



[www.klimabuendnis-freiburg.de](http://www.klimabuendnis-freiburg.de)

## **Thesenpapier des Freiburger Klimabündnisses zur Bedeutung von Blockheizkraftwerken für eine dezentral ausgerichtete Energieversorgung**

Dieses Thesenpapier beschreibt,

- wie eine hohe Versorgungssicherheit trotz des zeitlich schwankenden (volatilen) Dargebots von Wind- und PV-Strom gewährleistet werden kann,
- welche Rolle energetisch hocheffiziente Blockheizkraftwerke (BHKW) in der Energiewende spielen,
- warum Blockheizkraftwerke der Kostendrücker in der Energiewende sind,
- wie der erforderlich Zubau von BHKW-Kapazitäten beschleunigt werden kann,
- welche Bedeutung künftig der Vision „Strom-zu-Gas“ zukommen wird,
- und wie das Ausmaß des erforderlichen Stromnetzausbaus mit diesem Konzept reduziert werden kann.

Hierzu werden nahezu 50 Fragen beantwortet, mit denen wir regelmäßig bei der Vorstellung unserer Vorschläge zur Energiewende konfrontiert werden. Die jeweiligen Antworten können – je nach Interesse – auch einzeln gelesen werden.

*Dr. Jörg Lange und Nikolaus Geiler  
Freiburg, Juli 2012*

## 48 Fragen und Antworten zur Energiewende

1.	Wie das volatile Angebot von Photovoltaik (PV) und Windkraft mit BHKWs ausgeregelt werden kann? .....	3
2.	Wie viel Megawatt BHKW-Kapazitäten benötigt die Energiewende? .....	3
3.	Warum man allein mit großen Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerken (GuD-Anlagen) die Energiewende nicht stemmen kann? .....	6
4.	Warum bei GuD-Anlagen 40 Prozent der Primärenergie verloren gehen können.....	6
5.	Braucht es überhaupt „Kapazitätsmärkte“ für Gaskraftwerke? .....	7
6.	Warum das untergesetzliche Regelwerk die Energiewende ausbremst?.....	7
7.	Warum die Ziele beim Ausbau der Kraftwärmekopplung verfehlt werden? .....	9
8.	Warum große Kohle-KWK-Anlagen das CO <sub>2</sub> -Minderungspotenzial nicht ausschöpfen? .....	9
9.	Ist der BHKW-Einsatz bei abnehmendem Wärmebedarf noch sinnvoll?.....	10
10.	Warum es einer Kostendegression durch große BHKW-Stückzahlen bedarf? .....	10
11.	Lassen sich überhaupt genug BHKWs produzieren? .....	11
12.	Warum kommt es auf langfristig stabile und verlässliche Förderbedingungen an? .....	11
13.	Warum die BHKW-Förderung radikal vereinfacht werden muss? .....	12
14.	Laufen die Kosten für eine BHKW-Förderung aus dem Ruder? .....	12
15.	Gibt es genügend Gas für Zehntausende von neuen BHKWs? .....	13
16.	Wie ist die CO <sub>2</sub> -Freisetzung von KWK-Anlagen zu bewerten?.....	14
17.	Warum BHKW-Contracting gefördert werden muss? .....	14
18.	Warum für Wohnungseigentümergeinschaften rechtssichere „BHKW-Verträge“ essenziell sind?.....	15
19.	Lastmanagement: Wie die Produktion und Last in Übereinstimmung bringen? .....	16
20.	Was ist „Überschussstrom“?.....	16
21.	Welche Rolle spielt der innereuropäische Stromtransfer? .....	16
22.	Wie macht man aus Überschussstrom regenerativen Wasserstoff? .....	17
23.	Warum brauchen wir regenerativen Wasserstoff? .....	17
24.	Warum greift der Stromnetzausbau zu kurz?.....	17
25.	Warum kann das Erdgasnetz im Gegensatz zum Stromnetz „atmen“ .....	18
26.	Wie sieht es mit dem Wirkungsgrad bei der Elektrolyse aus? .....	18
27.	Kommt es auf den Wirkungsgrad überhaupt an?.....	18
28.	Wie viel „Wegwerfstrom“ passt ins Erdgasnetz?.....	19
29.	Wie funktioniert die „Methanisierung“? .....	19
30.	Wie kann die energetische Wertschöpfung in Deutschland gesteigert werden?.....	19
31.	Wie ist der Gesamtwirkungsgrad zu beurteilen?.....	20
32.	Wie funktioniert die Rückverstromung von Wasserstoff und EE-Methan? .....	20
33.	Warum brauchen wir die Kraftwärmekopplung als notwendige Ergänzung von Wind- und Solarstrom.....	20
34.	Kraftwärmekopplung und Blockheizkraftwerke – was ist der Unterschied? .....	21
35.	Wie groß ist das Potenzial der Kraftwärmekopplung (KWK)?.....	21
36.	Warum rechnen sich BHKWs derzeit nur bei Eigennutzung des BHKW-Stroms? .....	22
37.	Warum BHKW-Anlagen oft zu klein dimensioniert werden? .....	22
38.	Mehr Eigennutzung – oder mehr Einspeisung ins Netz? .....	23
39.	Wann ist der BHKW-Einbau der Wärmedämmung vorzuziehen? .....	23
40.	Warum müssen Kommunen BHKW-Vorreiter werden? .....	24
41.	Warum sind kommunale Gebäude für den BHKW-Einbau prädestiniert? .....	24
42.	Warum werden nur wenige kommunale Gebäude mit BHKW-Anlagen ausgestattet? .....	25
43.	Warum werden größere KWK-Anlagen an Wochenenden abgestellt?.....	25
44.	Warum setzen sich BHKWs auch im industriell-gewerblichen Bereich kaum durch?.....	25
45.	Wie werden sich die BHKW-Einsatzzwecke weiterentwickeln?.....	26
46.	Warum das Ingenieurwissen über BHKWs aufgepeppt werden muss? .....	26
47.	Wieviel Zeit haben wir noch?.....	27
48.	Wo gibt es weitere KWK/BHKW-Infos? .....	27

## 1. **Wie das volatile Angebot von Photovoltaik (PV) und Windkraft mit BHKWs ausgeregelt werden kann?**

Um die Energiewende und den Klimaschutz erfolgreich gestalten zu können, gilt es zum einen, die vorhandenen Kohle- und Atomkraftwerke zu ersetzen und zum anderen angesichts der fluktuierenden Einspeisung von PV und Windkraft ein hohes Maß an Versorgungssicherheit bei der Stromversorgung zu gewährleisten. Beide Ziele können nach Überzeugung des Klimabündnisses Freiburg durch einen intelligenten Energiemix aus Windstrom, Solarstrom (PV) und Anlagen zur Kraftwärmekopplung (KWK) erreicht werden. Bei richtiger Abstimmung ergänzen sich die drei genannten Erzeugungstechnologien weitgehend. Nach unserer Einschätzung müssen deutschlandweit

- zusätzliche PV-Anlagen mit einer Leistung von ca. 35 GW,
- zusätzlich onshore-Windenergieanlagen (vorwiegend Süddeutschland) mit einer elektrischen Leistung von ca. 30 GW bis 40 GW und
- zusätzlich KWK-Anlagen/BHKWs mit einer elektrischen Leistung von ca. 28 GW

zum Ausregeln der volatilen PV- und Windkrafteinspeisung installiert werden.

Voraussetzung für die Ausregelung ist die Ausstattung von stromorientiert betriebenen BHKWs mit Wärmespeichern. Ein Ausbau dieser Kapazitäten innerhalb von 10-15 Jahre ist möglich und vermeidet einen übermäßigen Netzausbau, sofern die Politik die richtigen Rahmenbedingungen setzt. Strombedarfsorientiert betriebene BHKW-Anlagen müssen dann dazu beitragen, die Lücken im volatilen Angebot von PV und Windkraft zu schließen.

## 2. **Wie viel Megawatt BHKW-Kapazitäten benötigt die Energiewende?**

Die erforderliche Leistung von BHKW-Anlagen kann man von drei Ansatzpunkten her abschätzen:

1. Man geht von dem politisch formulierten Ziel im KWK-Gesetz aus: Danach soll im Jahr 2020 der KWK-Stromanteil an der gesamten Strombereitstellung bei 25 Prozent liegen. Nimmt man optimistisch an, dass im Jahr 2020 die Strombereitstellung bei nur noch 500 Terawattstunden (TWh) liegt (derzeit noch über 600 TWh), würde sich ein KWK/BHKW-Stromanteil von 125 TWh ergeben. Unter der weiteren Annahme, dass KWK- und BHKW-Anlagen beispielsweise 3.500 Stunden im Jahr laufen, würde dies auf eine KWK/BHKW-Leistung von rund 35.700 MW im Jahr 2020 hinauslaufen. Geht man von höheren Jahreslaufzeiten würde sich die genannte Leistung verringern. Umgekehrt würde eine geringere Jahresstundenzahl zu einer höheren KWK/BHKW-Kapazität führen.
2. Man kann aber auch die Entwicklung der PV- und Windkraft-Kapazitäten prognostizieren, um zu sehen, welche Dargebotsdefizite sich aus der fluktuierenden Einspeisung von PV- und Windkraftstrom ergeben werden. Diese „Löcher“ müssen dann u.a. mit BHKW-Strom „gestopft“ werden. Geht man davon aus, dass im Jahr 2050 die Strombereitstellung zu 100 Prozent durch die „smarte“ Kombination von Erneuerbaren Energien und KWK/BHKW-Anlagen

erfolgen soll, würde sich ein KWK/BHKW-Leistungsbedarf in der Größenordnung von 28.000 MW ergeben. Damit könnte das volatile Leistungsdargebot aus PV und Wind auch in Wintern mit wenig Wind und häufigem Nebel tendenziell ausgeglichen werden. Zur Ausregelung des zeitlich schwankenden („fluktuierenden“) Dargebotes würden ferner Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Wasserkraft beitragen.<sup>1</sup>

3. Beim dritten Ansatzpunkt prognostiziert man den künftigen Wärmebedarf in Haushalten, öffentlichen Liegenschaften sowie im industriell-gewerblichen Sektor. Wenn man davon ausgeht, dass der Wärmebedarf in immer größerem Umfang durch dezentrale BHKW-Anlagen bereitgestellt wird, kann man auch über diese Annahmen die künftig erforderliche BHKW-Leistung abschätzen – beispielsweise für das Jahr 2020 und das Jahr 2050. Dieses Prognoseweg soll im Folgenden etwas näher beschrieben werden:

Zu den Grundlagen der Abschätzung gehört, dass man von folgenden Annahmen ausgeht:

- Durch eine ausgefeilte Energieeffizienzpolitik wird sich der Strombedarf im Vergleich zu heute - entsprechend dem Energiekonzept der Bundesregierung - bis zum Jahr 2020 um 10 Prozent reduzieren. Bis zum Jahr 2050 wird sich der Strombedarf im Vergleich zu heute um insgesamt 20 Prozent verringert haben.
- Damit wird der Stromverbrauch von heute 538 TWh auf 477 TWh im Jahr 2020 und auf 424 TWh im Jahr 2050 zurückgehen.
- Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (EE) wird von heute 110 TWh auf 200 TWh im Jahr 2020 und auf 699 TWh im Jahr 2050 zunehmen.
- Der dabei zunehmend anfallende „Überschussstrom“ der Erneuerbaren muss dann via Elektrolyse in Speichergas transformiert werden. Das Methan aus Biogasanlagen sowie aus Deponien, Kläranlagen und stillgelegten Kohlebergwerken kann ebenfalls als Speichergas genutzt werden. Wenn Windkraft und PV zu wenig Strom bereitstellen, kann Speichergas in BHKWs am Ort des Bedarfs in Strom und Wärme rückgewandelt werden. Während EE-Speichergas heute mit 0 TWh angesetzt werden muss, könnte Speichergas im Jahr 2020 bereits einen Energiegehalt von 80 TWh und im Jahr 2050 einen Energiegehalt von 297 TWh repräsentieren.
- Und während der Stromanteil aus KWK/BHKW derzeit nur bei 65 TWh<sup>2</sup> liegt, könnte er bis 2020 auf 119 TWh (entsprechend der angestrebten 25 Prozent-Quote für KWK-Strom) ansteigen, um dann in Folge des zurückgehenden Wärmebedarfs bis zum Jahr 2050 wieder auf 99 TWh (entsprechend einer KWK/BHKW-Quote von 23 Prozent) zurückzugehen.
- Die beheizte Wohnfläche in Deutschland beträgt 3,4 Mrd. Quadratmeter. Auf Grund einer besseren Wärmedämmung der Gebäude wird der Wärmebedarf kontinuierlich absinken. Angenommen wird eine energetische Sanierungsquote der Gebäude von 2,5 Prozent pro Jahr<sup>3</sup>. Der Wärmebedarf der Wohnungen wird damit von heute 180 kWh/m<sup>2</sup> auf 144 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr

---

<sup>1</sup> Berechnung von Dipl. Ing. (FH) Christian Meyer Tel: 07665/ 947 54-53, E-Mail: [info@energy-consulting-meyer.de](mailto:info@energy-consulting-meyer.de)

<sup>2</sup> gerechnet ohne den Anteil der vergleichsweise stark klimaschädigenden Kohle-KWK und ohne den Anteil der Biomasse-KWK, die nicht über das KWK-Gesetz, sondern über das EEG gefördert wird.

