

Universität Stuttgart
IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

Forschungsbericht für

bdew

Energie. Wasser. Leben.

Wirtschaftliche Realisierungschancen bei der Flexibilisierung von erdgas- spezifischen Anwendungen im Wärmemarkt

Martin Steurer

Nikolai Klempf

Thomas Haasz

Kai Hufendiek

November 2017

Impressum

Herausgeber

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.

Reinhardtstr. 32

10117 Berlin

Bearbeiter

Dr.-Ing. Martin Steurer

Nikolai Klempp, Dipl.-Ing.

Dr.-Ing. Thomas Haasz

Prof. Dr.-Ing. Kai Hufendiek

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

Universität Stuttgart

Heißbrühlstr. 49a

70565 Stuttgart

Veröffentlichung: November 2017

**Wirtschaftliche Realisierungschancen bei der
Flexibilisierung von erdgasspezifischen
Anwendungen im Wärmemarkt**

- ergänzende Untersuchung auf Basis der Studie
„Beitrag des Gewerbes im Smart Market mit
Fokus auf erdgasspezifische Anwendungen“
-

Inhalt

MANAGEMENT SUMMARY	V
1 EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG	2
2 TYPISIERUNG DES HAUSHALTSWÄRMEMARKTES.....	4
3 AUSWAHL UND BESCHREIBUNG VON USE CASES.....	9
4 WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE	11
5 SCHLUSSFOLGERUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNG.....	20
ANHANG	22
A Zusatzinformationen zu Technologien und Eigentumsstruktur	22
B Charakteristika von P2H-Technologien mit geringer Leistung	24
LITERATURVERZEICHNIS.....	25

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1-1: Übersicht über das Vorgehen der Studie	2
Abbildung 2-1: Endenergieverbrauch für Wärme (ohne Kälte) im Haushaltssegment 2015 im Vergleich zu anderen Verbrauchssektoren	4
Abbildung 2-2: Übersicht über die Typisierung des Haushaltswärmemarkts	5
Abbildung 2-3: Verteilung von Gebäuden, Wohnungen und Wohnflächen auf die Gebäudetypen	6
Abbildung 2-4: Anzahl der Wohnungen in Deutschland nach Gebäudealter	6
Abbildung 2-5: Spezifischer Wärmebedarf in Abhängigkeit des Gebäudetyps und -alters	7
Abbildung 2-6: Wohnfläche in Abhängigkeit des Gebäudetyps und -alters	7
Abbildung 2-7: Absoluter Wärmebedarf in Abhängigkeit des Gebäudetyps und -alters	8
Abbildung 2-8: Durchschnittliche Zahl der Personen je Wohnung nach Gebäudetyp	8
Abbildung 4-1: Use Case FEH/RH: Wirtschaftlichkeit der Installation eines Heizstabs	12
Abbildung 4-2: Use Case MFH: Wirtschaftlichkeit der Installation eines Flanschheizkörpers	13
Abbildung 4-3: Use Case GMH: Wirtschaftlichkeit der Installation eines Flanschheizkörpers	13
Abbildung 4-4: Use Case FEH/RH: Beispiel für Wärmebereitstellung ohne Heizstab	17
Abbildung 4-5: Use Case FEH/RH: Beispiel für Nutzung von Power-to-Heat durch Einsatz eines Heizstabes	17
Abbildung 4-6: Use Case GMH: Einsatzstrategie BHKW bei konstanter KWK-Zulage	18
Abbildung 4-7: Use Case GMH: Einsatzstrategie BHKW bei KWK-Zulage nur in Stunden mit positivem Börsenstrompreis	18
Abbildung 0-1: Anzahl der Wohnungen in Deutschland nach Heizungstechnologie	22
Abbildung 0-2: Eigentumsstruktur des Wohnungsbestands inklusive Selbstnutzer	23
Abbildung 0-3: Heizungsart je Wohnungsbestand bei professionell-gewerblichen und privaten Anbietern	23

