

Wie misst man Gift?

Mini KWK contra Gas- und Dampfkraftwerk (GuD)

Eine Entgegnung zum Artikel – Janßen et al.: „Die Dosis macht das Gift“; GEB 04 2015. Die Mini-KWK hat auch langfristig (Stichwort Power to Gas) das Potential, einen kostengünstigen, flexiblen und emissionsarmen Beitrag zum Ausgleich der zunehmend fluktuierenden Stromerzeugung aus Sonne und Wind zu leisten.

Dr. Jörg Lange und Martin Ufheil (solares bauen Freiburg), Christian Neumann (Energieagentur Freiburg),

Die Mini-KWK aus Effizienz­sicht

Solange erdgasbetriebene Anlagen zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme (KWK) Wirkungsgrade (H_i) von bis zu 102 % erreichen, sind diese effizienter als die getrennte Stromerzeugung mittels GuD-Anlage (Gas- und Dampfturbine) mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 62% in Verbindung mit der Wärmeerzeugung über einen Gas-Brennwertkessel mit einem Normnutzungsgrad (H_i) bis 105%. Die Effizienz spricht also dafür, viele mit Erdgas betriebene alte Öl- oder Gaskessel durch eine mit Erdgas betriebene Mini-KWK-Anlage zu ersetzen.

Was bedeutet Mini-, Mikro und Nano-KWK?

Bislang wurden für Anlagen zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme, kurz Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), keine Leistungsklassen normiert. Entsprechend des Begriffs "KWK-Kleinanlage" aus der KWK-Richtlinie 2004/8/EG werden unter **Mini-KWK** bislang alle KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis zu 50 Kilowatt (KW) gezählt. Der BHKW-Forum e.V. differenziert nach Anwendungsfall noch weiter in **Mikro-KWK**-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von etwa 2,5 - 20 kW und in **Nano-KWK** (stromerzeugende Heizungen für Ein- und Zweifamilienhäuser) mit einer elektrischen Leistung kleiner als 2,5 kW.

Die Mini-KWK aus ökologischer Sicht - Verdrängungsmix statt Strommix

Die Autoren des Artikels „Die Dosis macht das Gift“ (Janßen et al.) bewerten die Emissionsminderung der Mini-KWK gegenüber GuD-Anlagen mit den abnehmenden Emissionsfaktoren des deutschen Strommix durch die Zunahme der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Diese Bewertung unterstellt, dass mit der Mini-KWK auch Strom aus regenerativen Quellen in erheblichem Umfang verdrängt würde. Dafür gibt es bisher keinen Beleg. Im Gegenteil: In der Praxis setzt sich die Bewertung nach dem Verdrängungsmix durch. Auch Erdgas-Mini-KWK-Anlagen verdrängen überwiegend Strom aus Kohlekraftwerken. Prognos et al. 2014 geben einen Strom-Referenz-Emissionsfaktor (Nettostromerzeugung) von 912 g CO₂/kWh für 2012 an, der im Laufe der Jahre bis 2050 nennenswert nur abnimmt, sofern der Erzeugungsanteil durch Kohle entsprechend sinkt (vgl. Abb. 1).

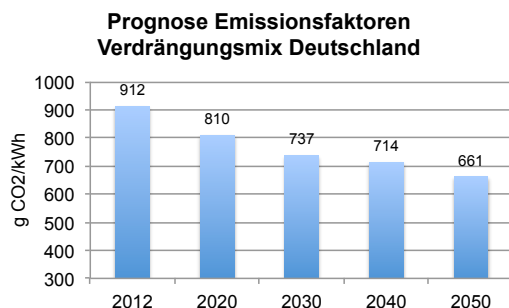


Abb. 1: Prognose der Emissionsfaktoren mit Abnahme des Kohlestromanteils

Es ist daher angemessen, bei der wärmeseitigen Berechnung der Emissionsminderung durch die Stromerzeugung einer Mini-KWK-Anlage sachgerecht für die nächsten 15 Jahre einen durchschnittlichen Emissionsfaktor von derzeit 750g CO₂/kWh als Stromgutschrift anzusetzen.