<sup>3</sup> Angesichts der derzeitigen Sanierungsquote von nur einem Prozent ist dies eine optimistische Annahme.

2020 und dann bis zum Jahr 2050 auf 50 kWh/m<sup>2</sup> abnehmen. Der Wärmebedarf der Wohnungen wird eine Reduktion von 612 TWh auf 490 TWh im Jahr 2020 und schließlich auf 170 TWh im Jahr 2050 erfahren.

- Würde dieser Wärmebedarf über BHKW-Anlagen gedeckt, könnten über „die stromerzeugende Heizung“ derzeit 202 TWh Strom erzeugt werden, im Jahr 2020 wären es 162 TWh und im Jahr 2050 würde es noch für 56 TWh BHKW-Strom reichen. (Der elektrische Wirkungsgrad der KWK- und BHKW-Anlagen wurde pauschal mit 33 Prozent angesetzt.)
- In ähnlicher Weise lässt sich das Potenzial für KWK/BHKW-Strom bei der Zuverfügungstellung von Raum- und Prozesswärme im industriell-gewerblichen Bereich berechnen. Dabei wird vorausgesetzt, dass bis zu 50 Prozent der Prozesswärme in Gewerbe und Industrie durch die Kraftwärmekopplung bereitgestellt werden können.

Nachfolgend die genannten Angaben noch ein Mal in Form einer Tabelle <sup>4</sup>

	Heute			Im Jahr 2020			Im Jahr 2050		
	Wärmebedarf [kWh/m <sup>2</sup> xa]	TWh	TWh	Wärmebedarf [kWh/m <sup>2</sup> xa]	TWh	TWh	Wärmebedarf [kWh/m <sup>2</sup> xa]	TWh	TWh
Stromverbrauch (netto) in Deutschland.			538			477			424
Stromerzeugung aus Erneuerbaren (Zielwerte)			110			200			699
Speichergas aus Biogas / EE-Gas (Zielwerte)			0			80			297
<b>(Anzustrebender) Stromanteil aus KWK</b>	<b>65</b>			<b>119</b>			<b>99</b>		
<b>Potenzial der KWK</b>									
Wärmebedarf Wohnungen	180	612	202	144	489,6	162	50	170	56
Raumwärme Gewerbe und Industrie		96	32		86	28		58	19
Prozesswärme Gewerbe und Industrie		400	66		380	63		280	46
Summe möglicher Stromerzeugung aus KWK		1108	300		955,6	253		508	121
<b>Möglicher KWK/BHKW-Anteil am Stromverbr.</b>	<b>57 %</b>			<b>53 %</b>			<b>29 %</b>		

Aus dem vom uns angestrebten KWK/BHKW-Stromanteil von 99 TWh (99.000.000 MWh) im Jahr 2050 lässt sich auch die erforderliche Leistung berechnen, die über KWK- und BHKW-Maschinen bereitgestellt werden muss. Nimmt man an, dass die Maschinen 3.000 Stunden im Jahr laufen, ergibt sich folgende Rechnung:

$$99.000.000 \text{ MWh} : 3.000 \text{ h} = 33.000 \text{ MW}$$

Bei einer Jahresstundenzahl von 3.500 h wären es rund 28.300 MW. Die Abschätzungen über die Wege 2 und 3 für das Jahr 2050 stimmen also mit ca. 30.000 MW, die über KWK/BHKW-Anlagen bereitgestellt werden müssen, hinreichend gut überein. Voraussetzung ist in beiden Fällen, dass die BHKW-Anlagen mit entsprechend

<sup>4</sup> Berechnung und Tabelle erstellt von Dr. Jörg Lange

groß dimensionierten Wärmespeichern im „Schwarmstrombetrieb“ – also in strombedarfsorientierter Betriebsweise - gefahren werden können.<sup>5</sup>

### **3. Warum man allein mit großen Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerken (GuD-Anlagen) die Energiewende nicht stemmen kann?**

Um das zeitlich schwankende Dargebot von PV und Windkraft auszugleichen, setzen Politik und Energiewirtschaft derzeit vornehmlich auf den Erhalt von Gaskraftwerks-Kapazitäten und auf den massiven Zubau von GuD-Kraftwerken. Der Bau und Betrieb von großen Gaskraftwerken lohnt sich jedoch betriebswirtschaftlich immer weniger, da durch die zunehmende Einspeisung von PV und Windkraft die Jahresarbeitszeit der Gaskraftwerke unter das betriebswirtschaftlich lohnende Limit sinkt. Die Folge: Bestehende Gaskraftwerke werden stillgelegt und neue GuD-Kraftwerke nur noch in wenigen Ausnahmefällen gebaut.

Politik und Energiewirtschaft diskutieren deshalb vermehrt über die Schaffung von „Kapazitätsmärkten“: Betreiber von Gaskraftwerken sollen einen wirtschaftlichen Anreiz bekommen, ihre bestehende Anlagen nicht stillzulegen. Über eine finanzielle Förderung soll zudem der Neubau von GuD-Kraftwerken angereizt werden. Im Neusprech: „*Etablierung eines Marktmodells mit Anreizen zur Investition in moderne hocheffiziente und flexible fossile Kraftwerke.*“ Die Finanzierung von einem Bonus für die Vorhaltung von unwirtschaftlichen Gaskraftwerks-Kapazitäten könnte über eine weitere Umlage auf den Strompreis auf die Stromkunden abgewälzt werden. Alternativ steht zur Debatte, dass der Kapazitäts-Bonus aus Steuermitteln finanziert werden könnte.

### **4. Warum bei GuD-Anlagen 40 Prozent der Primärenergie verloren gehen können**

Neben der betriebswirtschaftlichen Betrachtung zeigt sich bei einer ökologischen Bewertung noch ein weiteres Handicap von Gaskraftwerken. Da Gaskraftwerke mit immer weniger Volllaststunden betrieben werden müssen, lohnt sich eine Auskoppelung von Wärme für Fern- und Nahwärmenetze in immer geringerem Umfang. Auch wenn moderne GuD-Kraftwerke mit einem Wirkungsgrad von 60 Prozent betrieben werden, werden dann 40 Prozent der Primärenergie als Abwärme ungenutzt verloren gehen.

Im Vergleich zu großen Gaskraftwerken haben BHKW-Anlagen zwei entscheidende Vorteile: Sie lassen sich erstens betriebswirtschaftlich lohnend betreiben - und zweitens sind die Abwärmeverluste deutlich geringer als bei GuD-Kraftwerken, die wegen einer geringen Jahresarbeitszeit in der Regel ohne Wärmeauskoppelung betrieben werden müssten. Da BHKWs am Ort des Bedarfs Strom und Wärme produzieren,

---

<sup>5</sup> Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch die Leitstudie des BMU (Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global), Kap. 3.4 S.72 ff., insbesondere Abb. 3.10)

entlasten sie zudem die Stromnetze. Weniger Strom muss von den Standorten der vorgesehenen GuD-Kraftwerke zu den Verbrauchern transportiert werden.<sup>6</sup>

Neue GuD-Anlagen lohnen sich überall dort, wo im industriell-gewerblichen Bereich rund um die Uhr gleichermaßen Strom und Wärme (beispielsweise Prozessdampf) abverlangt werden. Paradebeispiel hierfür ist das neue 430 MW-GuD-Kraftwerk, das im Chemiepark Leverkusen derzeit von Trianel gebaut wird. Abgesehen von solchen Spezialfällen sollte aber vermehrt darüber diskutiert werden, in welchem Umfang der vorgesehene Zubau von Gaskraftwerken<sup>7</sup> durch den Betrieb einer Vielzahl von BHKWs substituiert werden könnte. Statt „Kapazitätsmärkte“ zu subventionieren, sollte geprüft werden, ob die Förderung einer breiten Marktdurchdringung von BHKW-Anlagen volkswirtschaftlich deutlich preiswerter zu stehen kommt.

## 5. Braucht es überhaupt „Kapazitätsmärkte“ für Gaskraftwerke?

Vor dem Hintergrund der schon vorhandenen Kapazitäten an Gaskraftwerken mutet die Debatte über „Kapazitätsmärkte“ für neue Gaskraftwerke etwas skurril an. Denn die deutschen Energieversorger verfügen nach Angaben der Bundesnetzagentur über einen gasbefeuerten Kraftwerkspark in der Größenordnung von 20.000 MW! Bemerkenswerterweise werden diese Gaskraftwerke aber kaum betrieben. Denn für die Kraftwerksbetreiber ist es lukrativer, den benötigten Strom über Stein- und Braunkohlekraftwerke zu produzieren. Die betriebswirtschaftlich orientierte Bevorzugung der Stein- und Braunkohlekraftwerke hat im Hinblick auf den Klimaschutz den Nachteil einer deutlich erhöhten CO<sub>2</sub>-Freisetzung im Vergleich zu Gaskraftwerken. Angesichts einer Kapazität von 20.000 MW in Gaskraftwerken stellt sich die Frage, ob tatsächlich ein hoch subventionierter Zubau von 16.000 MW in GuD-Kraftwerken erforderlich ist.

## 6. Warum das untergesetzliche Regelwerk die Energiewende ausbremst?

Die vielen Verästelungen des Energierechts sind selbst für Fachleute kaum noch überblickbar.<sup>8</sup> Wenn es um das untergesetzliche Regelwerk geht, sind auch Fachleute überfordert. Ein undurchschaubarer Dschungel von Normen und Regelwerken erweist sich immer mehr als ein Regelungsdickicht, in dem viele gute Ansätze zur Energiewende hängen bleiben – vor allem wird der Ausbau und die Einspeisung der

---

<sup>6</sup> Der Ökoenergieanbieter Lichtblick hat mit der Vorlage einer entsprechenden Studie am 6.3.12 kritisiert, dass die Netzdebatte in Deutschland bisher die Möglichkeiten einer dezentralen, intelligent gesteuerten Stromerzeugung vernachlässigt. Das Unternehmen habe deshalb die Einsparpotenziale durch Mini-Blockheizkraftwerke durchrechnen lassen. Bis zu einer halben Milliarde Euro könnten Verteilnetzbetreiber bis 2020 weniger investieren, ermittelte die Unternehmensberatung LBD im Auftrag von Lichtblick. Dafür müssten Mini-Kraftwerke mit einer Leistung von mindestens 3.500 MW Leistung installiert sein. Weitere Voraussetzung sei der flächendeckende Einsatz von Smart Metern, damit die Verteilnetzbetreiber ihre Lastsituation genau kennen.

<sup>7</sup> Die Rede ist von 40 GuD-Anlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 400 MWel. Dies würde einer Gesamtleistung von 16.000 MW entsprechen.

<sup>8</sup> Dass auch interessierte Laien das Energierecht nicht mehr verstehen können, ist „demokratiefeindlich“. Wenn die Bevölkerung über die Energiepolitik in Deutschland über Wahlen und Partizipationsmöglichkeiten entscheiden und mitreden soll, dann muss das Energierecht wieder transparenter gestaltet werden.

