>  | <b>13,9</b> | <b>19,7</b> | <b>28,1</b> | <b>36,4</b> | <b>52,6</b> | <b>73,0</b> |
| <b>Vermiedene Importausgaben; Preispfad B, (Mrd. €<sub>2009</sub>/a)</b> |            |            |             |             |             |             |             |             |             |
| Mineralöl  | 1,6        | 3,1        | 3,4         | 6,8         | 9,6         | 13,6        | 17,7        | 22,9        | 33,0        |
| Erdgas   | 0,7        | 2,4        | 2,2         | 3,9         | 4,9         | 6,6         | 7,7         | 12,7        | 15,8        |
| Steinkohle   | 0,8        | 1,4        | 1,2         | 2,0         | 2,7         | 3,7         | 4,4         | 5,0         | 4,9         |
| <b>Fossiler Import gesamt</b>  | <b>3,1</b> | <b>6,9</b> | <b>6,8</b>  | <b>12,7</b> | <b>17,2</b> | <b>23,9</b> | <b>29,8</b> | <b>40,6</b> | <b>53,7</b> |

**Tabelle 7-11: Durch EE vermiedene Klimaschäden und Wert der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend der Preispfade A und B, in Mrd. €<sub>2009</sub>/a**

|   | 2005 | 2008 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Vermiedene Klimaschäden durch EE-Ausbau *)</b>             | 5,0  | 8,1  | 8,6  | 12,5 | 16,5 | 19,8 | 22,7 | 27,1 | 31,5 |
| Wert der vermiedenen CO <sub>2</sub> -Emissionen, Preispfad A |      |      | 1,6  | 3,3  | 5,9  | 9,2  | 13,6 | 21,7 | 31,5 |
| Wert der vermiedenen CO <sub>2</sub> -Emissionen, Preispfad B |      |      | 1,6  | 3,0  | 5,1  | 7,4  | 10,3 | 16,2 | 22,6 |

\*) bei Klimaschäden entsprechend 75 €<sub>2009</sub>/t CO<sub>2</sub>

Durch die kontinuierliche Förderung der erneuerbaren Energien hat im Laufe der letzten 20 Jahre eine sehr deutliche Weiterentwicklung bei den eingesetzten Techniken stattgefunden; deutsche Unternehmen der EE-Branche sind dadurch in vielen Bereichen zu Technologieführern geworden. Die wirtschaftlichen Impulse aus Investitionen und Betrieb von Anlagen in Deutschland betragen im Jahr 2010 rund 38 Mrd. € (Investitionen 27 Mrd. €; Anlagenbe-

Gezeigt im Samstags-Forum Regio Freiburg, 8.Mai 2010,  
Schirmherrin Umweltbürgermeisterin Stuchlik anwesend:



# Presseinformation 06/2010

Stuttgart, 26. April 2010

## **Ökostrom als Erdgas speichern**

### **Konsortium gelingt Durchbruch bei der Energieumwandlung**

**Deutsch-österreichische Kooperation verwandelt Strom erfolgreich in Erdgassubstitut. So könnte künftig Überschussstrom etwa aus Windkraft und Photovoltaik gespeichert und in der vorhandenen Erdgasinfrastruktur genutzt werden.**

Zentrum für Sonnenenergie-  
und Wasserstoff-Forschung  
Baden-Württemberg (ZSW)

Standort Stuttgart:  
Industriestr. 6, 70565 Stuttgart



# **Energiewirtschaftliche Bewertung von Pumpspeicherwerken und anderen Speichern im zukünftigen Stromversorgungssystem**

Endbericht

Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik  
(IWES) Kassel

... auf diese Weise in einen CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträger mit hoher Energiedichte umgewandelt. Erfolgt die Rückverstromung von EE-Methan dezentral in wärmegeführten BHKW, können der Nutzungs-

Der entscheidende Vorteil gegenüber reinen Wasserstoffkonzepten ist die Nutzung der bestehenden Infrastruktur wie Gasnetze, Gasspeicher und Endverbrauchergeräte. Technologien für Erdgas sind

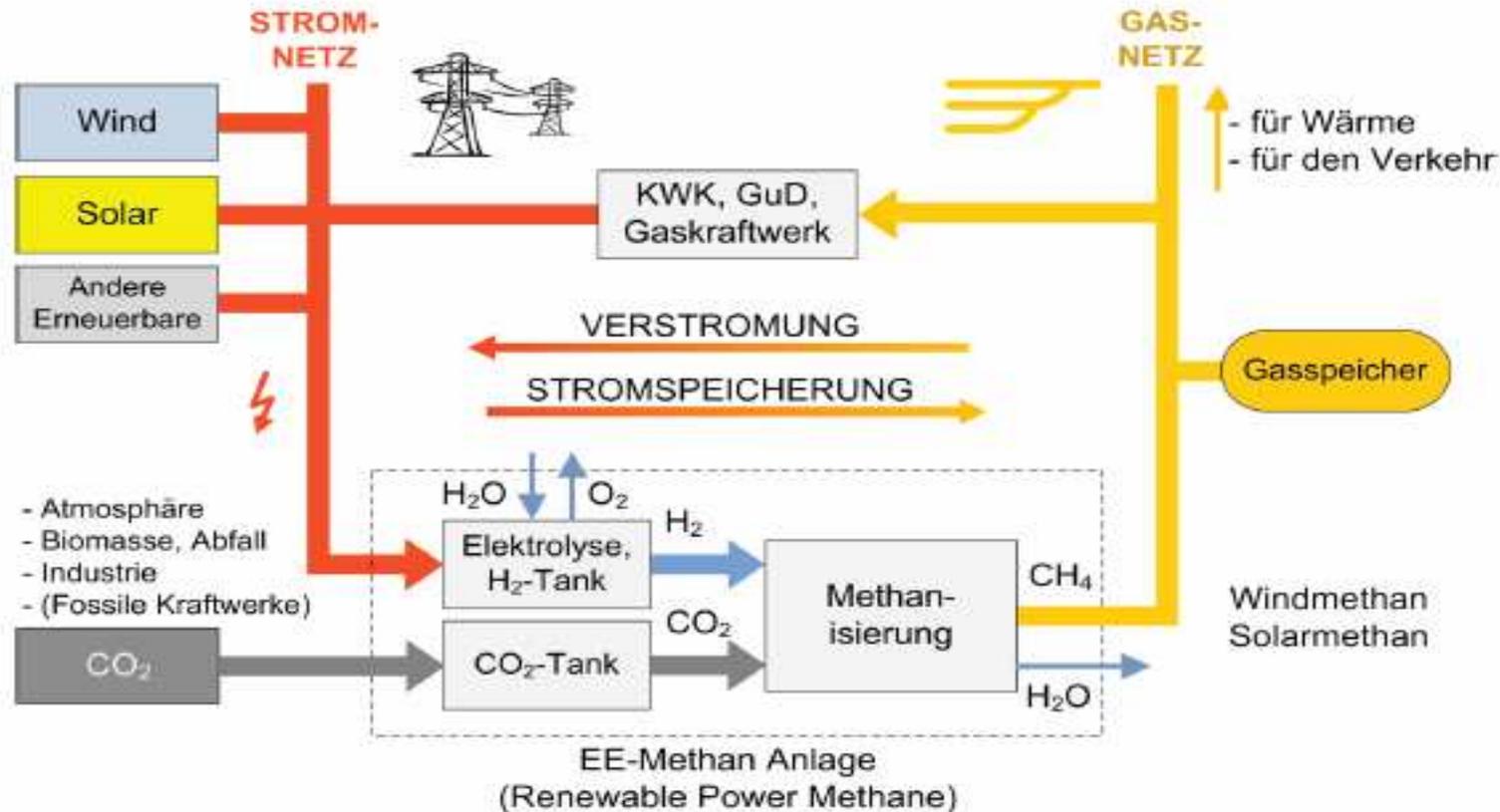


Abbildung 3: Das integrative Konzept „EE-Methan“ zur Speicherung von Wind- und Solarstrom. Quelle: Sterner, 2009, <http://www.upress.uni-kassel.de/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2>; Specht et al, 2010. GuD = Gas- und Dampfkraftwerke; KWK = Kraft-Wärme-Kopplung

# Presseinformation

Stuttgart, 30. September 2010

## **Auszeichnung für neue Technik zur Speicherung von Ökostrom**

## **SolarFuel erhält Hauptpreis der deutschen Gaswirtschaft**

**Strom aus Wind und Sonne wird zu erneuerbarem Erdgas. BDEW, ADAC, dena und ASUE prämiieren Technik zur Einbindung regenerativen Stroms in die bestehende Energieinfrastruktur.**

Der rasante Ausbau von Windkraft und Photovoltaik erfordert in den nächsten Jahren Stromspeicher in großem Maßstab. Eine neue Technik der SolarFuel GmbH aus Stuttgart macht das nun möglich: Sie konvertiert den Ökostrom in erneuerbares Erdgas. Erdgas lässt sich einfach in die Energieinfrastruktur einbinden, die Speicherkapazität ist immens. Erdgasautos, Heizungen und effiziente Gaskraftwerke können das Gas nutzen. SolarFuel ist für diese Entwicklung jetzt mit dem Hauptpreis der deutschen Gaswirtschaft für Innovation und Klimaschutz 2010 ausgezeichnet worden. Die Preisverleihung fand am 29. September in Berlin statt. Der Preis ist mit 25.000 Euro dotiert.

Die Grundlagen für das Verfahren wurden vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in Kooperation mit

- Presseinformationen und Spiegel der Presse
- Presseinformationen
  
- Erdgas aus Ökostrom
  
- juwi und SolarFuel testen Verfahren zur Stromspeicherung
- 21.03.2011
  
- Auszeichnung für neue Technik zur Speicherung von Ökostrom
  
- SolarFuel erhält Hauptpreis der deutschen Gaswirtschaft
- 30.09.2010
  
- Gemeinsame Presseinformation von SolarFuel, ZSW und Fraunhofer IWES
  
- Ökostrom als Erdgas speichern / Konsortium gelingt Durchbruch bei der Energieumwandlung...
- 26.04.2010
- 
- Artikel aus Tageszeitungen, Wirtschaftspresse und TV
  
- Hamburger Abendblatt
  
- Deutschland verschwendet Ökostrom
- 16.03.2011
  
- Kundenmagazin Wingas
  
- Speichertechnik: Wohin mit all der Energie? Artikel zu Erdgasspeicher
- 10.02.2011
  
- Bayerisches Fernsehen BR3
  
- Erneuerbares Methan als Speicher von grünem Strom (Beitrag vom 6. Februar, SolarFuel-Technik ab Minute 25)
- 07.02.2011
  
- Financial Times Deutschland online
  
- Gasnetz taugt als riesiger Puffer für Ökostrom
- 10.01.2011
  
- Cicero online
  
- Claudia Kemfert über neue Stromleitungen und die Speicherung von erneuerbarem Methan
- 07.12.2010



**SOLARFUEL**  
SMART ENERGY CONVERSION



## Presseinformation

Stuttgart, 21. März 2011

### Erdgas aus Ökostrom

#### **juwi und SolarFuel testen Verfahren zur Stromspeicherung**

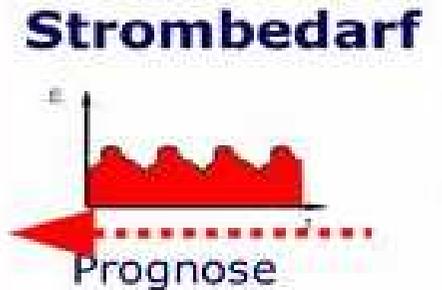
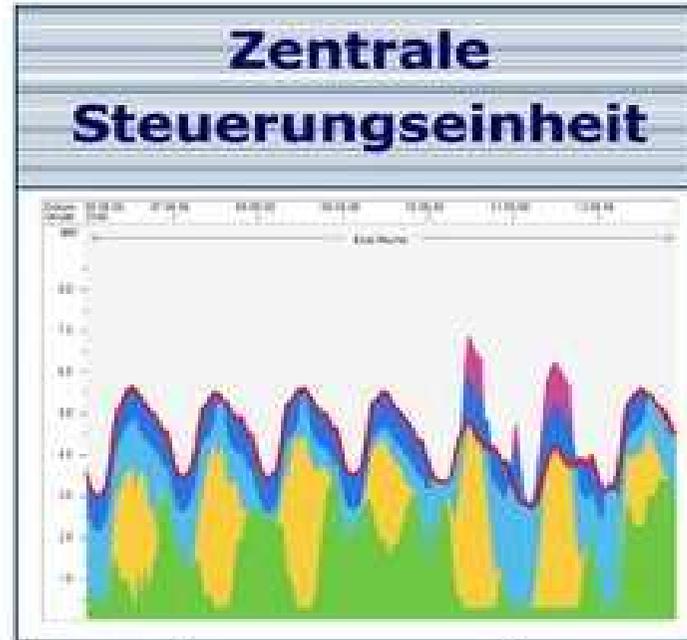
**Praxistest einer 25 kW-Laboranlage in der Morbacher Energielandschaft mit Windpark und Biogasanlage / Land Rheinland-Pfalz unterstützt zukunftsweisendes Pilotprojekt / juwi-Gruppe beteiligt sich an SolarFuel.**

Die Zukunft der Energieversorgung ist erneuerbar und dezentral. Eine der größten Herausforderungen auf dem Weg dahin liegt nach Expertenmeinung in der langfristigen Speicherung von enormen Ökostrommengen. Eine Antwort auf das Problem erproben nun die juwi-Gruppe und die SolarFuel GmbH mit ganz konkreten, technischen Schritten: Eine Laboranlage von SolarFuel in der Morbacher Energielandschaft im Hunsrück wandelt elektrische Energie in Erdgas um. Am 21. März wurde die Anlage in Anwesenheit der rheinland-pfälzischen Umweltministerin Margit Conrad eingeweiht. Die elektrische Anschlussleistung beträgt 25 Kilowatt. Die Grundlagen der Technik stammen von den Forschungsinstituten ZSW und Fraunhofer IWES. Ziel des einzigartigen Vorhabens ist ein optimal entwickelter Baustein für eine regenerative Energieinfrastruktur. Die Wörrstädter juwi-Gruppe beteiligt sich darüber hinaus mit rund fünf Prozent an dem Stuttgarter Energieumwandlungsspezialisten SolarFuel.

Mit dem rasanten Ausbau erneuerbarer Energien wächst auch der Bedarf nach Speichertechnologien. Sie machen die un stetig anfallende Elektrizität der Wind- und Solarenergie lagerfähig. Die neue Ökostromspeichertechnik von SolarFuel wurde im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und im Fraunhofer-Institut für Wind-

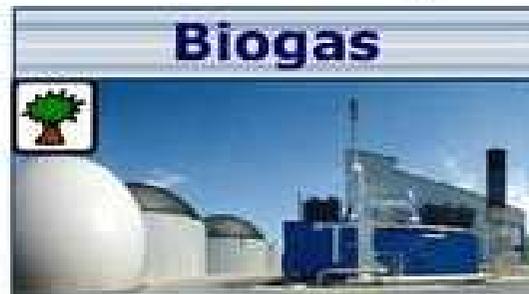
# [www.kombikraftwerk.de](http://www.kombikraftwerk.de)

D 1:10.000 2006



Fahrplan

Fahrplan







## Projektinfos

[www.kombikraftwerk.de/index.php?id=38](http://www.kombikraftwerk.de/index.php?id=38)



**Kombikraftwerk 2**

Eine stabile Stromversorgung ist Präzisionsarbeit. Die Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber leisten diese Präzisionsarbeit, indem sie sogenannte **Systemdienstleistungen** bereitstellen, um dadurch einen stabilen und sicheren Netzbetrieb zu gewährleisten.

Eine der Systemdienstleistungen ist die **Frequenzhaltung**. Die Frequenz bleibt im Netz nur dann stabil bei 50 Hertz, wenn die Balance zwischen Stromerzeugung und Verbrauch zu jedem Zeitpunkt gehalten wird. Und das auch, wenn ein Kraftwerk plötzlich ausfällt oder der Verbrauch sprunghaft ansteigt. Die Frequenz ist übrigens überall in Europa gleich. Ein Kraftwerksausfall in Portugal macht

sich zum Beispiel auch in Deutschland bemerkbar. Zur Frequenzhaltung schreiben die Übertragungsnetzbetreiber Regelleistung aus. Regelleistung wird von Kraftwerken oder Speichern bereit gestellt, die kurzfristig ihre Leistung hoch oder runter fahren können.