Tabellen

Tabelle 3-1: Definition der Use Cases	9
Tabelle 4-1: Kosten-Erlös-Übersicht der betrachteten Szenarien	15
Tabelle 0-1 Technologische Parameter und spezifische Investitionskosten für Power-to-Heat-Technologien im kleinen Leistungsbereich	24

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAPEX	Capital expenditure, Investitionsausgaben
Destatis	Statistisches Bundesamt
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPEX	European Power Exchange
FEH	Freistehendes Einfamilienhaus
GdW	Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.
GMH	Großes Mehrfamilienhaus
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
MFH	Mehrfamilienhaus
PV	Photovoltaik
P2H	Power-to-Heat
RH	Reihenhaus
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VBH	Volllastbenutzungsstunde(n)

Einheiten

kWh	Kilowattstunden
MWh	Megawattstunden
kW	Kilowatt
m²	Quadratmeter
h	Stunde
a	Jahr
ct	Eurocent

Management Summary

Die vorliegende ergänzende Untersuchung baut auf der Studie „Beitrag des Gewerbes im Smart Market mit Fokus auf erdgasspezifische Anwendungen“ auf und ergänzt diese um zwei wesentliche Aspekte: Zum einen wird eine Analyse relevanter Strukturmerkmale des Wärmemarkts im Bereich privater Haushalte mit Blick auf Flexibilitätstechnologien durchgeführt. Zum anderen erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der relevantesten Flexibilitätstechnologien für ausgewählte Use Cases. Im Ergebnis können Schlussfolgerungen aus vertrieblicher Sicht und in Bezug auf den regulatorischen Rahmen gezogen werden, der die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung maßgeblich beeinflusst.

Für die Bewertung von Erschließungschancen für Flexibilitätstechnologien im Wärmemarkt privater Haushalte ist eine geeignete Segmentierung wesentlich. Dazu relevante Strukturmerkmale sind beispielsweise Gebäudetyp und -alter, Wohnfläche, Bewohnerzahl, Heizungstechnologie und Eigentümerstruktur.

Besonders vielversprechende Potentiale liegen in der Neuinvestition von Power-to-Heat-Systemen in Ergänzung zu bestehenden erdgasbasierten Zentralheizungen in professionell bewirtschafteten Wohngebäuden. Dabei bestehen deutliche Unterschiede bezüglich erschließbarer Leistungen und spezifischer Kosten in Abhängigkeit von Niveau und Struktur des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs.

Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsberechnung macht deutlich, dass Größe im Sinne einer hohen Leistung der Power-to-Heat-Technologie grundsätzlich einen ökonomischen Vorteil bietet. Bei kleinen Leistungsklassen von bis zu 10 kW stehen dem gegenüber jedoch Kostenvorteile durch einfache Schalttechnik. Maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Flexibilitätstechnologien sind neben den nutzerseitigen Randbedingungen die anbieterseitigen Voraussetzungen bezüglich Steuerung und Installation sowie die Vermarktungsmöglichkeiten, die entscheidend vom regulatorischen Rahmen abhängen.

Grundsätzlich zeigt die Analyse, dass bei den getroffenen Rahmenannahmen mit dem Vermarktungsansatz „Spotmarkt“ unter der Voraussetzung eines angepassten regulatorischen Rahmens Investitionen in Power-to-Heat-Technologien über ihre Lebensdauer bereits refinanziert werden können. Dabei wird deutlich, dass der bestehende hohe „Sockel“ an staatlich induzierten Abgaben und Umlagen in den Arbeitsentgelten des Stroms derzeit ein Hemmnis für eine verstärkte Sektorkopplung durch Power-to-Heat und entsprechende Geschäftsmodelle darstellt.