Um die Treibhausgasemissionen der Mini-KWK zu ermitteln, werden Strom- bzw. Wärmemengen durch den jeweiligen Wirkungsgrad der KWK dividiert. Hieraus ergibt sich der Brennstoffeinsatz, der mit seinem brennstoffspezifischen Emissionsfaktor multipliziert wird. Um die Emissionen der erdgasgefeuerten Mini-KWK mit anderen Arten der Stromerzeugung zu vergleichen, kann z.B. die Methode der Wärmegutschrift gewählt werden (Von den Gesamtemissionen wird der Brennstoffeinsatz für die Wärme, multipliziert mit dem entsprechenden brennstoffspezifischen Emissionsfaktor abgezogen). Bei dieser Art der Bewertung schneiden Mini-BHKW und selbst Mikro-BHKW deutlich günstiger ab als GuD-Anlagen (vgl. Abb. 2).

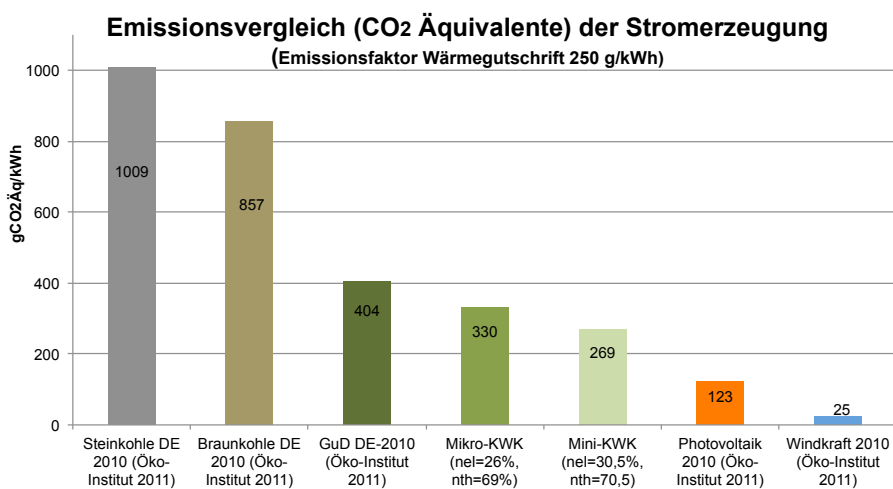


Abb. 2: Emissionsvergleich verschiedener Anlagen zur Stromerzeugung (n_{th} = thermischer Wirkungsgrad, n_{el} = elektrischer Wirkungsgrad)

Die Mini-KWK aus volkswirtschaftlicher Sicht

Janßen et al. verweisen zu Recht darauf, dass Kohlekraftwerke mit geringen Grenzkosten die emissionsärmeren Gas- und Dampfkraftwerke verdrängen. Bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtung ist es sachgerecht, die externen Umweltkosten der Stromerzeugung den Kraftwerken zuzurechnen, wie sie z.B. vom Umweltbundesamt (UBA 2013) ermittelt wurden. Danach betragen die externen Umweltkosten für Strom aus Kohlekraftwerken über 10 Cent/kWh. Rechnet man diese externen Umweltkosten zu den durchschnittlichen Gestehungskosten (ISE 2013) der Kraftwerke hinzu, ist Strom aus großen KWK-Anlagen nicht nur viel günstiger als aus Kohlekraftwerken, sondern auch günstiger als aus GuD Anlagen (vgl. Abb. 3).

Berücksichtigt man nun noch, dass Strom der aus großen GuD Anlagen stammt, durch alle Netzebenen bis zum Verbraucher transportiert werden muss und die Mikro-KWK den Strom bereits überwiegend genau da produziert, wo er auch gebraucht wird, sind auch viele Mini-KWK-Anlagen mindestens ab einer elektrischen Leistung von etwa 15 kW bereits heute volkswirtschaftlich konkurrenzfähig zu großen effizienten GuD-Anlagen.