Auch die sogenannte **Spannungshaltung** ist eine Systemdienstleistung. Die Spannung muss vom Netzbetreiber im zulässigen Bereich gehalten werden, damit ans Netz angeschlossene Geräte keinen Schaden nehmen. Im Gegensatz zur Frequenz kann die Spannung von Ort zu Ort variieren. Dem Netzbetreiber stehen zur Spannungshaltung verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, beispielsweise die Bereitstellung von Blindleistung durch Kraftwerke oder Speicher und die Nutzung regelbarer Transformatoren.

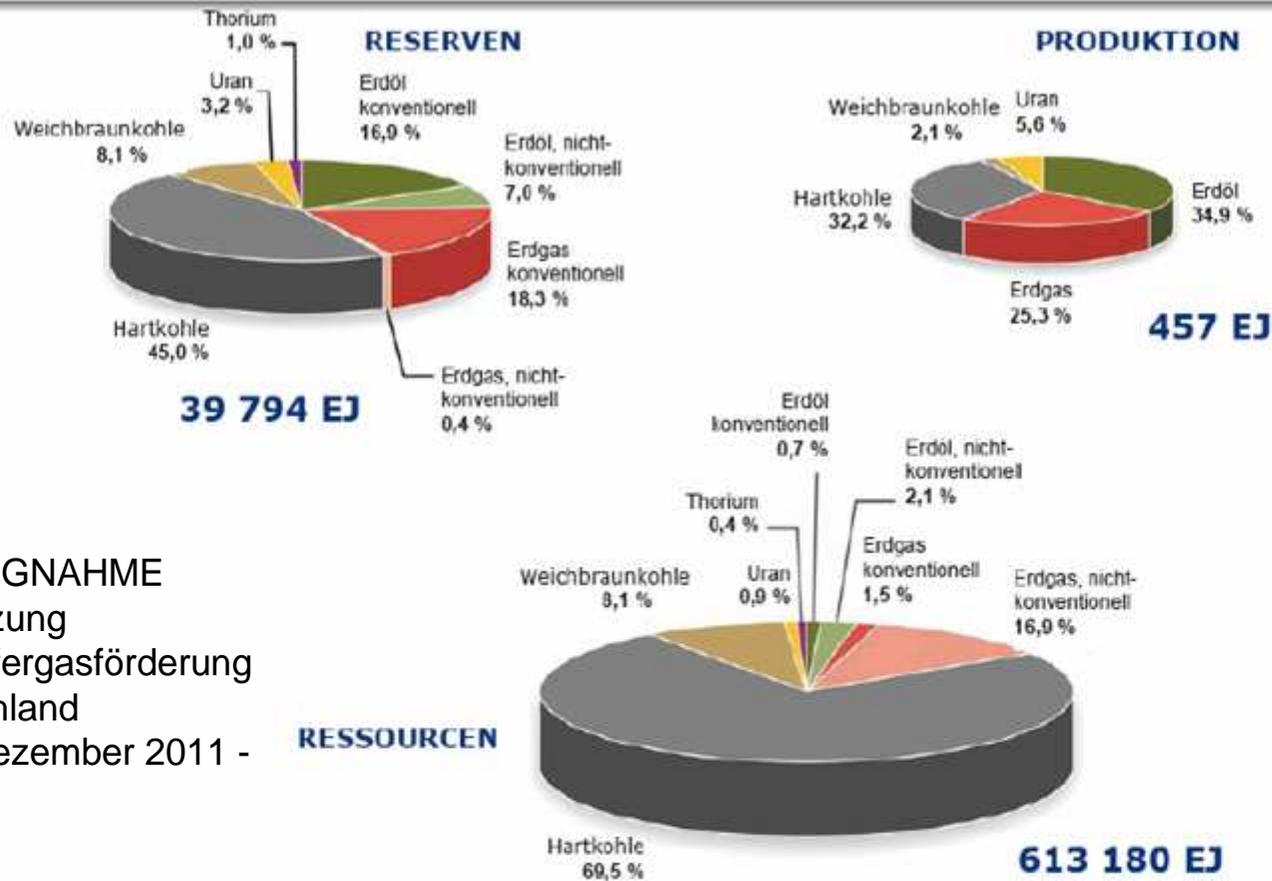
Bisher haben die Netzbetreiber zur Bereitstellung der Systemdienstleistungen hauptsächlich Kohle-, Erdgas- und Atomkraftwerke genutzt. Je mehr Wind- und Sonnenenergie, Biomasse, Wasserkraft und Geothermie zur Stromversorgung beitragen, desto stärker sind sie auch bei der Wahrung der Netzstabilität gefordert. Das **Kombikraftwerk 2** soll deshalb demonstrieren, dass auch bei einer vollständig erneuerbaren Stromversorgung ein sicherer und zuverlässiger Netzbetrieb möglich ist und kein Stromausfall droht.

Mit dem ersten regenerativen Kombikraftwerk haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik und zahlreiche Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft gezeigt, dass der Strombedarf allein aus erneuerbaren Energien in Kombination mit Speichern gedeckt werden kann. Das neue **Pilotprojekt „Kombikraftwerk 2“** soll nun beweisen, dass 100 Prozent erneuerbare Energien in Kombination mit Stromspeichern für stabile Netze sorgen können - ganz ohne fossile und nukleare Kraftwerkskapazitäten.

# Peak Erdgas 2020 ?! Peak Oil war um 2000

[www.energiestiftung.ch/energiethemen/fossilenergien/erdgas/peakgas](http://www.energiestiftung.ch/energiethemen/fossilenergien/erdgas/peakgas)

- Die grössten Erdgasfelder sind bereits gefunden.
- weltweit beste Erdgas-Felder lassen in Ergiebigkeit nach.
- 1/3 des förderbaren Erdgases bereits verbraucht (?)
- **Fördermaximum** der weltweiten Gasförderung ab **2020 erwartet**
- > 50% der Erdgasreserven in 3 Ländern Russland, Iran, Katar.
- **Peak Gas** GB 2000, NL 2007/8
- **Methan-Hydrate** an Kontinentalrändern im Meer?
- **Shale-Gas /Schiefergas** in Tongesteinen  
Auch in Deutschland?



## STELLUNGNAHME

Einschätzung  
der Schiefergasförderung  
in Deutschland  
- Stand Dezember 2011 -

Abbildung 3 Anteile der nicht-erneuerbaren Energierohstoffe an Förderung, Reserven und Ressourcen weltweit für Ende 2009 im Verhältnis von etwa 1 zu 87 zu 1342 (BGR, 2010)

[www.umweltbundesamt.de/chemikalien/publikationen/stellungnahme\\_fracking.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/publikationen/stellungnahme_fracking.pdf) 2011

Auch in Europa gibt es Vorkommen von unkonventionellem Erdgas. Diese sind jedoch deutlich geringer als in anderen Regionen. Shale-Gasvorkommen finden sich insbesondere in Großbritannien, Deutschland und Polen, Tight-Gasvorkommen vor allem in Deutschland, der Tschechischen Republik, Slowakei und Ungarn. Kohleflözgasvorkommen sind vor allem in Deutschland und Polen zu finden<sup>6</sup>.

Wie in den USA wird auch in der Bundesrepublik Deutschland die Exploration und Förderung unkonventioneller Erdgas-

(Dissertation an Universität Kassel, Sept. 2009)

**Michael Sterner**

**Bioenergy and renewable power methane in integrated  
100% renewable energy systems**

Limiting global warming by transforming energy systems

(2012 Professor an Universität Regensburg)

## Zusammenfassung

aus: Dissertation Michael Sterner, an Universität Kassel, Sept. 2009

Die beiden zentralen Herausforderungen in der globalen Energiewirtschaft sind die Reduktion der energiebedingten Emissionen und der Erhalt der Versorgungssicherheit. Diese Arbeit bietet einen Lösungsansatz für beide Probleme. Sie zeigt auf, wie der Umbau der Energiesysteme hin zu einer stabilen, nahezu emissionsfreien 100% Versorgung mit erneuerbarer Energie gestaltet werden kann, ohne auf Technologien wie Kernenergie oder die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung zurückgreifen zu müssen.

Innerhalb erneuerbarer Energiesysteme gibt es zwei Kernprobleme: Einerseits gilt es, das fluktuierende Angebot von erneuerbaren Energien auf den variablen Energiebedarf anzupassen; andererseits gestaltet es sich besonders im Verkehrssektor als schwierig, einen erneuerbaren Energieträger mit hoher Energiedichte als Ersatz für fossile Kraftstoffe zu finden. In dieser Arbeit werden zwei Optionen, die das Potenzial zur Lösung dieser beiden Probleme haben, untersucht: Bioenergie und das neu entwickelte „renewable power methane“ – Methan aus regenerativem Strom – erneuerbares Methan – erneuerbares Gas.

Zunächst wird die Bioenergie im globalen Kontext Klimawandel, Energiesystemen und Landnutzung untersucht, um daraus das nachhaltige Bioenergiepotenzial abzuleiten. Die Ergebnisse einer umfassenden Analyse von 78 Biokonversionspfaden werden mit dem identifizierten Bioenergiepotenzial kombiniert, um das maximale Treibhausgasvermeidungspotenzial von Bioenergie abzuleiten (2.5-16 Gt CO<sub>2-eq.</sub> a<sup>-1</sup>). Die Nutzung von Reststoffen und Abfällen ist dem Anbau von Energiepflanzen vorzuziehen, da Landnutzungs-konkurrenzen und -emissionen vermieden werden können. Trotz vorhandenen Potenzials wird die Bioenergie nicht ausreichen, um die fluktuierende Stromeinspeisung von erneuerbaren Energien auszugleichen oder fossile Kraftstoffe im Wärme- und Transportsektor vollständig zu ersetzen.

und Abfällen ist dem Anbau von Energiepflanzen vorzuziehen, da Landnutzungs-konkurrenzen und -emissionen vermieden werden können. Trotz vorhandenen Potenzials wird die Bioenergie nicht ausreichen, um die fluktuierende Stromeinspeisung von erneuerbaren Energien auszugleichen oder fossile Kraftstoffe im Wärme- und Transportsektor vollständig zu ersetzen.

aus: Dissertation Michael Sterner, an Universität Kassel, Sept. 2009

Um diesen Engpass zu lösen, wurde ein neuer Ansatz zur Stromspeicherung entworfen, in dem regenerativer Strom über Wasserstoff und einer CO<sub>2</sub>-Methanisierung zu einem Erdgassubstitut umgewandelt wird. So kann erneuerbarer Strom im Erdgasnetz gespeichert und räumlich-zeitlich flexibel als Regel- und Reserveenergie, aber auch im Fernverkehr eingesetzt werden. Wird das CO<sub>2</sub> aus der Luft gewonnen, kann ein klimaneutrales, erneuerbares 'Erdgas' aus Wasser, Luft und regenerativem Strom praktisch überall auf der Welt hergestellt werden, was die Importabhängigkeit von fossiler Energie erheblich reduziert. Mit dem neuen Konzept kann CO<sub>2</sub> im Energiesystem rezykliert oder eingelagert werden, was eine Kohlenstoffsenke schafft.

Durch den Ausbau und die Integration der Energienetze (Strom, Wärme, Gas) wird eine 100% erneuerbare Energieversorgung und die Senkung der energiebedingten Emissionen um 95% möglich. Verschiedene Strukturen von 100% erneuerbaren Energiesystemen werden entworfen und eine rein erneuerbare Stromversorgung für das Jahr 2050 mit stündlicher Auflösung simuliert. Abschließend wird die Rolle einer solchen Transformation im Klimaschutz diskutiert. Die skizzierte Transformation des Energiesystems muss bis 2050 erfolgen, um die globale Erwärmung langfristig annähernd auf 2°C zu begrenzen. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, muss die Transformation heute beginnen.

# Erdgas aus Strom - ZDF Umwelt

[www.youtube.com/watch?v=qg9hbhghAo&feature=r](http://www.youtube.com/watch?v=qg9hbhghAo&feature=r)

InfoVideoWelt



Abonnieren

54 Videos

The video player shows a man in a dark suit and striped tie speaking. Behind him is a large monitor displaying a Fraunhofer chart. The chart is a stacked area graph showing power generation in GW over a meteorological year in 2007. The y-axis is labeled 'Leistung in GW' and ranges from 0 to 120. The x-axis is labeled 'Datum (meteorologisches Jahr 2007)'. The legend includes: Braunkohle & Bt, G, Wasserkraft, Photovoltaik, Zoonenergie, Biogas/Ergänzung, Windkraft, Gas/Kern, and Biomasse. The chart shows a significant peak in power generation during the winter months, primarily driven by coal and gas. At the bottom of the monitor, logos for ENERCON and SIMULATION KOM are visible.



1:38 / 5:07

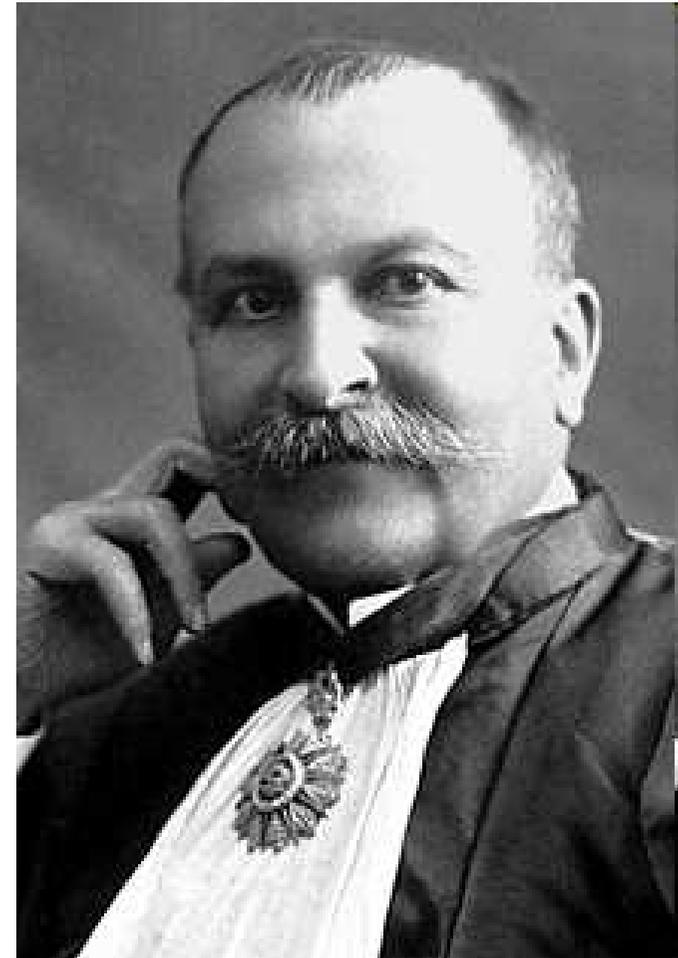


# 1912 – 2012 : 100 Jahre Chemie-Nobelpreis für Paul Sabatier

- **Paul Sabatier (Chemiker)**

\* 5. November 1854 in Carcassonne;  
† 14. August 1941 in Toulouse)  
war ein französischer Chemiker.

- Sabatier erhielt 1912 den Nobelpreis für Chemie „für seine Methode, **organische Verbindungen bei Gegenwart fein verteilter Metalle zu hydrieren**, wodurch der Fortschritt der organischen Chemie in den letzten Jahren in hohem Grad gefördert worden ist“.
- Die medizinisch-naturwissenschaftliche Universität von Toulouse („Toulouse III“) trägt seinen Namen.
- Der **Sabatier-Prozess**, ein Methan-gewinnungsverfahren, wurde nach ihm benannt.



# Sabatier-Prozess

Der **Sabatier-Prozess** oder die **Sabatier-Reaktion**, benannt nach dem französischen Chemiker [Paul Sabatier](#), beschreibt eine [chemische Reaktion](#) bei der [Kohlendioxid](#) und [Wasserstoff](#) in [Methan](#) und [Wasser](#) umgewandelt wird.

