dena
Deutsche Energie-Agentur

Flüssiggas und BioLPG.

Potenziale als Energieträger für die Energiewende im ländlichen Raum.

Impressum.

Herausgeber.
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel.: +49 (0)30 72 61 65-600
Fax: +49 (0)30 72 61 65-699
E-Mail: info@dena.de
Internet: www.dena.de

Autoren.
Uwe Bigalke, dena
Toni Reinholz, dena
Stefan Siegemund, dena

Auftraggeber.
PRIMAGAS Energie GmbH & Co. KG

Druck.
druck.haus rihn GmbH,
Blomberg

Stand: 04/2016
Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Diese Publikation wurde erstellt mit freundlicher Unterstützung durch die
PRIMAGAS Energie GmbH & Co. KG

Inhalt.

Executive Summary. **4**

1 Ziele der Energiewende im Wärmesektor. **5**

1.1 Energiekonzept der Bundesregierung. 5
1.2 Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE). 5
1.3 Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz und des Anteils erneuerbarer Energien. 5
1.4 Energetische Sanierung als zentrale Säule der Energiewende. 5

2 Entwicklung und Szenarien des Energieverbrauchs in Deutschland. **6**

2.1 Aktueller Stand des Endenergieverbrauchs in Deutschland. 6
2.2 Szenarien. 8
2.3 Wärmeversorgung im ländlichen Raum. 10

3 Energieträger Flüssiggas und BioLPG. **13**

3.1 Einsatzmöglichkeiten von Flüssiggas. 13
3.2 Eigenschaften von Flüssiggas. 13
3.3 Ressourcengewinnung, Herkunft und Verfügbarkeit. 14
3.4 Flüssiggas in Deutschland. 15
3.5 BioLPG – erneuerbares Potenzial von Flüssiggas. 15

4 Potenzial von Flüssiggas im Wärmebereich. **17**

4.1 Modellrechnungen: Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung in flüssiggasbeheizten Gebäuden. 17
4.1.1 Perspektive 2030: 40 Prozent Primärenergiebedarfsreduzierung. 18
4.1.2 Perspektive 2050: 80 Prozent Primärenergiebedarfsreduzierung. 21
4.2 Rahmenbedingungen für die Wettbewerbsfähigkeit von Flüssiggas und BioLPG im Wärmemarkt. 23

5 Fazit. **24**

6 Literaturverzeichnis. **25**

7 Glossar. **28**

8 Abkürzungen. **30**

9 Anhang: Berechnungsergebnisse. **31**

9.1 Kaum gedämmte Gebäude (Perspektive 2030). 31
9.2 Mäßig gedämmte Gebäude (Perspektive 2030). 32
9.3 Mäßig gedämmte Gebäude (Perspektive 2050). 33
9.4 Gut gedämmte Gebäude (Perspektive 2050). 34

Executive Summary.

Eine effiziente Wärmeversorgung bildet die Basis für das Erreichen der Energiewendeziele der Bundesregierung bis 2050. Das wichtigste Langfristziel für den Gebäudebereich ist es, dessen Primärenergiebedarf bis 2050 um 80 Prozent gegenüber 2008 zu senken.

Im Rahmen dieser Studie werden Möglichkeiten zur Erreichung dieses Ziels unter Nutzung des Energieträgers Flüssiggas, der insbesondere für die rund zwei Millionen Gebäude ohne Erdgasnetzanschluss im ländlichen Raum eine Alternative darstellt, aufgezeigt.

Die wichtigsten Studienergebnisse:

- Flüssiggas ist heute und in Zukunft als Nebenprodukt der Herstellung von Mineralölprodukten und Erdgas ausreichend verfügbar und leistet einen Beitrag zur Energieträgerdiversifikation und Versorgungssicherheit. Zudem ist davon auszugehen, dass die Produktion von BioLPG in den kommenden Jahren deutlich zunehmen wird. Damit eröffnen sich Optionen die CO_2-Emissionswerte von Flüssiggas zusätzlich zu senken.

- Einzelne Gebäude können durch den Austausch alter Heizungen gegen bewährte Flüssiggas-Anlagenkombinationen (z. B. Kombination Gas-Brennwert- mit Solarthermie- und Lüftungsanlage) oder gegen innovative Heizsysteme (z. B. Gas-Wärmepumpe) rund 40 Prozent Primärenergie einsparen. In Kombination mit einem Energieträgerwechsel von Öl oder Strom zu Flüssiggas sind sogar CO_2-Reduzierungen von über 50 Prozent möglich.

- Mäßig gedämmte Gebäude können in Kombination mit einer Gas-Brennwertheizung ein für 2030 anzustrebendes Zwischenziel von 40 Prozent Primärenergiebedarfsreduzierung gegenüber einem durchschnittlichen Wohngebäude im Basisjahr 2008 erreichen.

- Die Primärenergiebedarfsziele der Bundesregierung sind für flüssiggasbeheizte Gebäude im Jahr 2050 erreichbar, sofern diese gut gedämmt und mit effizienter Heizungstechnologie ausgestattet sind. Werden Gebäude bis 2050 nur mäßig gedämmt, ist die Zielerreichung durch den Einsatz von hocheffizienten Heizungstechniken und Anlagenkombinationen sowie die anteilige Nutzung von BioLPG möglich.

- Die Energieeffizienzstrategie Gebäude des Bundes sieht eine deutlich stärkere Nutzung von Biomasse (fest, gasförmig, flüssig) vor. Sollen die Potenziale von BioLPG gehoben werden, müssen die politischen Rahmenbedingungen verbessert werden. Ansatzpunkte dafür bieten beispielsweise die Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, in denen eine Anrechnung der Nutzung von BioLPG derzeit nur sehr eingeschränkt möglich ist, d. h. bei räumlichem Zusammenhang der Produktion bzw. nur bei Einsatz in KWK. Zudem müssen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass die energetische Gebäudesanierung für alle Einkommensgruppen auch im ländlichen Raum umsetzbar ist.

1 Ziele der Energiewende im Wärmesektor.

Mit der Energiewende hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, die eigene Energieversorgung auf eine nachhaltige Basis zu stellen. Zum einem beinhaltet dies die Notwendigkeit einer effizienteren Nutzung der Energie, um möglichst große Einsparungen zu erzielen, und zum anderen den Ausbau der erneuerbaren Energien. Während die Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor die Erwartungen bisher übersteigt, hat der Wärmesektor noch Nachholbedarf. Um die gesteckten Ziele zu erreichen, hat die Bundesregierung daher mehrere Maßnahmen beschlossen, die mittlerweile in 21 Gesetzen und Verordnungen sowie verschiedenen Förderprogrammen umgesetzt wurden.

1.1 Energiekonzept der Bundesregierung.

Im Jahr 2010 erarbeitete die Bundesregierung eine langfristige Gesamtstrategie mit klima- und energiepolitischen Zielsetzungen. Mit dem Energiekonzept hat die Bundesregierung ehrgeizige und verbindliche Ziele für den Klimaschutz auf nationaler Ebene formuliert. Danach sollen die Emissionen bis zum Jahr 2020 um mindestens 40 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden. Der Beitrag der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll bis 2020 auf 18 Prozent und bis 2050 auf 60 Prozent ausgeweitet werden. Um einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 zu erreichen, sollen der Wärmebedarf bis 2020 um 20 Prozent und der Primärenergiebedarf der Gebäude bis 2050 um 80 Prozent sinken.

1.2 Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE).

Eine wichtige Säule zum Gelingen der Energiewende ist die Energieeffizienz. Mit dem Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) hat die Bundesregierung ein umfassendes Paket zur Steigerung der Energieeffizienz beschlossen. Diese basiert im Wesentlichen auf zwei Standbeinen. Das erste Standbein beinhaltet verschiedene Sofortmaßnahmen wie die Erhöhung des Fördervolumens für die Gebäudesanierung und die Einführung einer von Bund und Ländern getragenen steuerlichen Förderung von Effizienzmaßnahmen im Gebäudesektor (Umsetzung noch offen) sowie die verpflichtende Einführung von Energieaudits für Nicht-KMU (kleine und mittlere Unternehmen). Das zweite Standbein besteht für den Wärmebereich aus der Entwicklung und Umsetzung einer Energieeffizienzstrategie für Gebäude, kurz ESG (BMWi, 2015a), die unter anderem die Einführung individueller Sanierungsfahrpläne beinhaltet. Mit dem NAPE wurden für Energieerzeuger und Verbraucher folgende Ziele formuliert:

- Die Energieeffizienz im Gebäudebereich voranbringen
- Die Energieeffizienz als Rendite- und Geschäftsmodell etablieren
- Die Eigenverantwortlichkeit für Energieeffizienz erhöhen

Mithilfe der Maßnahmen soll der Primärenergieverbrauch aller Sektoren in Deutschland bis 2020 um 20 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent gegenüber 2008 gesenkt werden.

1.3 Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz und des Anteils erneuerbarer Energien.

Die wesentlichen Elemente zur Steigerung der Energieeffizienz und des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Wärmemarkt sind die Energieeinsparverordnung (EnEV), das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), das Marktanreizprogramm (MAP) sowie weitere Förderprogramme der KfW. Die EnEV enthält rechtliche Vorgaben für Bauherren – insbesondere im Hinblick auf Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Neubauten oder die Mindestqualität einzelner Sanierungsmaßnahmen. Von den Regelungen sind sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude betroffen. Mit dem EEWärmeG soll vor allem der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Wärmesektor bis 2020 auf 14 Prozent ansteigen. Dies gilt aber weitestgehend nur für Neubauten. Für den Gebäudebestand ist vor allem die Förderung mit Investitionszuschüssen und zinsgünstigen Krediten durch die KfW und durch das Marktanreizprogramm relevant.

1.4 Energetische Sanierung als zentrale Säule der Energiewende.

Den größten Einzelanteil am Endenergieverbrauch hat in Deutschland der Gebäudebestand mit 36 Prozent (dena, 2015). In diesem Bereich entstehen nach Berechnungen der dena ca. 32 Prozent aller CO_2-Emissionen. Damit kommt der energetischen Sanierung des Gebäudebestands zur Minimierung des Energieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und Lüftung eine besondere Bedeutung für die Erreichung der Klimaschutzziele zu. Um die ambitionierten Ziele der Energiewende erreichen zu können, bedarf es einer Erhöhung der energetischen Sanierungsrate von aktuell ca. 1 Prozent auf 1,5 bis 2 Prozent (Prognos et al., 2015).

	2014	2020	2030	2040	2050
Treibhausgasemissionen					
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	- 27 %	mindestens - 40 %	mindestens - 55 %	mindestens - 70 %	mindestens - 80 bis - 95 %
Erneuerbare Energien					
Anteil am Wärmeverbrauch	12 %	14 %			
Effizienz und Verbrauch					
Primärenergieverbrauch (gegenüber 2008)	- 8,7 %	- 20 % →			- 50 %
Endenergieproduktivität (2008 – 2050)	1,6 % pro Jahr (2008 – 2014)	2,1 % pro Jahr (2008 – 2050)			
Primärenergiebedarf Gebäude (gegenüber 2008)	- 14,8 %	→			- 80 %
Wärmebedarf Gebäude (gegenüber 2008)	- 12,4 %	- 20 %			

Quelle: Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende (BMWi, 2015b)

Abbildung 1: Ziele der Energiewende

2 Entwicklung und Szenarien des Energieverbrauchs in Deutschland.

2.1 Aktueller Stand des Endenergieverbrauchs in Deutschland.

Deutschlands Energieverbrauch ist noch immer zu einem überwiegenden Teil von fossilen Energieträgern abhängig. Gleichwohl ist der Anteil erneuerbarer Energien kontinuierlich gestiegen und betrug Ende 2014 13,7 Prozent (AGEE-Stat, 2015). Im Bereich Wärme- und Kältebereitstellung sind es 12,5 Prozent, beim Stromverbrauch nach ersten Schätzungen in 2015 bereits knapp 33 Prozent. Das Erreichen eines höheren Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch aller Sektoren wird dabei entscheidend von den Fortschritten bei der Energieeffizienz und dem Energiesparen abhängen. Der Endenergieverbrauch in Deutschland ist heute deutlich unabhängiger von der wirtschaftlichen Entwicklung als in der Vergangenheit, jedoch nicht vollständig entkoppelt. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, ist der Endenergieverbrauch aller Verbrauchssektoren gegenüber 1990 um gut 8 Prozent auf 2.402 TWh gesunken (BMWi, 2016), obwohl das Bruttoinlandsprodukt im selben Zeitraum um mehr als 30 Prozent gewachsen ist (Statistisches Bundesamt, 2016).

Während der Endenergieverbrauch seit 2008 (Bezugsjahr Energieziele im Gebäudebereich) in den Bereichen Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) um 11 bzw. 8 Prozent gesunken ist, ist er in der Industrie konstant geblieben und im Verkehrssektor sogar um 2 Prozent gestiegen. Dominiert wird der Endenergieverbrauch von Kraftstoffen und Mineralölprodukten (30 Prozent), Gasen (24 Prozent) und dem Bezug von Strom (21 Prozent). Die Herkunft des Stroms basiert in Deutschland zu 50 Prozent auf Kohle, gefolgt von erneuerbaren Energien (BMWi, 2016).

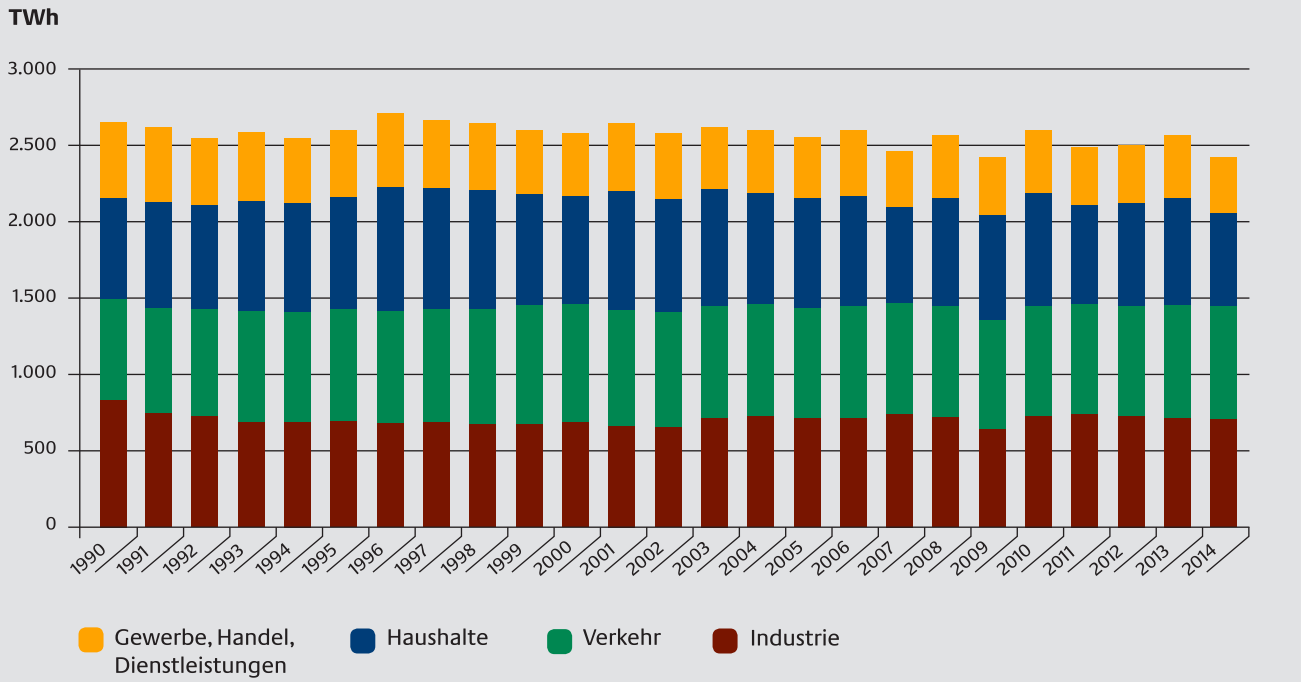


Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Deutschland nach Verbrauchssektoren 1990 bis 2014

Private Haushalte und GHD haben mit 975 TWh einen Anteil von 40 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch (BMWi, 2016). Der Energiebedarf wird dabei zu 34 Prozent über Gas (davon 97 Prozent Erdgas, ca. 3 Prozent Flüssiggas) gedeckt. Es folgen der Verbrauch von Strom (28 Prozent), Heizöl (18 Prozent) und erneuerbaren Wärmeträgern (10 Prozent). Die größten Verbrauchsfaktoren sind die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Knapp 83 Prozent der Endenergie in privaten Haushalten und 53 Prozent in GHD werden dafür aufgewendet.

Im Bereich Raumwärme und Warmwasser spielt die Energiebereitstellung durch Erdgas als Folge der verbesserten Netzabdeckung eine immer größere Rolle. Knapp ein Viertel der Energie wird über Heizöl bezogen (Destatis, 2014). Flüssiggas ist in den Statistiken unter dem Energieträger „Gas“ jeweils mit erfasst. Es kommt vor allem dort zur Anwendung, wo Erdgas mangels Netzabdeckung nicht zur Verfügung steht. Kapitel 3.4 geht im Detail auf die Anwendungsbereiche und den Umfang des Einsatzes von Flüssiggas ein.

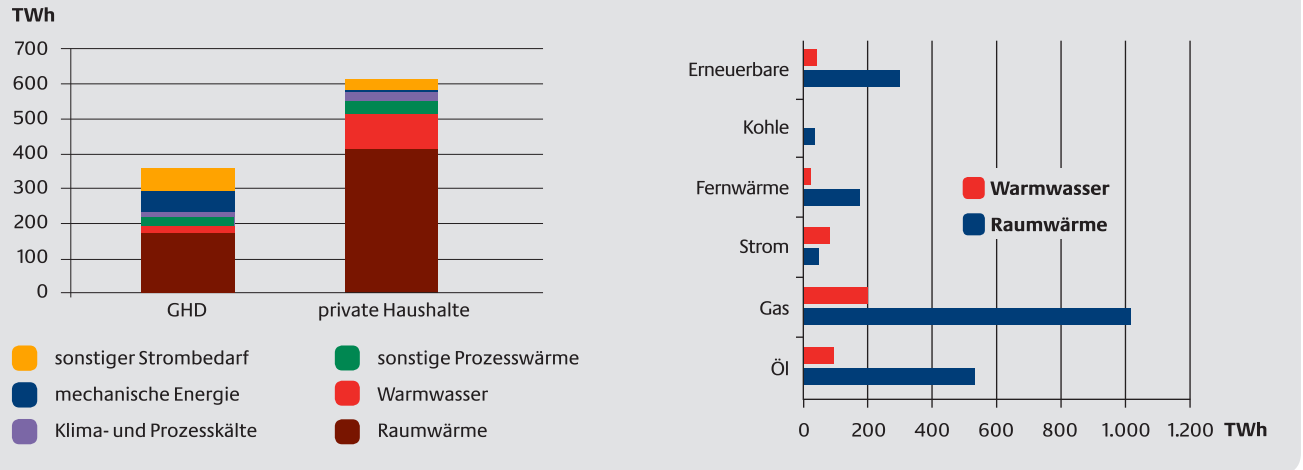


Abbildung 3 : Endenergieverbrauch in GHD und privaten Haushalten 2014

2.2 Szenarien.

Die Bundesregierung verfolgt mit ihrem Energiekonzept das ambitionierte Ziel, die Emissionen von Treibhausgasen (THG) sektorübergreifend bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, strebt die Bundesregierung bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand und eine Senkung des Primärenergiebedarfs um 80 Prozent, unter anderem durch eine deutlich höhere energetische Sanierungsrate (Gebäudehülle und Anlagentechnik) von 2 Prozent p.a., an (Bundesregierung, 2010).