1 Einführung und Zielsetzung

In der öffentlichen Diskussion zur Energiewende spielen private Haushalte eine zentrale Rolle. Der Trend zur dezentralen Energieversorgung und zum Zusammenwachsen von Strom- und Wärmeerzeugung sowie Strom- und Wärmenutzung erfordert neue, flexible Lösungsmöglichkeiten zur Systemintegration. Die im Februar 2016 veröffentlichte Studie „Beitrag des Gewerbes im Smart Market mit Fokus auf erdgasspezifische Anwendungen“ (Steurer et al. 2016) zeigte technische Möglichkeiten und gesamtwirtschaftliche Potentiale zur Nachfrageflexibilisierung von erdgasspezifischen Anwendungen speziell für das Segment Gewerbe, Handel und Dienstleistungen auf. Die vorliegende ergänzende Untersuchung zu dieser Studie erweitert die Betrachtung um den Wärmemarkt der Verbrauchergruppe Haushalte und leitet die Wirtschaftlichkeit flexibler Wärmeanwendungen anhand geeigneter Use Cases ab. Ziel ist dabei die Gewinnung eines besseren Verständnisses für konkrete wirtschaftliche Realisierungschancen für Flexibilitätstechnologien im Haushaltswärmemarkt.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine Analyse in vier Stufen durchgeführt. Abbildung 1-1 gibt eine Übersicht über das Vorgehen.



Abbildung 1-1: Übersicht über das Vorgehen der Studie

Zunächst wurde eine Typisierung des Wärmemarkts mit Fokus auf Haushalten durchgeführt (Kapitel 2). Dabei wurden Haushalte anhand geeigneter Strukturmerkmale geclustert und ein Mengengerüst bezüglich flexibilisierbarer, erdgasspezifischer Wärmeanwendungen im Haushaltssegment gebildet. Auf dieser Basis wurden geeignete Use Cases definiert und in einen Anwendungskontext eingeordnet (Kapitel 3). Anhand dieser Use Cases wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt und ausgewertet (Kapitel 4). Aus den Ergebnissen

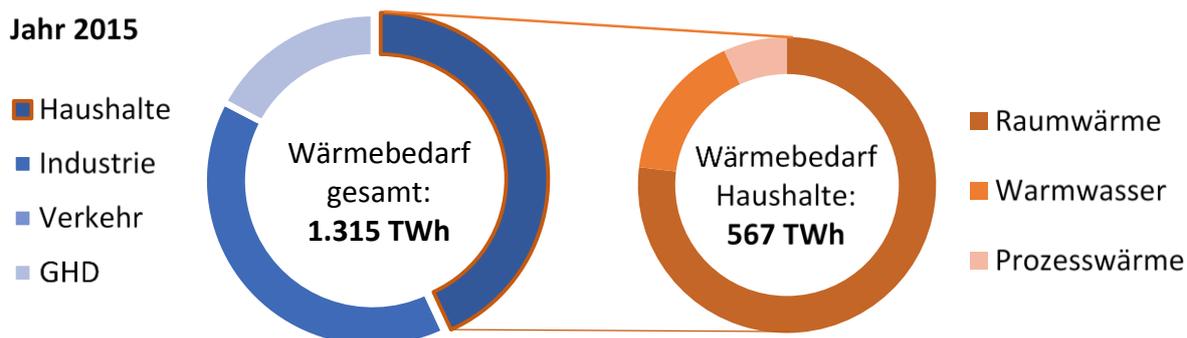
dieser Untersuchung konnten schließlich Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen in Bezug auf den regulatorischen Rahmen und Marktchancen für Energielieferanten abgeleitet werden (Kapitel 5).

Für die erfolgreiche Vermarktung von Flexibilitätstechnologien spielen die Eigentumsstrukturen von Wohnimmobilien eine relevante Rolle. Die vorliegende Untersuchung fokussiert prinzipiell aufgrund der möglichen Skaleneffekte auf das Segment der Wohnungswirtschaft mit professionellen Anbietern. Der verbleibende Wohnungsmarkt mit Selbstnutzern und privaten Vermietern wird jedoch im ermittelten Mengengerüst miterfasst, sodass die für die Wohnungswirtschaft durchgeführten Analysen grundsätzlich übertragen werden können.