## Inhaltsverzeichnis [\[Verbergen\]](#)

- 1 [Reaktion](#)
- 2 [Lebenserhaltende Systeme von Raumfahrzeugen und Raumstationen](#)
- 3 [Herstellung von Raketentreibstoff auf dem Mars](#)
- 4 [Umwandlung von Strom](#)
- 5 [Weblinks](#)
- 6 [Quellen](#)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Sabatier-Prozess>

3.5.2012

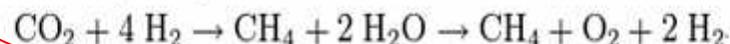
## Reaktion [\[Bearbeiten\]](#)

Die Reaktion wird durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben:



Bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck läuft die Reaktion unter Verwendung eines [Nickel-Katalysators](#) ab, effektiver ist die Verwendung von [Ruthenium](#) auf einem [Aluminiumoxid](#)-Substrat. Oft ist auch ein Sabatier-Prozess in Verbindung mit einer nachgeschalteten [Wasserstoff-Elektrolyse](#) technisch relevant, da sich so [Methan](#) und [Sauerstoff](#) erzeugen lassen.

Die Reaktionsgleichung lautet dann



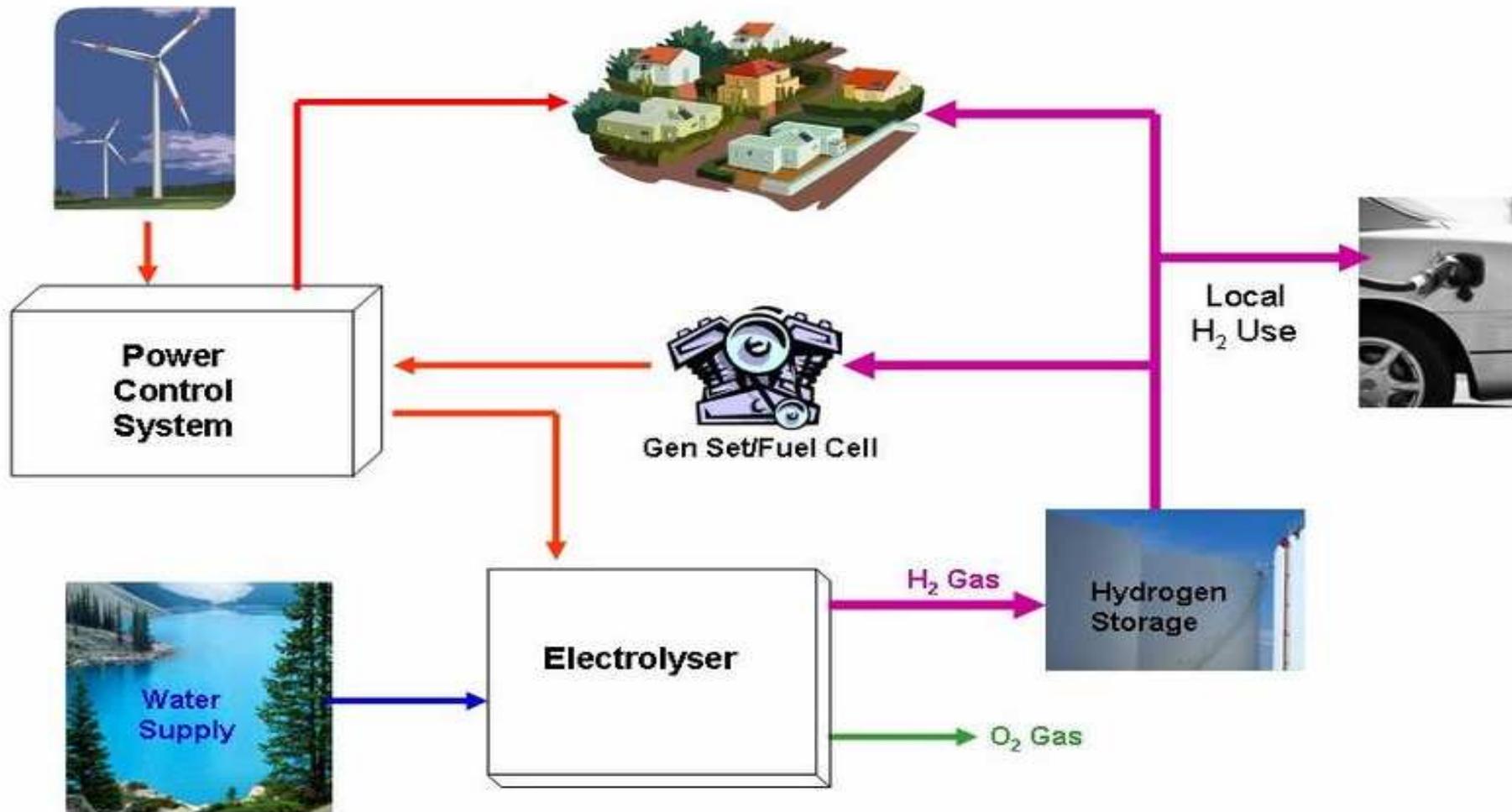
## Lebenserhaltende Systeme von Raumfahrzeugen und Raumstationen [\[Bearbeiten\]](#)

Zurzeit wird auf der [Internationalen Raumstation](#) Sauerstoff aus der Elektrolyse von Wasser gewonnen. Hierbei wird der überschüssige Wasserstoff ins All entlassen. Bei dem Verbrauch des Sauerstoffes durch die Astronauten wird [Kohlenstoffdioxid](#) frei, welches chemisch gebunden wird und so dem Prozess entnommen wird. Diese Lösung setzt voraus, dass regelmäßig große Mengen an Wasser zur ISS transportiert werden, welche dann zur Sauerstoffgewinnung, aber auch für den Verzehr, Hygiene und Weiteres verwendet werden. Bei der Planung zukünftiger, längerer Missionen und zur Verringerung des Wasserbedarfs werden Alternativen zu dem bisherigen Konzept untersucht.

Beispielsweise erforscht die [NASA](#) zur Zeit die Anwendung einer Sabatier-Reaktion, um das Wasser aus dem ausgeatmeten  $\text{CO}_2$  zurückzugewinnen. Das zusätzliche Produkt, Methan, würde vermutlich ins All entlassen. Da die Hälfte des benötigten Wasserstoffes in Form von Methan verloren gehen würde, müsste Wasserstoff in regelmäßigen Abständen nachgeliefert werden. Dennoch würde so der Kreislauf deutlich besser geschlossen, und entsprechend wenig Wasserstoff im Vergleich zum bisherigen Prozess, der das deutlich schwerere Wasser verwendet, benötigt.

Die Reaktionsgleichungen des Prozesses stellen sich wie folgt dar:

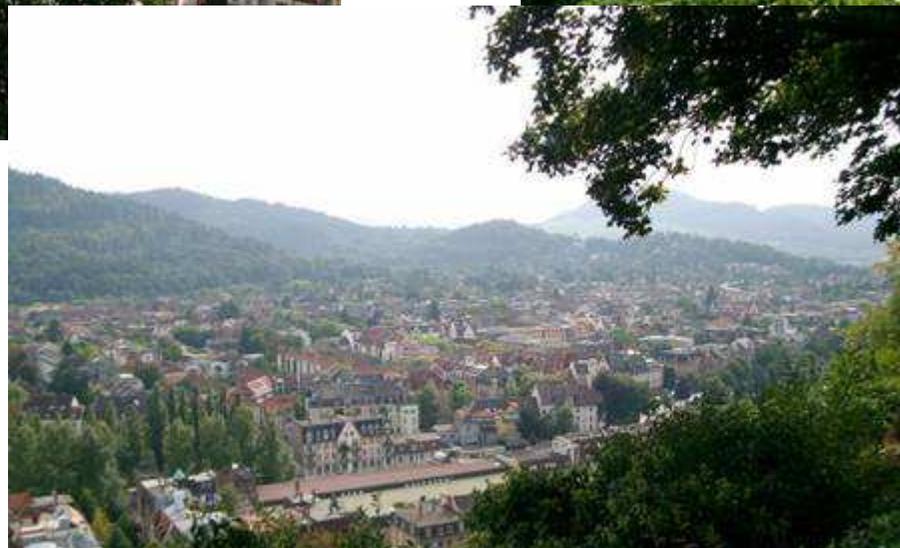
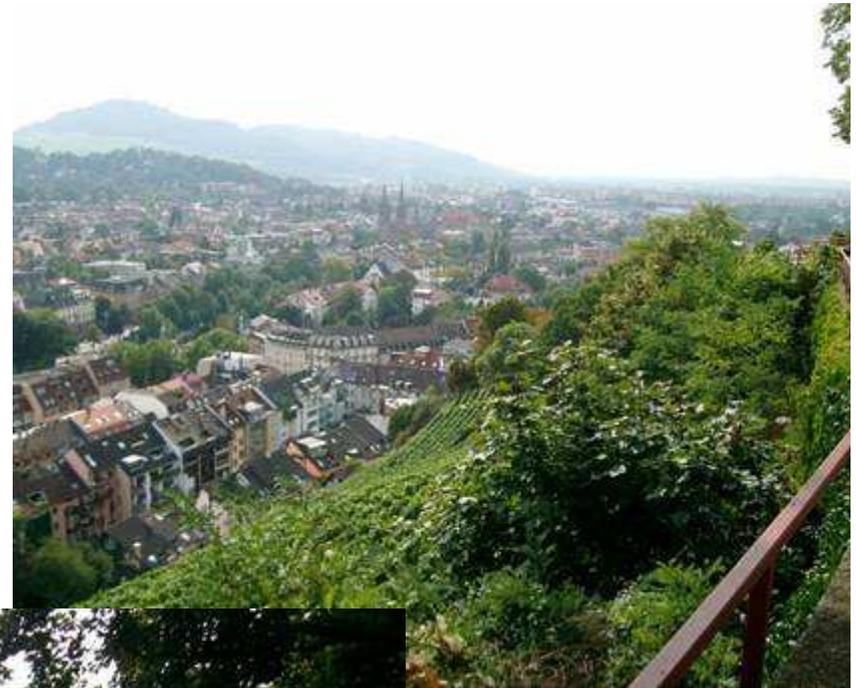
# Unrealistische Vision oder konkrete Utopie?



<http://de.wikipedia.org/wiki/EE-Gas> 4.5.2012

[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wind\\_hydrogen.JPG&filetimestamp=20090711065358](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wind_hydrogen.JPG&filetimestamp=20090711065358)

# Freiburg-Wiehre + –Oberau : Platz für 1000 kleine BHKW ?!



Samstags-Forum 2010:

- Fotos G. Löser, 2008

# Was ist in der Wiehre und welches BHKW in welchem Gebäude ?



Samstags-Forum 2010



- Fotos G. Löser, 2008

Samstags-Forum 2010:

# BHKW Sautierstr. Freiburg



Fotos G. Löser, 12.6.2010



**Green City Teil 4:  
Stadt der 1000 Blockheizkraftwerke?  
Energie-intelligente Stadt und Region:**

**22 Thesen für Freiburger Altbaustadtteile**

<http://ecotrinoa.de/pages/samstagsforum.php>

Dr. Georg Löser, Vorsitzender ECOtrinoa e.V. Freiburg

**Samstags-Forum Regio Freiburg**

**29. Nov. 2008**

in der Universität Freiburg i.Br.

# Samstags-Forum Regio Freiburg



**Samstag 4. Dez. 2010 10:30 Uhr**

Podiumsdiskussion, Universität Freiburg, Stadtmitte, Kollegiengebäude 1, Hörsaal 1015

**Freiburg macht Strom ohne Atom**

## 1000 Blockheizkraftwerke in Freiburg?

**Strom erzeugende Heizungen für alle & Kombikraftwerk für Freiburg?**

- \* Dieter Seifried, Büro Ö-quadrat, Freiburg
- \* Matthias Willy, MW-Energum, Waldkirch
- \* Rainer Schüle, Energieagentur Regio Freiburg
- \* Arnold Löffler, BHKW-Bürger, Freiburg
- \* Christian Wangart, Bad & Heizung Lassen, Freiburg und Kirchzarten

## 13:15 + 14:30 \*Führung Vorbild-BHKW(s) in Freiburg

Strom erzeugende Heizung: modulierendes BHKW in Altbau-MFH, Erwinstr./Bad & Heizung Lassen

Eintritt frei. \*Anmeldung zur Führung bis 3. Dez. 12 Uhr an [ecotrinova@web.de](mailto:ecotrinova@web.de), notfalls T. 0761-216873-0

Schirmherrin Umweltbürgermeisterin G. Stuchlik, Freiburg. Gefördert von ECO-Stiftung, Agenda 21-Büro Freiburg, Wasserkraft Volk AG; viel Ehrenamt. Veranstalter: ECOtrinoVA e.V. + u-asta / Universität - Umweltreferat, ideell mit Fachschaften Physik, Forst-Hydro-Umwelt, Geographie, Agenda21 Büro Freiburg, Architektenkammer Gr. Freiburg + EM+Brsg.-Hochschww., Badisch-Elsäss. BIs, AK Wasser BBU e.V., Klimabündnis + BUND OG u. Energieagentur Regio Freiburg, Energie-3Regio/FV SolarRegio Kaiserstuhl e.V., fesa e.V., FIUC e.V., ifpro Institut, VCD Regionalverb., ZEE Zentrum Erneuerbare Energien Uni FR, 100 Prozent GmbH. Leitung/Kontakt: ECOtrinoVA e.V./Dr. G. Löser / [ecotrinova@web.de](mailto:ecotrinova@web.de), [www.ecotrinova.de](http://www.ecotrinova.de), bei Treffpunkt FR Schwarzwaldstr. 78 d, T. 0761-21687-30