Gemäß Energiereferenzprognose und Trendszenario des BMWi (Prognos/EWI/GWS, 2014) wird unter der Annahme, dass die Endenergieproduktivität um knapp 2 Prozent p.a. steigt, der Endenergieverbrauch im Jahr 2030 16 Prozent und im Jahr 2050 28 Prozent unter dem Referenzwert von 2011 (2.467 TWh) liegen.

Die in privaten Haushalten und GHD benötigte Energie wird demnach überproportional abnehmen, um 19 bzw. 27 Prozent bis 2030 und um 37 bzw. 36 Prozent bis 2050. Der Anteil erneuerbarer Energien (ohne Strom) in privaten Haushalten wird gemäß Trendszenario bis 2050 auf 32 Prozent steigen und damit das Niveau von Erdgas (28 Prozent) und Heizöl (7 Prozent) übertroffen haben. In GHD wird im Jahr 2050 Strom mit 53 Prozent die Energienachfrage bestimmen, der Anteil der erneuerbaren Energien wird deutlich von derzeit 6 auf 20 Prozent anwachsen (Prognos/EWI/GWS, 2014).

Wesentlichen Einfluss auf die gesamte Energienachfrage wird die Entwicklung des Raumwärmebedarfs besitzen. Die Ergebnisse unterschiedlicher Entwicklungsszenarien gehen von einer Endenergieminderung von 41 bis 88 Prozent bis 2050 gegenüber 2014 aus. Würde das WWF-Innovationsszenario (WWF, 2009), dem bereits ab 2020 eine konsequente Sanierung des Bestands sowie Neubau im Passivhausstandard zu Grunde liegen, umgesetzt, könnte das Politikziel, die THG um 80 Prozent zu reduzieren, nahezu ohne einen zusätzlichen Einsatz erneuerbarer Energien erreicht werden. Dies würde jedoch eine erhebliche Steigerung der energetischen Sanierungsrate gegenüber den letzten zehn Jahren erfordern. Demgegenüber gehen das Referenzszenario SzEK Ref (Prognos/EWI/GWS, 2010) wie auch das BMWi-Trendszenario (Prognos/EWI/GWS, 2014) von einer Endenergieminderung um gut 40 Prozent aus. Damit würde ein deutlich höherer Anteil erneuerbarer Energien benötigt werden, um die gesteckten Ziele zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs und der THG zu erreichen. Die Energieeffizienzstrategie Gebäude des BMWi (BMWi, 2015a) sieht die möglichen Pfade der Endenergiereduzierung in einem deutlich engeren Bereich zwischen 36 und 54 Prozent[1] – je nachdem, ob künftig verstärkt auf Energieeffizienz der Gebäudehüllen und -anlagentechnik oder erneuerbare Energien gesetzt wird. Der Anteil, den die vorwiegend fossilen Energieträger Öl und Gas 2050 am Wärmemarkt noch haben werden, beträgt nach den Prognosen der Strategie zwischen ca. 15 und 30 Prozent des dann deutlich geringeren Endenergieverbrauchs für Wärme. Der Verbrauch von Öl und Gas läge damit 2050 um über 80 Prozent niedriger als 2008. Im Erneuerbare-Energien-Szenario steigt zudem der Verbrauch von Biomasse – zu der die Strategie auch Biogas zählt – um 70 Prozent gegenüber 2008 an und deckt 2050 insgesamt bis zu 22 Prozent des Wärmebedarfs.

Die Wärmewende ist folglich weder ohne eine effiziente Gebäudedämmung noch ohne effiziente Heizungsanlagen und den Einsatz erneuerbarer Energien zu erreichen. Gleichwohl verbleibt ein Bedarf an fossiler Wärmeenergie, der beispielsweise zur Deckung von Verbrauchsspitzen erforderlich ist.

Laut BMWi-Trendszenario wird sich der Endenergiebedarf für Raumwärme in privaten Haushalten und GHD bis 2050 durch Energieeffizienzmaßnahmen auf 324 TWh halbieren. Mit dieser Entwicklung einher geht eine deutliche Änderung der Energieträgerstruktur. Insbesondere Heizöl (–54 Prozent) verliert an Bedeutung, aber auch der Erdgasverbrauch sinkt aufgrund der geringeren Gesamtnachfrage. Demgegenüber gewinnen dezentral einsetzbare erneuerbare Energien wie Holz oder Solarthermie an Bedeutung. Für die Bereitstellung der Raumwärme bleibt Erdgas mit einem Anteil von 36 Prozent der wichtigste Energieträger, Öl hat 2050 noch einen Anteil von 9 Prozent (Prognos/EWI/GWS, 2014). Die oben beschriebenen Szenarien nehmen nur eine Gesamtbetrachtung der Wärmeversorgung vor. Etwaige Besonderheiten des ländlichen Raums werden dabei nicht explizit bewertet. In den folgenden Kapiteln wird daher im Detail auf diese Besonderheiten eingegangen.

1 Anders als in der EnEV sind dabei Endenergieeinsparungen nicht einbezogen, die durch die Nutzung von Umgebungswärme (Wärmepumpen) und Solarthermie entstehen. Abzüglich der Umgebungswärme und der Solarthermie ergeben sich sogar erforderliche Einsparungen von 54 bis 62 Prozent Endenergie gegenüber 2008.

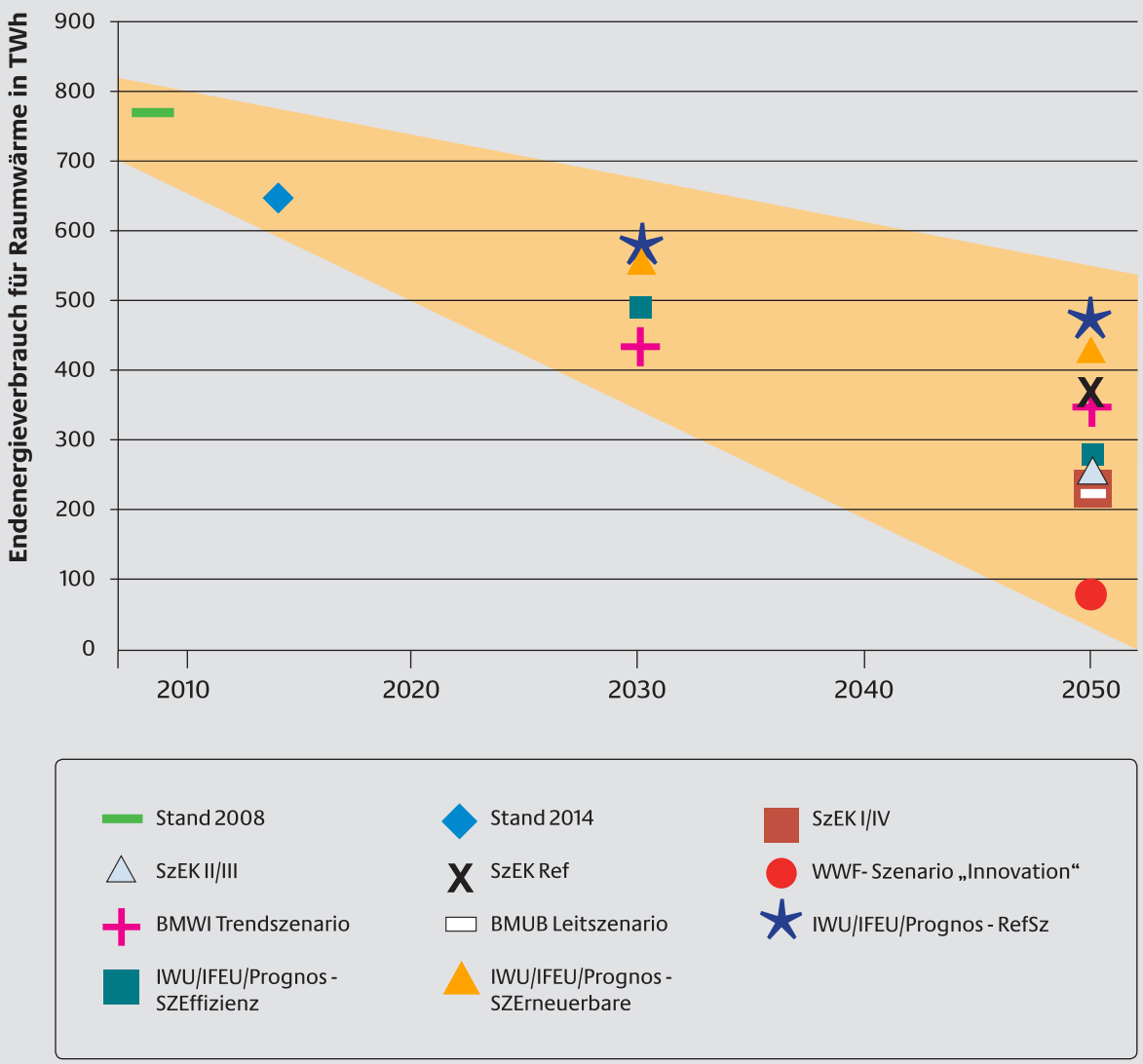


Abbildung 4: Übersicht Szenarien Raumwärmebedarf in TWh in Deutschland (Werte nicht klimabereinigt)

2.3 Wärmeversorgung im ländlichen Raum.

Die Wärmeversorgung im ländlichen Raum unterscheidet sich deutlich von der Versorgung des urbanen Raumes durch den Grad des Gas- und Fernwärmenetzanschlusses. Die Optionen der Wärmeversorgung beschränken sich dort häufig auf nicht-leitungsgebundene Energieträger wie Flüssiggas, Heizöl und Holz sowie auf Solarwärme. Die Kosten der Energieversorgung spielen im ländlichen Raum wegen der geringeren Wirtschaftskraft eine besondere Rolle: Laut OECD ist der Anteil des ländlichen Raums am Bruttoinlandsprodukt (BIP) mit 9 Prozent deutlich niedriger als der Bevölkerungsanteil (12 Prozent) und damit im Vergleich zum städtischen Raum unterdurchschnittlich (OECD, 2007).

Der ländliche Raum wird in der Forschung meist über die Einwohnerdichte der Gebiete definiert. Im weiteren Verlauf dieser Studie werden dagegen unter dem Begriff „ländlicher Raum“ die Gebiete zusammengefasst, in denen kein Gasnetzanschluss verfügbar ist. Nach hohen Investitionen in das Erdgasnetz in den Nachwendejahren (durchschnittlich ca. 2,5 Mrd. EUR p.a.), in deren Folge das Netz von 250.000 auf 500.000 km anwuchs, sind die Investitionen wieder deutlich auf ein Niveau von 1,2. bis 1,3 Mrd. EUR p.a. zurückgegangen. In den letzten Jahren wuchs die Länge des Erdgasnetzes nur noch um 1 bis 2 Prozent pro Jahr – der ländliche Raum wird also auch in Zukunft auf nicht-leitungsgebundene Energieträger angewiesen sein (BDEW, 2016).

Zur genauen Zahl von Gebäuden und Wohnungen ohne Erdgasanschluss gibt es keine offiziellen Statistiken. Für eine Näherung dieser Zahl wurde für diese Studie auf Basis von Geodaten die Anzahl von Häusern verschiedenen Typs ermittelt, die sich in einem Gebiet ohne Gasnetzbetreiber befinden (Lutum + Tappert, 2016). Dabei wird Deutschland in eine Vielzahl von kleinen Gebieten eingeteilt, von denen die meisten noch kleiner als die über 11.000 Gemeinden in Deutschland sind. Jedes dieser Gebiete wird dann jeweils einem Gasnetzbetreiber zugeordnet, der dieses Gebiet ganz oder teilweise abdeckt. Alle Gebiete, die keinem Gasnetzbetreiber zugeordnet sind, können als „Gebiete ohne Gasnetz“ eingeordnet werden, für die dann mithilfe von Geo-Informations-Systemen (GIS) die Anzahl der verschiedenen Gebäude ermittelt werden kann, die sich darin befinden. Abbildung 5 zeigt das Ergebnis als Anteil der Wohngebäude ohne Gasanschluss auf Kreisebene im Vergleich zur Einordnung der städtischen und ländlichen Kreise.

Aus der Auswertung (Tabelle 1) ergeben sich die folgenden Zahlen je Bundesland:

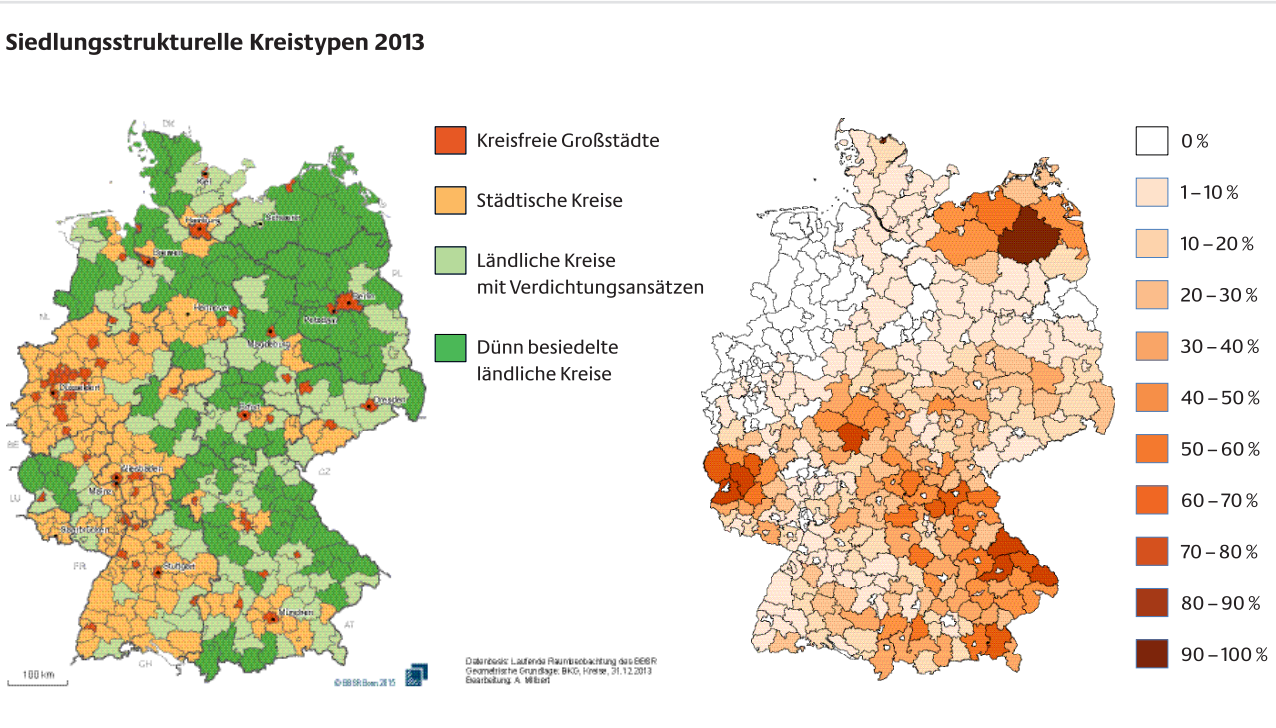


Abbildung 5: Verteilung der städtischen und ländlichen Kreise (BBSR, 2015) und Anteil der Wohngebäude im Kreis ohne Gasnetzanschluss (eigene Berechnungen auf Basis von (Lutum + Tappert, 2016) und (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2016)).

Häuser in Gebieten ohne Gasnetz nach Bundesland	Anzahl Ein- und Zweifamilien-häuser ohne Gasanschluss	Anteil Ein- und Zweifamilien-häuser ohne Gasanschluss (%)	Anzahl Mehrfamilien-häuser ohne Gasanschluss	Anteil Mehrfamilien-häuser ohne Gasanschluss (%)	Anzahl Nichtwohn-gebäude ohne Gasanschluss
Baden-Württemberg	223.215	11	35.185	8	12.584
Bayern	779.144	30	91.855	21	45.043
Berlin	0	0	0	0	0
Brandenburg	35.513	6	2.658	3	1.544
Bremen	0	0	0	0	0
Hamburg	15	0	2	0	2
Hessen	215.487	19	26.829	11	10.296
Mecklenburg-Vorpommern	51.620	16	6.008	9	2.699
Niedersachsen	28.494	1	4.125	2	1.294
Nordrhein-Westfalen	23.581	1	3.796	0	1.115
Rheinland-Pfalz	231.342	22	20.804	14	11.117
Saarland	47.162	17	4.394	14	1.464
Sachsen	94.222	15	10.531	5	4.914
Sachsen-Anhalt	73.314	15	6.964	7	3.303
Schleswig-Holstein	31.008	4	7.565	8	2.614
Thüringen	82.907	19	6.873	7	4.069
Deutschland	**1.917.024**	**12**	**227.589**	**7**	**102.058**

Tabelle 1: Anzahl von Gebäuden je Bundesland ohne Gasanschluss (Lutum + Tappert, 2016)

Aus der Auswertung lässt sich die Zahl von mindestens 1,9 Millionen Ein- und Zweifamilienhäusern (12 Prozent des Bestands) mit ca. 2,3 Millionen Wohnungen sowie rund 230.000 Mehrfamilienhäusern (7 Prozent des Bestands) mit ca. 1,1 Millionen Wohnungen ableiten, die über keinen Gasanschluss verfügen. In Summe sind dies also rund 3,4 Millionen Wohnungen (vgl. Tabelle 1).

Darüber hinaus sind ca. 100.000 der rund 3 Millionen Nichtwohngebäude (3 Prozent des Bestands) nicht an das Gasnetz angeschlossen. Da es derzeit keine belastbaren Zahlen für Nichtwohngebäude je Bundesland gibt, kann der Anteil je Bundesland nicht ausgewiesen werden.

Es zeigt sich, dass der Anteil der nicht an das Gasnetz angeschlossenen Ein- und Zweifamilienhäuser besonders hoch in Bayern (30 Prozent), Rheinland-Pfalz (22 Prozent) sowie in Hessen (19 Prozent) und dem Saarland (19 Prozent) ist. In diesen Bundesländern gibt es eine Vielzahl von Kreisen – in Summe über 20 –, in denen in mehr als 50 Prozent der Wohngebäude kein Erdgas verfügbar ist. In den Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen sind dagegen nahezu alle Gebäude an das Gasnetz angeschlossen.