Erneuerbaren Energien (EE) erschwert. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien folgende Beispiele aufgelistet werden:

- Die wünschenswerte Vermarktung von PV-Strom in räumlicher Nähe zur PV-Anlage ist nicht ohne weiteres möglich.
- Eine Zugangshürde für die Erneuerbaren Energien (EE) ergibt sich aus den Restriktionen im Stromhandel (z.B. Bilanzkreisbewirtschaftung, Fahrplanmanagement, Netznutzungsentgelte etc.)
- Die Blindstromeinspeisung dezentraler Anlagen wird weder ermöglicht noch vergütet.
- Die EE-Einspeisung wird schon deutlich unterhalb der technisch möglichen Übertragungsleistung abgewürgt.
- Die vermiedene Netznutzung (vermiedener Netzausbau) durch den dezentralen Einsatz der EE wird nicht angemessen vergütet.
- Die volle Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Spannungsbandes gemäß der VDE 0175 wird den Einspeisern von EE vorenthalten. Dabei könnten die befürchteten Spannungssprünge im Einzelfall durch eine gestufte Ab- und Zuschaltung der EE-Einspeiser ausgeglichen werden.
- Weil die Netzbetreiber das n-1 Kriterium auch bei der EE-Stromeinspeisung anwenden, wird die Wirtschaftlichkeit von EE-Anlagen hintertrieben. Falls es durch die Einspeisung von dezentralen EE-Anlagen im Einzelfall tatsächlich Probleme geben sollte, können zu den bereits vorhandenen Lastmanagementsystemen zusätzliche automatische Abschaltanlagen errichtet werden.
- Unsinnigerweise wird in vielen Fällen den EE-Stromeinspeisern der Bau einer teuren Zähleranschluss säule aufgezwungen. Um diesem Missstand abzuhelfen, wäre eine Änderung der TAB erforderlich: Übergabestationen (im Mittelspannungsnetz) bzw. Zähleranschluss säulen (im Niederspannungsnetz) sollten nach unserer Meinung erst dann errichtet werden müssen, wenn die Leistungsverluste bis zum Übergabepunkt den Messfehler der Messung den Faktor 1,5 übersteigen.
- Der Wildwuchs von eigenen Netzanschlussregelungen durch die Netzbetreiber, den VDN oder andere Energie- /Netzbetreiberverbände erschwert die standardmäßige Einspeisung von EE-Strom. Allein die Anwendung der DIN-Norm zur Rundung der Berechnungsergebnisse würde dazu führen, dass die Anschlussleistung von Einspeisern in das bestehende Netz ohne weitere Netzausbaukosten um 25% gesteigert werden könnte!
- Die Vermarktungsverordnung erschwert den Handel mit EE-Strom: Entsprechend der Steuerung von Verbrauchern muss dem Stromhändler die Möglichkeit eingeräumt werden, den zusätzlichen Strombedarf zu einer bestimmten Stunde ohne unlimitiertes Risiko zu beschaffen. Es könnte hierzu ein Preismodell eingeführt werden, das dem Preismodell zur Feststellung des „üblichen Preises“ für KWK-Anlagen, veröffentlicht auf der Seite der EEX, entspricht.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Auflistung der untergesetzlichen Zugangshürden für EE-Strom nach Angaben von Dipl. Ing. (FH) Christian Meyer Tel: 07665/ 947 54-53 [info@energy-consulting-meyer.de](mailto:info@energy-consulting-meyer.de)

## **7. Warum die Ziele beim Ausbau der Kraftwärmekopplung verfehlt werden?**

Für die Umsetzung der Energiewende ist der zügige Bau von BHKWs in allen Bereichen (Objektversorgung, Nah-/Fernwärmeversorgung, Gewerbe, Industrie) notwendig. Das Potenzial für BHKWs wird derzeit in keinem der genannten Sektoren aber auch nur annähernd ausgeschöpft – trotz der bestechenden Vorteile. Der bisherige Zubau an KWK/BHKW-Anlagen - und damit die gesetzlichen Anreize - reichen ganz offensichtlich nicht aus, um das Ziel der Bundesregierung, bis zum Jahr 2020 den Anteil der Stromerzeugung in KWK-Anlagen auf 25 Prozent anzuheben (vgl. auch Antwort zu Frage 10).

Im Jahr 2010 betrug dieser Anteil an KWK-Strom an der gesamten deutschen Stromproduktion nur 15,4 Prozent, so die Zwischenüberprüfung zum Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung vom 8.8.2011 der Prognos AG.

## **8. Warum große Kohle-KWK-Anlagen das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial nicht ausschöpfen?**

Im KWK-Stromanteil von derzeit nicht einmal 16 Prozent sind auch alle Biomasse-Anlagen enthalten, die gar nicht nach dem KWK-Gesetz gefördert werden. Ferner beinhalten die 15,4 Prozent KWK-Strom das KWK-Segment, das in großen Kohlekraftwerken erzeugt wird.

Im Jahr 2010 betrug die KWK-Erzeugung ohne Berücksichtigung von Biomasse- und Kohle-KWK-Anlagen 63,5 TWh. Dies entspricht einer KWK-Quote von nur 10,8 Prozent (Mitteilung Prognos AG). In Baden-Württemberg, wo der KWK-Strom am dringendsten gebraucht würde, um Sonne und Wind zur richtigen Zeit zu ergänzen und die abgeschalteten Atomkraftwerke kompensieren zu können, ist der Anteil des KWK-Stroms sogar zurück gegangen!

Auch der von der Prognos AG prognostizierte Anstieg der KWK-Quote auf etwa 21% bis 2020 beruht zu einem erheblichen Teil auf den bereits im Bau oder Planung befindlichen großen neue Kohlekraftwerken, wie Lünen, Karlsruhe RDK 8, Mannheim GKM Block 9, Hamburg Moorburg A, Hamburg Moorburg B und Datteln 4. Auch diese Kohlekraftwerke mit ihren vergleichsweise hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen erhalten über das KWK-Gesetz für ihren KWK-Strom eine Förderung von 1,5 Cent/kWh (ab 2013 zukünftig 1,8 Cent/kWh)!

Durch die falsche Förderpolitik wird das große Potential der KWK zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung durch Änderung des Brennstoffes nicht genutzt: Gegenüber kohlebefeuerten KWK-Großanlagen tragen gasbetriebene KWK- und BHKW-Anlagen zu einem vielfach höheren Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung und damit zum Klimaschutz bei.

Beispiel: Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der kohlebefeuerten Fernwärmeversorgung Mannheim-Heidelberg betragen 175 g CO<sub>2</sub>/kWh. Zum Vergleich: kleine mit Erdgas betriebene objektbezogene KWK-Anlagen (20 kWel) weisen nur 82 g CO<sub>2</sub>/kWh an Emissionen auf.

## 9. Ist der BHKW-Einsatz bei abnehmendem Wärmebedarf noch sinnvoll?

BHKWs sind trotz der Maßnahmen der Gebäudesanierung notwendig. Der BHKW-Betrieb ist mit Maßnahmen zur Wärmedämmung vereinbar. BHKWs sind über ein internes Nahwärmenetz (z.B. über Keller oder Garten) u.a. auch bei Reihen- oder Mehrfamilienhäusern im Passivhausstandard sinnvoll und wirtschaftlich einsetzbar.

Trotz abnehmender Wärmedichten sind Wärmenetze in urban verdichteten Räumen bei Bestandsnetzen und bei Neubaugebieten auch langfristig ökonomisch und ökologisch sinnvoll zu betreiben. Eine hohe Anschlussquote an Fernwärmenetze lässt sich jedoch auch bei ausreichenden Wärmedichten politisch nicht in allen Fällen lokal umsetzen. Hier wäre die Objektversorgung mit BHKWs eine in der Praxis ökologisch gleichwertige Alternative. Im Althausbestand zeigt der Einsatz von BHKWs ohnehin das höchste CO<sub>2</sub>-Vermeidungs- und Klimaschutzpotential (vgl. Antworten auf Frage 39).

## 10. Warum es einer Kostendegression durch große BHKW-Stückzahlen bedarf?

Obwohl BHKWs im Wesentlichen nur aus einem umgebauten Automotor mit einer großen „Lichtmaschine“ (dem stromerzeugenden Generator) bestehen, sind BHKWs vergleichsweise teuer. Eine 20 kW-Anlage<sup>10</sup> kostet 40.000 Euro. Ein Automotor mit der gleichen Motorleistung kostet demgegenüber nur ca. 3.000 Euro. Ein Kleinwagen mit vergleichbarer Motorleistung kostet ca. 10.000 Euro. Was sind die Gründe für den krassen Preisunterschied zwischen Automobilproduktion und BHKW-Produktion?

BHKWs werden nur in kleiner Stückzahl - sozusagen in vorindustrieller Manufaktur - gebaut. Wenn BHKWs in großer Stückzahl hergestellt würden, wären deutlich niedrigere Preise möglich! Würden die Rahmenbedingungen von der Politik so gestrickt, dass ein signifikant größerer BHKW-Absatz möglich wäre, würde die Autoindustrie entsprechende Stückzahlen zu adäquaten Preisen produzieren. Beispiel: Um eine Million veralteter Heizungen<sup>11</sup> in größeren Gebäuden durch BHKWs im Verlauf von zehn Jahren zu ersetzen, müssten jährlich 100.000 Mini-BHKWs fabriziert, verkauft und installiert werden – im Gegensatz zu den 4.000 Exemplaren, die 2010 installiert wurden.

Insbesondere bei kleinen Anlagen (< 50 kWel) ist bei höheren Stückzahlen zukünftig mit erheblichen Reduktionen bei den Kapitalkosten zu rechnen. 2010 wurden (BAFA 2011) lediglich 3.259 Neuanlagen bis 2 MWel registriert - davon

- <10 kWel: 1888 Anlagen,
- 10-50 kW: 1038 Anlagen,
- 50 -2000 kWel: 33 Anlagen.

<sup>10</sup> Ein BHKW mit einer Leistung von 50 kW reicht für die Wärmeversorgung eines großen Mehrfamilienhauses oder beispielsweise einer Schule.

<sup>11</sup> Zehn Millionen Heizkessel gelten in Deutschland bis 2020 als modernisierungsbedürftig - siehe „Initiative Erdgas pro Umwelt legt zum ‚Petersberger Klimadialog‘ Vorschlag zur nationalen CO<sub>2</sub>-Minderung vor“ (Pressemitteilung vom 30.04.10)

Wenn für BHKWs ein „Massenmarkt“ entsteht, müssen auch genügend Handwerker bereitstehen, die mit Sach- und Fachkunde BHKWs einbauen und warten. Sollte sich abzeichnen, dass das SHK-Gewerbe für eine deutlich gesteigerte BHKW-Installation nicht genügend Fachhandwerker zur Verfügung stellen kann, schlagen wir folgende Lösung vor: Autokonzerne, die sich zum Bau von BHKWs entschlossen haben, könnten einen Teil des Personals ihrer Vertragswerkstätten zu BHKW-Service-Technikern fortbilden.

## **11. Lassen sich überhaupt genug BHKWs produzieren?**

Fünf Prozent der jährlichen Automobilproduktion in Form von BHKW-Anlagen genügen, um den bisherigen Jahresstromertrag aus Atomkraftwerken innerhalb von 4 Jahren durch KWK zu ersetzen (Für diese Substitutionsrechnung wird eine durchschnittliche Laufzeit der BHKWs von 3.500 Stunden im Jahr zu Grunde gelegt.)

Um den Strom aus Kohle bis 2020 mit Strom aus Blockheizkraftwerken weitgehend zu verdrängen, würden übrigens weniger als 5% der jährlichen Motorenproduktion (5,5 Mio. PKW 2010) in Deutschland ausreichen - und das ohne den Gasverbrauch wesentlich zu steigern.

7,2% der deutschen jährlichen. Automobil(motoren)produktion genügen, um nicht nur die Atomkraft, sondern auch die Verstromung von Stein- und Braunkohle innerhalb von acht Jahren durch KWK zu ersetzen.

Wenn man jeden 15. Fahrzeugmotor, der derzeit auf Deutschlands Straßen ein Auto antreibt, im Keller als BHKW aufstellen, so könnte sofort der gesamte Strom substituiert werden, der aus Atomenergie, Stein- und Braunkohle erzeugt wird - auch hier wird wieder von einer durchschnittlichen Laufzeit der BHKW von 3.500 Stunden im Jahr ausgegangen.