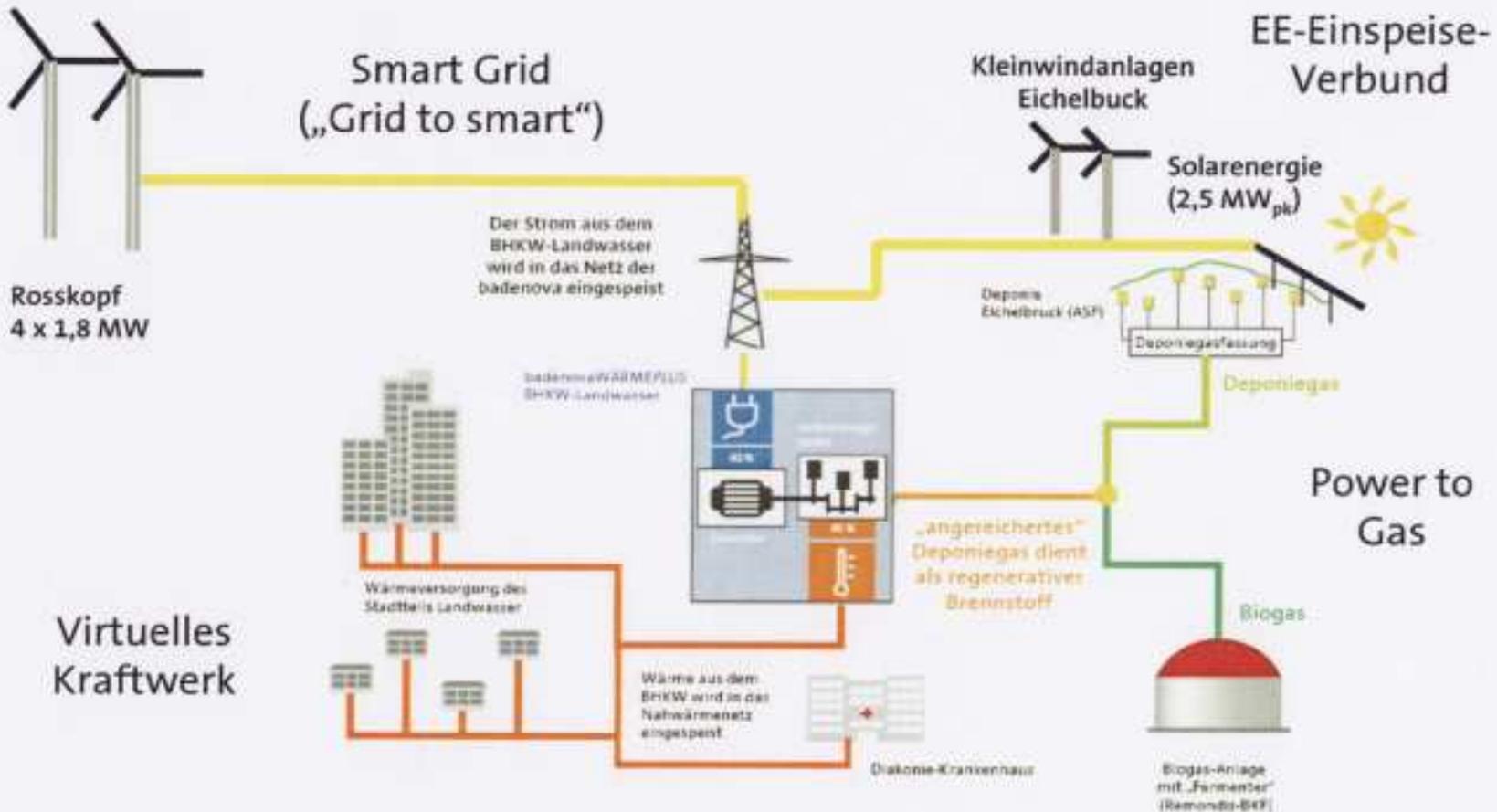


# Übersicht: **BHKWs „erneuerbar“ machen**

G. Löser, 2012

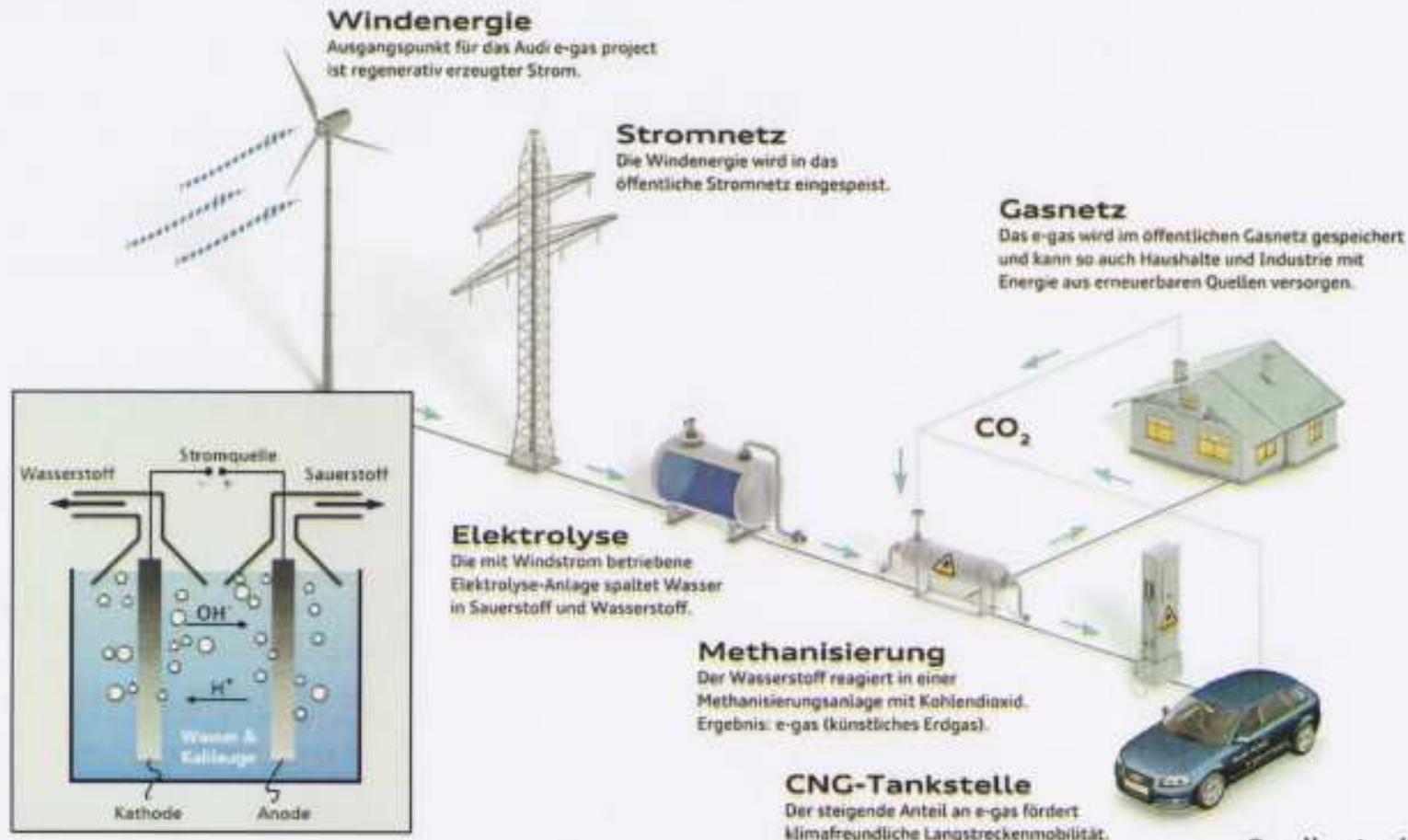
- **EEWärmeG-D, EWärmeG-BW**
- **regionales Pflanzenöl /Biodiesel ? Siehe 1. Objekt Führung 8.5.10**
- **Bioenergie-Dorf /-Stadtteil?**
- **Holz für KWK /BHKW?**
- **Biomethan: aus Landwirtschaft usw.?**
- **Methan als Erdgasersatz aus Ökostrom-Überschuß? (ZSW 2010ff)**
- **Warum?**
- **BHKW zunehmend mit erneuerbaren Kraftstoffen betreiben**
  - I: um die Öko-Vorteile zu erhöhen
  - II: um die Brennstoff-Basis autonomer/regionaler zu machen
  - III um KWK-Vorteile auch nach 2020/30/40 weitgehend zu erhalten  
(Rückgang der Kondensationskraftwerke ohne KWK) (siehe neue „Berliner Studie“, 2010)
- **Pflicht-Aufgabe: möglichst hohe Stromausbeute des BHKW**
- (Stromkennzahl, el. Wirkungsgrad!): führt zu besserer Öko-Effizienz. Der Strom ist die „Musik!“

## Ziel 2: Erneuerbare Energien sind in die bestehende kommunale Infrastruktur einzubinden



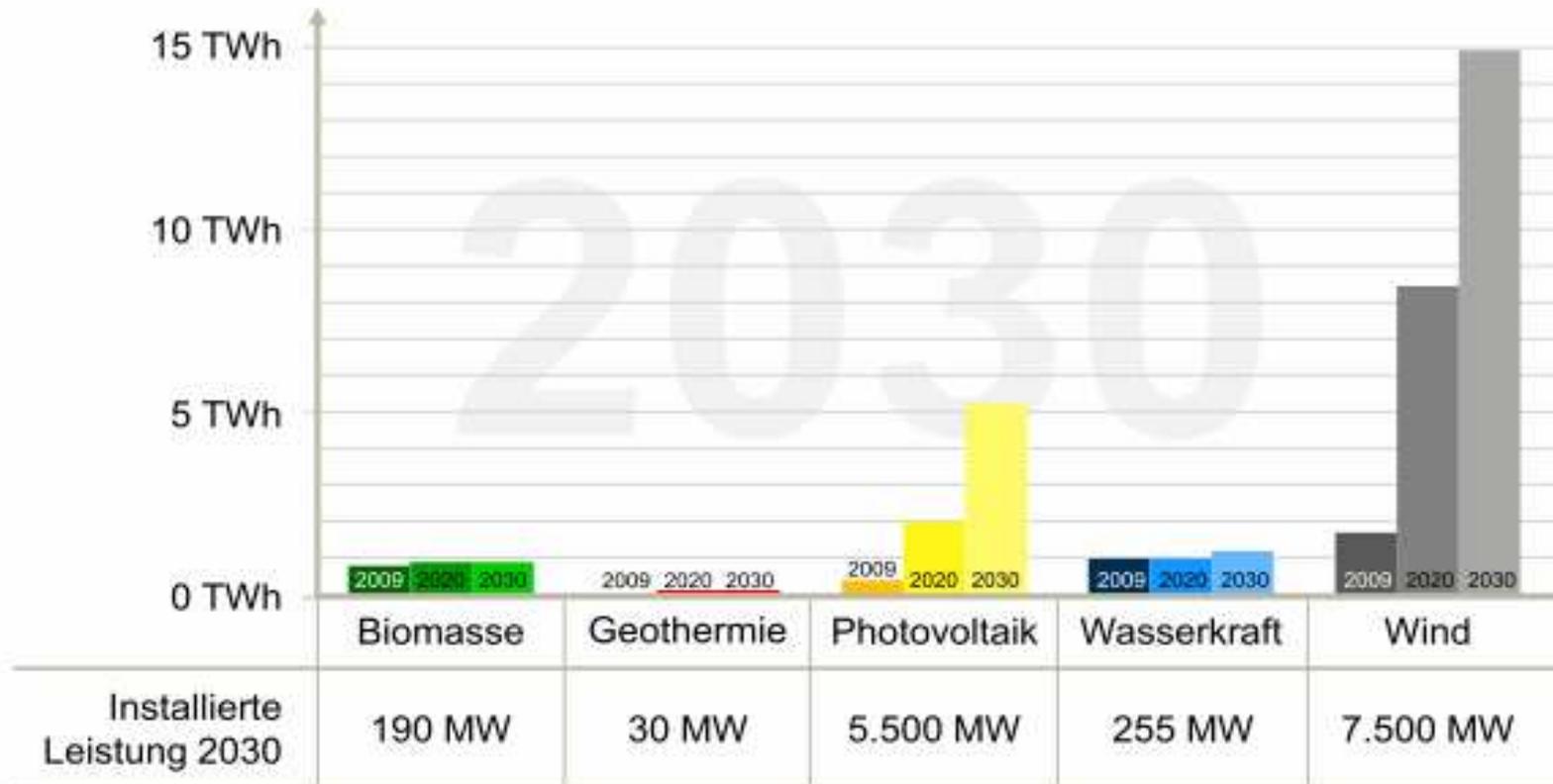
Quelle: badenova AG, 29.3.2012

# Ziel 3: Schaffung von erforderlichen technischen Weiterentwicklungen (Beispiel Power to Gas)



Quelle: Audi

# Ausbauziele der Landesregierung für Rheinland-Pfalz 2030: 100%-EE



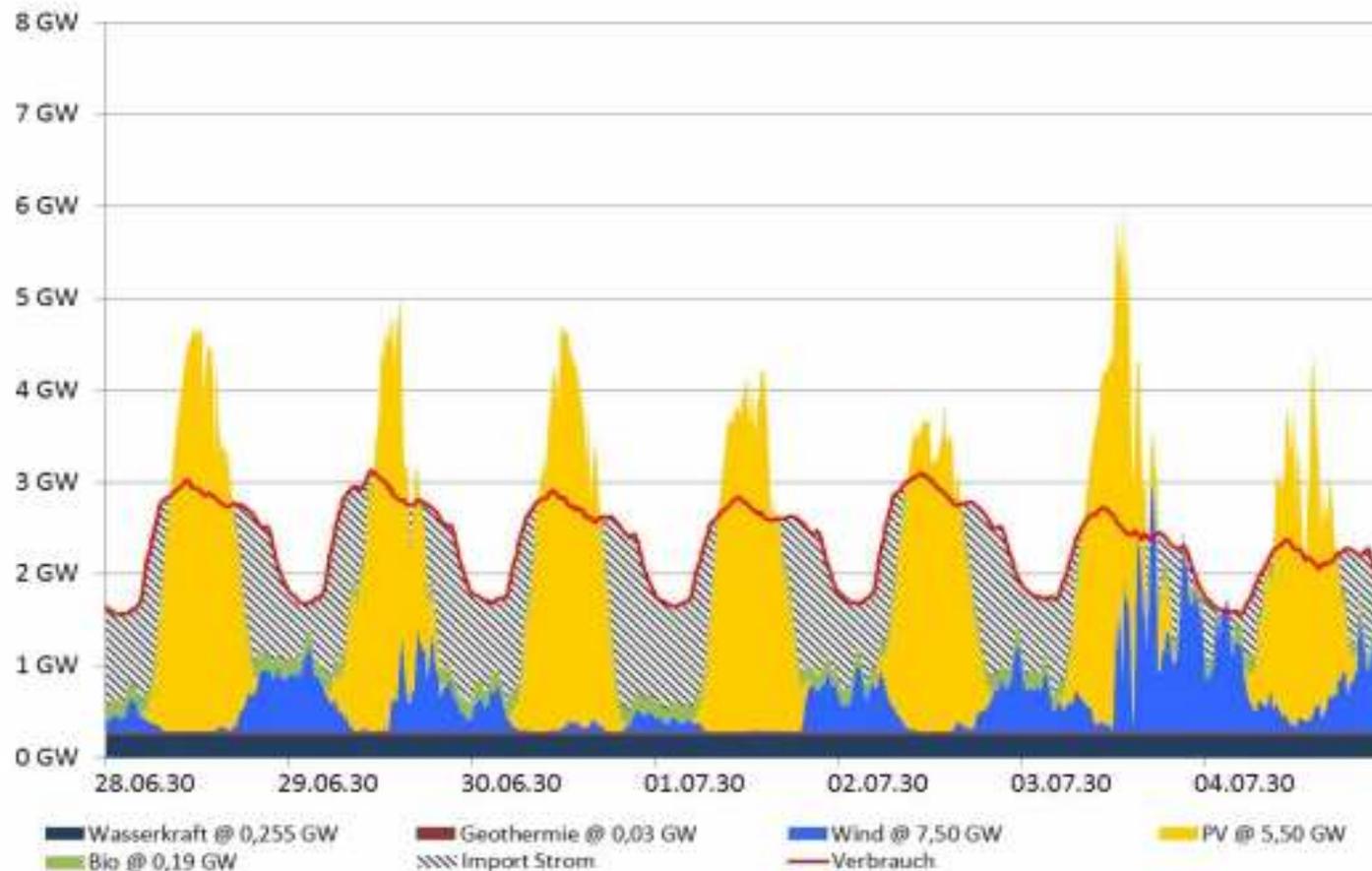
- ~22 TWh jährl. Strombedarf sollen 2030 bilanziell durch EE gedeckt werden

Vortrag BNA-Strategie-Workshop „Power-to-Gas“, 22.11.2011, Berlin - Alexandra Ernst - juwi R&D Research & Development GmbH & Co. KG

# Die Ausbauziele stellen neue Herausforderungen an das Energiesystem

- Direkte Lastdeckung ~73%

Beispiel: Sommer



Quelle: Eigene Darstellung, juwi Corporate Development  
Daten: VNBo (Last); Eigene Anlagendaten