Die absolute Zahl von Gebäuden in Regionen ohne Gasnetz ist in Bayern mit fast 1 Million Gebäuden am höchsten, gefolgt von Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen mit jeweils etwa einer Viertel Million Gebäuden (vgl. Abbildung 6).

Laut (BDEW, 2015) werden ca. 600.000 Wohnungen in Deutschland mit Flüssiggas beheizt (Hochrechnung aus Umfragen). Es ist davon auszugehen, dass sich ein großer Teil dieser Wohnungen im ländlichen Raum, insbesondere in Regionen ohne Gasanschluss, befindet. Nach (Prognos, 2011) ist knapp die Hälfte des Flüssiggasverbrauchs (Brenngas Tank) auf den ländlichen Raum zurückzuführen.

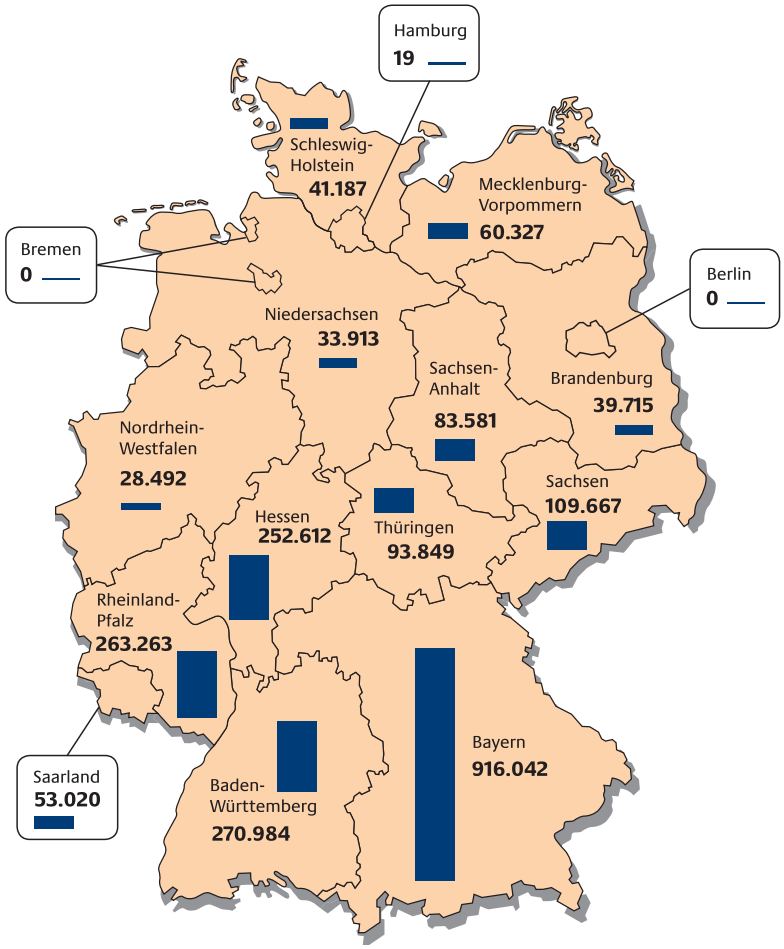


Abbildung 6: Anzahl der Gebäude ohne Gasnetzanschluss in den Bundesländern ((Lutum + Tappert, 2016), eigene Berechnungen)

3 Energieträger Flüssiggas und BioLPG.

3.1 Einsatzmöglichkeiten von Flüssiggas.

Flüssiggas ist ein vielseitig einsetzbarer Energieträger, der in allen Verbrauchssektoren Anwendung findet. Verbrauchern ist Flüssiggas auch geläufig unter den Bezeichnungen Autogas, Treibgas oder LPG (Liquified Petroleum Gas). Die stärkste Nachfrage besteht als Brennstoff zum Heizen, zur Warmwassererzeugung oder als Prozesswärme, für die Weiterverarbeitung zu Kunststoffen und anderen chemischen Produkten in der Industrie oder als Kraftstoff im Verkehr.

Insbesondere im ländlichen Raum, wo ca. 26 Prozent der Einwohner Deutschlands leben (Prognos, 2011), ist Flüssiggas eine wichtige Energiequelle. Denn in Gegenden abseits der Ballungszentren ist die Verlegung von Erdgasleitungen häufig unwirtschaftlich. Flüssiggas ist leitungsungebunden, unter geringem Druck transportierbar sowie einfach zu lagern.

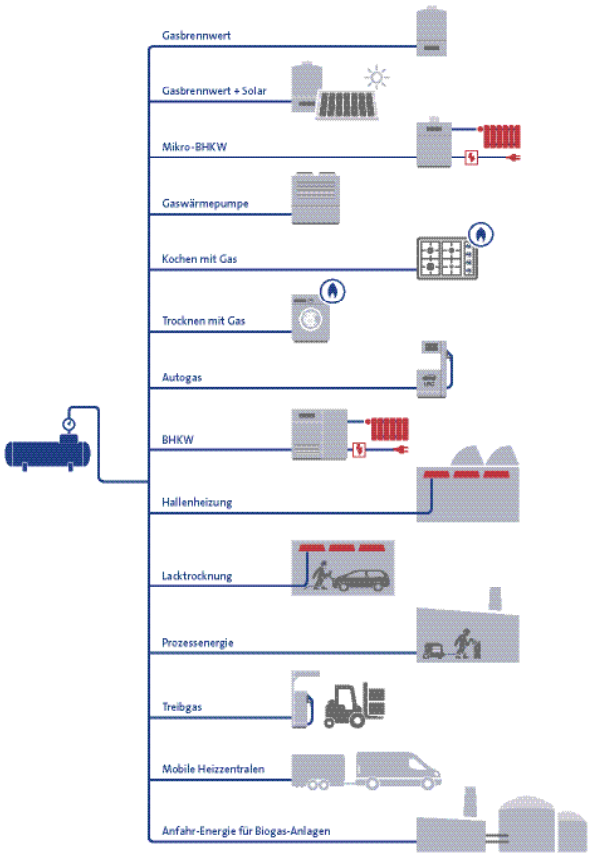


Abbildung 7: Einsatzmöglichkeiten von Flüssiggas (PRIMAGAS, 2016)

3.2 Eigenschaften von Flüssiggas.

Flüssiggase bestehen hauptsächlich aus Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H_2). Im engeren Sinne werden darunter die beiden Gase Propan (C_3H_8) und Butan (C_4H_{10}) zusammengefasst. Propan und Butan bestehen aus leicht verflüssigbaren Kohlenwasserstoff-Verbindungen (CnHm) mit drei oder vier Kohlenstoff-Atomen (C) und können miteinander als Flüssiggas vermischt werden. Flüssiggas muss in Deutschland im Wärmemarkt die Anforderungen der DIN 51622 erfüllen. Diese sieht ein Mischungsverhältnis von 95 Prozent Propan und Propen zu 5 Prozent aus den Bestandteilen Ethan, Butan und Butanisomeren vor. In anderen Verwendungspfaden ist das Mischungsverhältnis weniger begrenzt und variiert entsprechend stärker.

Flüssiggas ist im Normalzustand (20 °C Raumtemperatur) ein gasförmiges Brenngas, das unter einem Druck von ca. 8 bar flüssig wird. Die Verflüssigung kann aber auch über die Kühlung des Gases erreicht werden. Propan geht bei einer Temperatur von –42,1 °C in den flüssigen Zustand über, Butan bereits bei einer Temperatur von –0,5 °C. Im Gegensatz zu Erdgas ist Flüssiggas schwerer als Luft und fällt im gasförmigen Zustand sprichwörtlich zu Boden. Dabei besitzt es das 260-fache Volumen im Vergleich zum flüssigen Zustand. Das bedeutet, dass aus etwa 4 Litern Flüssiggas 1.000 Liter Gas werden. Dadurch wird der einfache und leitungsungebundene Transport per Tank-Lkw, Binnenschiff oder Zug ermöglicht. Bei der Verbrennung von Flüssiggas reagieren dessen einzelne Bestandteile

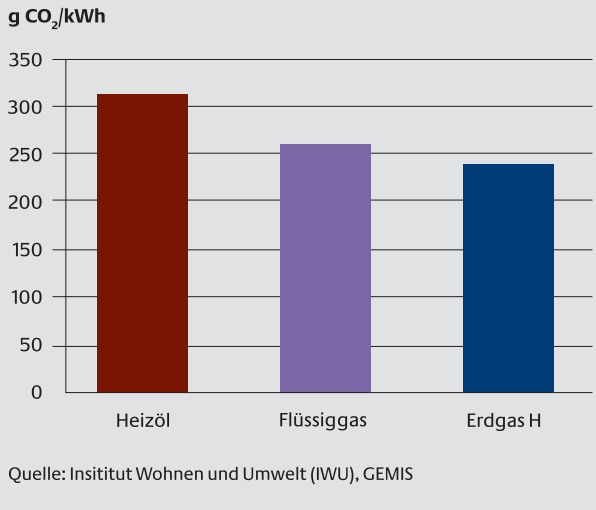


Abbildung 8: Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalent pro kWh[2]

2 CO_2 ist das bedeutendste Treibhausgas. Unter bestimmten Bedingungen können bei der Verbrennung auch andere Treibhausgase in hohen Anteilen anfallen. Das CO_2-Äquivalent beschreibt, wie viel ein Treibhausgas zum Treibhauseffekt beiträgt. Als Vergleichswert dient Kohlendioxid. Weitere Gase mit THG-Potenzial sind unter anderem Methan oder Lachgas. Diese werden gemäß ihrer Klimawirksamkeit bei der Bilanzierung der Treibhausgase entsprechend berücksichtigt.

(Kohlenstoff [C] und Wasserstoff [H_2]) mit Sauerstoff (O_2) zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O). Aufgrund des geringen Kohlenstoffanteils setzt es dabei rund 16 Prozent weniger CO_2 frei als Heizöl (IWU, 2014).

Ein weiterer Vorteil von Flüssiggas ist, dass dieses bei seiner Verbrennung weniger Luftschadstoffe emittiert. Unter anderem zählen hierzu die Feinstaubemissionen, welche über die Atemwege bis in den Blutkreislauf eines Menschen gelangen können. Weitere Luftschadstoffe sind Schwefeldioxid, dessen Emissionen direkt vom Schwefelgehalt des Brennstoffes abhängen und Stickoxide, die als unerwünschte Nebenreaktionen bei der Verbrennung entstehen. Aufgrund des niedrigeren Schwefelgehalts sind die Schwefeldioxid-Emissionen von Flüssiggas um über die Hälfte geringer als bei Heizöl. Auch die Feinstaubemissionen sind infolge der geringeren Ruß- und Aschebildung im Flüssiggas geringer. Zudem emittiert Flüssiggas als Brennstoff weniger Stickoxide als Heizöl.

Energieträger	Luftschadstoffe (g/kWh)		
	Schwefeldioxid (SO_2)	Stickoxide (NOx)	Staub[3]
Heizöl[4]	0,286	0,216	0,025
Flüssiggas	0,112	0,176	0,014
Erdgas	0,012	0,186	0,007

Tabelle 2: Luftschadstoffe verschiedener Energieträger im Vergleich (Quelle: (GEMIS, 2014)[5])

3.3 Ressourcengewinnung, Herkunft und Verfügbarkeit.

Flüssiggas fällt als Nebenprodukt in Form von Begleitgasen bei der Rohöl- und Erdgasförderung sowie bei der Rohölverarbeitung in Raffinerien an. Die Zusammensetzung dieser Begleitgase variiert mitunter stark und besteht zum Großteil aus Methan, Butan und Propan.

Um bei der Rohölförderung aus dem Begleitgas Flüssiggas zu gewinnen, muss es gereinigt und aufbereitet werden. In der Vergangenheit wurde daher meist auf die Aufbereitung verzichtet und die Begleitgase wurden in die Atmosphäre abgelassen (sogenanntes Venting) oder per Gasfackel abgefackelt (sogenanntes Flaring). Nach Berechnungen der US-amerikanischen Umweltbehörde und der Weltbank sind allein durch Begleitgase Treibhausgasemissionen in Höhe von 460 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalent pro Jahr entstanden (Donner & Winter, 2012). Dies entspricht mehr als 2 Prozent der globalen energiebedingten Treibhausgasemissionen. Aus Perspektive des Ressourcen-, Klima- und Umweltschutzes sowie der sozialen Gerechtigkeit sollten die Begleitgase daher einer energetischen oder stofflichen Nutzung zugeführt werden. Mit Erhöhung der Flüssiggasnutzung bei gleichzeitiger Substitution bzw. Schonung anderer fossiler Quellen kann auf einfachem Wege die Ressourceneffizienz erhöht werden. Durch verschiedene Bestrebungen erdölfördernder Länder war die Abfackelung von Erdölbegleitgasen von 2005 bis 2010 weltweit um ca. 15 Prozent rückläufig. Seitdem verbleiben die jährlichen Abfackelmengen jedoch auf einem hohen Niveau von ca. 140 Milliarden m³ (ERA, 2015).

Weltweit stammen etwa 60 Prozent des Flüssiggases aus der Erdgasförderung und etwa 40 Prozent aus der Rohölverarbeitung in Raffinerien. Bei der Verarbeitung des Rohöls in Raffinerien werden die darin enthaltenen Kohlenwasserstoffe durch Erhitzung und Druck in einzelne Fraktionen zerlegt und schließlich zu verschiedenen Mineralölprodukten verarbeitet. Flüssiggas hat davon einen Anteil von 2,5 bis 3 Prozent (BAFA, 2014). Der größte Teil des produzierten Flüssiggases wird direkt in den Herkunftsländern verbraucht.

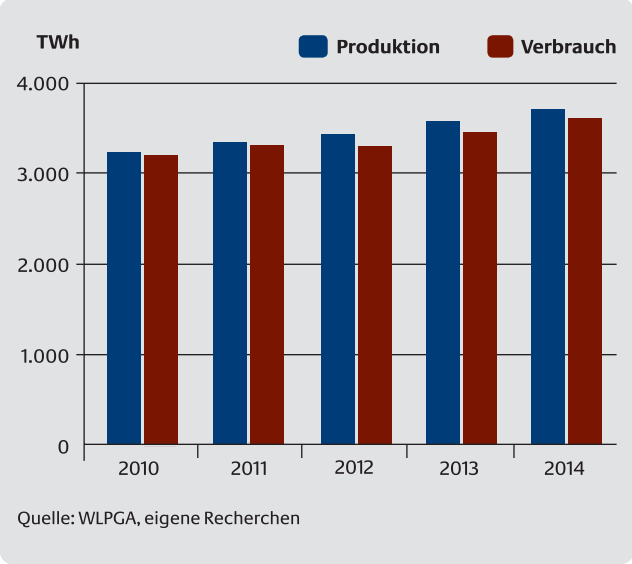


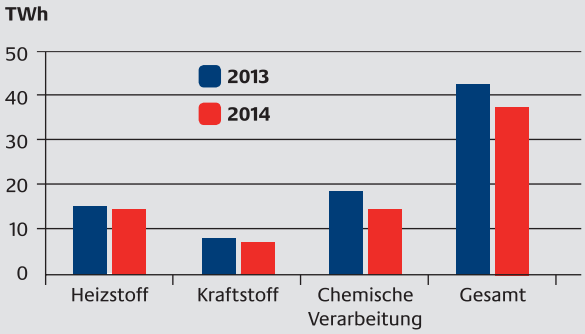
Abbildung 9: Produktion und Verbrauch von Flüssiggas weltweit

Nach Schätzungen von BP wird sich die langfristige weltweite Nachfrage nach Erdöl und Erdgas aufgrund des steigenden Bevölkerungswachstums sowie des weiterhin zu erwartenden hohen Wirtschaftswachstums signifikant erhöhen (BP, 2016). Damit wird auch eine erhöhte Produktion von Flüssiggas einhergehen. Des Weiteren ist es wahrscheinlich, dass die weltweiten Bestrebungen zur Vermeidung von Venting und Flaring und die damit verbundene erhöhte Ressourceneffizienz ebenfalls zu einer Erhöhung des Flüssiggasangebots führen werden.

3.4 Flüssiggas in Deutschland.

Das in Deutschland eingesetzte Flüssiggas stammt zu einem überwiegenden Teil aus der Produktion deutscher Raffinerien, die Flüssiggas als Koppelprodukt der Rohölverarbeitung gewinnen (MWV, 2015). Die daraus produzierten Mengen beliefen sich 2014 auf 2.518.347 Tonnen (BAFA, 2014). Die importierten Mengen an Flüssiggas stammen hauptsächlich aus dem Nordseeraum. Die Mengen gelangen dabei über die LPG-Terminals in Antwerpen, dem niederländischen Vlissingen oder Brunsbüttel nach Deutschland. Im Jahr 2014 wurden 672.370 Tonnen Flüssiggas nach Deutschland importiert (BAFA, 2014). Die Versorgung mit Flüssiggas kann nach derzeitigem Stand als langfristig gesichert angesehen werden.

Flüssiggasanwendungen haben eine lange Tradition in Deutschland und gehen bis in die 1950er Jahre mit dem einsetzenden Wachsen des Energiebedarfs zurück.
Im ersten Jahrzehnt nach der Jahrtausendwende stieg der Flüssiggasverbrauch jährlich an, was vor allem auf die Verwendung als Kraftstoff und den verstärkten Einsatz in der chemischen Industrie zurückzuführen ist. Im Jahr 2014 belief sich der Verbrauch von Flüssiggas auf ca. 37 TWh, davon ca. 15 TWh als Heizstoff (Destatis, 2015). Über die Hälfte des Verbrauchs als Heizstoff geht dabei auf die privaten Haushalte mit ihren ca. 600.000 Flüssiggas beheizten Wohnungen zurück. Daraus folgt, dass die übrigen Mengen auf die Wärmeerzeugung in Gewerbe und Industrie entfallen. Die Nachfrage aus dem Kraftstoffsektor ging 2014 um ca. 0,4 TWh gegenüber dem Vorjahreszeitraum zurück (Destatis, 2014). Gleiches gilt für die chemische Industrie. Insbesondere die verringerte Produktion der Grundstoffchemie führte zu einem starken Nachfragerückgang. Insgesamt kann aber von einer stabilen Nachfrage ausgegangen werden.



Quelle: Energiesteuerstatistik 2014, Deutscher Verband Flüssiggas e. V. (DVFG)

Abbildung 10: Flüssiggasverbrauch in Deutschland nach Sektoren

3.5 BioLPG – erneuerbares Potenzial von Flüssiggas.

Die Energieversorgung der Zukunft wird vor allem auf erneuerbaren Energien basieren. Mittlerweile gibt es mehrere unterschiedliche technische Verfahren, die die Gewinnung von Propan aus nachwachsenden Rohstoffen und biogenen Abfallstoffen ermöglichen.

Eine interessante Option zur Gewinnung von BioLPG bietet sich bei der Produktion von Biokraftstoffen aus hydrierten Pflanzenölen (HVO) an. Als HVO werden Pflanzenöle wie Rapsöl bezeichnet, die durch eine katalytische Reaktion mit Wasserstoff (Hydrierung) in Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden. Um die Reaktion auf dem Katalysator auszulösen, müssen die Einsatzstoffe zunächst erhitzt werden. Bei der Reaktion entsteht dann neben dem hydrierten Pflanzenöl CO_2-freies BioLPG aus nachwachsenden Rohstoffen (Thünen, 2015).