## **12. Warum kommt es auf langfristig stabile und verlässliche Förderbedingungen an?**

Als Hemmschuh für einen forcierten Zubau von BHKW-Kapazitäten entpuppt sich immer mehr das Förderchaos: Fast im Jahrestakt ändern sich die Förderbedingungen. Für Investoren fehlt jegliche Verlässlichkeit bei den rechtlichen Rahmenbedingungen und bei den Förderprogrammen. Neustes Beispiel für das Förderchaos ist, dass sich die Verlängerung der Zulässigkeit einer Gutschrift der Energiesteuer auf den Gaseinsatz von KWK/BHKW-Anlagen durch die EU-Kommission hinzieht. Das Bundesfinanzministerium hat wegen der rechtlich unklaren Lage die Rückerstattung der Energiesteuer ab dem 1. April 2012 bis auf unbestimmte Zeit storniert. Für den wirtschaftlichen Betrieb einer BHKW-Anlage kann die bislang übliche Rückerstattung der Stromsteuer von entscheidender Bedeutung sein. Betroffen vom Aussetzen der Rückerstattung der Energiesteuer sind gasbetriebene BHKW-Anlagen bis zu einer Leistung von 2 MW.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Details zu diesem ärgerlichen Malheur können unter [http://www.bhkw-infozentrum.de/statement/aussetzung\\_energiesteuerrueckerstattung\\_bhkw\\_120401.html](http://www.bhkw-infozentrum.de/statement/aussetzung_energiesteuerrueckerstattung_bhkw_120401.html) nachgelesen werden.

### **13. Warum die BHKW-Förderung radikal vereinfacht werden muss?**

Die Förderkriterien für BHKW sind für Laien derart komplex und undurchschaubar, dass sie abschreckend wirken. Um hier zu einer grundlegenden Vereinfachung zu kommen, schlagen wir vor, dass sich die BHKW-Förderung künftig am Erneuerbaren Energien-Gesetz (EEG) orientiert. Eine kostendeckende Einspeisevergütung für BHKW-Strom würde alle anderen bislang gewährten Beihilfen ersetzen

Eine kostendeckende Einspeisevergütung à la EEG würde einen derart massiven Marktanreiz geben, dass die Expansion des BHKW-Absatzes – ähnlich wie im PV-Markt – zu stark fallenden Investitionskosten führen wird. Der Preisverfall für BHKW-Anlagen würde wiederum eine noch breitere Marktdurchdringung induzieren. Auf diese Weise würde ein Selbstlauf angereizt, der zu der Installationsrate führen wird, die erforderlich ist, um die Lücken im Dargebot von PV und Windkraft verlässlich zu schließen.

Die kostendeckende Einspeisevergütung von BHKW-Strom kann entsprechend der zunehmenden Installationsrate sukzessive zurückgefahren werden, so dass eine Überförderung vermieden wird. Ankerpunkt für eine kostendeckende Einspeisevergütung könnte beispielsweise der Gaspreis sein, der an den Grenzübergangsstellen der Gaspipelines registriert wird. Da die kostendeckende Einspeisevergütung jährlich an den durchschnittlichen Gas-Grenzübergangspreis angepasst würde, könnte auch über diesen Weg eine Überförderung zusätzlich vermieden werden.

### **14. Laufen die Kosten für eine BHKW-Förderung aus dem Ruder?**

Dass eine Überförderung bei der Umstellung der bisherigen BHKW-Förderung auf eine kostendeckende Einspeisevergütung vermieden werden kann, wurde zuvor gezeigt. Im Hinblick auf eine kostendeckende Einspeisevergütung für BHKW-Anlagen wird gleichwohl die Befürchtung geäußert, dass dann die Kosten für eine BHKW-Förderung aus dem Ruder laufen könnten. Bislang ist die Förderung von KWK-Anlagen im KWK-Gesetz über die KWK-Umlage auf 750 Mio. Euro im Jahr gedeckelt. Wegen des geringen Zubaus von BHKW-Anlagen ist der potenziell zur Verfügung stehende „750-Millionen-Euro-Topf“ in den letzten Jahren aber nie ausgeschöpft worden.

Im Folgenden soll an Hand einer vereinfachten Beispielrechnung gezeigt werden, zu welchen Kosten die Umstellung auf eine kostendeckende Einspeisevergütung für BHKW-Strom führen würde:

Dem Kostenvergleich zwischen bisheriger KWK/BHKW-Förderung und einer Umstellung auf eine kostendeckende Einspeisevergütung liegen folgende Annahmen zu Grunde:

Die bislang gezahlte KWK-Umlage beträgt 5,11 Cent pro kWh für Anlagen mit einer Leistung von bis zu 50 kW<sub>el</sub>. Hinzu kommt die Rückerstattung der Energiesteuer für das im BHKW verbrannte Gas. Rechnet man die Rückerstattung auf die produzierte kWh BHKW-Strom um, ergibt sich eine zusätzliche Gutschrift von ca. 2 Cent/kWh. Betrachtet wird eine BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 34 kW. Vor-

ausgesetzt wird, dass diese Anlage an 3.500 Stunden im Jahr Strom produziert. Angenommen wird ferner, dass jährlich 1.000 dieser 34 kW-Maschinen gefördert werden. 1.000 Maschinen mit einer Leistung von 34 kW und einer Jahreslaufzeit von 3.500 Stunden produzieren 119.000.000 kWh Strom. Bei der bislang gezahlten KWK-Umlage von etwa 5 Ct/kWh ergibt dies Förderkosten von rund 6,1 Mio. Euro. Hinzu kommt die Rückerstattung der Stromsteuer von 2 Ct/kWh, so dass der Förderbetrag um weitere 2,4 Mio. Euro anwächst. In der Summe wird die Allgemeinheit der Stromkunden bzw. der Steuerzahler für den Betrieb von 1.000 zusätzlichen BHKWs bei Zugrundelegung der bisherigen Fördersätze also mit rund 8,5 Mio. Euro belastet.

Wie sieht nun diese Rechnung aus, wenn die Förderung auf eine kostendeckende Einspeisevergütung umgestellt würde? Wir gehen davon aus, dass bei einer 34 kW-Maschine eine Kostendeckung für Installations- und Betriebskosten bei 16 Ct/kWh liegt. Von diesen 16 Ct/kWh ist der Erlös von 5 Ct/kWh abzuziehen, den man durchschnittlich an der Strombörse erzielt. Somit verbleibt eine Förderung von 11 Ct/kWh. Es werden wiederum 1.000 Anlagen gefördert, die wie zuvor 3.500 Stunden im Jahr laufen und damit 119.000.000 kWh BHKW-Strom produzieren. Multipliziert mit 11 Ct/kWh Umlage ergeben sich Kosten von knapp 13 Mio. Euro. Die Differenz liegt im Vergleich zum bisherigen Fördermodell bei Mehrkosten von rund 4,6 Mio. Euro.

Würden jährlich statt 1.000 Anlagen 5.000 Anlagen gefördert, würden sich die jährlichen Mehrkosten bei einer kostendeckenden Einspeisevergütung auf rund 23,1 Mio. Euro belaufen. Eine Förderung von 10.000 Anlagen würde zu Mehrkosten von 46,2 Mio. Euro führen. Gemessen am bisherigen „750-Millionen-Deckel“ im KWK-Gesetz, der bei weitem nicht ausgeschöpft wird, erscheinen diese Mehrkosten akzeptabel. Auch im Vergleich zu einer Subventionierung von Kapazitätsmärkten erscheinen diese Mehrkosten hinnehmbar: 10.000 BHKWs mit einer Leistung von 34 kW bringen es auf eine Gesamtleistung von 340 MW. Damit kann ein Gaskraftwerk ersetzt werden.

Die Apologeten von „Kapazitätsmärkten“ für Gaskraftwerke müssen sich fragen lassen, ob sie kostenmäßig mit der vorgenannten BHKW-Förderung mithalten können? Und wie schon erwähnt: Mit einer zunehmenden Installationsrate von BHKWs werden die Kosten von BHKWs stark sinken, so dass die kostendeckende Einspeisevergütung für neu zu installierende BHKWs in Zukunft sukzessive zurückgefahren werden kann. Da dezentrale – aber im „Schwarm“ strombedarfsorientiert betriebene - BHKWs im Vergleich zu zentralen Gaskraftwerken zudem die Netzausbaukosten reduzieren, ergeben sich volkswirtschaftlich im Vergleich zur Subventionierung von „Kapazitätsmärkten“ noch weitere Kosteneinsparungen.

## **15. Gibt es genügend Gas für Zehntausende von neuen BHKWs?**

Wenn es genügend Gas für große Gaskraftwerke gibt, dann gibt es auf Grund des besseren Gesamtwirkungsgrades erst recht genügend Gas für BHKWs. Allerdings hat sich Februar 2012 – dem extremen Kältemonat im Winter 2011/2012 – gezeigt, dass in Süddeutschland bis zu neun mit Erdgas betriebene Kraftwerke aufgrund von Lieferengpässen den Betrieb drosseln oder sogar vorübergehend einstellen mussten. Deshalb gilt generell, dass die Strom- und Gasnetzbetreiber ihre Maßnahmen zur Beibehaltung der Energiesicherheit enger als früher miteinander abstimmen müssen.

Zudem ist anzumerken, dass neue BHKWs in vielen Fällen veraltete, ineffiziente Gasheizungen ersetzen werden. Theoretisch verbrauchen BHKWs – eben wegen der zusätzlichen Stromproduktion – mehr Gas als eine herkömmliche Gasheizung, die nur Wärme produziert. Zumeist wird beim Einbau eines BHKWs aber auch die gesamte Heizungsinfrastruktur eines Gebäudes auf Vordermann gebracht. Die Kombination von BHKW mit einer runderneuerter Heizungsinfrastruktur führt dazu, dass trotz der zusätzlichen Stromproduktion kaum mehr Gas als zuvor verbraucht wird.

Und in der Langfristperspektive muss angestrebt werden, dass beim Betrieb von BHKWs fossiles Erdgas schrittweise durch EE-Gas (beispielsweise „Windgas“) ersetzt werden kann.

## **16. Wie ist die CO<sub>2</sub>-Freisetzung von KWK-Anlagen zu bewerten?**

In der Regel werden Anlagen zur Kraftwärmekopplung (KWK) mit Erdgas betrieben. Bei der Verbrennung von Erdgas im Gasmotor einer KWK-Anlage entsteht treibhauswirksames Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Allerdings emittieren KWK-Anlagen deutlich weniger CO<sub>2</sub> als die üblichen Kohle- oder Erdgaskraftwerke, die nur Strom produzieren. Denn bei den großen fossilen Kraftwerken wird die eingesetzte Primärenergie zu 60 Prozent über Kühltürme völlig ungenutzt in die Atmosphäre emittiert – oder als Abwärme in die Flüsse eingeleitet. Demgegenüber wird bei der dezentralen Kraftwärmekopplung die Abwärme aus dem Gasmotor vor Ort zu Heizzwecken und für die Warmwasserbereitung eingesetzt. Damit kann die eingesetzte Primärenergie zu etwa 90 Prozent ausgenutzt werden. Ferner zeichnet sich Erdgas gegenüber den anderen fossilen Energieträgern (Steinkohle, Braunkohle, Erdöl) ohnehin durch die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Wird künftig dem Erdgas Wasserstoff aus regenerativem „Überschussstrom“ beigemischt, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch weiter reduziert. Fazit: Der Ersatz von fossilen Großkraftwerken mit ihrem äußerst schlechten Wirkungsgrad durch dezentrale und hocheffiziente Anlagen zur Kraftwärmekopplung wird die deutsche Treibhausgasbilanz entscheidend verbessern.

## **17. Warum BHKW-Contracting gefördert werden muss?**

Während eigenerzeugter Strom von der EEG-Umlage vollständig befreit ist, unterliegen Stromlieferungen auf Contracting-Basis bisher voll umfänglich der EEG-Umlagepflicht. In vielen Fällen lassen sich KWK-Anlagen durch Contractoren<sup>13</sup> wegen mangelnder Wirtschaftlichkeit deshalb nicht realisieren. Andererseits werden KWK-Anlagen im industriell-gewerblichen Bereich aber auch nicht als Eigenerzeugungsanlagen errichtet, da viele Betriebe aus verständlichen Gründen lieber in ihr Kerngeschäft, als in eine effiziente Anlage zur Energieerzeugung investieren. Hier fehlt es an Anreiz und Ausgleich.

---

<sup>13</sup> Vielen Gebäudebesitzern fehlt das Geld, um ein BHKW vorzufinanzieren. Hier kann ein „Contractor“ aktiv werden. Der Contractor finanziert das BHKW vor. Um sich zu refinanzieren, wird der Contractor am Einspargewinn aus dem BHKW-Betrieb beteiligt. Der Contractor bietet in der Regel dem Hausbesitzer ein „Rund-um-Sorglos-Konzept“ an: Er übernimmt Planung, Einbau, Betrieb und Wartung der Anlage, so dass sich der Hausbesitzer gar nicht mehr selbst um seine stromproduzierende Heizung zu kümmern braucht.