Samstags-Forum Regio Freiburg  
Woche der Sonne 2012



100. Jahrestag Nobelpreis an Paul Sabatier

## Erneuerbares Methan aus Wind- & Solar-Ökostrom

### Power-to-Gas-Technologie für Langzeitspeicherung & Erdgas-Ersatz

**Chance auf sichere Energieversorgung  
aus Wind und Sonne?**

Freiburg i.Br., 5. Mai 2012

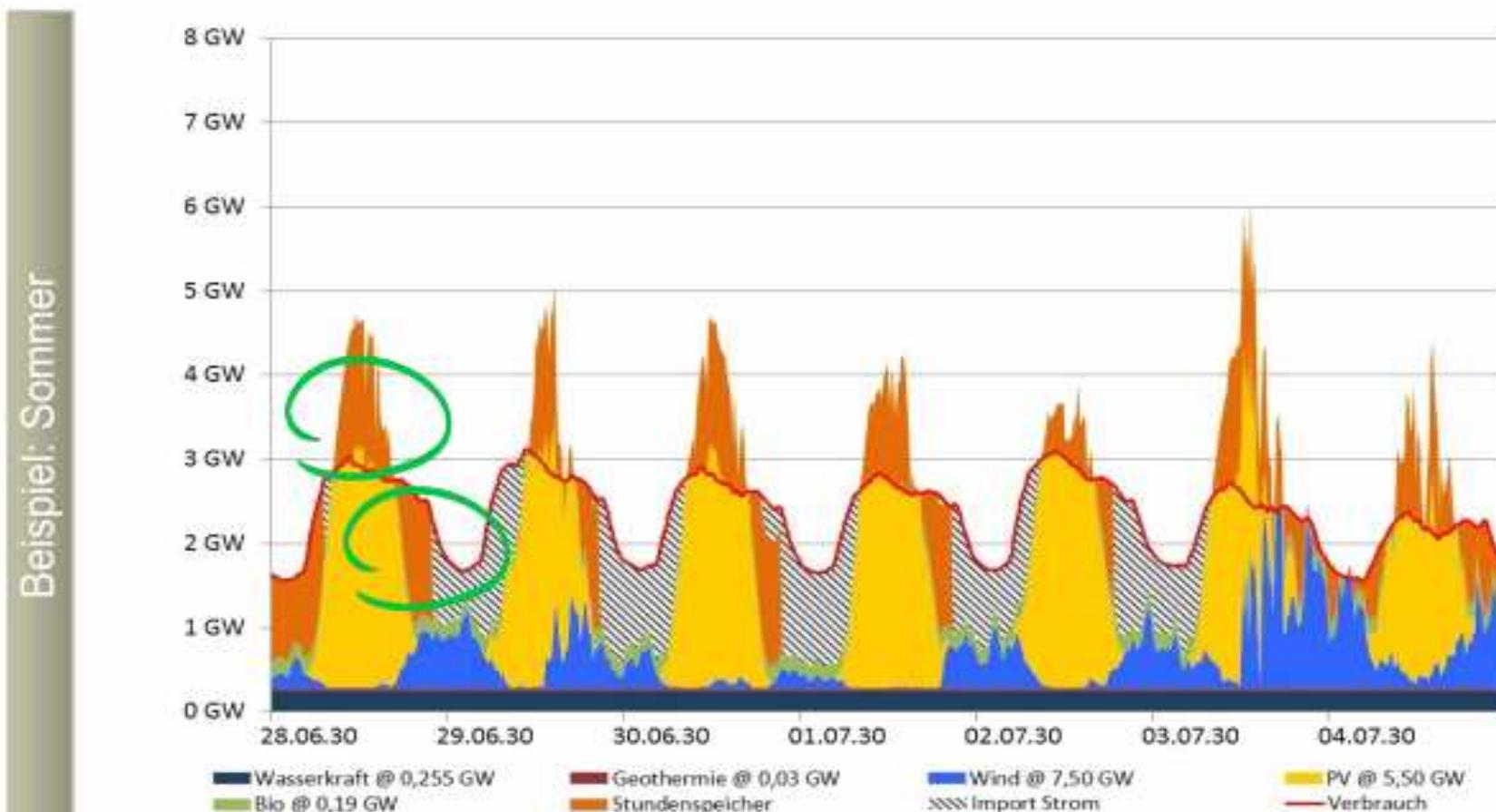
Dr. Georg Löser, Gundelfingen i.Br.

Vorsitzender von ECOtrinoa e.V., gemeinnütziger Verein

[www.ecotrinova.de](http://www.ecotrinova.de) ecotrinova@web.de

# Stundenspeicher glätten regelmäßige Schwankungen der Residuallast

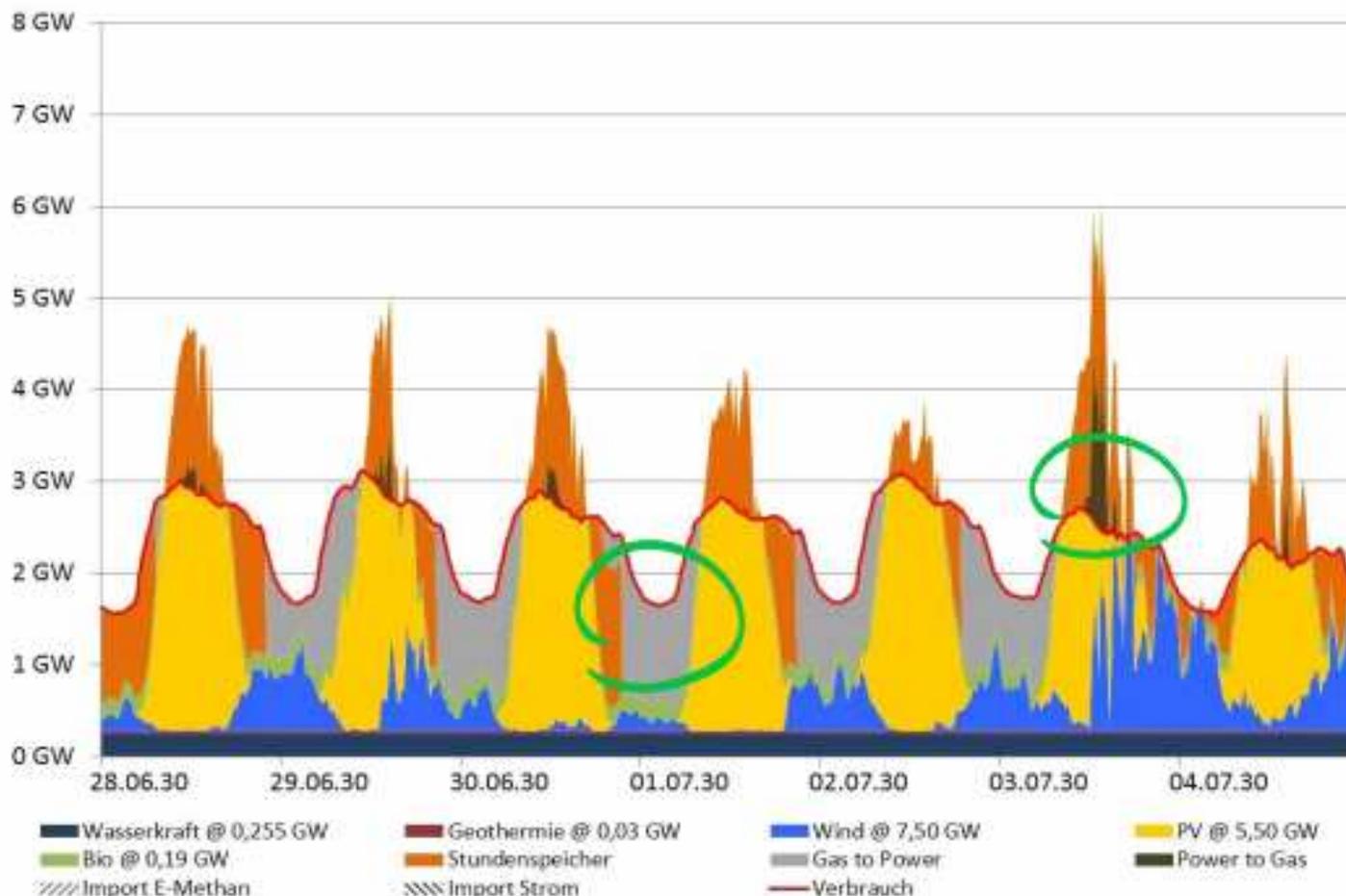
- Erhöhung der direkten Lastdeckung auf ~80%



Quelle: Eigene Darstellung, juwi Corporate Development  
Daten: VNBs (Last); Eigene Anlagendaten

# Power-to-Gas glättet unregelmäßige Schwankungen – kleinere Volumina im Sommer...

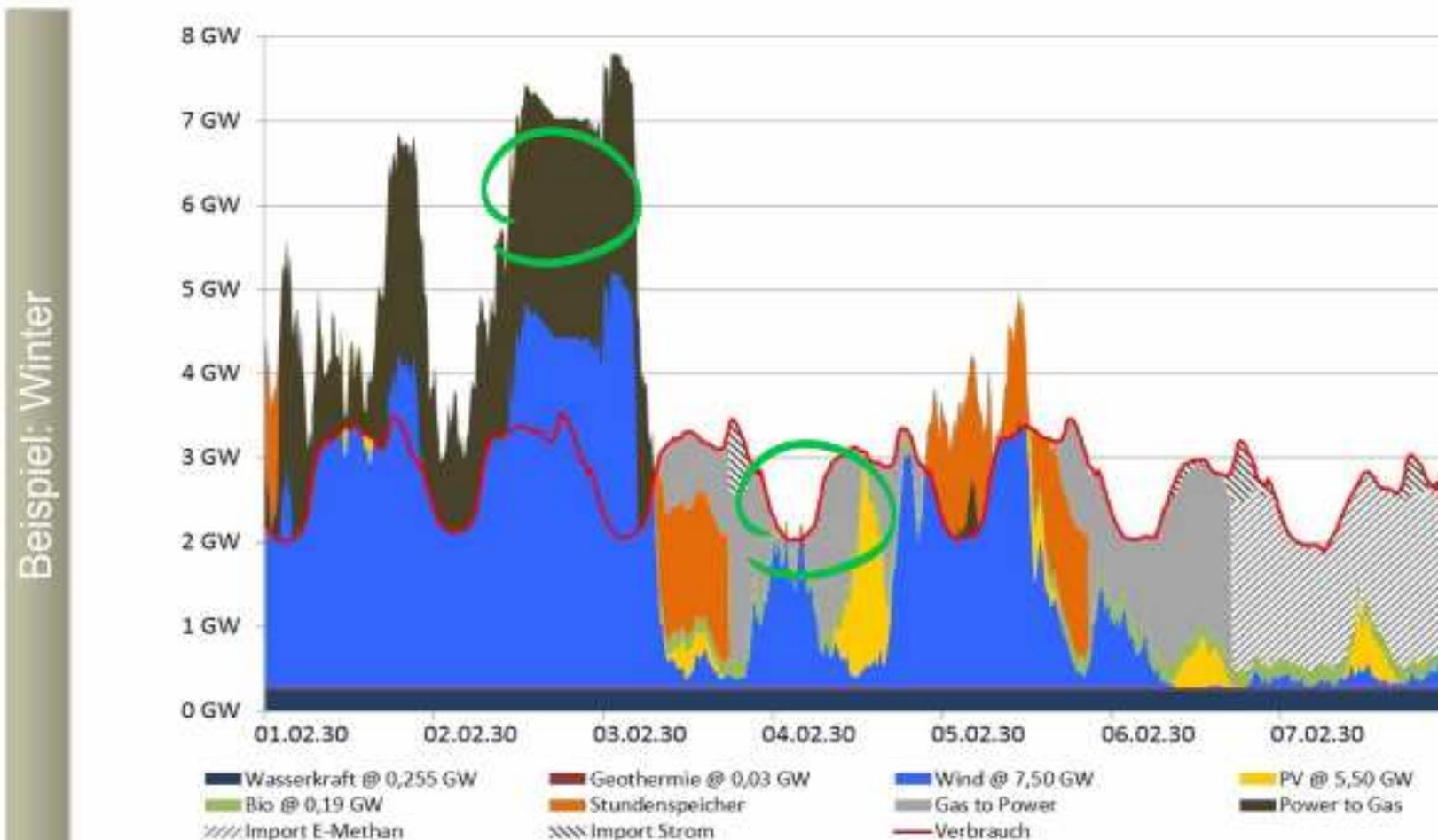
Beispiel: Sommer



Quelle: Eigene Darstellung, juwi Corporate Development  
 Daten: VNBs (Last), Eigene Anlagendaten

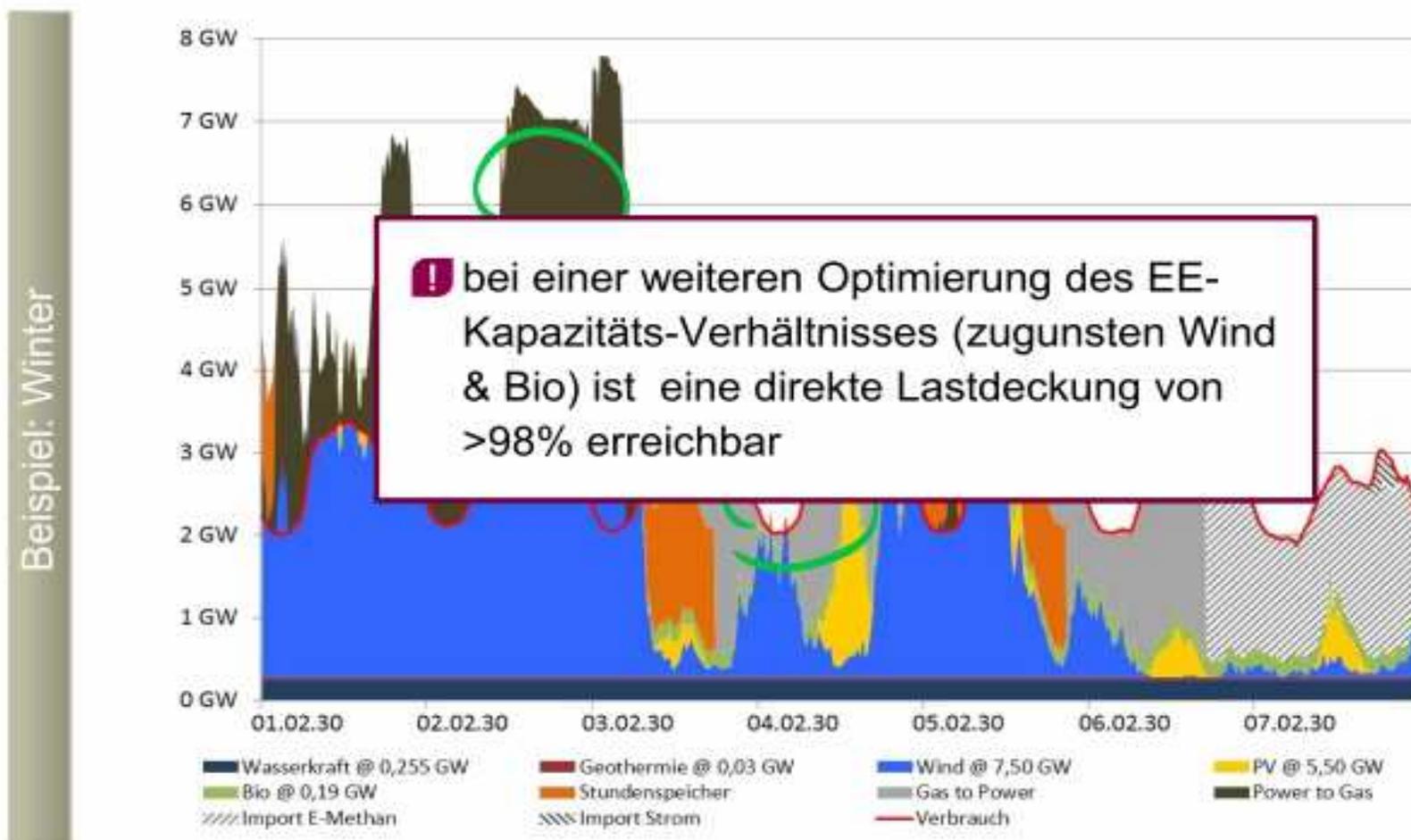
## ... und größere Volumina in den Wintermonaten