Auch wenn die Produktion von BioLPG bisher stark von der produzierten Menge an HVO abhängig ist, bietet das Verfahren die Chance die bestehende Raffinerieinfrastruktur zu nutzen. Durch Umwandlung dieser Anlagen zu Bioraffinerien kann zum einen auf eine etablierte Struktur in der Produktion gesetzt werden und zum anderen die Kosten der Transformation hin zu einer nachhaltigen Ökonomie gering gehalten werden. Die momentan verfügbaren Kapazitäten für HVO-Anlagen liegen bei ca. 2 Millionen Tonnen. In den nächsten drei Jahren sollen nach offiziellen Angaben noch einmal 1,77 Millionen Tonnen hinzukommen (Greenea, 2015). Unter Berücksichtigung des daraus ableitbaren technischen Potenzials könnten ca. 200.000 Tonnen (ca. 2,57 TWh) BioLPG produziert werden. Mit dieser Menge könnten schon heute ca. 17 Prozent des Flüssiggases, das derzeit zur Deckung des Heizbedarfs eingesetzt wird, durch BioLPG ersetzt werden.

Die Herstellung von BioLPG aus der HVO-Produktion steht noch am Anfang und ist das zurzeit einzige kommerzialisierte Verfahren im Markt. Erste Produktionsanlagen, wie zum Beispiel in Rotterdam, werden noch in diesem Jahr ihre Arbeit aufnehmen (Global Energy, 2016). Inwiefern sich das Potenzial aus der HVO-Produktion neben den bereits bekannten Projekten weiterentwickeln wird, kann nach

3 Die Angabe „Staub" beinhaltet sowohl unspezifizierte Staubpartikel als auch die detailliert angegebenen Staubpartikel wie zum Beispiel Feinstaub PM 10.
4 Leichtes Heizöl.
5 Wärmebereitstellung endenergiebezogen in kWh (inputbezogen), Szenario für Heiz- und Prozesswärmesysteme – alle Heiz- und Prozesswärmelieferanten definitorisch mit 100 Prozent Nutzungsgrad angesetzt, um die Emissionen usw. auf den Endenergieeinsatz zu beziehen. Neben Heizsystemen sind auch Kessel für Fernwärme (Gas, Öl) sowie industrielle Prozesswärmekessel für Gas, Öl und Kohle enthalten. Gesamter Lebenszyklus inklusive Transporten und Materialvorleistung, ohne Entsorgung.

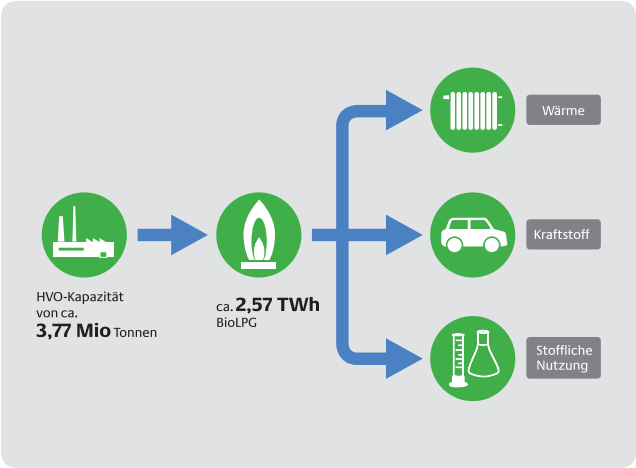


Abbildung 11: Bestehendes Potenzial von BioLPG als Substitut von fossilem Flüssiggas

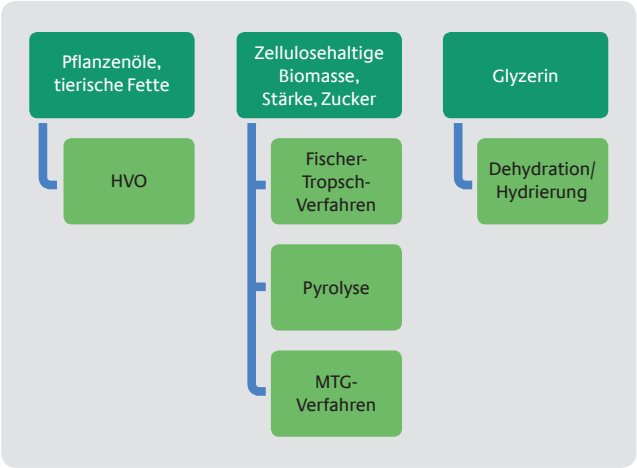


Abbildung 12: Ausgangsmaterialien und Verfahren zur Gewinnung von BioLPG

heutigem Kenntnisstand nur schwer vorausgesagt werden. Einen wichtigen Schub könnte HVO aber aus dem Flugverkehr erhalten, da es hier als Kerosinersatz verwendet werden könnte. Die Kosten und der Aufwand zur Beschaffung des notwendigen Wasserstoffs zur Hydrierung verhindern aber eine noch stärkere Entwicklung des Ausbaus der HVO-Kapazität und damit auch der von BioLPG.

Interessante Einsatzstoffquellen zur Herstellung von BioLPG sind neben Pflanzenölen auch tierischen Fette, Glyzerin, Zucker, Stärke sowie zellulosehaltige Biomasse (z. B. Holz). Durch Anwendung verschiedener chemischer Verfahren, wie beispielsweise Pyrolyse, Vergasung oder Dehydration, kann aus diesen biogenen Einsatzstoffen BioLPG gewonnen werden (DECC, 2014).

Bis auf das HVO-Verfahren befinden sich alle erwähnten Herstellungsmethoden noch im Forschungsstatus oder sind gerade erst auf dem Wege zur Kommerzialisierung. Ein Verfahren mit Potenzial stellt dabei die Herstellung von BioLPG aus Glyzerin dar, welches als Abfallprodukt bei der Biodieselproduktion anfällt. Aus diesem fettbasierten Reststoff werden durch eine inzwischen bewährte Technologie hochwertige gasförmige Kohlenwasserstoffgemische erzeugt (SGC, 2008). Unter anderem könnte daraus auch BioLPG gewonnen werden. Bei der Produktion einer Tonne Biodiesel fallen ungefähr 100 kg Glyzerin an. Unter Berücksichtigung der Biodieselproduktion in Europa im Jahr 2014 (UFOP, 2016) fallen demnach ca. 1 Million Tonnen des Reststoffs an. Über die Hälfte davon wird in der chemischen Industrie zur Weiterverarbeitung eingesetzt (Rothermel, 2015). Mit dem restlichen Glyzerin könnte BioLPG in einem ähnlichen Mengenumfang wie aus der HVO-Produktion gewonnen werden. BioLPG aus HVO erfüllt schon heute die strengen Nachhaltigkeitsanforderungen der Europäischen Union an den Klima- und Umweltschutz. Demnach gelten flüssige Biobrennstoffe nur als nachhaltig, wenn sie zu einer THG-Minderung von mindestens 35 Prozent (ab 2017: 50 Prozent) gegenüber einem fossilen Referenzwert beitragen (EU, 2009).

BioLPG aus Pflanzenölen reduziert den THG-Ausstoß um ca. 50-60 Prozent (Neste, 2014) und liegt damit auf einem ähnlichen Niveau wie Bioheizöl (Shell & BDH, 2013). Es hat aber den Vorteil, dass es im Gegensatz dazu in einem beliebigen Mischungsverhältnis fossilem Flüssiggas beigemischt werden kann (DECC, 2014) und somit in Summe höhere THG-Einsparungen erzielen kann. BioLPG aus Abfall- und Reststoffen könnte sogar bis zu 90 Prozent an THG einsparen (Neste, 2014). Zukünftig wird der europäische Gesetzgeber verstärkt auf THG-Minderung setzen, wodurch die Weiterentwicklung dieser Verfahren einen größeren Anreiz erfahren sollte.

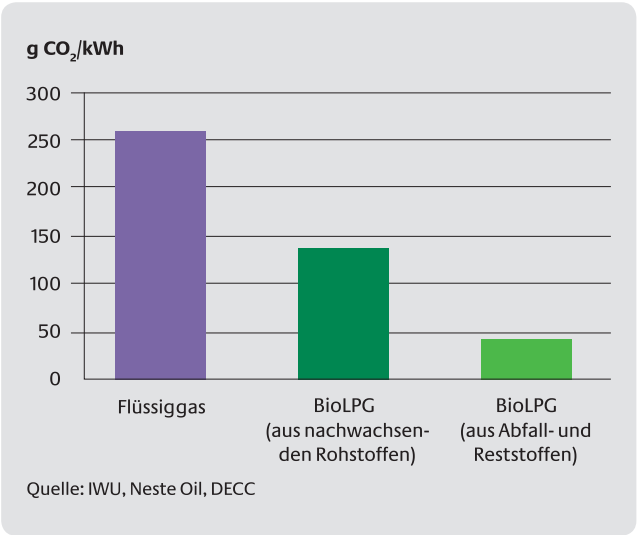


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen von BioLPG in CO_2-Äquivalent pro kWh

4 Potenzial von Flüssiggas im Wärmebereich.

Aus technischer Sicht ist die Anwendung von BioLPG im Wärmebereich praktisch ohne Einschränkungen möglich, da BioLPG aufgrund seiner DIN-Qualität Flüssiggas unbegrenzt beigemischt und sogar als alleiniger Brennstoff eingesetzt werden kann (Neste, 2014). Auch wenn die Verfügbarkeit von BioLPG derzeit stark steigt, so ist sie doch auf absehbare Zeit noch als begrenzt anzusehen. Ein effizienter Einsatz von BioLPG ist daher angezeigt, sodass in Zukunft möglichst viele Haushalte damit versorgt werden können. Auf Anlagenseite stehen dazu künftig mit der Gas-Wärmepumpe und der Flüssiggas-Brennstoffzelle zwei Techniken zur Verfügung, die die Effizienz des gesamten Heizsystems nochmals deutlich gegenüber aktuellen Brennwertheizungen steigern können. Ziel der folgenden Berechnungen ist es, zu zeigen, wie gerade auch im ländlichen Raum mit verschiedenen flüssiggasbasierten Heizsystemen die Energieziele der Bundesregierung – konkret eine Minderung des Primärenergiebedarfs der Gebäude um 80 Prozent bis zum Jahr 2050 – technisch erreicht werden können.

4.1 Modellrechnungen: Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung in flüssiggasbeheizten Gebäuden.

Für den Weg bis 2050 hat die Bundesregierung keine Zwischenziele für den Primärenergiebedarf der Gebäude festgelegt. Eine Betrachtung für das Jahr 2030 erscheint jedoch als mittelfristiger Meilenstein besonders bedeutsam, um die erforderlichen Effizienzsteigerungen, die jedes einzelne Gebäude durchschnittlich erreichen muss, greifbar zu machen. Aus diesem Grund wird in der folgenden Betrachtung für das Jahr 2030 ein Zwischenzielwert von 40 Prozent Primärenergiebedarfseinsparung angenommen – also die halbe Zielerreichung in etwa der Hälfte der Zeit zwischen 2008 und 2050.

Zum Vergleich der verschiedenen Heizungstechniken, die für einen Flüssiggasbetrieb in Betracht kommen, wurden im Rahmen dieser Studie für insgesamt sechs Anlagentechnikkombinationen Modellrechnungen durchgeführt, und zwar jeweils für kaum und mäßig gedämmte Wohngebäude (Perspektive 2030) sowie für mäßig und gut gedämmte Wohngebäude (Perspektive 2050), unterschieden nach Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern. Alle Maßnahmen schließen eine Optimierung des gesamten Heizsystems (Dämmung von Rohrleitungen, hydraulischer Abgleich etc.) mit ein. Für die Perspektive 2030 wird zudem ein einfacher Austausch eines alten Niedertemperaturkessels gegen einen Flüssiggas-Brennwertkessel zum Vergleich mit aufgeführt (Variante 0).

Die gewählten Anlagenkombinationen sind:
0) Gas-Brennwertkessel (nur Perspektive 2030)

1) Gas-Brennwertkessel mit Solarthermieanlage zur Heizungsunterstützung und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG):
Der Gas-Brennwertkessel ist mit über 50 Prozent Marktanteil im Bestand die am weitesten verbreitete Anlagentechnik bei der Heizungssanierung (dena, 2015). Brennwertkessel können auch in der Bestandssanierung einfach mit Solarthermieanlagen kombiniert werden. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung vermindern nicht nur Wärmeverluste beim Lüften, sondern tragen auch zu einer besseren Luftqualität bei. Neben wohnungs- und gebäudezentralen Anlagen existieren unter anderem auch dezentrale Anlagen, die bereits im Fensterrahmen installiert sind und beim Fensteraustausch einfach mit eingebaut werden können.

2) Ergänzung der Variante 1 um einen Kamin (nur Einfamilienhaus):
In vielen Ein- und Zweifamilienhäusern im ländlichen Raum steht Brennholz zur Heizungsunterstützung zur Verfügung. Dies kann einen – wenn auch rechnerisch nach Norm auf 10 Prozent des Wärmebedarfs begrenzten – Beitrag zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs leisten.

3) Brennstoffzelle mit Brennwert-Spitzenlastkessel:
Brennstoffzellen wandeln zum Beispiel gasförmige Energie in elektrische Energie und Wärme um. Anders als bei einem Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Ottomotor wird die Energie jedoch auf elektrochemischem Wege umgewandelt.
Da es in der Brennstoffzelle kaum mechanisch (z. B. durch Bewegung) beanspruchte Teile gibt, ist ein niedrigerer Wartungsaufwand als bei Motor-BHKWs zu erwarten.
Als weitere Vorteile werden ein um 10 bis 15 Prozentpunkte höherer elektrischer Wirkungsgrad in kleinen Leistungsklassen und sehr gute Wirkungsgrade im Teillastbereich genannt (Calovini GmbH, 2016). Ähnlich wie bei Motor-BHKWs werden Brennstoffzellen im Heizungsbereich auf eine lange Laufzeit bzw. einen hohen Nutzungsgrad ausgelegt. Das bedeutet, dass zur Wärmeversorgung an besonders kalten Tagen ein zusätzlicher Spitzenlastkessel (hier: Gas-Brennwertkessel) erforderlich ist. Die marktaugliche Entwicklung von LPG-Mikro-KWK-Systemen auf Brennstoffzellenbasis ist derzeit Gegenstand eines BMWi-geförderten Forschungsvorhabens (Projektträger Jülich, 2016).
Die Brennstoffzellentechnik wird künftig im „Anreizprogramm Energieeffizienz“ durch das BMWi gefördert.

4) Ergänzung der Variante 3 um einen Kamin (nur Einfamilienhaus)

5) Gas-Wärmepumpen:
Derzeit kommen Gas-Wärmepumpen noch relativ selten zum Einsatz, da sie erst in den letzten Jahren Marktreife erlangt haben. In den Berechnungen wurden zwei unterschiedliche Typen von Gas-Wärmepumpen angesetzt: die Gas-Absorptions-Wärmepumpe für das Ein- oder Zweifamilienhaus und die Gas-Motorwärmepumpe für das Mehrfamilienhaus. Gegenüber elektrischen Wärmepumpen können Gas-Wärmepumpen höhere Wassertemperaturen erzeugen und erfordern daher nicht unbedingt den kostenintensiven Einbau einer Fußbodenheizung im Haus, um effizient betrieben werden zu können.

6) Mikro-Blockheizkraftwerk mit Brennwert-Spitzenlastkessel:
Ein Mikro-BHKW besteht vereinfacht beschrieben aus einem kleinen Stirling-Motor und einem Generator und erzeugt darüber sowohl Strom als auch Wärme. Mikro-BHKWs sind für den Langzeitbetrieb in Einfamilienhäusern ausgelegt, benötigen daher jedoch für kalte Tage einen zusätzlichen Spitzenlastkessel.

Die Modellrechnungen wurden für insgesamt drei verschiedene Dämmstandards durchgeführt[6]:

- Hoher Dämmstandard (nur Perspektive 2050), der etwa dem Hocheffizienzstandard Effizienzhaus 55 der KfW entspricht (vgl. dena 2015). Dies entspricht beispielsweise einem Altbau, der in allen Bauteilen auf einen überdurchschnittlichen Standard gedämmt wurde und dessen Wärmebrücken optimiert wurden.
- Mäßiger Dämmstandard (Perspektive 2030 und 2050), der etwa dem inzwischen nicht mehr von der KfW geförderten Effizienzhaus 130 entspricht. Diesen Standard kann beispielsweise ein 1960er-Jahre-Altbau bei guter Dach- und Außenwanddämmung auch noch mit den ursprünglichen zweifachverglasten Fenstern und einer ungedämmten Kellerdecke erreichen.
- Dämmstandard „kaum gedämmt“, der zum Beispiel einem 1960er-Jahre-Altbau mit einem gut gedämmten Bauteil (z. B. dem Dach) und ansonsten Bauteilen im Urzustand entspricht.

Neben den Hocheffizienzvarianten werden die Varianten mit niedrigerem Dämmstandard berechnet, um zu eruieren, ob auch Eigentümer mit niedrigem Einkommen, die nur schrittweise oder im geringeren Umfang sanieren, die Energiewendeziele erreichen können.

Als Ausgangswert für die Berechnung der Einsparung in den Modellrechnungen wird von einem mittleren Primärenergieverbrauch dieser Gebäude im Jahr 2008 (Basisjahr des Energiekonzepts der Bundesregierung) von ca. 170 kWh/(m^2_{AN}·a)[7] für Einfamilienhäuser sowie von 155 kWh/(m^2_{AN}·a) für Mehrfamilienhäuser ausgegangen (eigene Berechnungen auf Basis von (BMWi, 2016)). Bricht man das Ziel der Bundesregierung, den Primärenergiebedarf[8] dieser Gebäude bis 2050 um 80 Prozent zu reduzieren, auf das einzelne Gebäude herunter, so muss dieses im Durchschnitt 2050 Zielwerte von 34 bzw. 31 kWh/(m^2_{AN}·a) erreichen[9].

Zur primärenergetischen Bilanzierung der stromproduzierenden Heizsysteme (Brennstoffzelle und Mikro-BHKW) wurde der durch den erzeugten Strom vermiedene Primärenergieeinsatz in fossilen Kraftwerken (Verdrängungsstrommix, konservative Annahme) mit dem Primärenergieeinsatz für den Betrieb der Brennstoffzelle verrechnet (Gutschrift-Methode)[10].

Laut EnEV darf für gasförmige Biomasse nur dann ein geringerer Primärenergiefaktor als für Erdgas angesetzt werden (Primärenergiefaktor $f_P = 0{,}5$ statt $f_P = 1{,}1$), wenn sie im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang des Gebäudes erzeugt wird. Dies trifft auf BioLPG im Allgemeinen nicht zu. Der Einsatz von BioLPG zur Gebäudeheizung wird folglich im Rahmen der EnEV-Bilanzierung – mit Ausnahme des Einsatzes in Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung – derzeit nicht positiv angerechnet.