Um den Bau von BHKWs in Contracting-Modellen voranzubringen, müssen entsprechende Marktanreize gesetzt werden: Insbesondere das riesige ökologische und ökonomische Potential kleiner KWK-Anlagen (Anlagengrößen zwischen 10 kW und 2 MW elektrischer Leistung) hat die Bundesregierung entweder noch nicht erkannt oder will sie nicht erkennen, weil BHKWs den bisherigen großen Stromkonzernen Konkurrenz machen würden.

Eine Anreiz vergleichbar dem erfolgreichen Erneuerbaren Energiengesetz (EEG) mit leistungsabhängiger Einspeisevergütung, wie man sie zum Beispiel für Solarstrom erhält, könnte hier in wenigen Jahren zur Marktdurchdringung führen.

### **18. Warum für Wohnungseigentümergeinschaften rechtssichere „BHKW-Verträge“ essenziell sind?**

Prädestiniert für den Einsatz von BHKWs sind neben Krankenhäusern, Rathäusern, Schulen und Fabrikhallen auch größere Wohngebäude. In vielen Fällen sind größere Wohngebäude in Eigentumswohnungen aufgeteilt worden. Der wirtschaftliche Betrieb eines BHKW hängt bei einer Konstellation mit einer Vielzahl von Eigentumswohnungen davon ab, ob der Strom und die Wärme des BHKWs von den Eigentümern abgenommen werden. Die rechtssichere Vereinbarung über die Abnahme von BHKW-Strom und –Wärme durch die Besitzer der Eigentumswohnungen ist seit der Liberalisierung des Strommarktes außerordentlich kompliziert geworden – so kompliziert, dass auch BHKW-affine Verwalter und Facility-Manager lieber die Finger davon lassen. In zahlreichen Fällen, in denen sich die Installation eines BHKWs geradezu aufdrängen würde, verzichten Hausverwalter angesichts der für sie rechtlich undurchschaubaren Lage lieber darauf.

Um diese Hürde abzubauen, ist es erforderlich, dass rechtssichere Verträge für die wichtigsten Fallkonstellationen allgemein zugänglich ins Netz gestellt werden. Bislang sind derartige Verträge das „Betriebsgeheimnis“ spezialisierter Fachbüros. Bei Gebäuden mit Eigentumswohnungen lässt sich ein „BHKW-Durchbruch“ aber nur erreichen, wenn die Vorlagen für rechtssichere Verträge für Hausverwalter einfach abzurufen sind. Hier sind die Umwelt- und Energieministerien der Bundesländer bzw. das Bundeswirtschaftsministerium gefordert, Vertragsvorlagen für unterschiedliche Fallkonstellationen auf ihre Homepages einzustellen.

Nicht nur im Hinblick auf Wohnungseigentümer, sondern auch bei vermieteten Wohnungen ist der Verkauf von BHKW-Strom und –Wärme an die Vermieter eine komplizierte Angelegenheit. Wegen der „Liberalisierung“ des Strommarktes müsste der Hausbesitzer dafür vertraglich eine „Versorgungsgemeinschaft“ mit seinen Mietern bilden. Die rechtssichere Vereinbarung einer „Versorgungsgemeinschaft“ ist ähnlich komplex wie bei den Vereinbarungen gegenüber Wohnungseigentümern. Das führt u.a. dazu, dass nicht jeder Mieter den Vertrag zur Vereinbarung einer Versorgungsgemeinschaft und seine Hintergründe auf Anhieb versteht. Misstrauen und Ablehnung sind vorprogrammiert: „*Was soll ich da bitte unterschreiben?!*“ Schon wegen des hohen bürokratischen Aufwandes bei der Vereinbarung einer Versorgungsgemeinschaft resignieren auch BHKW-affine Hausbesitzer schon im Ansatz.

Hinzu kommt das Problem, dass der Hausbesitzer die Investitionskosten für eine BHKW-Anlage nicht auf die Warmmiete umlegen darf: Eine Umlage der BHKW-

Investitionskosten wäre mietrechtlich nur über die Kaltmiete möglich – was aber auf Akzeptanzprobleme stoßen würde.

Hier muss eine Änderung der Heizkostenverordnung sowie der entsprechenden Normen für den Betrieb von BHKWs Abhilfe schaffen! Über eine Novelle der Heizkostenverordnung müsste zugleich auch die Umlage der Kosten für den BHKW-Strombezug auf die Mieter einfacher geregelt werden. Die komplexe Gründung einer Versorgungsgemeinschaft für den Absatz des BHKW-Stroms an die Mieter lässt viele BHKW-Interessierte zurückschrecken.

## **19. Lastmanagement: Wie die Produktion und Last in Übereinstimmung bringen?**

Bestandteil der Energiewende-Überlegungen im Klimabündnis Freiburg ist das Lastmanagement, um den Stromverbrauch mehr als bislang in die Zeiten zu verschieben, in denen es eine reichliche Stromproduktion gibt. Zum Lastmanagement gehört allerdings nicht nur das Verschieben der Lastspitzen, sondern auch das Abstellen von Strom-Großverbrauchern, wenn dies mit den betrieblichen Erfordernissen vereinbar ist. Die Vision: Regionale Netze werden u.a. mit Hilfe von BHKWs, Lastmanagement und der Konversion von Überschussstrom aus PV- und Windstrom zu Wasserstoffgas so austariert, dass der Strombezug aus den übergelagerten Netzen sukzessive zurückgefahren werden kann.

## **20. Was ist „Überschussstrom“?**

Mit dem raschen Zubau von Windkraft und Solaranlagen wird künftig in immer größerem Umfang bei guten Windverhältnissen und/oder intensiver Sonneneinstrahlung mit derart hohen Stromerträgen zu rechnen sein, dass zeitweise der Bedarf in Mitteleuropa bei weitem überschritten wird<sup>14</sup>. Um angesichts dieses „überschüssigen“ Stromes die Netzstabilität gewährleisten zu können, müssten künftig ganze Windkraftparks und große Solar-Anlagen immer häufiger vom Netz genommen werden. Volkswirtschaftlich und ökologisch ist es aber widersinnig, die regenerative und CO<sub>2</sub>-freie Stromproduktion abzustellen, nur weil hierfür zeitweise im inflexiblen Stromnetz kein Bedarf besteht. Je nach Ausbau des Windenergie stünde dann auch erstmals umweltfreundlich erzeugter Strom für die Elektromobilität zur Verfügung. Dieser zusätzliche Strombedarf wird heute in konventionellen Kraftwerken erzeugt, so dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen heute für Elektrofahrzeuge i.d.R. in der Gesamtbilanz höher ausfallen als, wenn die Fahrzeuge direkt mit Kraftstoff betrieben werden.

## **21. Welche Rolle spielt der innereuropäische Stromtransfer?**

Es wird auch zukünftig immer einen Stromaustausch mit dem Ausland geben. Zuerst weht der Wind in Frankreich, dann bei uns, umgekehrt scheint die Sonne zuerst in Polen, dann in Deutschland, sodann in Frankreich und Spanien. Der Erzeugungslastverlauf vergleichmäßig über Europa gesehen. Für den innereuropäischen

---

<sup>14</sup> Siehe beispielsweise Seite 20 in DWV et al.: „Energie-Infrastruktur 21 – Rolle des Wasserstoffs angesichts der Herausforderungen im neuen globalen Energiesystem“, Brüssel, Berlin 2009, A4, 32 S.

Lastausgleich müssen die Grenzübergangskapazitäten erhöht - und nicht wie derzeit z.B. in Richtung Polen mit dem Einbau von Querreglern blockiert werden.

## 22. **Wie macht man aus Überschussstrom regenerativen Wasserstoff?**

Immer wenn das Dargebot aus Windkraft- und Solar-Anlagen den Bedarf deutlich überschreitet, wird dieser „Wegwerfstrom“ in Elektrolyseanlagen zu Wasserstoff und Sauerstoff umgewandelt. Elektrolyseanlagen sind Stand der Technik. Es gibt mehrere Elektrolyseverfahren, die entweder seit langen großtechnisch angewandt werden<sup>15</sup> – oder die sich derzeit in der Entwicklung befinden. Bei einer breiten Anwendung der Wasserstoffelektrolyse ist damit zu rechnen, dass die derzeit noch vergleichsweise hohen Preise von 600 bis 1000 Euro pro Kilowatt Leistung deutlich abnehmen werden. Derzeit kommt es darauf an, die am besten geeigneten Elektrolyseverfahren für einen diskontinuierlichen Betrieb fit zu machen.

## 23. **Warum brauchen wir regenerativen Wasserstoff?**

Für die saisonale Speicherung der stark schwankenden („volatilen“) Stromüberschüsse aus Windkraft und Solaranlagen (Photovoltaik – PV) eignet sich bisher im großen Maßstab nur die Produktion von Wasserstoff und späterhin von erneuerbarem Methan (EE-Methan). Wasserstoff kann ebenso wie EE-Methan in der Größenordnung von 200 Mrd. kWh im vorhandenen Erdgasnetz abgespeichert werden. Das würde ausreichen, um den deutschen Strombedarf für mehrere Monate zu decken. Eine andere realisierbare Technik steht für die saisonale Speicherung von „Überschussstrom“ nicht zur Verfügung: Beispielsweise können in den deutschen Pumpspeicherkraftwerken nur 0,04 Mrd. kWh gespeichert werden. Das deckt gerade den Strombedarf von einer Stunde. Auch die Speicherkapazitäten der Akkus von Elektroautos werden um Größenordnungen unter den Speicherkapazitäten im vorhandenen Erdgasnetz liegen.

## 24. **Warum greift der Stromnetzausbau zu kurz?**

Der jetzt geforderte massive Stromnetzausbau<sup>16</sup> allein kann das Problem nicht lösen, dass Windkraft- und Solarstrom von den 8.760 Jahresstunden nur etwa 4.000 Jahresstunden Strom im großen Umfang bereit stellen können. Zudem würde der Ausbau eines europäischen Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-Netzes (HGÜ) zum Ausgleich von Last und Erzeugung innerhalb Europas etwa 5.000 km Länderverbindungen in Europa mit einer Übertragungsleistung von 58 GW und Investitionen in Höhe von mehr als 5 Mrd. Euro erfordern. Ferner müssen weitere kostspielige Verbindungen, z.B. für die Anbindung der Offshore-Windenergie in der Nordsee, fi-

<sup>15</sup> Fünf Prozent der deutschen Stromproduktion werden derzeit schon für Elektrolysezwecke benötigt – insbesondere für die Chlor-Alkali-Elektrolyse in der chemischen Grundstoffchemie zur Produktion von Chlor und Natronlauge. Bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse entstehen in Deutschland jetzt schon eine Milliarde Kubikmeter Wasserstoff. Dieser Nebenproduktwasserstoff wurde früher abgefackelt und wird heute ins Erdgasnetz eingespeist – siehe beispielsweise S. 5 in: SCHMIDTCHEN, Ulrich: „Wasserstoff und Brennstoffzellen – Chancen und Grenzen“ Sonderdruck aus ew, Jg. 106 (2007), H. 1-2, S. 20 - 24.

<sup>16</sup> siehe das „Eckpunktepapier Netzausbau“, das vom Bundeswirtschaftsminister am 22. März 2011 in Brüssel vorgestellt worden ist; siehe ferner die DENA II-Netzausbastudie.

nanziert werden. Bisher ist nicht davon auszugehen, dass diese Übertragungskapazitäten in den nächsten 15 Jahren vollumfänglich realisiert werden können.

Um einen Ausgleich zwischen „Überproduktion“ und „Mangelsituation“ in Mitteleuropa zu erreichen, brauchen wir saisonale Speicher. Bisher bietet nur das Erdgasnetz mit seinen Kavernenspeichern und seiner „Pufferkapazität“ in den Pipelinesystemen hierzu das erforderliche Potential. Alle anderen derzeit diskutierten Speichertechnologien weisen Speicherkapazitäten auf, die um Größenordnungen zu gering sind.

Hinzu kommt, dass die Energieübertragungspotenziale in den jetzt schon vorhandenen Erdgaspipelines deutlich größer sind als bei den effizientesten HGÜ-Systemen!