- Weitere Erhöhung der direkten Lastdeckung durch PtG auf ~86%



## ... und größere Volumina in den Wintermonaten

- Weitere Erhöhung der direkten Lastdeckung durch PtG auf ~86%



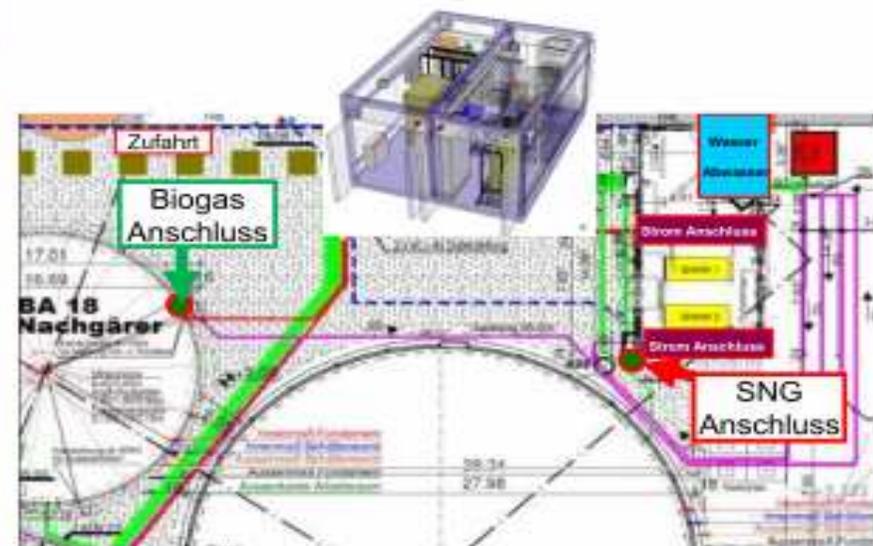
Quelle: Eigene Darstellung, juwi Corporate Development  
Daten: VNBA (Last); Eigene Anlagendaten

# SolarFuel und juwi haben PtG in der Energielandschaft Morbach getestet



## ➔ Morbacher Energielandschaft, Hunsrück

- 14 Windräder, PV Freiflächen- und Aufdach-Anlagen, Biogasanlage, Holzpelletswerk, Holzhackschnitzel-Heizwerk
- Wind als Stromquelle, Kombination mit Biogasanlage als klimaneutrale CO<sub>2</sub>-Quelle



29.3.2012, veröff. 5.4.2012



**Langfristszenarien und Strategien  
für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland  
bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa  
und global**

**Schlussbericht  
BMU - FKZ 03MAP146**

[www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal\\_2012\\_1/leitstudie2011\\_bf.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf)  
auch bei [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

# Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

- **Schlussbericht** 29. März 2012 BMU - FKZ 03MAP146
- **Arbeitsgemeinschaft**
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart  
Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse u.  
Technikbewertung
- Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES),  
Kassel
- Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Teltow
- **Bearbeiter:**  
[Joachim Nitsch](#), Thomas Pregger, Tobias Naegler, Dominik Heide,  
Diego Luca de Tena, Franz Trieb, Yvonne Scholz, Kristina Nienhaus (DLR)  
Norman Gerhardt, [Michael Sterner](#), Tobias Trost, Amany von Oehsen,  
Rainer Schwinn, Carsten Pape, Henning Hahn, Manuel Wickert, (IWES)
- Bernd Wenzel (IFNE)

[www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal\\_2012\\_1/leitstudie2011\\_bf.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf) auch bei [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

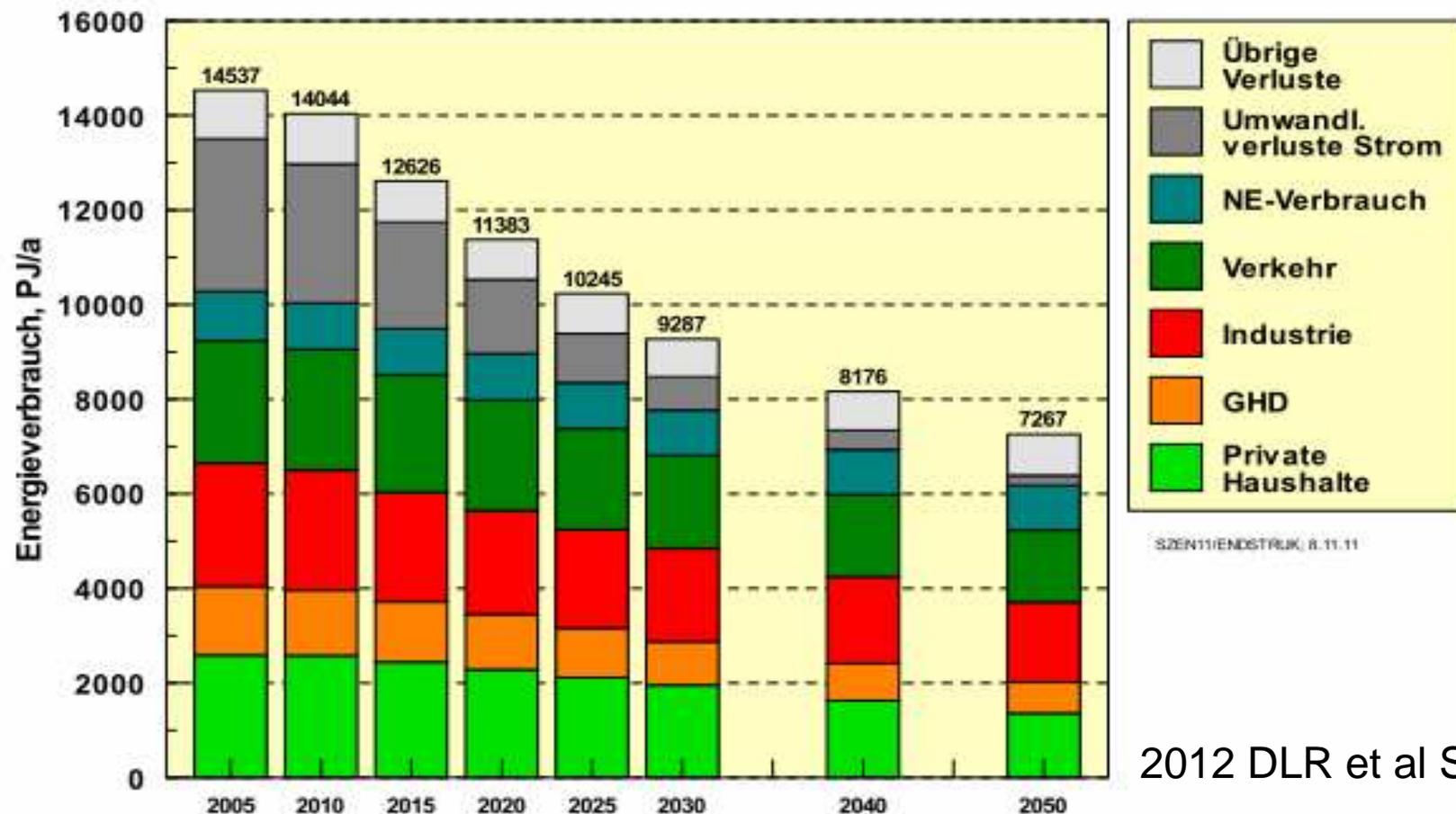
- **Szenario 2011 A** stellt bezüglich des EE-Ausbaus im Stromsektor das mittlere Szenario dar. Die Fahrzeuge mit Elektroantrieb (rein elektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybride) erreichen einen Anteil an der Fahrleistung des PKW-Verkehrs im Jahr 2050 von 50%. Der übrige Verkehr wird mit Biokraftstoffen sowie mittels Wasserstoff nutzenden Fahrzeugen bei insgesamt effizienteren Fahrzeugen abgedeckt. Wasserstoff wird als chemischer Speicher von EE-Strom darüber hinaus in der Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmebereitstellung und kurzzeitig auch zur reinen Rückverstromung eingesetzt. Der Kernenergieausstieg wird entsprechend des Bundestagsbeschlusses vom 30. Juni 2011 (13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes) berücksichtigt.
- **Szenario 2011 B** basiert auf den gleichen Annahmen zur Verbrauchsstruktur und zum Endenergieverbrauch in den Sektoren Industrie, GHD und private Haushalte wie das Szenario 2011 A. Abweichend wird jedoch EE-Wasserstoff über die Methanisierung zu synthetischem Methan umgewandelt. Durch die Möglichkeit der direkten Einspeisung in das Erdgasnetz werden Speicherung und Transport von EE-CH<sub>4</sub> ohne zusätzliche Infrastruktur möglich. Die Nutzung von Methan erfolgt sowohl im Verkehrssektor über einen ansteigenden Anteil von Gasfahrzeugen, in KWK-Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung, als auch in Anlagen zur kurzzeitigen Rückverstromung.
- **Szenario 2011 C** bildet im Unterschied zu Szenario 2011 A die vollständige Abdeckung der PKW-Fahrleistungen im Jahr 2050 über vollelektrische Fahrzeuge sowie Plug-in-Hybride ab (ca. 80% rein elektrische Fahrleistung), d. h. ohne eine Nutzung von Wasserstoff oder Methan im Verkehr. In den übrigen Endverbrauchssektoren ist das Szenario 2011 C identisch mit den Szenarien A und B. Wasserstoff wird nur als Langzeitspeicher benötigt und in begrenztem Umfang in der Kraft-Wärme-Kopplung und zur kurzzeitigen Lastdeckung (Rückverstromung) eingesetzt.

[www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal\\_2012\\_1/leitstudie2011\\_bf.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf) auch bei [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Diesen drei grundsätzlich gleichwertigen „Haupt szenarien“ werden zwei weitere Szenarien hinzugefügt, die spezielle Punkte näher beleuchten. Im **Szenario 2011 A'** wird das 25%-Stromsparziel nur auf die „konventionellen“ heutigen Stromverbraucher bezogen. Daraus resultiert eine Minderung der gesamten Endenergie (einschließlich neuer Verbraucher wie Elektromobilität und Wärmepumpen) an Strom um 15% bis 2050. Die Stromnachfrage aus dem Verkehr entspricht dabei derjenigen des Szenarios 2011 A. **Szenario 2011 THG95** gibt darüber hinaus einen Ausblick auf den EE-Ausbau und die Effizienzentwicklung, die zum Erreichen der oberen Grenze des Zielkorridors für die Reduzierung der Treibhausgase (95%) des Energiekonzents erforderlich ist. Der dargestellte mögliche Entwicklungspfad für ein

GL 4.5.2012: Inclusive der Umwandlungsverluste (grau) bis zur Endenergie wird hier offensichtlich in der Gesamtsäule die Primärenergie gezeigt: Die Strom-Umwandlungsverluste sinken durch Strom aus EE

- Szenario 2011 A -

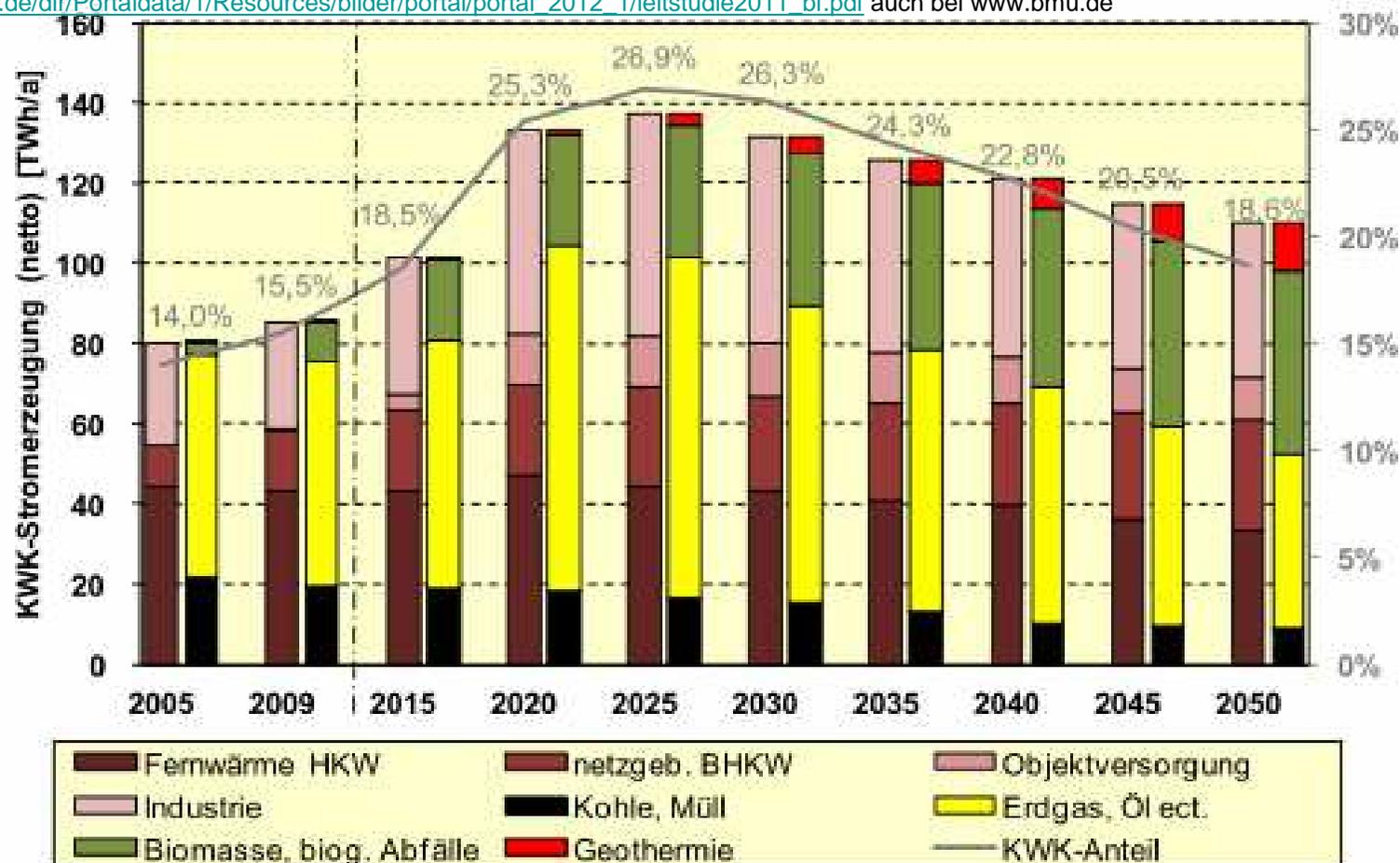


2012 DLR et al S. 8 /BMU

Abbildung 4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren und des Verbrauchs im Umwandlungsbereich (Summe = Primärenergie) im Szenario 2011 A

fizienz des Gebäudebestandes auf etwa 350 PJ/a sinkt. In der Industrie wird für Prozesswärme bis 350°C ein zusätzliches Wärmesenkenpotenzial in Höhe von 450 PJ/a berücksichtigt. Aufgrund steigender Stromkennzahlen kann die Stromproduktion aus KWK in allen Szenarien von derzeit 85 TWh/a auf 137 TWh/a im Jahr 2025 steigen (**Abbildung 2**). Mit weiter steigendem EE-Ausbau sinkt insbesondere der Beitrag der fossilen KWK auf rund 40% der gesamten KWK-Stromerzeugung des Jahres 2050 in Höhe von 110 TWh/a. Die in 2050 vorhandenen gasgefeuerten KWK-Anlagen werden teilweise auch mit EE-Wasserstoff bzw. EE-Methan betrieben.

[www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal\\_2012\\_1/leitstudie2011\\_bf.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf) auch bei [www.bmu.de](http://www.bmu.de)



**Abbildung 2: Entwicklung der KWK-Nettostromerzeugung nach Einsatzbereichen und Energieträgern und Anteil an der gesamten Stromerzeugung**

bis 2050 auf 13%. Im Jahr 2050 tragen die verschiedenen EE-Quellen sehr viel ausgewogener zum Energie-Mix bei, als dies heute mit der Dominanz der Biomasse der Fall ist.