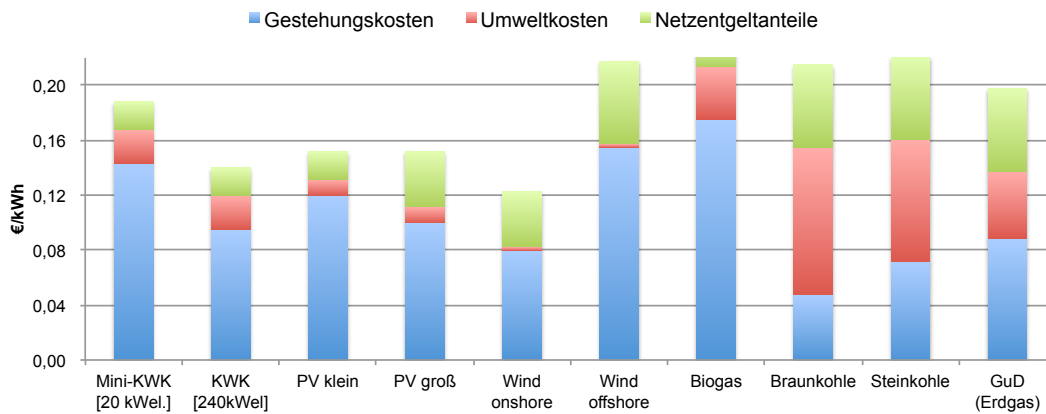


Abb. 3: Abschätzung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten verschiedener Stromerzeugungsanlagen (Quellen: Gestehungskosten Erzeuger außer BHKWs ISE 2013; Umweltkosten nach UBA 2013; Netzentgeltanteile eigene Schätzung)

Solange die externen Umweltkosten konventioneller Energien (z.B. durch eine Umweltsteuer) auf fossile Brennstoffe nicht umgelegt werden, müssen die Erneuerbaren und die Erdgas-KWK gefördert werden.

Zukünftige Anforderungen an die Mini-KWK

Die unterstellte Auslegungspraxis von Janßen et al., mit KWK-Anlagen einen „Grundlastsockel“ zu erschließen, entspricht längst nicht mehr einer zukunftsfähigen Auslegungspraxis von KWK-Anlagen. Die eigentliche Stärke der Erdgas-KWK liegt in deren Flexibilität gegenüber anderen fossilen Kraftwerken. So sind KWK-Anlagen ab einer Leistung von 200 kW_{el} bereits heute Bestandteil virtueller Kraftwerke zur Bereitstellung von Regelenergie. Auch eine Mini-KWK-Anlage ist technisch in der Lage, Teil eines virtuellen Kraftwerkes zu werden oder auf adäquate Preissignale flexibel zu reagieren. Allein: es fehlen dafür bisher die finanziellen Anreize. Anbieter von Regelenergie aus virtuellen Kraftwerken fordern eine erdgasbetriebene KWK Leistung von bis zu 50 GW, um den Zuwachs an fluktuierender Erzeugung aus Sonne und Wind zukünftig flexibel und emissionsarm ausgleichen zu können.

Mini-, Mikro- und Nano-KWK können hierzu einen bedeutenden Beitrag leisten, wenn die Potenziale zur Reduktion der Kosten gehoben werden. Hersteller von Anlagen der Mini-, Mikro-KWK ähneln immer noch mittelalterlichen Manufakturbetrieben. Erst mit hohen Stückzahlen und niedrigen Kosten werden sie für das Heizungshandwerk so interessant, dass die Mini-, Mikro, und Nano-KWK nennenswerte Anteile der jährlich ca. 650.000 zu erneuernden Heizkessel in Deutschland ersetzt. Es ist Aufgabe der Förderpolitik – ähnlich wie bei PV-Anlagen – diese Entwicklung anzustoßen.

In einem zukünftigen Strommarkt, der von fluktuierenden Erzeugern und der Notwendigkeit des Abgleichs von Stromerzeugung und Stromverbrauch geprägt sein wird, bieten Mini-BHKWs (neben ihrer Regelbarkeit) mit der Möglichkeit des Einsatzes von Speichern sowohl auf der Wärme als auch auf der Stromseite weitere Optimierungspotenziale.