## **25. Warum kann das Erdgasnetz im Gegensatz zum Stromnetz „atmen“**

Strom muss in dem Moment, in dem er produziert wird, auch verbraucht werden. Stehen Stromproduktion und Stromverbrauch nicht mehr im Gleichgewicht, kommt es zu Netzzusammenbrüchen. Um die Netzstabilität zu gewährleisten, ist ein immer höherer Aufwand erforderlich: Die Abstimmung von Stromimporten und Stromexporten, die Regie von Pumpspeicherkraftwerken (und späterhin auch von Druckluftspeichern) sowie der Lastfolgebetrieb von konventionellen und atomaren Großkraftwerken kommen immer öfters einer Gradwanderung gleich. Das Stromnetz ist insofern weitgehend unflexibel – ganz im Gegensatz zur heute schon vorhandenen Erdgasinfrastruktur. Dort können nicht nur in den Pipelines große Mengen von Wasserstoff und EE-Methan transportiert und gespeichert werden. Vor allem auch in den Gaskavernen ist noch überreichlich Platz zur Speicherung von konvertiertem „Überschussstrom“ in Form von Wasserstoff und EE-Methan. Die Erdgaspipelines und Erdgaspeicher lassen die Gasinfrastruktur bedarfsgerecht „atmen“.

## **26. Wie sieht es mit dem Wirkungsgrad bei der Elektrolyse aus?**

Elektrolyseanlagen haben derzeit einen Wirkungsgrad von um die 80 Prozent. Damit ist der Wirkungsgrad deutlich höher als in herkömmlichen Großkraftwerken mit nur 30 oder 40 Prozent. Auch Autos haben nur einen Wirkungsgrad von 30 Prozent. Die Gesellschaft erlaubt sich also Energie- und Mobilitätssysteme, die einen signifikant niedrigeren Wirkungsgrad haben als die Elektrolyse!

## **27. Kommt es auf den Wirkungsgrad überhaupt an?**

Nur bedingt – denn „Überschussstrom“ ist spottbillig oder wird gar mit „negativen Preisen“ gehandelt. Wenn dieser „Wegwerfstrom“ nicht in Elektrolyseanlagen zu Wasserstoff konvertiert wird, müssen Windkraftanlagen unsinnigerweise stillgelegt oder Solar-Anlagen vom Netz genommen werden. Dies verschlechtert den Auslastungsgrad – und damit potenziell die Rentabilität - von Windkraft- und Solaranlagen.

## 28. Wie viel „Wegwerfstrom“ passt ins Erdgasnetz?

Der via Elektrolyse zu Wasserstoff konvertierte „Wegwerfstrom“ kann derzeit nach dem Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) bis zu einem Volumenanteil von fünf Prozent ins Erdgasnetz eingespeist werden. Das reicht für die nächsten Jahre aus, um allen anfallenden „Überschussstrom“ abzuspeichern. Wenn späterhin der Wasserstoff via Methanisierung zu erneuerbarem Methan (EE-Methan) umgewandelt wird, gibt es gar keine Beschränkungen mehr für die Einspeisung. Denn auch Erdgas besteht aus Methan. Und je mehr Wasserstoff oder EE-Methan in die bestehende Erdgasinfrastruktur eingespeist werden kann, desto weniger Erdgas muss Deutschland aus den Erdgasförderländern importieren.

## 29. Wie funktioniert die „Methanisierung“?

Es ist absehbar, dass ab 2020 oder später so viel volatiler „Überschussstrom“ anfallen könnte, dass das Fünf-Prozent-Limit für die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz regional überschritten wird. Dann kann der Wasserstoff zusammen mit Kohlendioxid zu Methan „veredelt“ werden. Durch die „Methanisierung“ von Wasserstoff entfallen praktisch alle Begrenzungen, weil das synthetisch hergestellte Methan chemisch identisch mit dem üblichen Erdgas-Methan ist. Allerdings ist die Methan-synthese aus Wasserstoff derzeit noch mit einem signifikanten Abfall des Gesamtwirkungsgrades verbunden. Durch die derzeit laufenden Forschungen kann der Wirkungsgrad der „Methanisierung“ voraussichtlich gesteigert werden. Dies betrifft u.a. die Nutzung der Abwärme, die in der Prozesskette vom „Überschussstrom“ bis zur Methanisierung anfällt. Erste Prototypen werden derzeit erprobt. Da dieses Methan letztlich aus erneuerbaren Energien („EE“) entsteht, wird das synthetisch hergestellte Methan auch „EE-Methan“ genannt. Bei der „Weiterverarbeitung“ von Wasserstoff zu EE-Methan entsteht als „Abfallprodukt“ Wasser, das dann im Kreislauf wieder in die Wasserstoffelektrolyse zurückgeführt werden kann.<sup>17</sup>

## 30. Wie kann die energetische Wertschöpfung in Deutschland gesteigert werden?

Um „Überschussstrom“ zu „entsorgen“, muss man derzeit an österreichische oder schweizerische Pumpspeichergesellschaften Geld bezahlen, damit in Österreich bzw. in der Eidgenossenschaft dieser „Wegwerfstrom“ überhaupt angenommen wird. Man muss befürchten, dass bei einer weiteren Zunahme von in Deutschland nicht absetzbaren Strommengen, der „Wegwerfstrom“ auch im Ausland nicht mehr »ent-

---

<sup>17</sup> Ausführliche Informationen zur Wasserstoffelektrolyse aus „Überschussstrom“, zur „Methanisierung“ sowie zum „Zusammenwachsenlassen“ von Strom- und Gasnetz finden sich u.a. in folgenden Aufsätzen:

- NN: „Neue Liaison zwischen Strom und Gas“ In: Energiespektrum 1/2011, S. 18 – 21.
- STERNER, Michael & Michael Specht et al. „Erneuerbares Methan - Eine Lösung zur Integration und Speicherung Erneuerbarer Energien und ein Weg zur regenerativen Vollversorgung“. In: Solarzeitalter, 1/2010, S. 51 – 58.
- DVGW: „Gasinfrastruktur und Gastechologie als Bestandteil eines integrierten Energiesystems“, Bonn, 23.11.2010, Diskussionspapier im Rahmen der DVGW-Gasinnovationsinitiative - downloadbar unter [www.dvgw-innovation.de](http://www.dvgw-innovation.de)
- Ferner berichtet die DVGW-Monatszeitschrift „energie-wasser-praxis“ regelmäßig über die Fortentwicklung dieser Vision.

sorgt« werden kann. Deshalb sollten wir so schnell wie möglich dahin kommen, den Strom in Deutschland selbst zu speichern. Die sichersten Speicher sind die Speicher, die man im Land selbst hat! Durch den Bau und den Betrieb von Elektrolyseanlagen bleibt die Wertschöpfung im Land. Durch eine breite Anwendung der Elektrolyse-technik kann Deutschland hier die Marktführerschaft erringen – und zu einem nachahmenswerten Vorbild für andere Länder werden. Gleiches gilt späterhin für die weitergehende Erzeugung von erneuerbarem Methan (EE-Methan). Zudem wird eine wachsende Wasserstoffproduktion aus „Überschussstrom“ die deutsche Importabhängigkeit bei fossilem Erdgas zunehmend reduzieren. Auch das wird dazu beitragen, dass mehr Wertschöpfung im eigenen Land bleibt.

### **31. Wie ist der Gesamtwirkungsgrad zu beurteilen?**

Bundesumwelt- und Bundeswirtschaftsministerium rechnen vor, dass drei Kilowattstunden regenerativ erzeugten Wasserstoff benötigt werden, um bei der Rückverstromung eine Kilowattstunde Strom zu produzieren<sup>18</sup>. Diese Rechnung mit nur einem Gesamtwirkungsgrad von 33 Prozent geht von falschen Voraussetzungen aus! Dem ministeriellen Rechengang liegt nämlich die Annahme zu Grunde, dass der Wasserstoff in GuD-Anlagen (Gas- und Dampfturbinenkraftwerken) mit 50 Prozent Wirkungsgrad verstromt wird. Dies ergibt einen Gesamtwirkungsgrad von tatsächlich nur 30 Prozent. Wesentlich effizienter ist es aber, die Rückverstromung über gleichermaßen effiziente wie flexible KWK-Anlagen bewerkstelligen, die am Ort des Verbrauchs außer Strom auch noch die dort benötigte Wärme produzieren. Durch die gleichzeitige Bereitstellung von Strom und Wärme ergibt sich für KWK-Anlagen ein Wirkungsgrad von etwa 90 Prozent. Verrechnet man diesen 90-prozentigen Wirkungsgrad der KWK-Anlagen mit dem Wirkungsgrad von 80 % aus der Elektrolyse ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von 60 bis 70 Prozent.

### **32. Wie funktioniert die Rückverstromung von Wasserstoff und EE-Methan?**

Über große Anlagen zur Kraftwärmekopplung (KWK) sowie über Blockheizkraftwerke (BHKW) kann das Wasserstoff-Erdgasgemisch wieder in Strom umgewandelt werden. Dabei fällt als „Nebenprodukt“ Wärme an, die für Heizzwecke, für die Warmwasserbereitung oder für den industriell-gewerblichen Heißwasserbedarf genutzt werden kann. Ferner kann über Adsorptionskältemaschinen die Abwärme aus den KWK- und BHKW-Motoren in Kälte umgewandelt werden. Wenn eine Verwendungsmöglichkeit für die Wärme aus KWK- und BHKW-Anlagen gegeben ist, erreichen BHKWs einen Gesamtwirkungsgrad von um die 90 Prozent.

### **33. Warum brauchen wir die Kraftwärmekopplung als notwendige Ergänzung von Wind- und Solarstrom**

Im Jahr mit seinen 8.760 Stunden kann

- aus Solarstrom eine Stromproduktion an etwa 1.000 Volllaststunden (ca. 4.400 Betriebsstunden) im Jahr

---

<sup>18</sup> Siehe beispielsweise die E-Mail Antwort des Bundesumweltministeriums vom 15.03.11 auf eine Anfrage des Büros des CSU-Bundestagsabgeordneten Dr. Georg Nüßlein.

- und aus Windkraft an Land an etwa 2.000 bis 3.000 Volllaststunden ( ca. 7.000 Betriebsstunden) erwartet werden.

Nur die Kraftwärmekopplung ist derzeit in der Lage, die Lücke im EE-Angebot zu füllen. KWK ist damit die Schlüsseltechnologie, die erforderlich ist, um die Erneuerbaren zu ergänzen. In den KWK-Anlagen kann neben Gas auch Biomasse (Holz, Landschaftspflegematerial, Gülle, Energiepflanzen usw.) zu Strom und Wärme konvertiert werden. Da Biomasse eine begrenzte Ressource ist, sollte zunehmend neben Erdgas auch Wasserstoff- und EE-Methan in KWK-Anlagen „verfeuert“ werden.

Aus den Volllaststunden und Betriebsstunden der Erneuerbaren Energien ergibt sich übrigens auch, dass die KWK-Anlagen zukünftig etwa 4 - 5.000 Volllaststunden im Jahr erreichen könnten – bei einem angenommenen KWK/BHKW-Zubau auf 28.000 MW.

### **34. Kraftwärmekopplung und Blockheizkraftwerke – was ist der Unterschied?**

Wenn in einem Kraftwerk gleichzeitig Strom UND Nutzwärme produziert werden können, spricht man von Kraftwärmekopplung (KWK). KWK-Anlagen gibt es mit großer Leistung im Bereich von Megawatt bis hinunter zu kleinen Aggregaten, für die fast in jedem Keller Platz ist. Die kleineren KWK-Anlagen mit einer Leistung im zwei- bis dreistelligen Kilowattbereich, nennt man Blockheizkraftwerke (BHKW). Mini-Blockheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von beispielsweise 20 Kilowatt sind so kompakt gebaut, dass sie nicht größer sind als zwei Tiefkühltruhen. Mikro-Blockheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von nur ein bis zwei Kilowatt sind noch kleiner. Zur Zwischenspeicherung der Wärme wird neben den BHKWs in der Regel ein großer Wassertank als Wärmespeicher aufgestellt.