[www.dlr.de/dlr/Portaldaten/1/Resources/bilder/portal/portal\\_2012\\_1/leitstudie2011\\_bf.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldaten/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf) auch bei [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

- Szenario 2011 A -

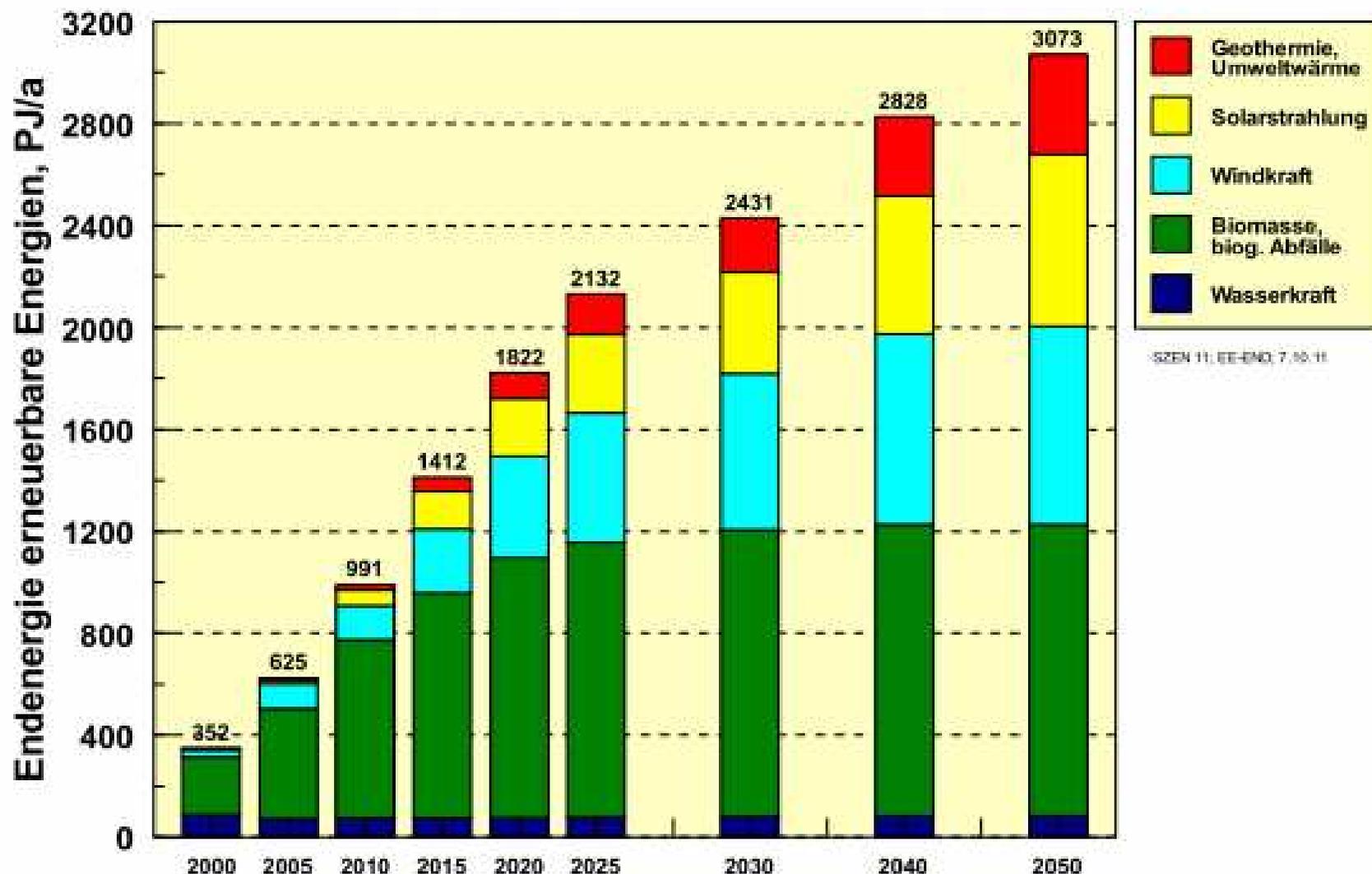
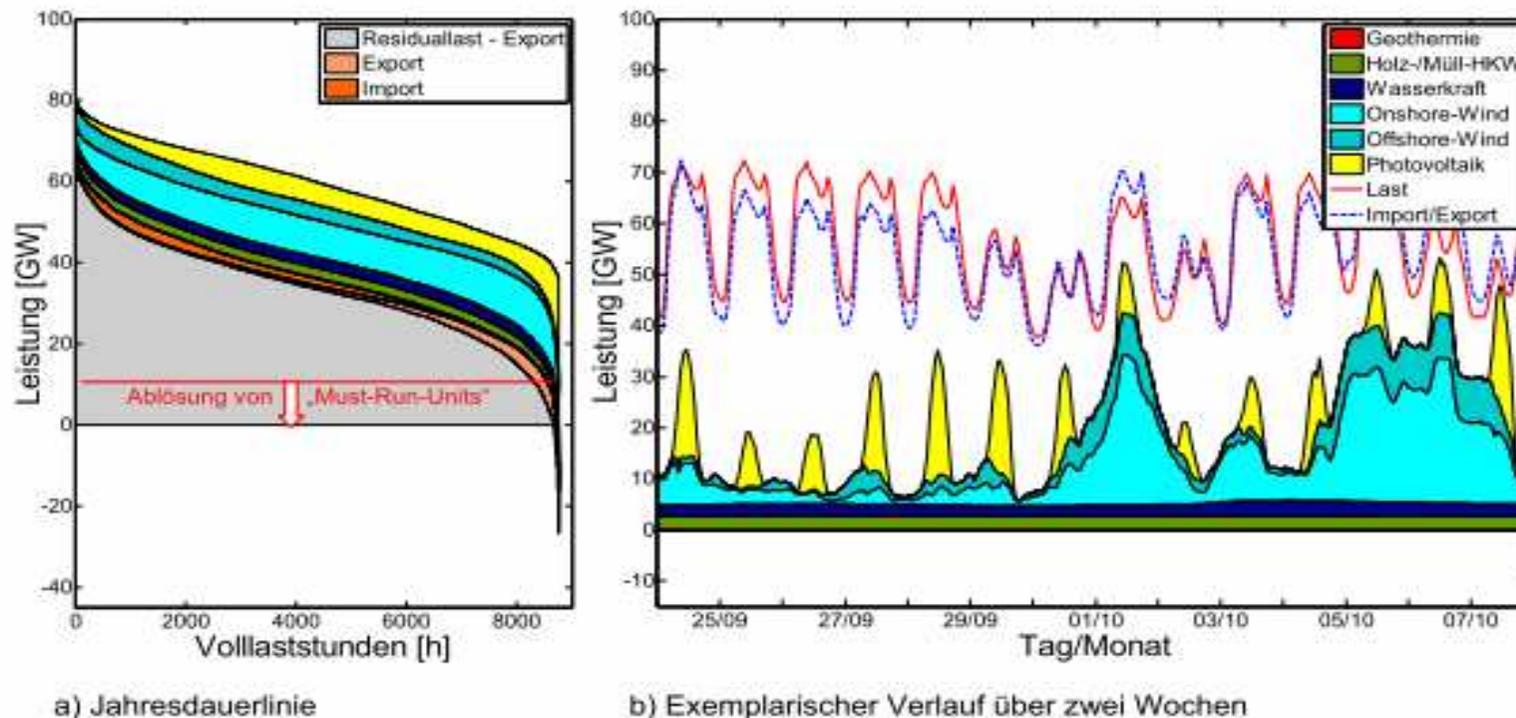


Abbildung 5: Endenergiebeitrag (Strom, Wärme, Kraftstoffe) der EE nach Energiequellen im Szenario 2011 A (Daten bis 2010 aus [AGEE-Stat 2011]; Stand Juli 2011)

Bei idealem Netzausbau innerhalb Deutschlands ist bereits 2020 stundenweise mit einer annähernden Vollversorgung durch EE zu rechnen (s. **Abbildung 13**). Import und Export wirken entlastend auf das System. Die Schwankungen, welche im Stromsystem durch die volatile Einspeisung aus Wind und PV verursacht werden, resultieren in der Residuallast in einem starken **Anstieg des Spitzenlastbedarfs** und einen schrittweise auf Null **zurückgehenden Grundlastbedarf**. Um diese Schwankungen zu minimieren, sind Ausgleichsmaßnahmen notwendig.



**Abbildung 13: Dargebotsabhängige Einspeisung, Stromverbrauch und Import-Export im Jahr 2020, Szenario 2011 A**

2012 DLR et al S. 22 /BMU

Die Simulation zeigt, dass die vielfältigen Lastausgleichsoptionen die Residuallast weitgehend glätten können. Die prioritäre Rolle kommt dabei der **Reduktion der Must-run-Units** und der **Flexibilisierung des Kraftwerksparks** (KWK, Retrofit) zu, damit dieser die EE-

wird, stellt ein deutlicher Biomasseimport keine nachhaltige Strategie dar. Es werden daher in dieser Studie keine (Netto-)Importe an energetisch genutzter Biomasse angenommen.

Die gasförmigen **chemischen Energieträger Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>)** können EE-Strom in großen Mengen auch für andere Verbrauchssektoren nutzbar machen. Soll eine sehr weitreichende Versorgung mit erneuerbaren Energien erreicht werden, wird die Nutzung von EE-H<sub>2</sub> oder EE-CH<sub>4</sub> – insbesondere angesichts limitierter Biomassepotenziale und begrenzter direkter Einsatzmöglichkeiten für EE-Strom – für die Rückverstromung zur Restlastdeckung, die Erzeugung von Hochtemperaturwärme und den Ersatz von fossilen Kraftstoffen im Verkehr eine Schlüsselrolle spielen. Beide Nutzungspfade, H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>, beginnen mit elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff aus EE-Strom. In einem weiteren Verfahrensschritt (Methanisierung) kann dieser in synthetisches Methan umgewandelt werden. Da Verluste bei der Bereitstellung und -nutzung von H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> unvermeidlich sind und diese zusätzliche Kosten verursachen, liegt es auf der Hand, dass zuvor alle Verfahren einer direkten Nutzung von EE-Strom im Wärmebereich und im Verkehr ausgeschöpft werden.

Bei der ökonomischen Bewertung der Nutzung von Wasserstoff und/oder Methan als **Langzeitspeicher für Strom** muss ein Vergleich mit anderen Optionen der Stromspeicherung, also z. B. mit Pump- und Druckluftspeichern erfolgen. Nur mit chemischen Energieträgern können allerdings Speicherkapazitäten von mehreren 100 GWh erbracht werden. Speicherkosten für Strom sind generell hoch und reichen von 5 bis 10 ct/kWh<sub>el</sub> für Pumpspeicher bis zu 23 bis 40 ct/kWh<sub>el</sub> für Druckluftspeicher. Wasserstoffspeicher mit zentralem Elektrolyseur und Verstromung im GuD-Kraftwerk liegen mit 25 ct/kWh<sub>el</sub> (heute) bis 10 ct/kWh<sub>el</sub> (zukünftig) dazwischen, haben aber mit knapp 40% den geringsten Wirkungsgrad.

Im Falle der **Nutzung von H<sub>2</sub> und/oder CH<sub>4</sub> als Brennstoff oder Kraftstoff** ist der Vergleich mit den zukünftigen Preisen der konkurrierenden fossilen Energieträger notwendig. Die Wasserstoffkosten hängen maßgeblich vom Strompreis und der Auslastung der Elektrolyseure ab. Im Jahr 2050 (**Abbildung 3**) kann an Tankstellen mit dezentraler Wasserstoffherzeugung EE-Wasserstoff bei Stromkosten um 4 ct/kWh im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen deutlich kostengünstiger erzeugt werden, auch mit einer Auslastung unter 2000 h/a. Auch für den Wärmemarkt kann dann eine ökonomische EE-Wasserstoffversorgung dargestellt werden.