Zur Erläuterung der Einsatzmöglichkeiten und Auswirkungen von BioLPG wird in den folgenden Berechnungen die Möglichkeit einer positiven Bewertung von BioLPG in der energetischen Bilanzierung vorausgesetzt.

4.1.1 Perspektive 2030: 40 Prozent Primärenergiebedarfsreduzierung.

In den Grafiken der folgenden Kapitel wird die Reduzierung des Primärenergiebedarfs für verschiedene Heizungssysteme unter Verwendung von 100-prozentigem fossilen Flüssiggas dargestellt (blauer Balken). Dort, wo dies zur Erreichung des 40-Prozent-Ziels nicht ausreicht, wird dargestellt, mit welcher BioLPG-Beimischung das Ziel erreicht würde (grüner Balken) bzw. mit welchem Anteil Strom dies alternativ unter Verwendung von Power to Heat möglich wäre (gelber Balken) – also der Nutzung des nicht in das Stromnetz integrierbaren Stroms (vereinfacht „Überschussstrom“) aus erneuerbaren Energien oder des am Haus produzierten PV-Stroms[11] über einen „intelligent“ (d. h. je nach Verfügbarkeit) gesteuerten Heizstab im Warmwasserspeicher. Zwar bestehen für die Nutzung von „Überschussstrom“ derzeit noch diverse rechtliche Hürden und damit keine entsprechenden Angebote seitens der Energiedienstleister. Es ist jedoch vor dem Hintergrund der wachsenden Anforderungen an eine effiziente Nutzung der Energieträger denkbar, dass diese Option bis 2030 einen Beitrag zur Energieversorgung leisten wird.

Einfamilienhaus, kaum gedämmt.
Abbildung 14 zeigt die Berechnungsergebnisse für ein **kaum gedämmtes Einfamilienhaus**. Es wird deutlich, dass in kaum gedämmten Ein- und Zweifamilienhäusern eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs um rund 40 Prozent gegenüber dem Gebäudedurchschnitt 2008 bereits durch Maßnahmen der Anlagentechnik wie zum Beispiel eine Kombination aus Brennwertheizung, Solaran-

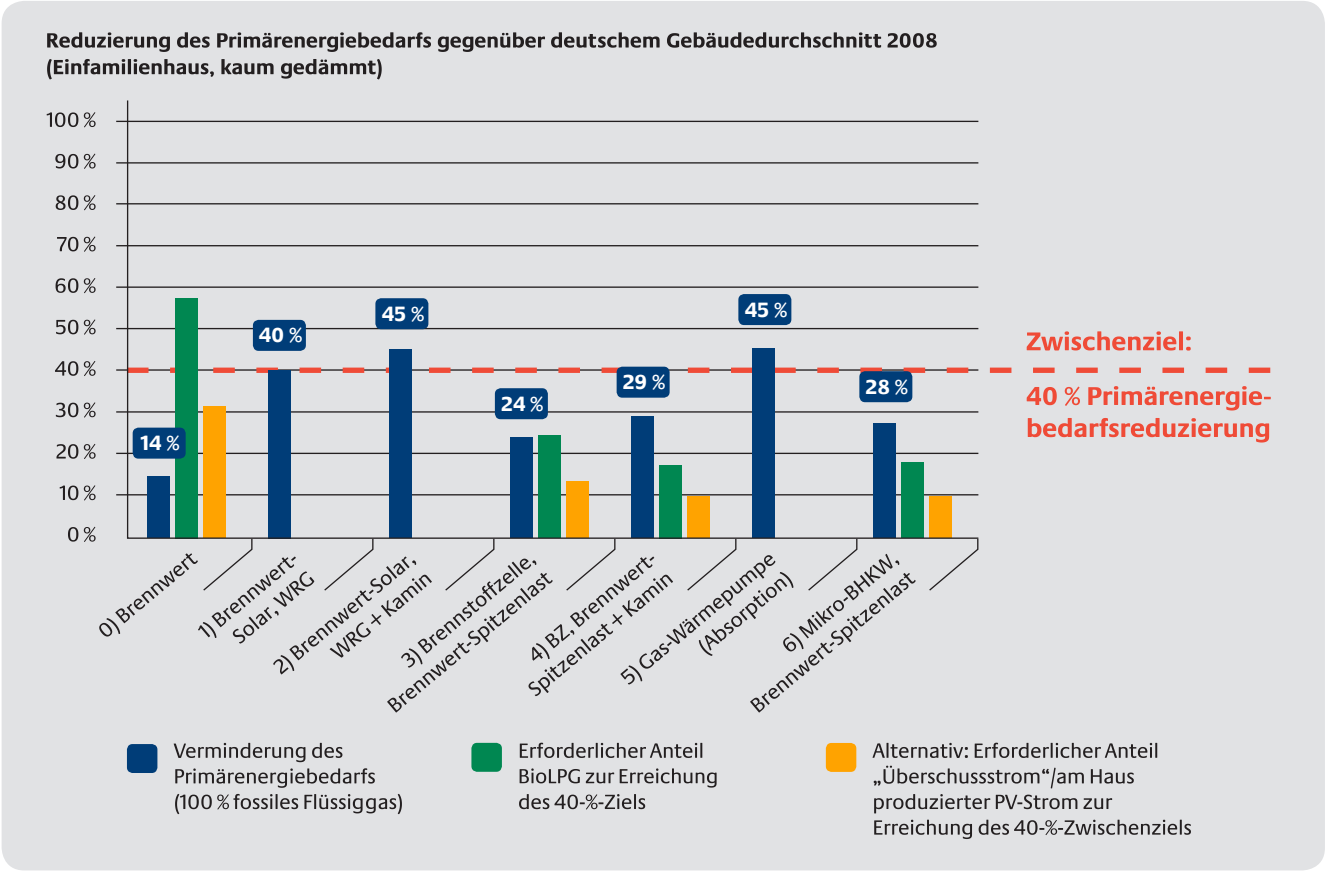


Abbildung 14: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, kaum gedämmt

lage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder eine Absorptions-Wärmepumpe erreichbar ist. Auch die Varianten Mikro-BHKW sowie Brennstoffzellenheizung mit Spitzenlastkessel + Kamin erreichen mit rund 30 Prozent Senkung des Primärenergiebedarfs das für 2030 definierte Zwischenziel bereits zu einem großen Teil. Um den Primärenergiebedarf um 40 Prozent gegenüber durchschnittlichen Einfamilienhäusern im Jahr 2008 zu reduzieren, wären noch ca. 20 bis 25 Prozent BioLPG-Beimischung oder ein Anteil von ca. 10 Prozent erneuerbarem Strom erforderlich. Der Einbau einer Brennwertheizung allein führt dagegen noch nicht zu einem gegenüber dem angesetzten Durchschnittsgebäude 40 Prozent reduzierten Primärenergiebedarf. Die dafür erforderlichen hohen Deckungsanteile von über 50 Prozent BioLPG oder ca. 30 Prozent erneuerbarem Strom („Überschussstrom" oder am Haus produzierter PV-Strom) lassen diesen Weg aufgrund des noch recht hohen absoluten Endenergieverbrauchs von über ca. 130 kWh/(m² $_{AN}$·a) wenig sinnvoll bzw. realistisch erscheinen. Neben den oben genannten anlagentechnischen Maßnahmen (Solaranlage, Lüftungsanlage) müssten in diesen Gebäuden daher weitere Maßnahmen im Bereich der Gebäudedämmung dazu beitragen, dass das 40-Prozent-Ziel erreicht wird.

Mehrfamilienhaus, kaum gedämmt.
Die Ergebnisse für **kaum gedämmte Mehrfamilienhäuser** sind sehr ähnlich denen der Einfamilienhäuser. Punktuell liegen die Primärenergiebedarfsreduzierungen um wenige Prozentpunkte niedriger (vgl. Anhang, Kapitel 9.1).

6 Für den hohen Dämmstandard wurde ein Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle von $H'_T = 0{,}25$ W/(m² ·K) angenommen, für den mäßigen Dämmstandard $H'_T = 0{,}50$ W/(m² ·K) und für kaum gedämmte Wohngebäude $H'_T = 0{,}90$ W/(m² ·K).
7 Einheit kWh/(m² $_{AN}$·a): Kilowattstunden pro Quadratmeter Nutzfläche nach EnEV (A_N) pro Jahr.
8 Vereinfachte Annahme: rechnerischer Primärenergiebedarf = tatsächlicher Primärenergieverbrauch. Untersuchungen der dena zeigen, dass dies in der Praxis in der Breite erreichbar ist (u. a. dena 2011).
9 Voraussetzung für diese vereinfachte Betrachtungsweise ist, dass der Neubau von 2008 bis 2050 im Durchschnitt primärenergiebedarfsneutral ist. Da dies technisch bereits heute möglich ist (Plusenergiehäuser), erscheint diese Annahme erreichbar. Wird der Neubau bis 2050 mit einem mittleren Primärenergiebedarfskennwert von ca. 30 kWh/(m² $_{AN}$·a) errichtet, müsste der Gebäudebestand im Durchschnitt etwa 85 Prozent Primärenergie einsparen, um den Zubau auszugleichen (Annahme: Neubaurate in Deutschland = 0,6 Prozent/Jahr).
10 Mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien im Strommix und der damit einhergehenden Abschaltung ineffizienter fossiler Kraftwerke wird die Stromgutschrift nach dieser Methode mit der Zeit geringer und daher die Primärenergiebilanz von BHKW schlechter. Es wird daher über den niedrig gewählten Primärenergiefaktor ($f_P = 1{,}8$) eine relativ geringe Stromgutschrift angesetzt. Dies entspricht etwa der Annahme, dass das ineffizienteste Kraftwerk mit einem Wirkungsgrad von rund 60 Prozent für heutige Maßstäbe sehr effizient ist. Auch für 2030 wird dieser niedrige Faktor angesetzt, um nur zeitweise geltende hohe Primärenergiegutschriften nicht zu berücksichtigen und die Vergleichbarkeit mit den Berechnungsergebnissen für 2050 zu gewährleisten.
11 Vereinfacht mit Primärenergiefaktor $f_P = 0$ angesetzt.

Fazit für kaum gedämmte Gebäude:
Durch den Einsatz innovativer Heiztechniken wie der Brennstoffzelle mit Kaminunterstützung oder des Mikro-BHKW kann das Zwischenziel von 40 Prozent Primärenergiebedarfseinsparung gegenüber dem deutschen Gebäudebestand 2008 bereits im kaum gedämmten Einfamilienhaus mit dem Energieträger Flüssiggas zu einem großen Teil erreicht, im Falle der Gas-Wärmepumpe sogar deutlich übertroffen werden. Auch durch die Anlagenkombination Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarthermieanlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird dieses Ziel vollständig erreicht. In allen anderen Fällen wäre eine BioLPG-Beimischung von 20 bis 60 Prozent oder ein signifikanter Anteil „Überschussstrom" bzw. am Haus produzierter PV-Strom zur Erreichung des Zielwerts notwendig.

CO_2-Einsparungen bei kaum gedämmten Gebäuden.
Für die Höhe der CO_2-Einsparungen ist der Energieträger vor Sanierung von großer Bedeutung. Beim Wechsel von Heizöl zu Flüssiggas entstehen allein durch den niedrigeren CO_2-Emissionsfaktor von Flüssiggas bereits nennenswerte CO_2-Einsparungen. Tabelle 3 stellt die CO_2-Einsparungen der verschiedenen Anlagentechniken für kaum gedämmte Gebäude mit und ohne Energieträgerwechsel gegenüber[12]. Bei einem Wechsel von Heizöl auf Flüssiggas liegt die CO_2-Reduzierung je nach Heiztechnik um ca. 8 bis 13 Prozentpunkte höher als ohne Energieträgerwechsel. Damit können durch den Austausch eines Öl-Niedertemperaturkessels gegen die effizienteste der untersuchten Heiztechniken – die flüssiggasbetriebene Absorptions-Wärmepumpe – bei gleichzeitiger Optimierung der Heizungsanlage über 50 Prozent CO_2 eingespart werden. Noch höher sind die CO_2-Minderungen beim Ersatz alter Strom-Nachtspeicherheizungen: hier sind derzeit über 60 Prozent CO_2-Einsparungen möglich.

Mäßig gedämmte Gebäude.
In mäßig gedämmten Gebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser) wird das Zwischenziel von 40 Prozent Primärenergiebedarfseinsparung gegenüber dem deutschen Gebäudebestand 2008 mit allen untersuchten Heiztechniken erreicht. Bereits beim Einsatz einer Flüssiggas-Brennwertheizung wird der Referenzwert von 2008 um 48 Prozent (Einfamilienhäuser) bzw. 43 Prozent (Mehrfamilienhäuser) unterschritten (vgl. Anhang, Kapitel 9.2).

Veränderung der CO_2-Emissionen bei einem Wechsel zu Flüssiggas mit den folgenden Heizsystemen	Heizsystem vor Sanierung		
	Flüssiggas-Niedertemperaturheizung	Heizöl-Niedertemperaturheizung	Strom-Nachtspeicherheizung[13]
0) Brennwert	17 %	30 %	39 %
1) Brennwert, Solarthermie, Lüftungsanlage mit WRG	43 %	52 %	58 %
2) Brennwert, Solarthermie, Lüftungsanlage mit WRG + Kamin	47 %	55 %	61 %
3) Brennstoffzelle, Brennwert-Spitzenlastkessel	27 %	38 %	46 %
4) Brennstoffzelle, Brennwert-Spitzenlastkessel + Kamin	32 %	43 %	50 %
5) Absorptions-Wärmepumpe	47 %	55 %	61 %
6) Mikro-BHKW, Brennwert-Spitzenlastkessel	32 %	42 %	50 %

Tabelle 3: CO_2-Reduzierung durch Austausch des Heizsystems (Niedertemperaturheizung) in einem kaum gedämmten Ein-/Zweifamilienhaus mit unterschiedlichen Heizsystemen vor der Heizungssanierung.

12 Im Zustand vor Sanierung wurde von einer Flüssiggas- oder Heizöl-Niedertemperaturheizung der 80er Jahre bzw. einer Kombination aus Nachtspeicherheizung mit elektrischem Durchlauferhitzer zur Warmwasserbereitung und einer einheitlich kaum gedämmten Gebäudehülle ausgegangen.
13 Vereinfachter Ansatz: Strommix mit einem CO_2-Faktor von 438 g CO_2eq/kWh (Wert für das Jahr 2020 nach (Prognos et al., 2015))

4.1.2 Perspektive 2050:
80 Prozent Primärenergiebedarfsreduzierung.
Eine Primärenergiebedarfsreduzierung von 80 Prozent gegenüber einem mittleren Wohngebäude 2008 ist ohne eine weitgehende Dämmung der Gebäudehülle nicht erreichbar. Im Rahmen dieser Studie wurde jedoch überprüft, inwieweit das Primärenergieziel 2050 auf Ebene des Einzelgebäudes gegebenenfalls auch mit einer mäßig gedämmten Gebäudehülle zu erreichen ist.

Mäßig gedämmte Einfamilienhäuser.
Abbildung 15 zeigt, dass auch für **mäßig gedämmte Einfamilienhäuser** das Ziel der 80-Prozent-Reduktion des Primärenergiebedarfs grundsätzlich erreichbar ist. Bei allen Heizsystemen ist dazu jedoch ein größerer zusätzlicher Beitrag erneuerbarer Energien erforderlich, da ohne diesen die Primärenergiebedarfsreduzierungen mit 58 bis 67 Prozent noch deutlich unter dem Zielwert von 80 Prozent liegen.

Wird dieser zusätzliche Beitrag durch BioLPG bereitgestellt, ergeben sich für die Systeme Brennwertheizung + Solarthermie + WRG sowie Gas-Absorptions-Wärmepumpe erforderliche BioLPG-Beimischungen von ca. 80 bis 90 Prozent, für die stromproduzierenden Systeme von ca. 40 bis 50 Prozent.

Auch bei einer Deckung dieses zusätzlichen Beitrags durch die Nutzung von im Netz nicht integrierbarem Strom („Überschussstrom“) liegen die erforderlichen Anteile bei der Gas-Brennwertheizung und der Gas-Absorptions-Wärmepumpe relativ hoch (rund 50 Prozent) und bei den stromproduzierenden Systemen mäßig hoch (20 bis 30 Prozent). Derartige Anteile werden nach Einschätzung der dena nicht überall in Form von „Überschussstrom“ über das Jahr verfügbar sein, sondern voraussichtlich eher in Gebieten mit hoher Stromproduktion und geringer Stromabnahme – in starker Abhängigkeit vom regionalen Netzausbau.

Tendenziell könnte dies eher auf ländliche Gebiete, vor allem in Norddeutschland, zutreffen. Auf der anderen Seite bieten sich gerade im ländlichen Raum oft größere Flächen für eine zusätzliche Photovoltaik- oder Solarthermienutzung, durch die diese Anteile erheblich reduziert werden können. Zu beachten ist dabei, dass auch der durch eigene Photovoltaik für die Heizung erzeugbare Strom durch den zeitlichen Versatz (Solarstrom eher im Sommer, Heizung eher im Winter) – je nach Größe der Anlage – auf eine Größenordnung von rund 20 bis 30 Prozent beschränkt ist.