Wie volkswirtschaftlich sinnvoll sich der Einsatz der KWK für Ein- und Zweifamilienhäuser (z.B. Brennstoffzellen) entwickeln wird, lässt sich zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abschätzen. Die Entwicklung steht noch am Anfang und ein Marktanreizprogramm macht hier deshalb durchaus Sinn, wenngleich die derzeitigen Förderbeträge gegenüber den Vergütungssätzen des KWK-G sowie der vermiedenen Bezugskosten bei Eigenstromversorgung für die Wirtschaftlichkeit von KWK Anlagen über 1-3 kW elektrischer Leistung kaum ins Gewicht fallen. Alternativ sind aber auch kleine KWK-Wärmeverbände zwischen Ein- und Zweifamilienhäusern technisch möglich und volkswirtschaftlich sinnvoll.

Mini-KWK heute: Ein Beispiel aus der Praxis

Gut evaluierte und aufbereitete Beispiele von Mini-KWK-Anlagen sind noch immer die Ausnahme. Am Beispiel einer KWK-Anlage im LBZ St. Anton in Riegel (Süddeutschland) wird im Folgenden gezeigt, welche Maßnahmen unter den derzeitigen Rahmenbedingungen welche Einsparungen zur Folge haben.

Die Heizzentrale des LBZ St. Anton versorgt 5 Gebäude mit Wärme und Strom. Zur energetischen Sanierung des Gebäudebestandes gehörten Stromsparmaßnahmen, die teilweise Dämmung der Gebäude, die Umstellung von Öl auf Erdgas, die Sanierung der Heizzentrale (BHKW 34 kW_{el.} / 78 kW_{th.}, Brennwertkessel 285 kW_{th.}), die Erneuerung der Wärmeverteilstationen sowie der Bau einer Solarstromanlage (36,5 kW_{peak}).

Vor der energetischen Sanierung lag der Heizölbedarf bei etwa 95.000 Liter pro Jahr und der Strombedarf bei ca. 200.000 kWh.

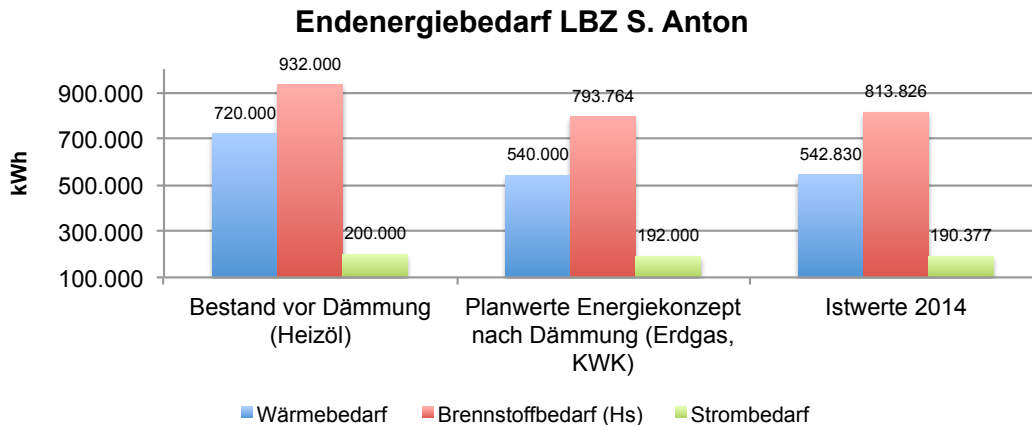


Abb. 4: Energiebedarf LBZ St. Anton vor der Sanierung, nach dem Energiekonzept sowie nach der Sanierung 2014

Nach der Sanierung wurden 76.823 m³ Erdgas (733.176 kWh (H_i)) für die Produktion von 543.830 kWh Wärme und 176.831 kWh Strom (Nettoerzeugung) bezogen. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage liegt damit bei 98%.

Bei getrennter Erzeugung der Wärme durch einen Brennwertkessel und Strom aus hocheffizienter GuD (thermischer Nutzungsgrad Brennwertkessel 98%, Elektrischer Nutzungsgrad GuD 62%) würde der Brennstoffbedarf 840.140 kWh und damit um ca. 14% höher sein (vgl. Abb. 5). Unter Berücksichtigung der Netzverteilverluste von der zentralen GuD-Anlage zum dezentralen Verbraucher erhöht sich der zusätzliche Gasbedarf auf ca. 16%.