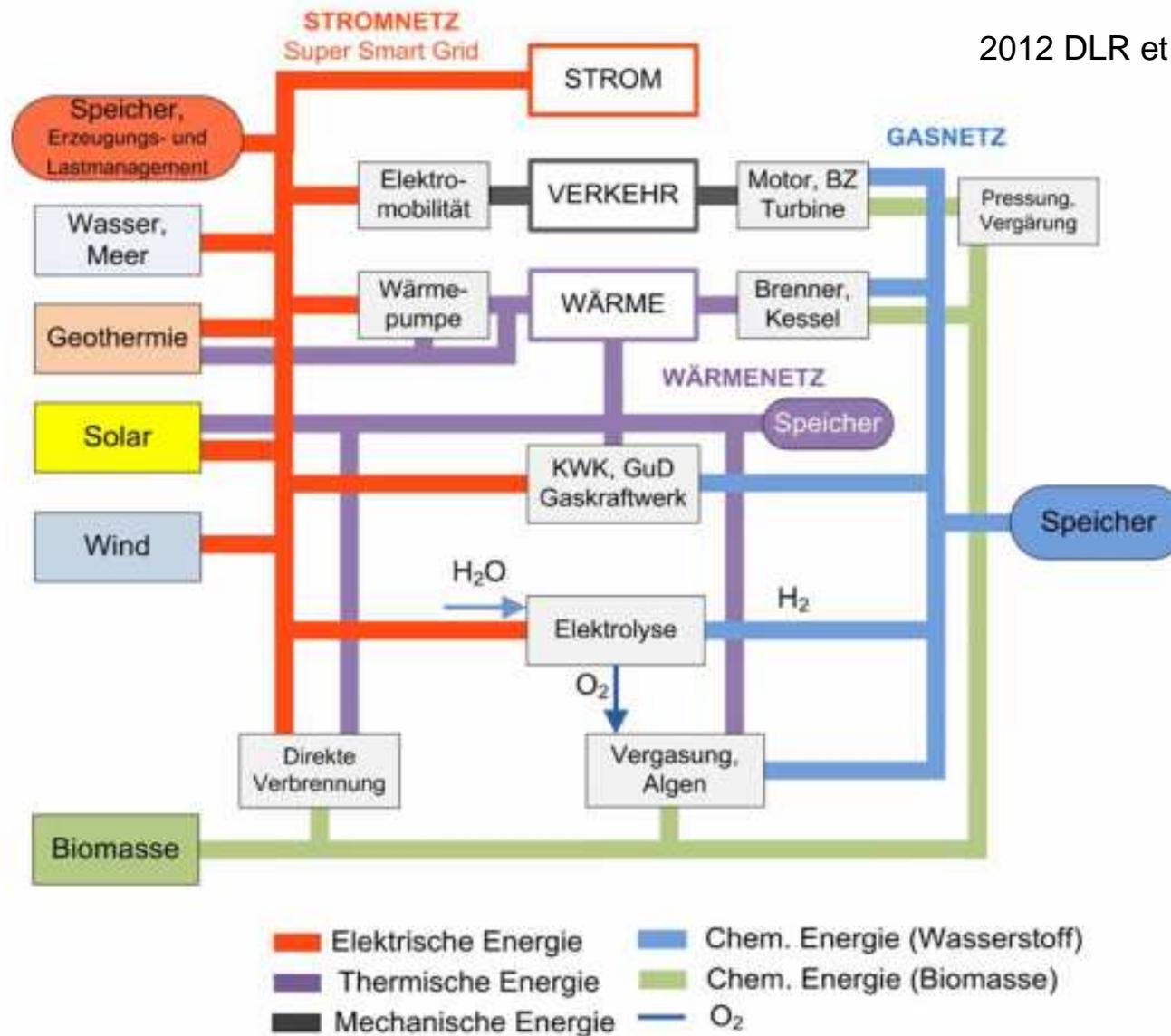
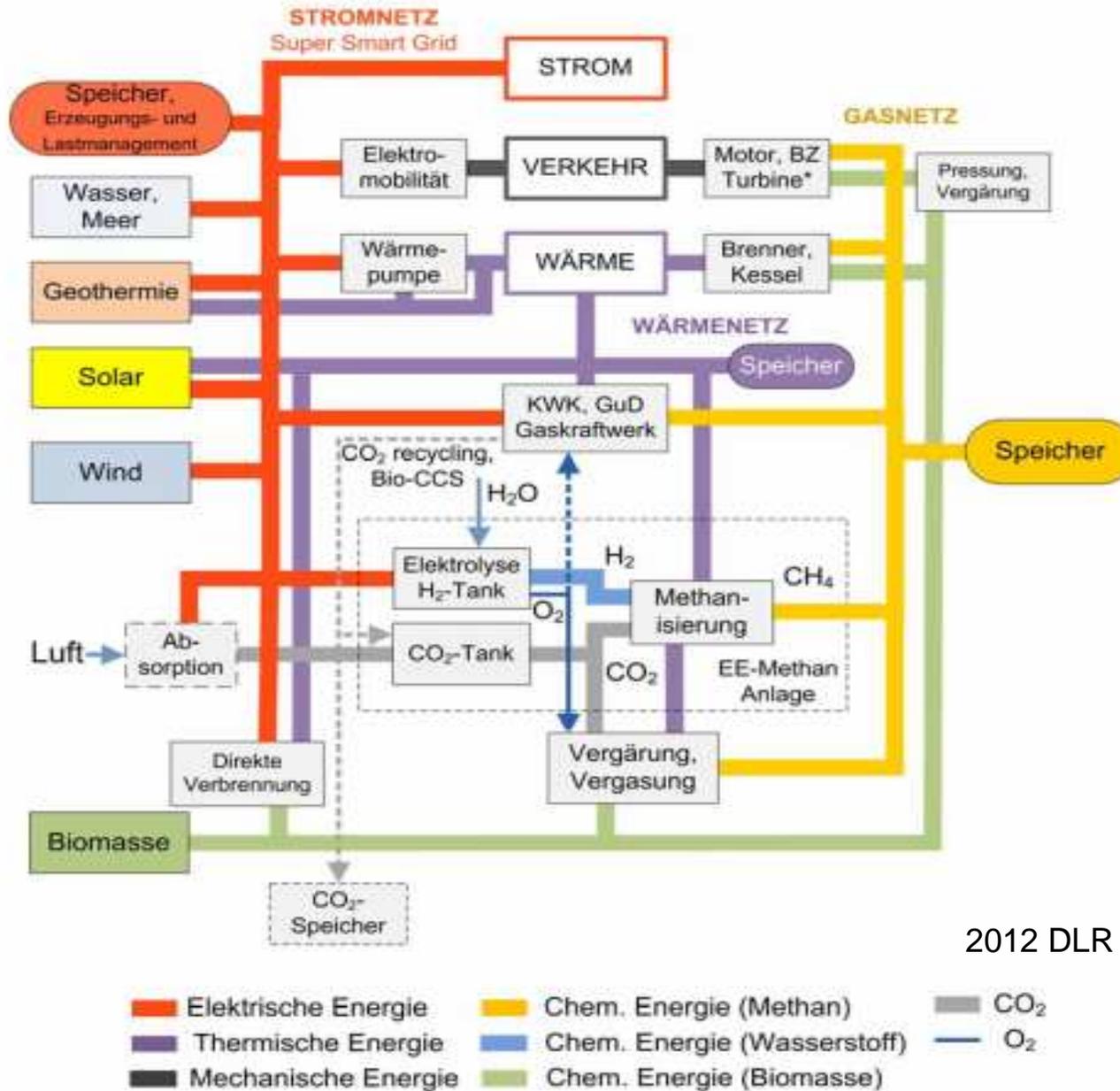
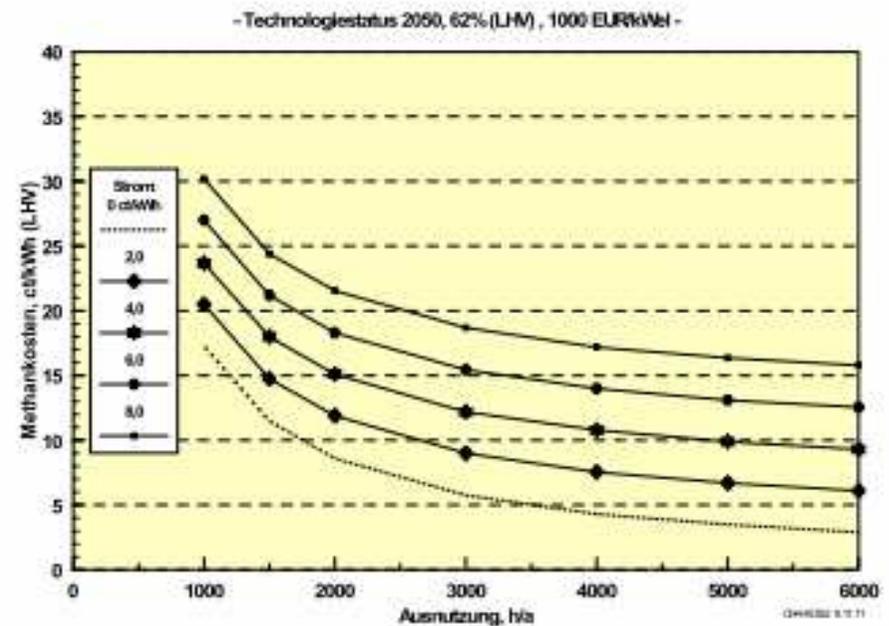
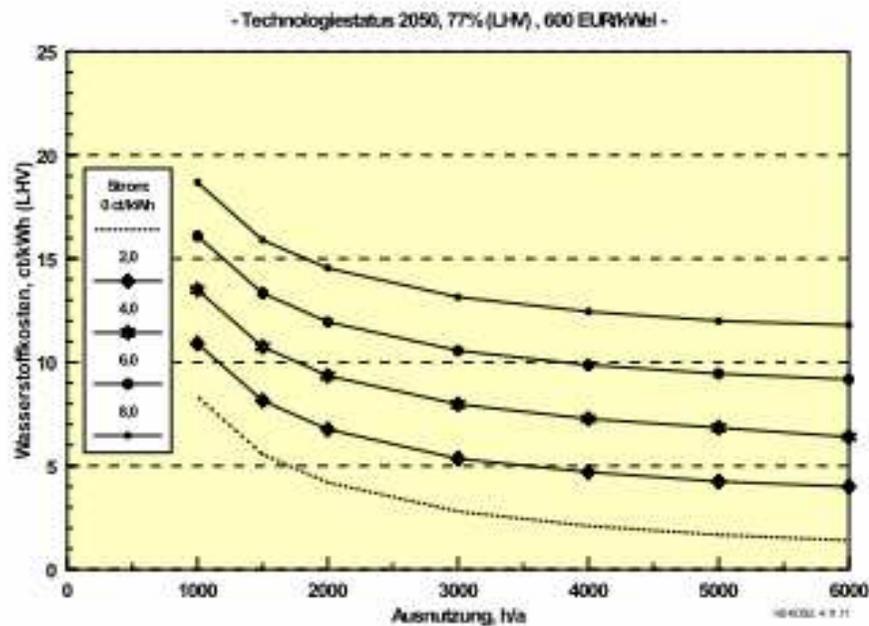


Abbildung 3.16: Struktur einer zukünftigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien auf Basis gekoppelter Strom-, Gas- und Wärmenetze mit EE-Wasserstoff als chemischem Energieträger und Langzeitspeicher<sup>9</sup>, angelehnt an [Sterner 2009]



2012 DLR et al S.92 /BMU

**Abbildung 3.17: Struktur einer zukünftigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien auf Basis gekoppelter Strom-, Gas- und Wärmenetze mit EE-Methan als chemischem Energieträger und Langzeitspeicher, angelehnt an [Sterner 2009]**



**Abbildung 3: Wasserstoff- und Methangestehungskosten (Geldwert 2009) im Jahr 2050 je nach Auslastung und Stromkosten 2050; Zinssatz 6%/a, Abschreibung 20 a, Wartung/Betrieb 2% Inv./a**

Die Kosten für EE-CH<sub>4</sub> liegen je nach Strompreis und Auslastung um 35% bis 60% höher als diejenigen von EE-H<sub>2</sub>. Da aber in diesem Fall die Erdgasinfrastruktur voll genutzt werden kann, relativiert sich dieser Kostennachteil. Die technisch-strukturellen und ökonomischen Einsatzchancen dieser EE-Energieträger müssen in weiteren Untersuchungen im Zusammenhang mit den Gesamtkosten einer EE-Vollversorgung zukünftig genauer verglichen werden. Aus heutiger Sicht sind die Weiterentwicklung und die lokale Demonstration beider Optionen notwendig, da sie langfristig eine wichtige Rolle einnehmen können.

# EE-Wasserstoff

2012 DLR et al S.94 /BMU

- **In 2020** könnte Wasserstoff nur bei sehr geringen Stromkosten von 2 - max 4 ct/kWh und bei Auslastung der Elektrolyse von mind.3000 h/a mit fossilen **Kraftstoffen** konkurrieren.

Aber erst **um 2050** kommt ein umfangreicherer Wasserstoff-einsatz (bzw. Methaneinsatz) in Frage, da dann größere und kostengünstigere EE-Stromüberschüsse für die Bereitstellung mit genutzt werden können.

- der energetische Gesamtwirkungsgrad zwischengespeicherten EE-Stroms mittels H<sub>2</sub> im Idealfall einer vollständigen Nutzung in Kraft-Wärme-Kopplung zwischen **66% - 70%**.
- Für reine Leistungsbereitstellung: 47% und 49% - deutlich unter dem von Pumpspeichern.

Dafür sind „**Speicherdauer**“ und „**Speicherkapazität**“ weitestgehend **unbegrenzt**.

- Der **zeitliche Ausgleich** in Ergänzung zum räumlichen Ausgleich (Transport fluktuierender EE) zur Sicherstellung einer stabilen erneuerbaren Energieversorgung ist damit **gewährleistet**.

**Tabelle 3-5: Vergleich der wichtigsten Eckdaten verschiedener Wasserelektrolyseure**

| Parameter                    | Einheit   | Heutige alkalische Elektrolyse | <b>Fortgeschr. alkalische Elektrolyse</b> | Fortgeschr. Membran-Elektrolyse | HT-Elektrolyse (autotherm) | HT-Elektrolyse (allotherm) |
|------------------------------|---|--------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Temperatur                   | °C  | 60 – 80                        | <b>120</b>                                | 120                             | 900                        | 900                        |
| Druck                        | bar   | < 30                           | <b>60</b>                                 | < 100                           | 2                          | 2                          |
| Elektrischer Energieeinsatz  | kWh <sub>el</sub> /Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> | 4,5 – 6,0                      | <b>3,8 – 4,5</b>                          | 4,1 – 4,8                       | 3,2                        | 2,6                        |
| Wärmeeinsatz                 | kWh <sub>th</sub> /Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> | -                              | -   | -                               | 0,6                        | 1,1                        |
| Wirkungsgrad *) bez. auf LHV | %   | 50 – 65                        | <b>67 – 77</b>                            | 75                              | 78                         | 78                         |
| Investitionskosten           | €/kW <sub>el</sub>                                | 1000                           | <b>600 – 800</b>                          |                                 |                            |                            |

\*)  $\eta_{el} = 100\%$  (erneuerbarer Strom; Wirkungsgradmethode),  $\eta_{th} = 90\%$ ,  $1 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 = 3 \text{ kWh (Hu)}$ ;  $= 3,55 \text{ kWh (Ho)}$

2012 DLR et al S.93 /BMU

Bei der ökonomischen Bewertung der Nutzung von Wasserstoff und/oder Methan muss in die zwei Hauptbereiche: „Langzeitspeicherung für Strom“ und „Einsatz als Brenn- und Kraftstoff“ unterschieden werden. Im ersten Fall ist ein Vergleich mit anderen Optionen der Speicherung von Strom, also mit Pumpspeichern und Druckluftspeichern, anzustellen. Dies ist z. B. aktuell in [VDE 2008] für Speicher mit Leistungen im GW-Bereich geschehen. Nur mit Wasserstoff können allerdings die erforderlichen Speicherkapazitäten von mehreren 100 GWh erbracht werden. Speicherkosten in dieser Kategorie sind generell hoch und reichen von 5 bis 10 ct/kWh<sub>el</sub> für Pumpspeicher bis 40 ct/kWh<sub>el</sub> (heutige Druckluftspeicher) bzw. 23 ct/kWh<sub>el</sub> (zukünftige Druckluftspeicher). Wasserstoffspeicher liegen mit 25 ct/kWh<sub>el</sub> (heute) bis 10 ct/kWh<sub>el</sub> (zukünftig) dazwischen, haben aber mit knapp 40% (Werte in [VDE 2008]: Elektrolyse 65%; Verdichtung 97%, Verstromung 60%) den geringsten Wirkungsgrad. Dieser Wert kann hinsichtlich der Elektrolyse allerdings als relativ konservativ betrachtet werden.

# Bereitstellung von EE-Methan -1

- Bei hohen CO<sub>2</sub> -Konzentrationen (CO<sub>2</sub> aus Biomasseprozessen) in entwickelten größeren Anlagen (mehrere 10 MW el ) **um 2020 Nutzungsgrade um 55% erwartet, längerfristig 60-65%.**
- **Kostenschätzungen** für die Bereitstellung von EE-Methan und EE-Wasserstoff heute **noch sehr vage.**  
Für erste größere Anlagen (um 2020) 1200 €/kW el Inv. [Sterner 2009; Jentsch/Sterner 2010], längerfristig (um 2050) 1000 €/kW el möglich.

Der **zusätzliche Energieaufwand** von ~20% und zusätzliche Investitionen erhöhen die Kosten von **EE-Methan** gegenüber EE-Wasserstoff um 35% - 60%

In 2020 noch keine mit fossilem Erdgas vergleichbaren Kosten erzielbar. Dann die Technologie in industriellem Maßstab demonstrieren für belastbare technische und ökonomische Parameter

- Der großtechnisch erforderliche Einsatz von EE-Methan ergibt sich – ebenso wie der von EE-Wasserstoff – erst Mitte des Jahrhunderts (?GL) **bzw.**  
**bei Annäherung des Transformations-prozesses an die Vollversorgung mit erneuerbaren Energien:**

**ab 2030: bei EE-Strom >65% Anteil, dabei maximaler Einsatz in KWK-Anlagen**

# Bereitstellung von EE-Methan - 2

- Bei Nutzung anderweitig nicht verwertbarer EE-Strom-Überschüsse:
- mit 2 C/kWh el auch bei geringer Ausnutzungsdauer konkurrenzfähige Kosten erreichbar

EE-H2: 6 – 8 C/kWh (2050, Geldwert 2009)

EE-CH4: 10-12 C/kWh

**Erinnerung: Vorteile EE-CH4:** Einschub GL:

**komplikationslose Nutzung** in bestehenden Anlagen

**Nutzung** der schon investierten **500 Mrd. Euro** des Erdgasrohrnetzes in EU

**Speicherung „unbegrenzt“, Speicher i.w. schon vorhanden**

**CO2-Frage (Deutschland):**

**Biomasse CO2:** 8 von **11** Mio t/a: für 37 TWh CH4,  
reicht für 16 TWh Spitzenlast-+KWK-Stromerzeugung  
(oder über 1 Woche für den gesamten D-Bedarf)

**Stahlindustrie CO2:** **31** Mio t/a

**Zementindustrie CO2:** **14** Mio t/a

diese **45** Mio t können H2 aus 400 TWh Strom methanisieren (2/3 der D-Stromproduktion !)

→ **genug CH4 erzeugbar auch für den Verkehr!**

**CO2 auf Luft ? (teurer)**

**CO2 aus Abgas der EE-CH4-Kraftwerke (Recycling)**

## Es folgt Teil 2:

Auszüge aus Vortrags

von Dr. Hartmut Krause und Gert Müller-Syring

- vom 10. Nov. 2011
- [http://www.dbi-gut.de/fileadmin/downloads/3\\_Veroeffentlichungen/Vortraege/2011/111110\\_4.sBZT\\_H2inErdgasnetz-PowerToGas\\_GUT\\_Krause.pdf](http://www.dbi-gut.de/fileadmin/downloads/3_Veroeffentlichungen/Vortraege/2011/111110_4.sBZT_H2inErdgasnetz-PowerToGas_GUT_Krause.pdf)

## Es folgt Teil 3:

Auszug aus Vortrag Dr. Michael Sterner

in Frankfurt/M 2011:

[www.abgnova.de/pdf/Sterner IWES Stadt Frankfurt ABGnova 2011.pdf](http://www.abgnova.de/pdf/Sterner IWES Stadt Frankfurt ABGnova 2011.pdf)

## Es folgt Teil 4:

Auszug aus Vortrag Prof. Dr. Jürgen Schmid et al /FhG IWS

[http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/Vortraege/Veranstaltungen/PowerToGas/PtG\\_221111\\_ProfDrSchmid\\_%20pdf.pdf;jsessionid=5A9CE32294E1093F25C1A058702DC0DF?blob=publicationFile](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/Vortraege/Veranstaltungen/PowerToGas/PtG_221111_ProfDrSchmid_%20pdf.pdf;jsessionid=5A9CE32294E1093F25C1A058702DC0DF?blob=publicationFile)