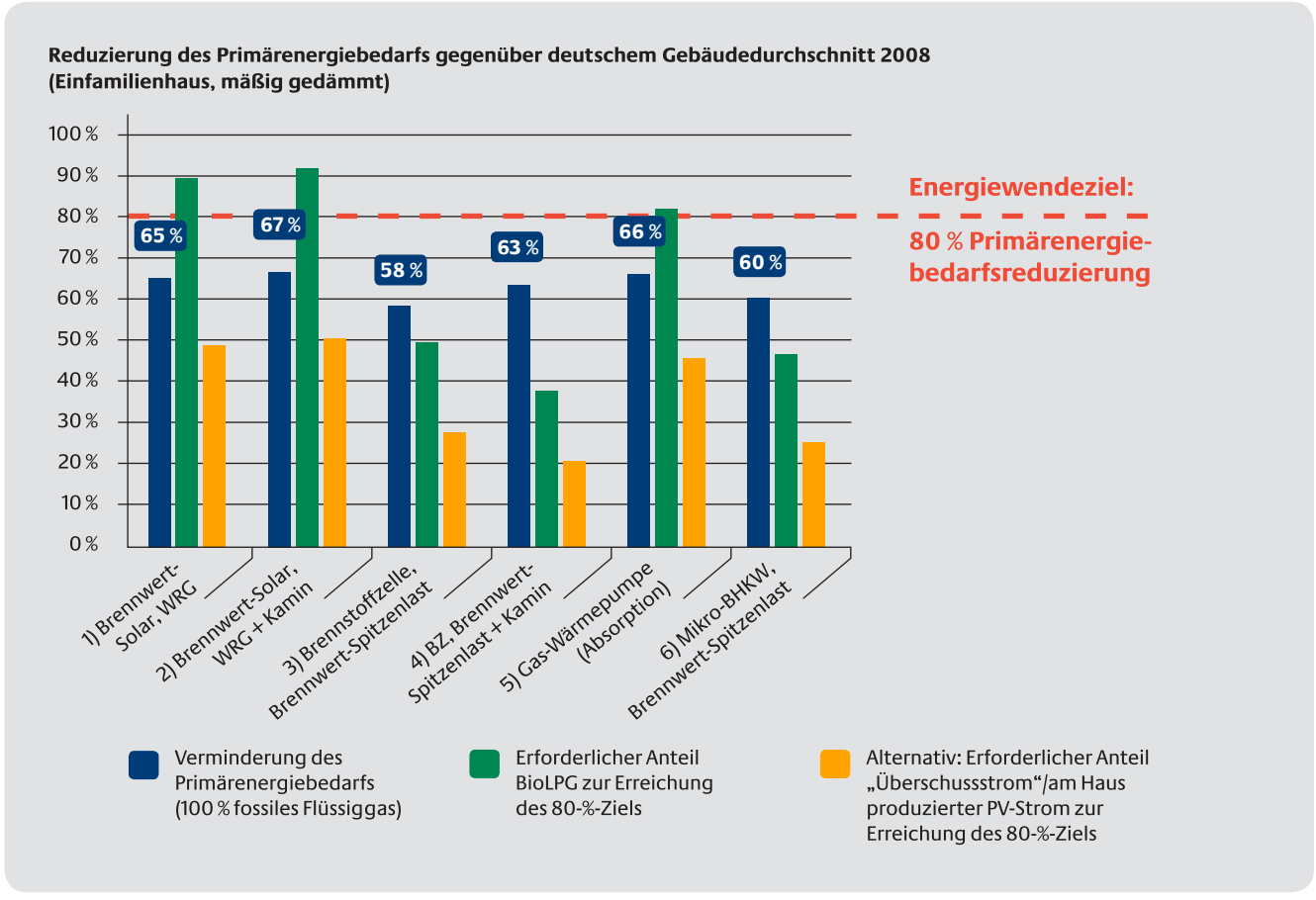


Abbildung 15: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, mäßig gedämmt

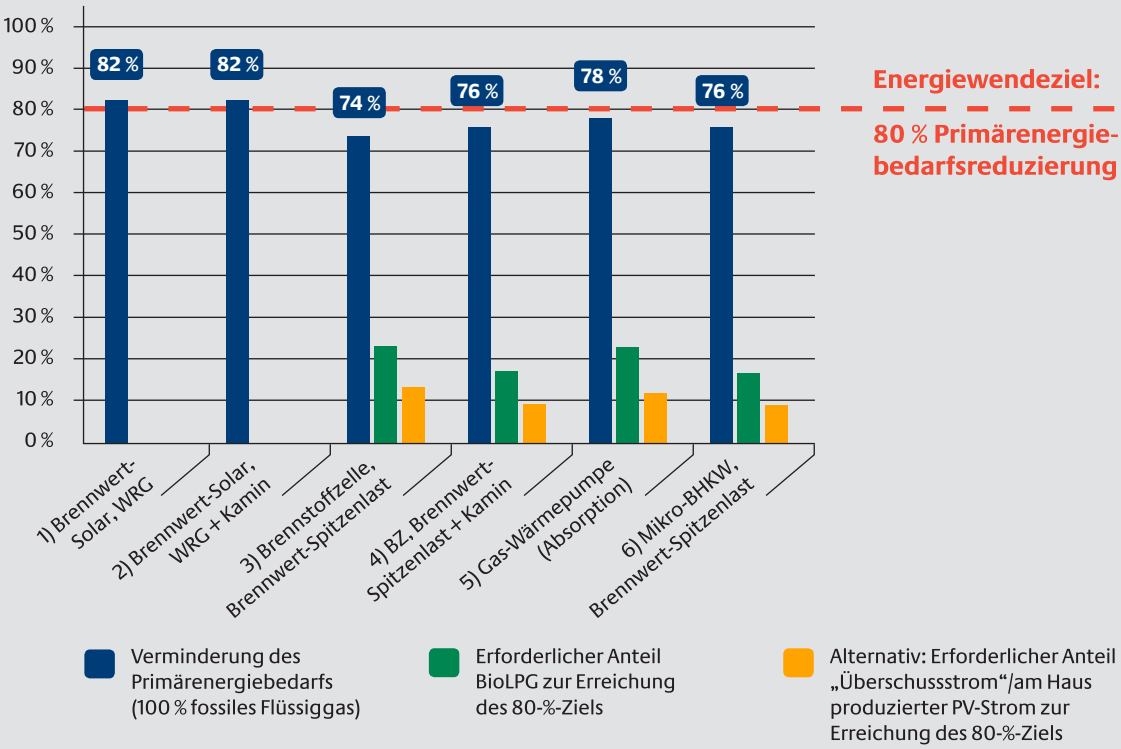


Abbildung 16: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, gut gedämmt

Mäßig gedämmte Mehrfamilienhäuser.
Im **mäßig gedämmten Mehrfamilienhaus** ergeben sich sehr ähnliche Werte wie im mäßig gedämmten Einfamilienhaus. Die niedrigste BioLPG-Beimischung benötigt hier ebenfalls die Brennstoffzellen-Kombination (ca. 45 Prozent). Die höchste BioLPG-Beimischung ist mit bis zu 100 Prozent beim Heizsystem der Gas-Motor-Wärmepumpe erforderlich (vgl. Anhang, Kapitel 9.3).

Fazit für mäßig gedämmte Gebäude:
Auch mäßig gedämmte Gebäude (Ein- und Mehrfamilienhäuser) können eine 80-prozentige Primärenergiebedarfsreduzierung gegenüber 2008 erreichen, sofern je nach Heiztechnik ca. 50 bis 100 Prozent BioLPG genutzt und primärenergetisch angerechnet werden können. Die CO_2-Reduktion beträgt bei den mäßig gedämmten Gebäuden zwischen 53 und 69 Prozent.

Gut gedämmte Einfamilienhäuser.
Abbildung 16 zeigt, dass bei **gut gedämmten Einfamilienhäusern** bereits durch den Einsatz einer Gas-Brenwertheizung mit Solarthermie und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (mit und ohne Kamin) eine über 80-prozentige Reduzierung des Primärenergiebedarfs gegenüber einem durchschnittlichen Einfamilienhaus 2008 erreicht wird. Alle anderen untersuchten Heiztechniken (3 bis 6) erreichen ohne Solarthermieanlage oder Lüftungsanlage das Ziel weitestgehend (74 bis 78 Prozent Reduktion). Durch eine BioLPG-Beimischung von rund 20 Prozent könnte in diesen Fällen die geringe Differenz zur 80-Prozent-Reduktion überbrückt werden. Alternativ könnte das Ziel auch durch Deckung von ca. 10 Prozent des Wärmeverbrauchs durch eine Power to Heat Lösung erreicht werden. Der Beitrag des Kamins zur Primärenergiebedarfsreduzierung ist – bedingt durch die normative Begrenzung seiner Anrechnung – relativ gering. Je nach Nutzerverhalten kann dieser Beitrag in der Praxis aber durchaus höher liegen.

Eine weitere Alternative zur Zielerreichung besteht bei den Kombinationen 3 bis 6 immer auch in der zusätzlichen Nutzung von Solarthermie oder der Vermeidung von Wärmeverlusten durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die hier nicht im Detail untersucht werden.

Gut gedämmte Mehrfamilienhäuser.
Auch im untersuchten **gut gedämmten Mehrfamilienhaus** erreicht die Kombination Gas-Brennwertheizung + Solarthermieanlage + Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung das 80-Prozent-Reduktionsziel, alle weiteren Varianten rund 70 Prozent. Diese erfordern daher eine BioLPG-Beimischung in Höhe von 30 Prozent (Brennstoffzelle und Mikro-BHKW mit Spitzenlastkessel) bis 60 Prozent (Gas-Motor-Wärmepumpe). Alternativ könnte dieser Beitrag durch ca. 15 Prozent (Brennstoffzelle und Mikro-BHKW-Kombinationen) bzw. ca. 30 Prozent (Gas-Motor-Wärmepumpe) „Überschussstrom" oder eigenen PV-Strom erreicht werden (vgl. Anhang, Kapitel 9.4).

Fazit für gut gedämmte Gebäude:
In gut gedämmten Gebäuden sind die Ziele der Bundesregierung, den Primärenergiebedarf gegenüber 2008 um 80 Prozent zu senken, mit allen untersuchten Heiztechniken erreichbar, sofern BioLPG in einer Größenordnung von bis zu ca. 20 Prozent (Einfamilienhaus) bzw. bis zu ca. 60 Prozent (Mehrfamilienhaus) beigemischt und angerechnet werden kann. Die CO_2-Reduktion beträgt bei den gut gedämmten Gebäuden zwischen 71 und 85 Prozent.

4.2 Rahmenbedingungen für die Wettbewerbsfähigkeit von Flüssiggas und BioLPG im Wärmemarkt.

Für flüssiggasbeheizte Gebäude stehen verschiedene Optionen zur energetischen Sanierung zur Verfügung, die mit höheren Investitionen wahlweise in die Anlagentechnik oder die Gebäudehülle eine Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung ermöglichen. Diese Investitionen können auch schrittweise – zum Beispiel im Rahmen ohnehin anstehender Sanierungsmaßnahmen der Gebäudehülle und der Anlagentechnik – erfolgen. So können die Mehrkosten für eine verbesserte Energieeffizienz möglichst gering gehalten werden. Dies ist gerade für schwächere Einkommensgruppen im ländlichen Raum sehr wichtig, um trotz niedriger Einkommen eine Instandhaltung ihrer Häuser zu gewährleisten. Eine stärkere Förderung der Teilsanierung des Gebäudebestands durch den Gesetzgeber könnte daher eine Umsetzung der Wärmewende im ländlichen Raum beschleunigen.

Derzeit ist die Sanierungsrate im deutschen Gebäudebestand deutlich zu niedrig, um die Ziele der Bundesregierung für den Gebäudebestand im Jahr 2050 zu erreichen. Gelingt es in den nächsten Jahren nicht, sie auf den von der Bundesregierung angestrebten Wert von 2 Prozent zu erhöhen, muss der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energien dazu beitragen, die entstehende Lücke zu verkleinern oder gar zu schließen.

Wie bereits aus Kapitel 4.1 hervorgegangen ist, stellt BioLPG hierfür eine zukünftige Option dar. Es erfüllt schon heute die Anforderungen an Biomasse nach § 2 Absatz 1 Nr. 4 des EEWärmeG. Jedoch wird in der EnEV die Anforderung gestellt, dass die genutzte gasförmige oder flüssige Biomasse auch in einem räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugt worden ist.[14] Dadurch kann für BioLPG in der Regel nicht der geringere Primärenergiefaktor von $f_P = 0{,}5$ angesetzt werden, sondern nur der von fossilem Flüssiggas in Höhe von $f_P = 1{,}1$. Hintergrund dieser Regelung ist die problematische Kontrolle, da der Gebäudenutzer den Versorger und das bezogene BioLPG kurzfristig wechseln kann und es nicht durch die Art des Wärmeerzeugers sichergestellt ist, dass der entsprechende erneuerbare Energieanteil tatsächlich bezogen wird.

Dieser Sorge des Gesetzgebers kann entgegengehalten werden, dass sich mittlerweile entsprechende Nachweissysteme im Markt etabliert haben, die dieses Problem lösen können. Als Beispiel ist hier die staatliche Web-Anwendung Nachhaltige-Biomasse-System (Nabisy) der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung zu nennen. Darüber werden die Nachhaltigkeitsanforderungen für die Herstellung und Nutzung von flüssiger und gasförmiger Biomasse nach der Erneuerbare-Energien-Richtlinie dokumentiert. Über die im Nachweissystem geführte Massenbilanz würde sich das genutzte BioLPG von seiner Verwendung bis zur Entstehung zurückverfolgen lassen. Die ausgestellten Nachhaltigkeitsnachweise über das eingesetzte BioLPG müssten vom Verwender des BioLPGs vorgehalten werden und zur Kontrolle der Einhaltung der Vorschriften der zuständigen Baubehörde vorgelegt werden können.

Eine weitere denkbare Möglichkeit zur Förderung von BioLPG bietet das EEWärmeG. Das Gesetz beinhaltet bereits vordefinierte Anforderungen an flüssige und gasförmige Biomasse, wobei BioLPG im Sinne des EEWärmeG als gasförmige Biomasse eingestuft wird und somit nur beim Einsatz in KWK-Anlagen oder bei der Einhaltung der Vorgaben an öffentliche Gebäude bei der Sanierung als Erfüllungsoption gilt. Durch eine Gleichbehandlung mit flüssiger Biomasse wäre eine Anrechnung von BioLPG zur Erfüllung des EEWärmeG beim Einsatz in der besten verfügbaren Technik möglich. Ein Grund für die Ungleichbehandlung von flüssiger und gasförmiger Biomasse ist nicht ersichtlich.

Im EWärmeG von Baden-Württemberg ist bereits eine anteilige Erfüllung durch gasförmige und flüssige Biomasse gleichermaßen vorgesehen. Als Nachweis sind hier die entsprechenden Lieferbelege bis zu fünf Jahre lang aufzubewahren und bei Bedarf der unteren Bauaufsichtsbehörde vorzulegen.

14 § 3 Absatz 3 EnEV i.V.m. Anlage 1 Nr. 2.

5 Fazit.

- Flüssiggas ist heute und in Zukunft als Nebenprodukt der Herstellung von Mineralölprodukten und Erdgas ausreichend verfügbar und kann damit einen Beitrag zur Energieträgerdiversifizierung und Versorgungssicherheit leisten.

- Einsatzmöglichkeiten bieten sich vor allem im ländlichen Raum abseits von Erdgasnetzen sowie Nah- oder Fernwämenetzen. Die Zahl der nicht an das Gasnetz angeschlossenen Gebäude wurde in dieser Studie erstmals auf Basis von Geodaten abgeschätzt und liegt bei rund 2,2 Millionen Wohn- und Nichtwohngebäuden.

- Mit Hilfe von Flüssiggas-Anlagenkombinationen (z. B. Kombination Gas-Brennwert- mit Solarthermie- und Lüftungsanlage) oder innovativen Heizsystemen (z. B. Gas-Wärmepumpe) kann in kaum gedämmten Gebäuden ein Primärenergieverbrauch erreicht werden, der um ca. 40 Prozent unter dem Primärenergieverbrauch eines durchschnittlichen Gebäudes des Jahres 2008 liegt.

- Durch den Austausch veralteter Heizungen gegen diese Flüssiggas-Heizsysteme können CO_2-Einsparungen von über 40 Prozent erreicht werden, bei einem Energieträgerwechsel (Heizöl oder Strom-Nachtspeicherheizungen zu Flüssiggas) sogar bis zu ca. 60 Prozent.

- Sofern Gebäude über die Jahre mäßig gedämmt wurden bzw. werden, genügt der Einbau einer Gas-Brennwertheizung zur Erreichung eines für 2030 anzustrebenden Zwischenziels von 40 Prozent Primärenergiebedarfsreduzierung gegenüber dem durchschnittlichen Gebäudebestand im Basisjahr 2008.

- Mit Flüssiggas sind auch die Ziele der Bundesregierung für das Jahr 2050 erreichbar, sofern es in gut gedämmten Gebäuden mit effizienter Heizungstechnik eingesetzt wird. Werden Gebäude bis 2050 nur mäßig gedämmt, ist die Zielerreichung durch den Einsatz hocheffizienter Heizungstechniken und Anlagenkombinationen sowie die anteilige Nutzung von BioLPG möglich.

- Die Herstellung und die Nutzung von BioLPG befinden sich derzeit noch am Anfang. Es ist aber davon auszugehen, dass sich die zur Verfügung stehende Menge kurz- bis mittelfristig erhöhen wird. BioLPG aus der sogenannten HVO-Produktion erfüllt schon heute die Nachhaltigkeitsanforderungen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU. Da es darüber hinaus eine Vielzahl von Herstellungsverfahren gibt und sich diese erst noch am Markt etablieren müssen, ist eine langfristige Mengenabschätzung für BioLPG nicht möglich. Die technischen Voraussetzungen lassen aber darauf schließen, dass sich bei einer größeren Marktnachfrage die Produktion in den nächsten zehn Jahren auf mehrere Terrawattstunden erhöhen wird.

- Damit BioLPG einen Beitrag zu den energie- und klimapolitischen Zielen leisten kann, müssen attraktivere politische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Ein Ansatzpunkt ist, den Primärenergiefaktor von BioLPG nach EnEV auch dann mit einem niedrigeren Wert (z. B. dem aktuellen Wert f_P=0,5) ansetzen zu können, wenn es nicht im räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugt wurde. Voraussetzung und gleichzeitig politische Herausforderung dafür wäre ein bürokratiearmes, zwischen den Bundesländern vereinheitlichtes Kontrollsystem.

- Die geplante Zusammenlegung von EEWärmeG und EnEV kann eine Möglichkeit bieten, die Ungleichbehandlung von flüssiger und von gasförmiger Biomasse aufzuheben und damit die Verwendung von BioLPG in der besten verfügbaren Technik zur Erfüllung der Nutzungspflicht anzuerkennen.

- Das Nachverfolgen zur Sicherstellung des Einsatzes von BioLPG sollte über ein geeignetes Massenbilanzsystem nach Vorbild des Biogasregisters erfolgen, das die spezifischen Anforderungen des Energieträgers BioLPG berücksichtigt.

6 Literaturverzeichnis.

AGEE-Stat (2015). *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland.* Berlin. Von http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

BAFA (2014). *Amtliche Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland.* Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Von http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel_rohoel/amtliche_mineraloeldaten/2014/index.html.

BBSR (2015). *SiedlungsstrukturelleKreistypen 2013.* Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raum forschung (BBSR). Von http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/Kreistypen4/Download_Karte_PDF.pdf?__blob=publicationFile&v=7.

BDEW (2015). *„Wie heizt Baden-Württemberg?" – Studie zum Heizungsmarkt.* Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Von https://www.bdew.de/internet.nsf/id/F9D396123E565823C1257F1800386680/$file/151207_Studie_Heizungsmarkt_Baden-W%C3%BCrttemberg.pdf.

BDEW (2016). *Energiedaten.* Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. Von https://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten#cat/Daten%2FGrafiken%5CEnergie%20allgemein%5CEnergiedaten%5C2.%20Gasversorgung/2-11-investitionen-der-gasversorger-de.

BMWi (2015a). *Energieeffizienzstrategie Gebäude.* Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Von http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/energie-effizienz-strategie-gebaeude-langfassung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf.

BMWi (2015b). *Ein gutes Stück Arbeit. Die Energie der Zukunft. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende.* Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Von https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/V/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf.

BMWi (2016). *Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung.* Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Von http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html.

BP (2016). *BP Energy Outlook 2016 Edition.* BP. Von http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf.

Bundesregierung (2010). *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.* Von https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

Calovini GmbH (2016). *Callux - Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim – Callux Basismodul.* Schwelm. Von http://www.callux.net/home.MarktpartnerInteressent.html.