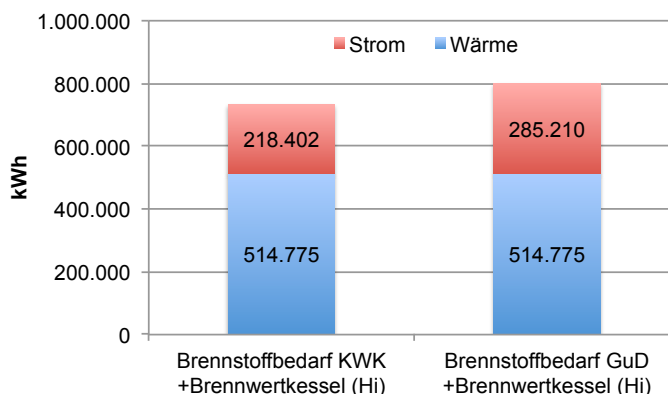


Abb. 5: Vergleich Brennstoffbedarf LBZ St. Anton gemessen 2014 (KWK+Brennwertkessel) und fiktiv bei getrennter Erzeugung mit Wärme durch Brennwertkessel und Strom aus hocheffizienter GuD (Thermischer Nutzungsgrad Brennwertkessel 95%, Elektrischer Nutzungsgrad GuD 62%)

Daraus ergeben sich bezogen auf den Brennstoffbedarf Emissionen (CO₂-Äquivalente) von 183 t/a gegenüber 200 t/a bei einer fiktiven getrennten Erzeugung der Wärme durch einen Brennwertkessel und des Stroms in einer hocheffizienten GuD-Anlage. Wendet man die Stromgutschriftenmethode an, so ergeben sich Emissionen beim Verdrängungsmix von 69,2 t/a und beim voraussichtlichen Strommix des Kraftwerksparks 2020 von 132 t/a (vgl. Abb. 6)

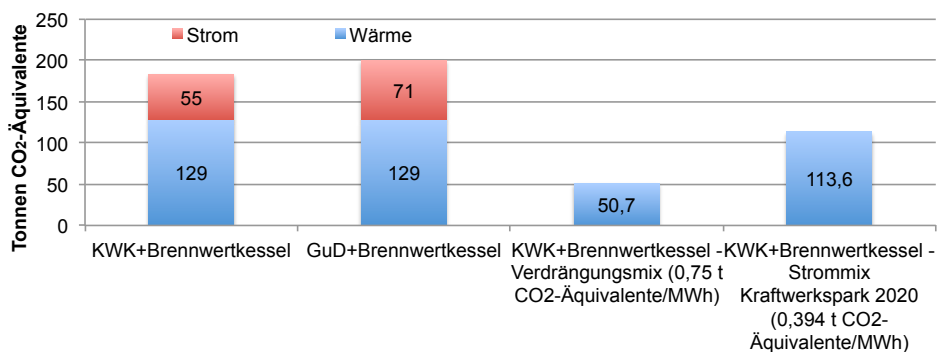


Abb. 6 Vergleich Emissionen LBZ St. Anton (KWK+Brennwertkessel) und fiktiv bei getrennter Erzeugung mit Wärme durch Brennwertkessel und Strom aus hocheffizienter GuD und mit Stromgutschrift Verdrängungsmix (0,75 Tonnen CO₂-Äquivalente/MWh) und fiktiver Strommix Kraftwerkspark 220 (0,394 Tonnen CO₂-Äquivalente/MWh; Fritsche et al. 2014); Emissionsfaktor Erdgas 0,25 Tonnen CO₂-Äquivalente/MWh

Von dem in der KWK-Anlage erzeugten Strom wurden etwa 125.550 kWh selbst verbraucht und 51.281 kWh ins öffentliche Netz eingespeist. Bei einem Stromverbrauch 2014 von 190.377 kWh mussten damit nur noch 64.827 kWh aus dem öffentlichen Netz bezogen werden (vgl. Abb. 4).