### **35. Wie groß ist das Potenzial der Kraftwärmekopplung (KWK)?**

In Deutschland haben wir derzeit einen Gasverbrauch von mehr als 900 Terawattstunden (TWh)<sup>19</sup>. Zieht man den industriellen Gasverbrauch ab, verbleiben noch mindestens 600 TWh. Die Energie von 600 TWh Gas wird überwiegend für die Wärmebereitstellung in Gebäuden benötigt. In veralteten Gasbrennern und selbst in effizienteren Brennwertkesseln wird die Exergie des Gases nicht genutzt – also die Kraft, die man in Gasmotoren nutzbringend zur Stromproduktion einsetzen könnte. Wenn wir diese Gasenergie in KWK-Anlagen (als Ersatz für die herkömmlichen Gasheizungen) nutzen würden, könnte nicht nur ein bedeutsamer Anteil des deutschen Wärmebedarfs gedeckt werden. Darüber hinaus würden in den KWK-Anlagen jährlich auch etwa 200 Terawattstunden (TWh) Strom erzeugt. Das entspricht deutlich mehr als der Strommenge, die heute in den Braunkohlekraftwerken produziert wird!

---

<sup>19</sup> TWh = Terawattstunden, eine Terawattstunde entsprechen einer Billion Wattstunden oder einer Milliarde Kilowattstunden (kWh) oder eine Million Megawattstunden (MWh) oder Tausend Gigawattstunden (GWh).

### 36. Warum rechnen sich BHKWs derzeit nur bei Eigennutzung des BHKW-Stroms?

Der ökologische und energetische Vorteil von KWK-Anlagen und BHKWs besteht darin, dass sie zum einen am Ort des Bedarfs mit hohem Wirkungsgrad Strom UND Wärme bereitstellen – und dass sie zum anderen im Gegensatz zu konventionellen Großkraftwerken mit alleiniger Stromproduktion viel treibhauswirksames CO<sub>2</sub> einsparen. Ferner sind KWK- und BHKW-Anlagen unabdingbarer Partner der Erneuerbaren – insbesondere deswegen, weil diese Anlagen künftig essenziell für die effiziente Rückverstromung von Wasserstoff und EE-Methan sein werden.

Trotz dieser großen Vorteile setzen sich KWK- und BHKW-Anlagen viel zu langsam durch. Welche Hemmnisse führen zur nur zögerlichen Marktdurchdringung? Die Rahmenbedingungen für KWK-Strom sind so gestrickt, dass sich kleinere KWK-Anlagen und BHKWs derzeit nur wirtschaftlich lohnen, wenn man möglichst viel von dem produzierten BHKW-Strom selbst verbraucht oder wenn hohe Laufzeiten pro Jahr erreicht werden. Je höher die Eigennutzung, desto weniger teuren Fremdstrom muss man von seinem Elektrizitätsversorger beziehen. Dann kann man die Investitions- und Betriebskosten für das BHKW mit den ansonsten anfallenden hohen Strompreisen für einen Fremdbezug verrechnen: Bei einem Fremdbezug liegen die Stromkosten in der Größenordnung von 20 Cent pro Kilowattstunde. Demgegenüber muss man für eigenen BHKW-Strom mit etwa 10 bis 14 Cent kalkulieren. Durch selbst genutzten BHKW-Strom kann man also seine Stromrechnung drastisch verringern.

Wegen der großen energetischen und ökonomischen Vorteile der Kraftwärmekopplung sah die Novelle des KWK-Gesetzes aus dem Jahre 2009 vor, dass der Anteil des KWK-Stroms an der Gesamtstromproduktion auf 25 Prozent ansteigen sollte. Wegen der Webfehler in den sonstigen Rahmenbedingungen ist aber jetzt schon sehr wahrscheinlich, dass dieses Ziel nicht erreicht wird.

### 37. Warum BHKW-Anlagen oft zu klein dimensioniert werden?

Weil die Umlage der Kosten für die BHKW-Wärme an die Mieter in vielen Fällen an den bürokratischen Hemmnissen scheitert, wird die Anlage (sofern dann noch ein BHKW überhaupt installiert wird) auf hohe Betriebsstundenzahlen zur Einspeisung ins Netz und damit verhältnismäßig klein dimensioniert (z.B. auf 60% des Wärmebedarfs). Nur mit möglichst hohen Betriebsstundenzahlen können die Investitionen auf beispielsweise zehn Jahre Betriebsdauer umgelegt werden. Damit kann dann die KWK-Zulage für Anlagen bis 50 kW<sub>el.</sub> voll ausgereizt werden. Durch den Einbau eines möglichst kleinen BHKW geht aber ganz viel potenziell mögliche Wärmeproduktion verloren. In den meisten Fällen ist der Wärmebedarf in einem Mehrfamiliengebäude deutlich höher als der Strombedarf. Würde man den Wärmebedarf der Dimensionierung einer BHKW-Anlage zu Grunde legen, müsste der Hausbesitzer (oder der Contractor) den dann anfallenden „überschüssigen“ BHKW-Strom an seinen Elektrizitätsversorger verkaufen. Das wäre aber in der Regel ein Verlustgeschäft.

Um etwa eine 20 kW-Maschine zu Investitionskosten von beispielsweise 50.000 Euro rentabel betreiben zu können, reicht nach den bisherigen Erfahrungen das Entgelt bei Einspeisung ins Netz ganz knapp nicht aus. Die KWK-Zulage, die Rückerstattung

der Erdgassteuer und der Einspeisetarif liegen in der Summe geringfügig unter den Kosten für den Kapitaleinsatz, für die Wartung und den Erdgasbezug. Die Differenz liegt in vielen Fällen bei nur wenigen Cent pro Kilowattstunde. Wenn analog zur EEG-Vergütung die KWK-Zulage auf ein kostendeckendes Niveau angehoben würde, ließe sich damit der „flächendeckende“ Bau von KWK-Anlagen anreizen.

### 38. Mehr Eigennutzung – oder mehr Einspeisung ins Netz?

Die Eigennutzung von selbst produziertem BHKW-Strom ist dann wirtschaftlich lukrativ, wenn Betreiber und Stromverbraucher in einer (juristischen) Person zusammenfallen, weil dann viele bürokratische Hemmnisse entfallen. Gesamtwirtschaftlich und gesamtökologisch wäre allerdings eine strombedarfsorientierte Einspeisung ins Netz vorzuziehen. Was spricht für eine Netzeinspeisung? Wenn möglichst viele BHKW-Anlagen ins Netz einspeisen, können sie in der Summe wie ein virtuelles Großkraftwerk betrieben werden: Um beispielsweise ein gleichmäßiges Stromdargebot für einen ganzen Stadtteil zu gewährleisten, können die Anlagen zeitlich gestaffelt betrieben werden. Oder wenn Windkraftwerke und Solaranlagen zeitweilig zu wenig Strom produzieren, würde man alle BHKWs „im Schwarm“ gleichzeitig Strom erzeugen lassen<sup>20</sup>. Die BHKW-Anlagen können damit ihren Vorteil als ergänzender Partner der Erneuerbaren Energien im Tagesverlauf voll ausspielen. Die zentrale Steuerung von möglichst vielen BHKW-Anlagen im Verbund macht allerdings nur Sinn, wenn diese Anlagen kalkulatorisch überwiegend auf eine Netzeinspeisung ausgerichtet werden.

### 39. Wann ist der BHKW-Einbau der Wärmedämmung vorzuziehen?

Prinzipiell ist es richtig, ein Gebäude zunächst zu dämmen – um dann eine Heizanlage einzubauen, die an den niedrigen Wärmebedarf des optimal gedämmten Gebäudes angepasst ist. Aber die Dämmung von Gebäuden ist außerordentlich teuer. Private Hausbesitzer, Wohnungsgenossenschaften und Kommunen verfügen oft genug nicht über die finanziellen Ressourcen, um alle ihre Gebäude in kurzer Zeit mit einer Wärmedämmung nach dem Stand der Technik versehen zu können. Blockheizkraftwerke (BHKW) sind wegen der geringen Stückzahl derzeit noch vergleichsweise teuer. Trotzdem kann mit BHKWs im Vergleich zu einer aufwändigen Wärmedämmung das treibhauswirksame Kohlendioxid zu deutlich niedrigeren Kosten (Faktor 10) eingespart werden<sup>21</sup>. Wenn also ohnehin nicht genügend Geld für eine Wär-

<sup>20</sup> Man spricht diesbezüglich vom „Lichtblick-Modell“, weil der Ökostromanbieter „Lichtblick“ u.a. damit bekannt wurde, weil er späterhin seine BHKW-Anlagen „im Schwarm“ betreiben will.

<sup>21</sup> vgl. beispielsweise

- Pressemitteilung des BDEW vom 30.11.10: „Modernisierung des Gebäudebestands stärker in den Fokus rücken“  
[https://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE\\_20101130\\_PM\\_Erdgas\\_ist\\_Teil\\_der\\_Loesung\\_auf\\_dem\\_Weg\\_in\\_CO2-freies\\_Zeitalter/\\$file/101130%20Druckfassung%20Presse-Statement%20Dr.%20Tuschek\\_gat.pdf](https://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_20101130_PM_Erdgas_ist_Teil_der_Loesung_auf_dem_Weg_in_CO2-freies_Zeitalter/$file/101130%20Druckfassung%20Presse-Statement%20Dr.%20Tuschek_gat.pdf)
- Initiative Erdgas pro Umwelt legt zum "Petersberger Klimadialog" Vorschlag zur nationalen CO<sub>2</sub>-Minderung vor (Pressemitteilung vom 30.04.10)
- „Mehr Energieeffizienz für den Klimaschutz / Initiative Erdgas pro Umwelt (IEU) fordert Auflösung des Modernisierungstaus in deutschen Heizungskellern“ (Pressemitteilung vom 19.05.2010).
- „So entsprechen in Deutschland über drei Viertel der 18 Millionen bestehenden Heizanlagen nicht mehr dem Stand der Technik und arbeiten ineffizient, wie Statistiken von Schornsteinfe-

medämmung zur Verfügung steht, sollte zunächst die ineffiziente Heizanlage durch ein BHKW ersetzt werden: Im Vergleich zur Wärmedämmung sind Installation und Betrieb eines BHKW der erheblich schnellere Weg, um die Emission von Kohlendioxid zu verringern! Wenn BHKW-Anlagen künftig im zunehmenden Umfang mit regenerativem Wasserstoff und Bio-Methan aus Biogasanlagen betrieben werden, ergeben sich noch größere CO<sub>2</sub>-Minderungsraten.

#### 40. Warum müssen Kommunen BHKW-Vorreiter werden?

Die Städte und Gemeinden haben eine Vorbildfunktion für ihre Bürger. Wenn Städte und Gemeinden den erfolgreichen Einbau und Betrieb von BHKW-Anlagen in gemeindeeigenen Gebäuden vorexerzieren, werden private Hausbesitzer und Gewerbebetriebe folgen. Kommunen sollten gelungene BHKW-Anlagen durch Führungen für Hausbesitzer und –verwalter, Architektenseminare, Infomaterial, Artikel in den Lokalzeitungen usw. aktiv propagieren.

#### 41. Warum sind kommunale Gebäude für den BHKW-Einbau prädestiniert?

In jeder Gemeinde und in jeder Stadt gibt es kommunaleigene Gebäude mit veralteten Heizungsanlagen, die für eine Umrüstung auf BHKW in Frage kommen – beispielsweise Rathäuser und andere Verwaltungsgebäude, Schulen und Schwimmbäder, Krankenhäuser und Mehrzweckhallen. Der große Vorteil:

In kommunaleigenen Gebäuden fallen BHKW-Betreiber und Energieverbraucher zusammen: Der Strom, den die BHKW-Anlagen produzieren, wird in den kommunalen Liegenschaften selbst verbraucht. Damit mindern sich die Strombezugskosten der Kommune. Für die stadteigenen Gebäude, in denen ein BHKW im Keller schnurrt, muss die Stadt weniger Strom einkaufen. Wegen des großen Preisvorteils zwischen selbst produziertem BHKW-Strom und fremdbezogenen Strom amortisieren sich in kommunaleigenen Gebäuden die BHKWs vergleichsweise rasch<sup>22</sup>. Als Faustformel gilt, dass Gebäude mit einem Wärmebedarf von um die 100.000 kWh im Jahr besonders geeignet für den wirtschaftlichen Betrieb einer BHKW-Anlage sind.