DECC (2014). *RHI Evidence Report: Biopropane for Grid Injection.* Department of Energy and Climate Change. Von https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/376487/RHI_Evidence_Report_-_Biopropane_for_Grid_Injection__2___2_.pdf.

dena (2015). *Der dena Gebäudereport 2015. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand.* Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Von http://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/studien/dena-gebaeudereport.html.

Destatis (2011). *Zensus 2011: Gebäude mit Wohnraum nach Gebäudetyp-Bauweise und Zahl der Wohnungen im Gebäude (3 Klassen).* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Von https://ergebnisse.zensus2011.de/#StaticContent:00,GWZ_11_7,m,table.

Destatis (2014). *Baugenehmigungen und Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie - Lange Reihen - 1980-2014.* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Von https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaugenehmigungenHeizenergie.html.

Destatis (2014). *Energiesteuerstatistik 2013.* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Von https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/FinanzenSteuern/Steuern/Verbrauchsteuer/Energiesteuer2140930137004.pdf?__blob=publicationFile.

Destatis (2015). *Energiesteuerstatistik 2014.* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Von https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/FinanzenSteuern/Steuern/Verbrauchsteuer/Energiesteuer2140930147004.pdf?__blob=publicationFile.

Donner, S., & Winter, A. (2012). *WD 8 – 3010 – 047/12: Das Abfackeln (gas flaring) und Ablassen (gas venting) von Begleitgasen bei der Erdölförderung.* Berlin: Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag. Von https://www.bundestag.de/blob/192776/3cdd77be499d9ccc0ce6644583cf3dae/abfackeln_und_ablassen_von_begleitgasen-data.pdf.

DVFG (2015). *Jahresbericht 2014.* Berlin: Deutscher Verband Flüssiggas e.V.

Energie der Zukunft (2015). *Stellungnahme zum vierten Monitoringbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2014.* Berlin: Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft". Von https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/monitoringbericht-energie-der-zukunft-stellungnahme-2014,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf.

ERA (2015). *Aktuelle Entwicklung und Auswirkungen von Marginal Oil.* Berlin: Energy Research Architecture. Von http://era-er.com/uploaded/content/proyecto/1621304098.pdf.

EU (2009). *Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009.* Brüssel. Von http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF.

GEMIS (2014). *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.93.* Darmstadt: IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien. Von http://www.iinas.org/gemis-de.html.

Global Energy (2016). *European Biopropane fuel produced in Rotterdam.* Von http://www.energyglobal.com/downstream/refining/11022016/European-Biopropane-fuel-produced-in-Rotterdam-2451/.

Greenea (2015). *Is HVO the Holy Grail of the world biodiesel market? Coivert: Greenea Team.* Von http://t.co/CcuR7fE8Wy.

IWU (2014). *Kumulierter Energieaufwand und CO_2-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und -versorgungen.* Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Von http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/kea.pdf.

Lutum + Tappert (2016). *Datensatz Marktdaten Energie.* Bonn: Lutum + Tappert, DV-Beratung GmbH.

MWV (2015). *Jahresbericht 2015, Mineralöl-Zahlen 2014.* Berlin: Mineralölwirtschaftsverband e.V. Von http://www.mwv.de/upload/Presseinformation/Pressemeldungen/Meldungen/MWV-JB_Web_2014_YyMtkGHT53tFbHd.pdf.

Neste (2014). *Bio-LPG aus HVO-Produktion Gegenwart und Potential (DVFG-Herbstarbeitstagung).* Ulm: Neste Oil.

OECD (2007). *OECD-Prüfbericht zur Politik für ländliche Räume – Deutschland.* Paris: Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, OECD Publishing. Von http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/LaendlicheRaeume/OECD-Pruefbericht.pdf?__blob=publicationFile.

PRIMAGAS (2016). *Grafik zu Nutzungsmöglichkeiten von Flüssiggas.* Krefeld: PRIMAGAS Energie GmbH & Co. KG.

Prognos (2011). *Flüssiggas im ländlichen Raum.* Berlin: Prognos AG. Von http://www.prognos.com/themen/energie-klimaschutz/energiewirtschaft/referenzen/.

Prognos et al. (2015). *Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude.* Berlin, Heidelberg, Darmstadt: prognos AG, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU).

Prognos/EWI/GWS (2010). *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung.* Basel/Köln/Osnabrück. Von http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/studie-energieszenarien-fuer-ein-energiekonzept,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf.

Prognos/EWI/GWS (2014). *Entwicklung der Energiemärkte– Energiereferenzprognose.Endbericht.* Basel/Köln/Osnabrück. Von http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf.

Projektträger Jülich (2016). *Forschungsdatenbank EnArgus, Suche mit dem Stichwort „Brennstoffzellen-Heizgerät".* Projektträger Jülich. Von https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/26?op=enargus.eps2&m=0&v=10&p=0&q=brennstoffzellen-heizger%C3%A4t&y=1.

Rothermel, D. J. (2015). *Stoffliche Nutzung von Biomasse in der chemischen Industrie – Perspektiven für Biomethan.* Berlin: Verband der chemischen Industrie e.V. (VCI). Von http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/2015/biogaspartner_die_konferenz/4_Rothermel.pdf.

SGC (2008). *Bio-Propane from glycerol for biogas addition.* Malmö: Svenskt Gastekniskt Center. Von http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC198.pdf.

Shell & BDH (2013). *Klimaschutz im Wohnungssektor – Wie Heizen wir morgen? Fakten, Trends und Perspektiven für Heiztechniken bis 2030.* Köln: Shell Deutschland Oil GmbH. Von http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Studien/Shell_BDH_Hauswaerme_Studie_II.pdf.

Shell (2015). *LPG als Energieträger und Kraftstoff. Fakten, Trends und Perspektiven.* Hamburg: Shell Deutschland Oil GmbH. Von http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/shell-lpg-studie-de-2015.pdf.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2016). *035-02-4 Fortschreibung auf Basis GWZ 2011, Wohngebäude- und Wohnungsbestand – Stichtag 31.12. – regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte.* Düsseldorf. Von https://www.regionalstatistik.de.

Statistisches Bundesamt (2016). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Bruttoinlandsprodukt ab 1970.* Wiesbaden.

Thünen (2015). *Abschlussbericht zum Projektvorhaben Diesel R33.* Von http://www.ufop.de/files/8214/5275/8185/Abschlussbericht_v5.pdf.

UFOP (2016). *Biodiesel 2014/2015 – Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht.* Berlin: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. Von http://www.ufop.de/files/9514/5216/0468/WEB_UFOP-Biodieselbericht_2015.pdf.

WLPGA/ARGUS (2015). *Statistical review of Global LPG 2015.* London: Argus Media.

WWF (2009). *Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken.* Basel/Berlin. Von http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf.

Zukunft Erdgas (2015). *Sanierungsfahrpläne für Mehrfamilienhäuser.* Berlin: Zukunft Erdgas e.V. Von https://www.zukunft-erdgas.info/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1458291377&hash=126685c41328cdf46ed048c1c3a914b35cb31f7a&file=/fileadmin/private/MaFo/Studien/Waermemarkt_MFH_online.pdf.

7 Glossar.

Begriff	Definition
Endenergieverbrauch	Der Endenergieverbrauch ist die vom Eigentümer oder Mieter als Endverbraucher individuell verbrauchte Endenergie, zum Beispiel die in der Jahresrechnung in Kilowattstunden ausgewiesene Strom- oder Gasmenge.
Energieeinsparverordnung (EnEV)	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ist ein deutsches Bundesgesetz, das den Ausbau erneuerbarer Energien im Wärme- und Kältesektor bei der energetischen Gebäudeversorgung vorantreiben soll. Es trat am 1. Januar 2009 in Kraft. Das Gesetz führt erstmals bundesweit eine Pflicht zur Verwendung von erneuerbaren Energien beim Neubau von Gebäuden ein (sogenannte Nutzungspflicht). Den Bundesländern bleibt vorbehalten, das Gesetz im Falle einer energetischen Sanierung auch auf bestehende Gebäude anzuwenden.
Gut gedämmt	Gebäude, bei dem alle Bauteile auf einen guten bis sehr guten Standard gedämmt und alle Wärmebrücken optimiert wurden. Transmissionswärmeverlust $H'_T = 0{,}25\ W/(m^2 \cdot K)$
Kaum gedämmt	Gebäude, zum Beispiel Einfamilienhaus aus den 1960er Jahren, bei dem ein Bauteil bereits gedämmt wurde. Transmissionswärmeverlust $H'_T = 0{,}90\ W/(m^2 \cdot K)$
Mäßig gedämmt	Gebäude, zum Beispiel Einfamilienhaus aus den 1960er Jahren, bei dem ein Bauteil nicht saniert und die übrigen auf einen mittleren Standard gedämmt wurden. Transmissionswärmeverlust $H'_T = 0{,}50\ W/(m^2 \cdot K)$
Primärenergiebedarf	Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die sogenannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z. B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien etc.). Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz und eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung.

Begriff	Definition
Primärenergiefaktor (f_P)	Der Primärenergiefaktor berücksichtigt neben dem Energiegehalt eines Energieträgers auch den Energieaufwand von der Gewinnung eines Energieträgers bis zur Bereitstellung der Endenergie beim Nutzer. Es werden damit die Vorketten für Förderung, Umwandlung und Transport der betrachteten Energieträger erfasst. Der f_P wird in der EnEV festgelegt und ändert sich entsprechend der fortschreitenden Einbindung von regenerativen Energien. So hat sich der f_P von Strom von 3,0 auf aktuell 1,8 (2016) entwickelt.
Primärenergieverbrauch	Der Primärenergieverbrauch (PEV) bezeichnet den Energiegehalt aller im Inland eingesetzten Energieträger, wie zum Beispiel Kohle, Mineralöl oder Erdgas als sogenannte Primärenergieträger oder durch Umwandlung entstandene Sekundärenergieträger, wie beispielsweise Stein- und Braunkohleprodukte, Strom oder Fernwärme. Er ist die Summe aller Energieträger, die im Inland gewonnen werden, und des Saldos von importierten/exportierten Mengen sowie Bestandsveränderungen abzüglich der auf Hochsee gebunkerten Vorräte.
Terrawattstunde (TWh)	Kilowattstunde ist die Maßeinheit der elektrischen Arbeit: Arbeit ist gleich Leistung mal Zeit (1 kWh = 1 kW x 1 h). Eine Terrawattstunde sind eine Million Kilowattstunden.
Treibhausgasemissionen	Der Ausstoß von Gasen, die zum Treibhauseffekt beitragen. Als Hauptverursacher des Treibhauseffekts gelten Kohlendioxid-Emissionen. Aber auch andere Treibhausgase, wie beispielsweise Methan, Distickstoffoxid, Fluorkohlenwasserstoffe, Perfluorchlorkohlenwasserstoffe sowie Sulfathexafluorid, werden als klimaschädlich eingestuft. Die verschiedenen Treibhausgase unterscheiden sich in ihrer Klimaschädlichkeit aufgrund der unterschiedlichen Haltbarkeit, die sich durch die durchschnittliche Verweildauer der Moleküle ergibt.

8 Abkürzungen.

BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BZ	Brennstoffzelle
CO_2	Kohlendioxid
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
f_P	Primärenergiefaktor
gCO_2eq/kWh	Gramm Kohlendioxid-Äquivalent pro Kilowattstunde
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
g/kWh	Gramm pro Kilowattstunde
HVO	Hydrierte Pflanzenöle
kWh	Kilowattstunde
$kWh/(m^2_{AN} \cdot a)$	Kilowattstunden pro Quadratmeter Nutzfläche nach EnEV (AN) und Jahr
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LPG	Liquified Petroleum Gas
MAP	Marktanreizprogramm
μm	Mikrometer
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
THG	Treibhausgase
TWh	Terrawattstunde
$W/(m^2 \cdot K)$	Watt je Kelvin und Quadratmeter
WRG	Wärmerückgewinnung