Die Energiekosten des LBZ St. Anton lagen im ersten vollen Betriebsjahr nach der Sanierung (2014) um insgesamt 65.262 € (netto) niedriger als vor der Sanierung (vgl. Abb. 7). Mit einer Mehrinvestition von ca. 150.000 € (netto) für die KWK-Anlage und einer jährlichen Einsparung von ca. 19.500 € (netto) durch die KWK liegt die Statische Amortisation der KWK bei etwa 7,7 Jahren. Unter Berücksichtigung des Investitionskostenzuschusses aus dem Klimaschutz Plus Programm des Landes Baden-Württemberg liegt die Statische Amortisation für die KWK-Anlage unter 6 Jahren.

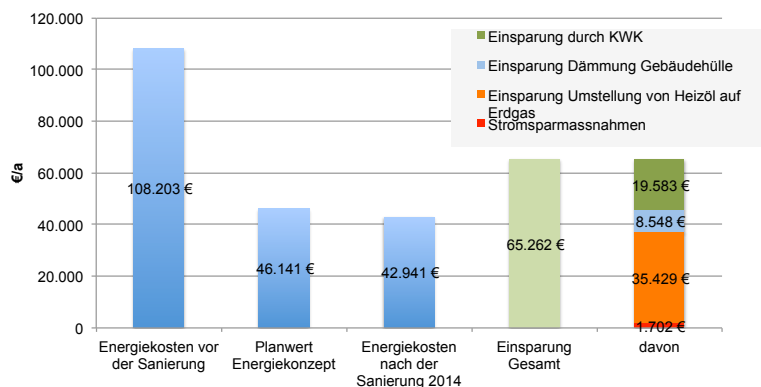


Abb. 7: Energiekosten LBZ St. Anton pro Jahr vor und nach der Sanierung (alle Kosten ohne gesetzliche Mehrwertsteuer)

KWK kann mehr als eine Brückentechnologie sein

Erste Szenariorechnungen (ISE 2015) zeigen, dass bei einer angestrebten CO₂-Reduktion von mehr als 82% in Deutschland die volkswirtschaftlichen Kosten mit Power to Gas (PTG), also der Umwandlung von erneuerbar erzeugtem Strom in Wasserstoff bzw. Methan und der saisonalen Speicherung in der bereits vorhandenen Gasinfrastruktur, niedriger sind als bei allen anderen bekannten Technologieansätzen. Dabei bietet sich der Einsatz des PTG als Erdgasersatz besonders in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, deren hohe Bedeutung damit vermutlich auch über 2050 hinaus erhalten bleibt (www.powertogas.info).

Fazit:

1. Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme ist die effizienteste und emissionsärmste Art der Energiegewinnung mit fossilen Brennstoffen.
2. Auch die Mini-KWK ist gegenüber GuD in vielen Fällen immer noch die effizientere und emissionsärmere Art der fossilen Energiegewinnung.
3. Solange die externen Umweltkosten konventioneller Energien (z.B. durch eine Umweltsteuer) auf fossile Brennstoffe nicht umgelegt werden, müssen die Erneuerbaren und die Erdgas-KWK gefördert werden.
4. Die Mini-KWK hat auch langfristig (Stichwort Power to Gas) das Potential, einen kostengünstigen, flexiblen und emissionsarmen Beitrag zum Ausgleich der zunehmend fluktuierenden Stromerzeugung aus Sonne und Wind zu leisten.

Quellen

Fritsche et al. (2014): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2013.

http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2014_KEV-Strom-2013_HEA.pdf

ISE (2013): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien.

<http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf>

ISE (2015): The Role of Power-to-Gas in achieving Germany's climate policy targets with a special focus on concepts for road based mobility.

http://etogas.com/fileadmin/documents/news/2015_Fraunhofer_ISE_Study_PtG.pdf

Öko-Institut (2011): Lebenswegbezogene Emissionsdaten für Strom- und Wärmebereitstellung, Mobilitätsprozesse sowie ausgewählte Produkte für die Beschaffung in Deutschland. 26 S.

http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2011_GEMIS_Daten-FEST.pdf

Prognos (2014): Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/potenzial-und-kosten-nutzen-analyse-zu-den-einsatzmoeglichkeiten-von-kraft-waerme-kopplung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

UBA 2013: Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_umweltkosten.pdf