---

*gerhandwerk und Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik (BDH) belegen.*“ (Pressemitteilung der Initiative Erdgas pro Umwelt (IEU) vom 19.05.2010)

- Pressemitl. der Initiative „Erdgas pro Umwelt“ vom 23.09.11: „Drei Viertel aller Heizungen sind technisch veraltet / Fachwelt befürwortet SPD-Vorstoß zur ‚Abwrackprämie‘ für alte Heizungen“. In der Pressemitl. heißt es u.a.: *„40 Prozent aller CO<sub>2</sub>-Emissionen werden vom Gebäudebestand verursacht, drei Viertel aller Heizungen in Deutschland sind technisch veraltet. Die Potenziale für den Klimaschutz sind also riesig.“* Neben Maßnahmen für den Klimaschutz gehe es aber auch um die Entlastung der Haushaltskasse. Nach Berechnungen des Bochumer Instituts für Wohnungswesen, Immobilienwirtschaft, Stadt- und Regionalentwicklung (InWIS) für die Studie "IEU-Modernisierungskompass" können umfangreiche Dämmmaßnahmen die Haushalte überfordern. Der Austausch der Heizung hingegen sei deutlich preiswerter.

<sup>22</sup> Klimabündnis Freiburg und Solares Bauen: „Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung am Beispiel der Tunibergschule in Opfingen“ – Studie im Auftrag der Stadt Freiburg, März 2011, 19 Seiten.

#### **42. Warum werden nur wenige kommunale Gebäude mit BHKW-Anlagen ausgestattet?**

Viele finanziell notleidende Kommunen sind bis über die Ohren verschuldet. Die Kommunalaufsicht bei den Regierungspräsidien verweigert den Kommunen deshalb eine weitere Kreditaufnahme. Damit wird den Kommunen auch untersagt, für den Einbau von BHKW-Anlagen Kredite aufzunehmen – auch wenn sich diese Anlagen rasch amortisieren und in der Folge den Kommunen hohe Strombezugskosten ersparen. Da Kommunen zinsgünstige Kommunalkredite und kfw-Mittel aufnehmen können, würden sich BHKW-Anlagen auch wegen der niedrigen Zinsen besonders gut rechnen. Die Deckelung der kommunalen Kreditaufnahme wirkt in solchen Fällen kontraproduktiv – weil selbst profitable Investitionen in BHKW-Anlagen verhindert werden. Hier muss unseres Erachtens im Sinne eines rationellen Finanzmitteleinsatzes und im Interesse des Klimaschutzes darüber nachgedacht werden, die in diesen Fällen unsinnige Schuldenbremse zu lockern!<sup>23</sup>

#### **43. Warum werden größere KWK-Anlagen an Wochenenden abgestellt?**

Da an Wochenenden der Strombedarf vergleichsweise gering ist, wird an der Börse ein besonders niedriger Preis bezahlt. Größere KWK-Anlagen können mit dem niedrigen Strompreis am Wochenende oft nicht ein Mal ihre Betriebskosten amortisieren. Deswegen werden die CO<sub>2</sub>-sparenden KWK-Anlagen abgestellt – und der Strom beispielsweise stattdessen in CO<sub>2</sub>-speienden Braunkohlekraftwerken produziert.

#### **44. Warum setzen sich BHKWs auch im industriell-gewerblichen Bereich kaum durch?**

Mit ihrem hohen Wärmebedarf wären viele Gewerbe- und Industriebetriebe ebenfalls für die Installation eines BHKWs prädestiniert. Warum verzichten trotzdem so viele Betriebe auf den Einbau eines Blockheizkraftwerkes? Industriebetriebe bekommen die Elektrizität vom Stromlieferanten für einen „Arbeitspreis“ zu niedrigen 4 oder 5 Cent pro kWh geliefert. Bei der Fixierung nur auf den „Arbeitspreis“ wird von den Firmeneinhabern aber der gleichfalls zu zahlende „Leistungspreis“ vernachlässigt. Würden die Firmenchefs in ihren Amortisationsbetrachtungen den Leistungspreis auf den Arbeitspreis umrechnen, dann würden sie auf tatsächliche Kosten in einer Größenordnung von 10 oder 11 Cent pro kWh kommen.

Da die Betriebsinhaber und Firmenchefs aber nur mit dem niedrigen Arbeitspreis kalkulieren, rechnet sich in ihren Augen der Aufwand für ein BHKW nicht, das ihnen den Strom zu 10 Cent pro kWh zur Verfügung stellen würde. Vernachlässigt wird bei dieser Betrachtung, dass man über zu hohe „Leistungspreise“ verhandeln könnte - und es sich dann in vielen Fällen rechnen könnte, Strom und Wärme selbst zu erzeugen<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> Siehe ein entsprechendes Schreiben von Klimabündnis Freiburg und Solares Bauen GmbH vom 18.03.11 an den Freiburger Regierungspräsidenten.

<sup>24</sup> Mit einem vergleichsweise geringem Zusatzaufwand kann mit der Wärme aus KWK-Anlagen gfs. auch via Adsorptionskältemaschinen Kälte für Kühlzwecke produziert werden.

#### 45. **Wie werden sich die BHKW-Einsatzzwecke weiterentwickeln?**

Bei zunehmend niedrigerem Wärmebedarf der Gebäude ist davon auszugehen, dass kleinere BHKWs mit Brennwertechnik und einer Auslegung auf z.B. 90% des Wärmebedarfs ökologisch und wirtschaftlich vergleichbare Ergebnisse erreichen werden wie große hocheffiziente in einem Fernwärmenetz eingebundene Gas-BHKW-Anlagen. Im Vergleich zu Strom aus Steinkohle-KWK-Anlagen<sup>25</sup> werden deutlich bessere ökologische Ergebnisse erzielt. Ausgehend von dieser Überlegung ist festzuhalten, dass ein „Warten“ auf die Erschließung durch ein Fern- oder Nahwärmenetz nicht sinnvoll ist. Vielmehr sollte überall dort wo in den kommenden drei bis fünf Jahren kein Netzausbau zu erwarten ist, der Ausbau von dezentraler, gebäudeintegrierter KWK bzw. kleiner Nahwärmeinseln favorisiert werden. Beim heutigen Stand der Technik ist der Einsatz ab einem Gasverbrauch von etwa 100 MWh/a wirtschaftlich interessant, wenn der erzeugte Strom selbst genutzt oder zu guten Konditionen (ca. 0,13 EUR/kWh) eingespeist werden kann. Da Deutschland über ein weit verzweigtes und gut ausgebautes Gasnetz verfügt, ist anzunehmen, dass sich die größten zukünftigen Potentiale an KWK in Deutschland überwiegend durch kleinere und mittlere Anlage in der Größenordnung von 5 kW<sub>el.</sub> bis 100 kW<sub>el.</sub> auch unabhängig von einer wärmedämmenden Gebäudesanierung erschließen lassen<sup>26</sup>. Damit eignen sich zunächst vor allem Mehrfamilienhäuser und aneinandergereihte Gebäude für den Ausbau der KWK. In wenigen Jahren könnten auch Einfamilienhäuser folgen, wenn die derzeitigen Neuentwicklungen der Heizungsbauunternehmen („Mikro-BHKW“) sich wirtschaftlich durchsetzen können.

Späterhin könnten die herkömmlichen BHKWs durch Brennstoffzellen abgelöst werden. Im Vergleich mit Motor betriebenen BHKWs erreichen Brennstoffzellen einen deutlich höheren elektrischen Wirkungsgrad<sup>27</sup>. Derzeit sind die Kosten für Brennstoffzellen allerdings noch zu hoch für einen breiten Einsatz.

#### 46. **Warum das Ingenieurwissen über BHKWs aufgepeppt werden muss?**

Konventionell ausgebildete Ingenieure, Techniker und SHK-Handwerker<sup>28</sup> sowie Energieberater sind der Meinung, dass sich der Betrieb eines BHKW ökonomisch nur dann lohnt, wenn die Maschine mindestens 5 - 6.000 Jahresstunden läuft. In halbwegs gut wärmedämmten Gebäuden ist eine so lange Laufzeit aber bei weitem nicht zu erzielen. In Niedrigenergiehäusern müsste man für die Abdeckung des Wärmebedarfs das BHKW oft nur 2.000 bis 4.000 Stunden im Jahr laufen lassen. Mit einer so niedrigen Jahresstundenleistung lässt sich in den Augen der meisten Inge-

<sup>25</sup> Ein typisches Beispiel hierfür ist das Heizkraftwerk der Universität Freiburg, das bislang mit Steinkohle befeuert wurde.

<sup>26</sup> Siehe die „Freiburger BHKW-Hemmnis-Analyse“. Die „BHKW-Hemmnis-Analyse“ hat das Umweltamt der Stadt Freiburg bei dem Planungsbüro Solares Bauen in Zusammenarbeit mit dem Klimabündnis Freiburg in Auftrag gegeben. Die Langfassung kann von der Homepage <http://www.klimabuendnis-freiburg.de/> heruntergeladen werden.

<sup>27</sup> Mehr Infos zum Brennstoffzelleneinsatz in einem integrierten Energiesystem finden sich beispielsweise in:

- SCHMIDTCHEN, Ulrich: „Wasserstoff und Brennstoffzellen – Chancen und Grenzen“ Sonderdruck aus ew, Jg. 106 (2007), H. 1-2, S. 20 – 24
- DWV et al: „Energie-Infrastruktur 21 – Rolle des Wasserstoffs angesichts der Herausforderungen im neuen globalen Energiesystem“, Brüssel, Berlin 2009, A4, 32 S.

<sup>28</sup> Handwerker aus der Innung Sanitär-Heizung-Klima (SHK)

neure eine Wirtschaftlichkeit nicht annähernd erreichen. Der Denkfehler besteht darin, dass vernachlässigt wird, dass sich bei einer geringeren Jahresstundenleistung die Lebensdauer der BHKW-Maschine entsprechend erhöht. Und in vielen Fällen übersteigen die Kosten eines Vollwartungsvertrages die der Investition. Somit lässt sich über einen größeren Abschreibungszeitraum auch eine Anlage mit geringeren Jahresstunden in vielen Fällen wirtschaftlich betreiben, sofern ein Teil des Stroms auch eigengenutzt werden kann. Entsprechende Amortisationsberechnungen müssten im Rahmen einer Informationskampagne und einer besseren Aus- und Fortbildung an die entsprechenden Berufsstände vermittelt werden.

#### **47. Wieviel Zeit haben wir noch?**

Die Klimaforscher Stefan Rahmstorf und Malte Meinshausen gehen davon aus (und die meisten Experten stimmen dem zu), dass die Menschheit im Zeitraum 2000-2050 insgesamt noch etwa 1500 Milliarden Tonnen an Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-äquivalent) emittieren darf. Nur dann wäre gewährleistet, dass wir das „2 Grad-Ziel“ (max. Temperaturerhöhung bis 2100) einhalten können. Ein Drittel dieser Menge an Treibhausgasen sind bereits im Zeitraum von 2000-2008 emittiert worden. Würden die Emissionen ab jetzt konstant bleiben (bisher steigen sie weltweit jedes Jahr) hätten wir das Gesamtlimit von 1.500 Mrd. Tonnen bereits 2024 emittiert.<sup>29</sup>

Bezogen auf die durchschnittliche Emission eines Erdenbewohners ist der Anteil Deutschlands an der Gesamtmenge bereits vor 2020 emittiert, trotz leicht sinkender Emissionen in Deutschland. Wenn Deutschland also beispielgebende Anreize für die Emissionsminderung von Treibhausgasen geben will, sind vor allem in Energiesektor deutlich effizientere Maßnahmen als bislang erforderlich. Denn während in einigen anderen Energieverbrauchssektoren mehr oder weniger deutliche CO<sub>2</sub>-Minderungserfolge erzielt werden konnten, haben die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Energiebranche nur unwesentlich abgenommen.

#### **48. Wo gibt es weitere KWK/BHKW-Infos?**

Im Netz sind zahlreiche Homepages verfügbar, die über den Einsatz von BHKW-Anlagen informieren. Wir empfehlen die Homepage

[www.bhkw-jetzt.de](http://www.bhkw-jetzt.de)

Mehrere Studien zum BHKW-Einsatz finden sich auch auf der Homepage des Freiburger Klimabündnisses

[www.klimabuendnis-freiburg.de](http://www.klimabuendnis-freiburg.de)

unter „Klimabausteine“.

---

<sup>29</sup> <http://www.scilogos.de/wblogs/blog/klimalounge/debatte/2009-04-29/wie-viel-co2-ist-zu-viel>