9 Anhang: Berechnungsergebnisse.

9.1 Kaum gedämmte Gebäude (Perspektive 2030).

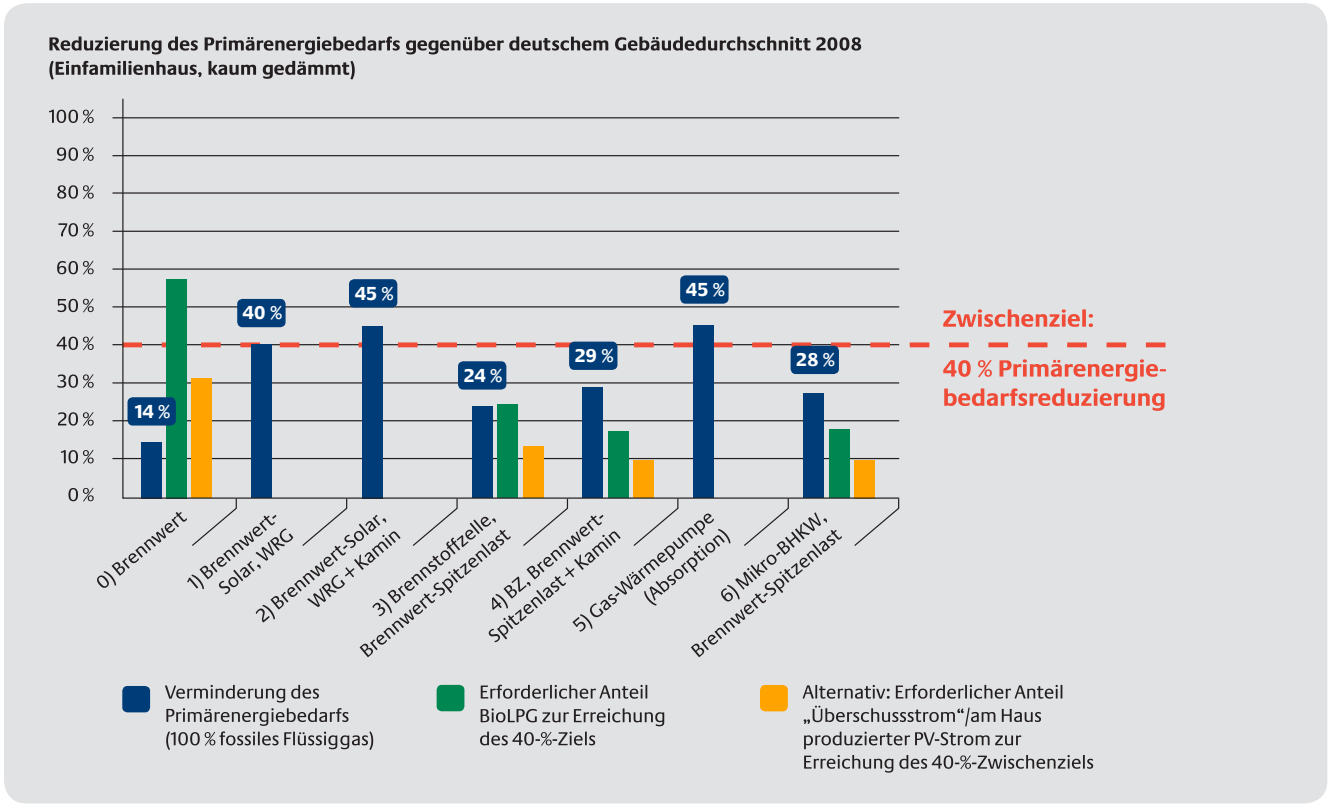


Abbildung 17: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, kaum gedämmt

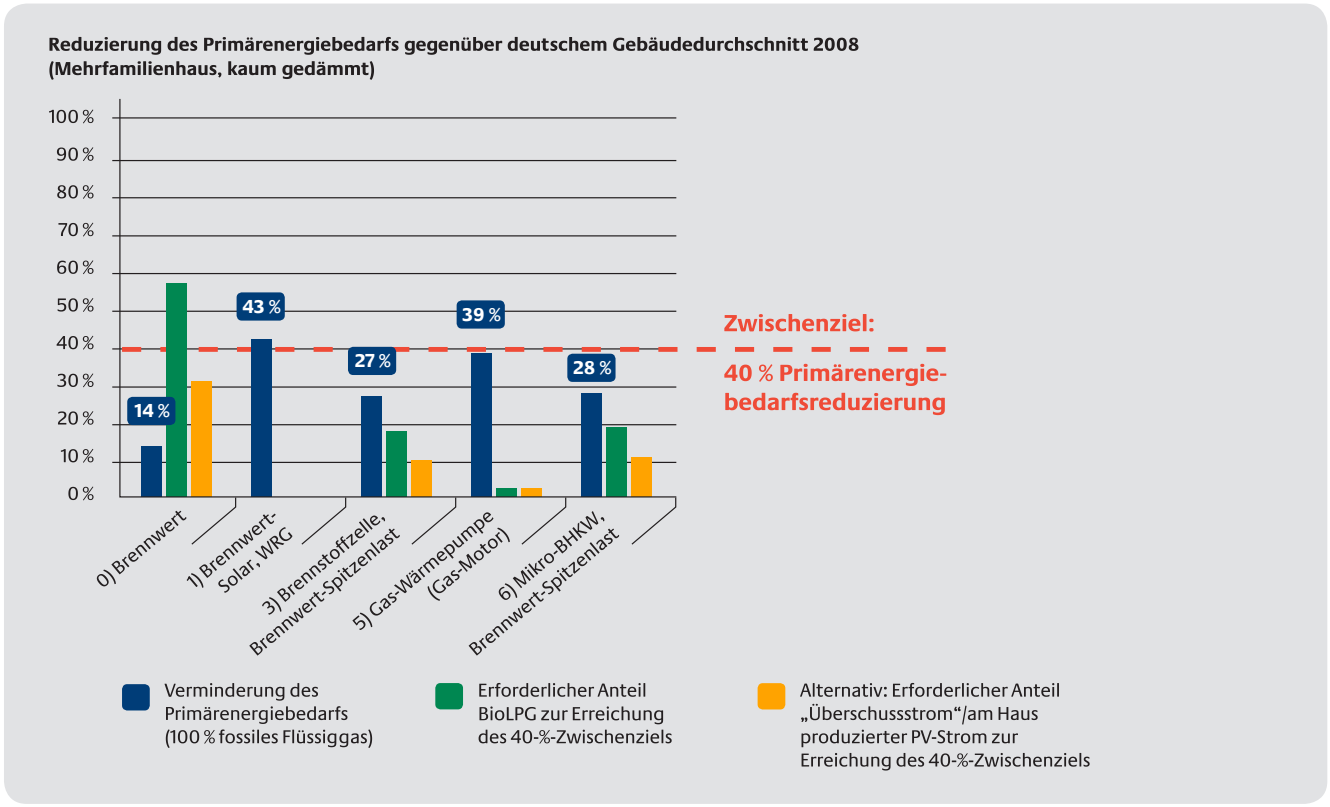


Abbildung 18: Reduzierung Primärenergiebedarf Mehrfamilienhaus, kaum gedämmt

9.2 Mäßig gedämmte Gebäude (Perspektive 2030).

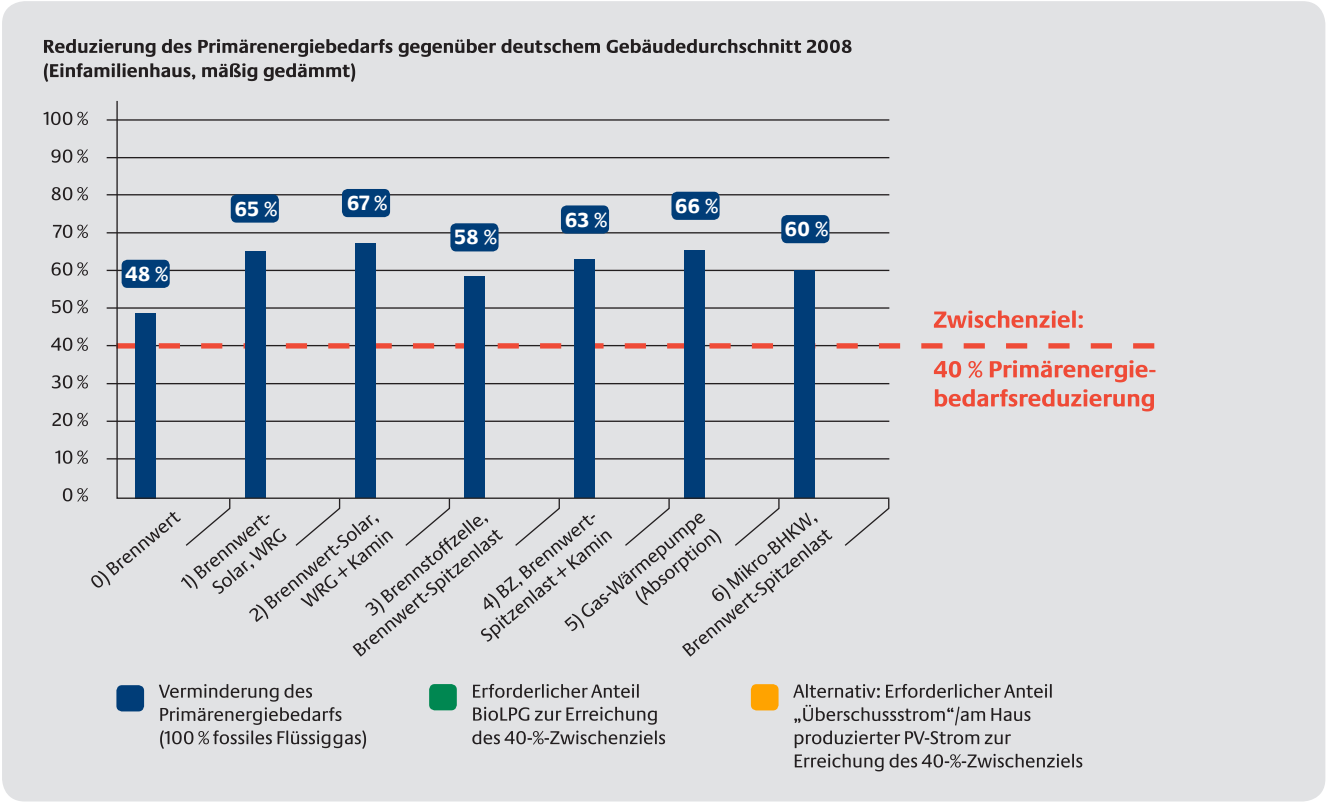


Abbildung 19: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, mäßig gedämmt

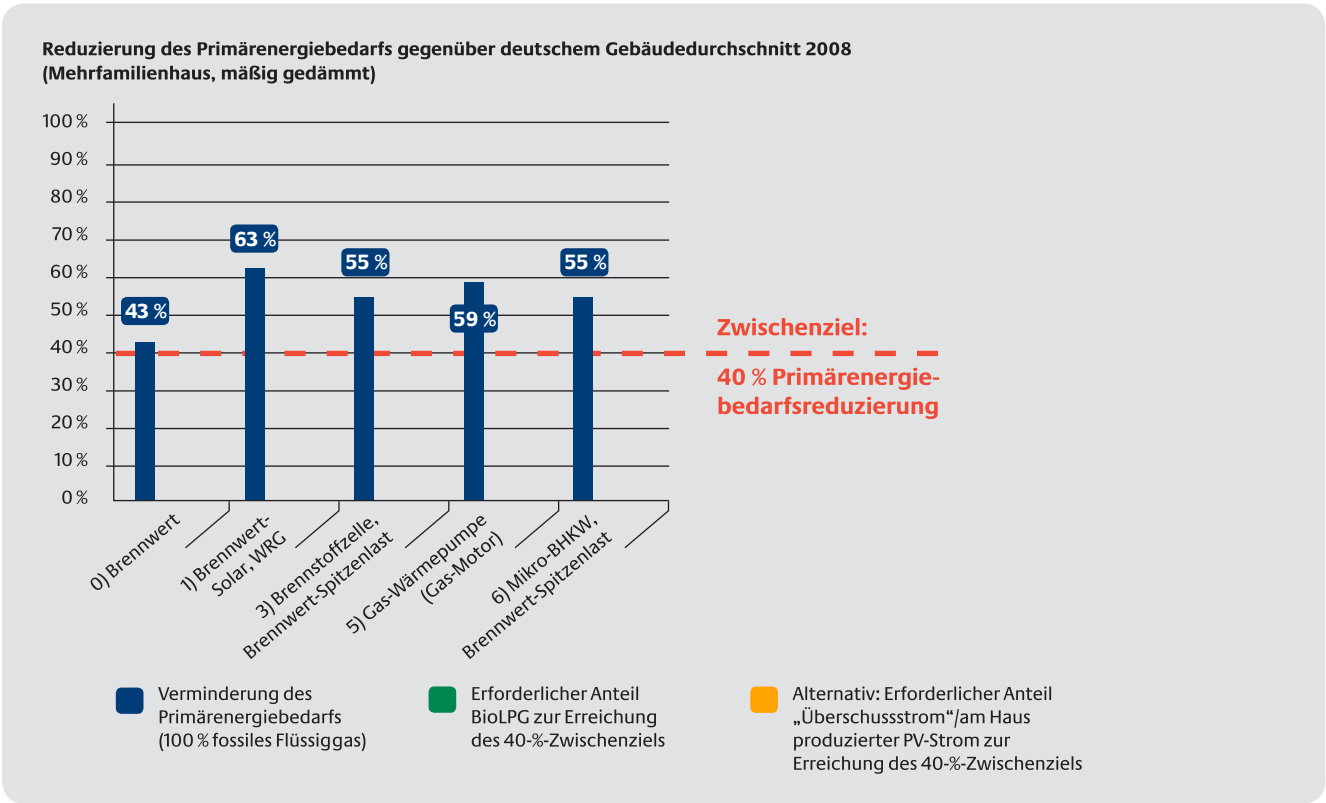


Abbildung 20: Reduzierung Primärenergiebedarf Mehrfamilienhaus, mäßig gedämmt

9.3 Mäßig gedämmte Gebäude (Perspektive 2050).

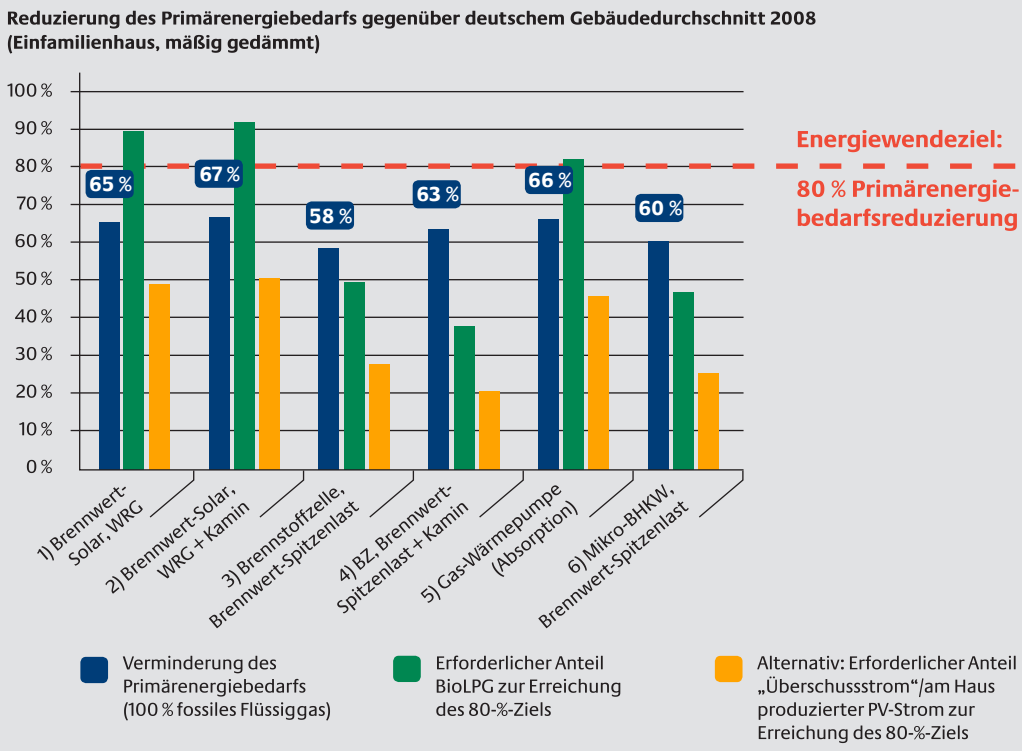


Abbildung 21: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, mäßig gedämmt

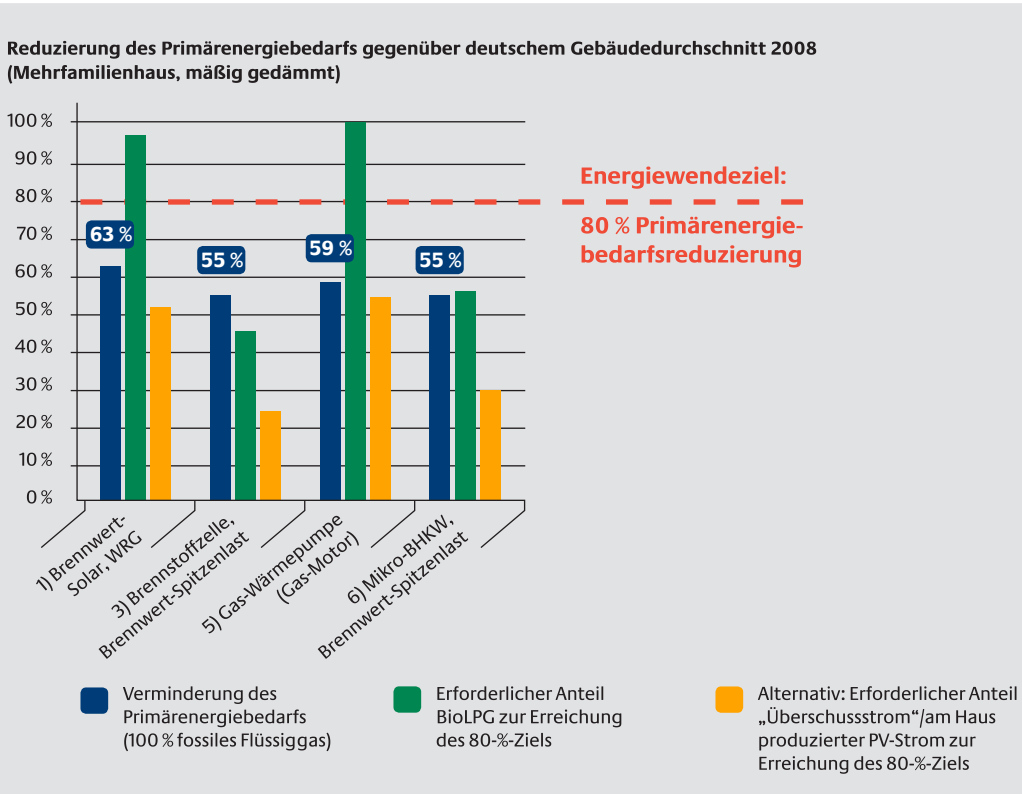


Abbildung 22: Reduzierung Primärenergiebedarf Mehrfamilienhaus, mäßig gedämmt

9.4 Gut gedämmte Gebäude (Perspektive 2050).

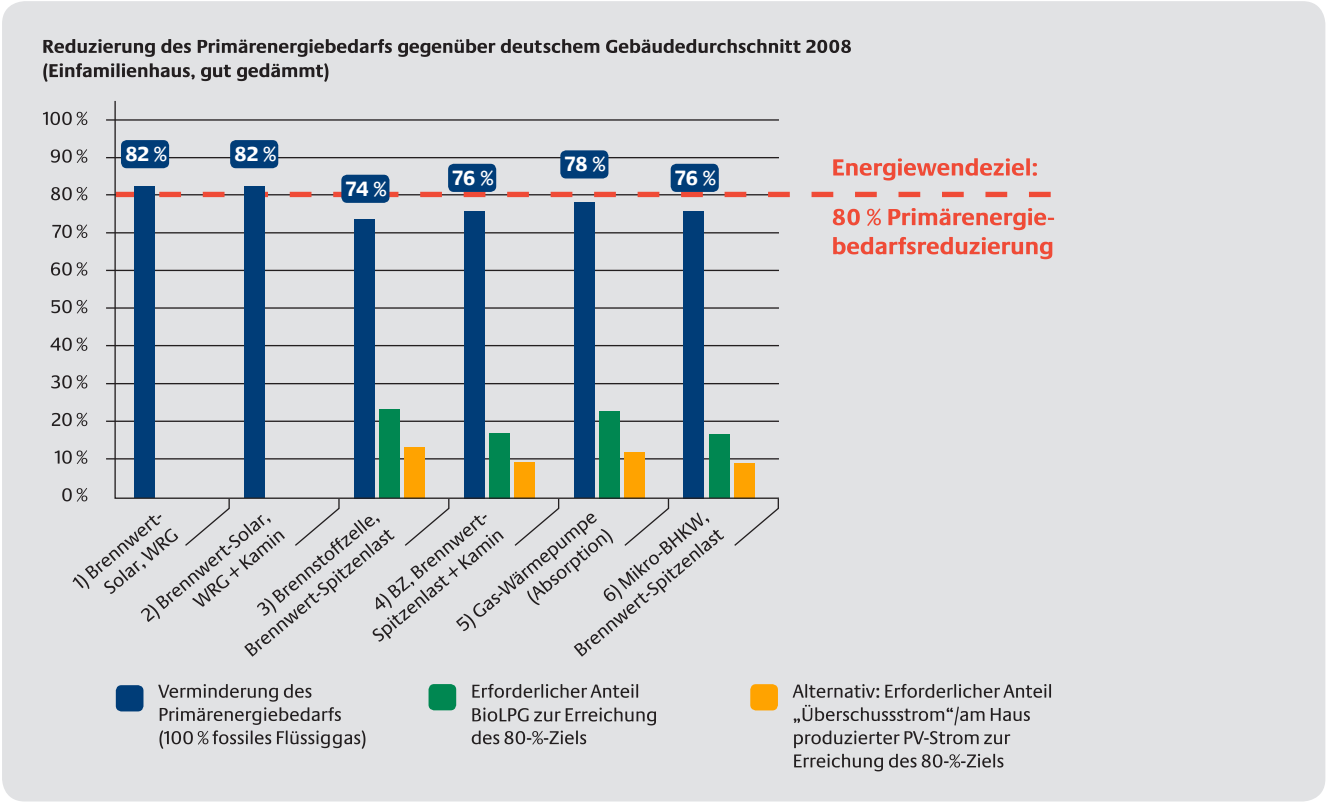


Abbildung 23: Reduzierung Primärenergiebedarf Einfamilienhaus, gut gedämmt

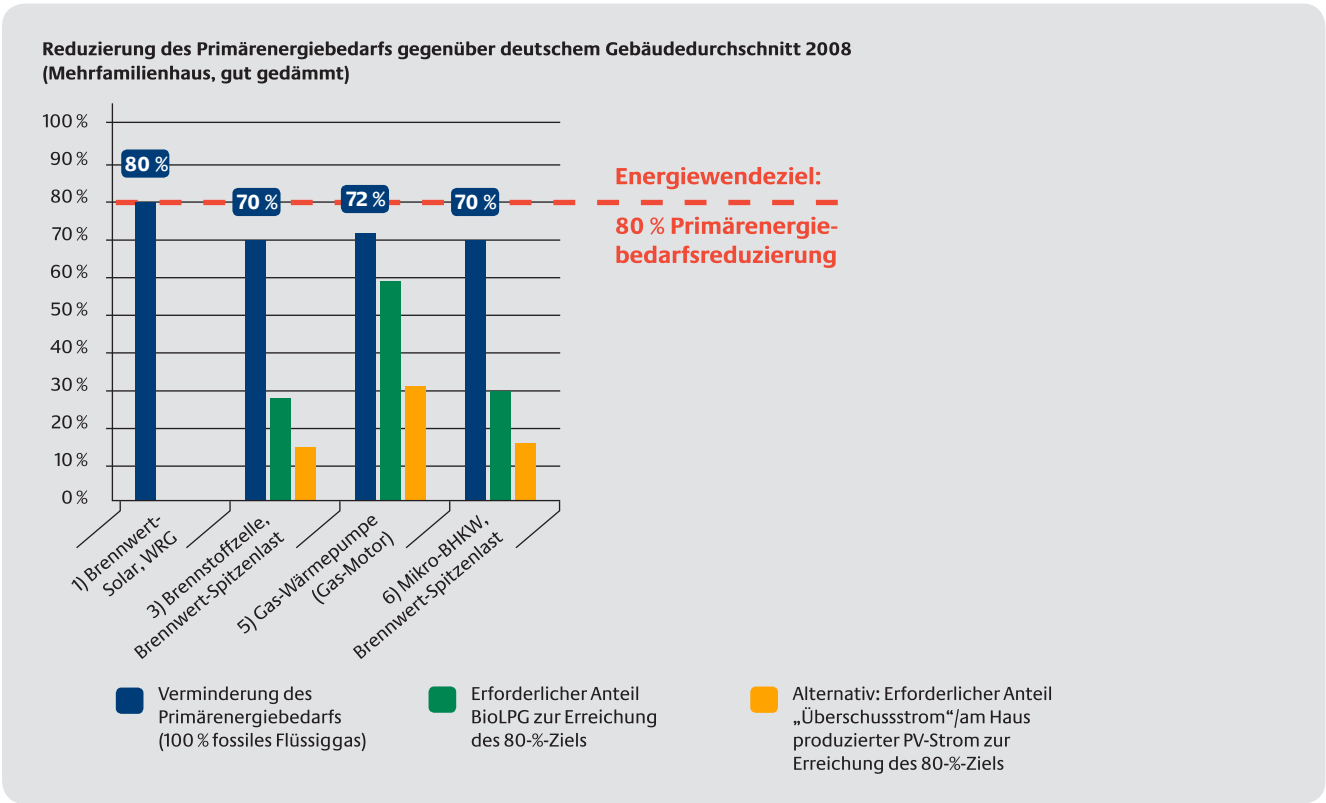


Abbildung 24: Reduzierung Primärenergiebedarf Mehrfamilienhaus, gut gedämmt