In Bezug auf verfügbare Flexibilitätstechnologien wurden in Steurer et al. 2016 eine Reihe von Optionen erfasst und analysiert – beispielsweise „Flex-Kessel“ und „Gas-to-Cold“. Bei der darin beschriebenen Potential- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gaben diese Optionen jedoch ein sehr heterogenes Bild ab. In der vorliegenden Untersuchung wird daher auf die beiden Flexibilitätstechnologien mit den günstigsten Charakteristika fokussiert. Dies ist zum einen die Option Power-to-Heat mit einem elektrischen Widerstandserhitzer, der zusätzlich zu einer bestehenden erdgasbasierten Wärmebereitstellungstechnologie (Brennwertkessel) installiert wird und – ergänzt um ggf. notwendige Warmwasserspeicher und Steuerungssysteme – für eine flexible bivalente Fahrweise eingesetzt werden kann. Zum anderen wird die mögliche Flexibilisierung der Fahrweise von Kraft-Wärme-Kopplungs(KWK)-Anlagen wie Blockheizkraftwerken (BHKW) betrachtet. Der Einsatz dieser Flexibilitätstechnologien kann der gezielten Ausnutzung von Preisschwankungen, Möglichkeiten zur Eigenverbrauchsoptimierung, Reservevermarktung oder Bewirtschaftung von Netzengpässen dienen.

2 Typisierung des Haushaltswärmemarktes

Das Haushaltssegment weist von allen Verbrauchssektoren in Deutschland den höchsten Wärmebedarf auf. Im Jahr 2015 lag der Anteil am Endenergieverbrauch für Wärme bei 43 % (vgl. Abbildung 2-1). Von den 567 TWh Wärmebedarf (ohne Kälte) im Haushaltssegment war ein dominanter Anteil von 93 % auf den Raumwärme- und Warmwasserbedarf zurückzuführen. Die vorliegende Studie konzentriert sich daher auf diese beiden Bereiche.



GHD – Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Abbildung 2-1: Endenergieverbrauch für Wärme (ohne Kälte) im Haushaltssegment 2015 im Vergleich zu anderen Verbrauchssektoren (Datenquelle: BMWi 2017)

Der Wärmebedarf und die damit einhergehenden Möglichkeiten für eine wirtschaftliche Nutzung von Flexibilitätstechnologien sind dabei je nach Verbrauchertyp sehr heterogen. Daher wird im ersten Schritt eine Typisierung des Haushaltswärmemarkts anhand geeigneter Strukturmerkmale durchgeführt. Auf Basis dieser Typisierung wird ein Mengengerüst aufgebaut, das die Grundlage für die Auswahl geeigneter Use Cases in Kapitel 3 darstellt.

Bei der Bewertung von Flexibilisierungspotentialen im Haushaltswärmemarkt spielen im Wesentlichen die drei Kriterien Wärmebedarf, Heizungstechnologie und Eigentumsstruktur eine Rolle. Entsprechend wurde das methodische Vorgehen angelegt, wie Abbildung 2-2 verdeutlicht. Darin dargestellt ist eine Übersicht über das detaillierte Vorgehen bei der Typisierung und Ermittlung der für die Analyse notwendigen Mengengerüste.

Entsprechend des dargestellten Vorgehens wird im Folgenden auf die Ermittlung des Mengengerüsts ‚Wärmebedarf‘ für Raumwärme und Warmwasser in deutschen Haushalten eingegangen. Bezüglich Heizungstechnologie und Eigentumsstruktur wurde für die vorliegende Untersuchung eine Vorauswahl getroffen (vgl. S. 8). Im Anhang A auf S. 21 f. finden sich als zusätzliche Information Auswertungen des deutschen Wohnungsbestands bezüglich der genutzten Heizungstechnologien und der Eigentumsstruktur.

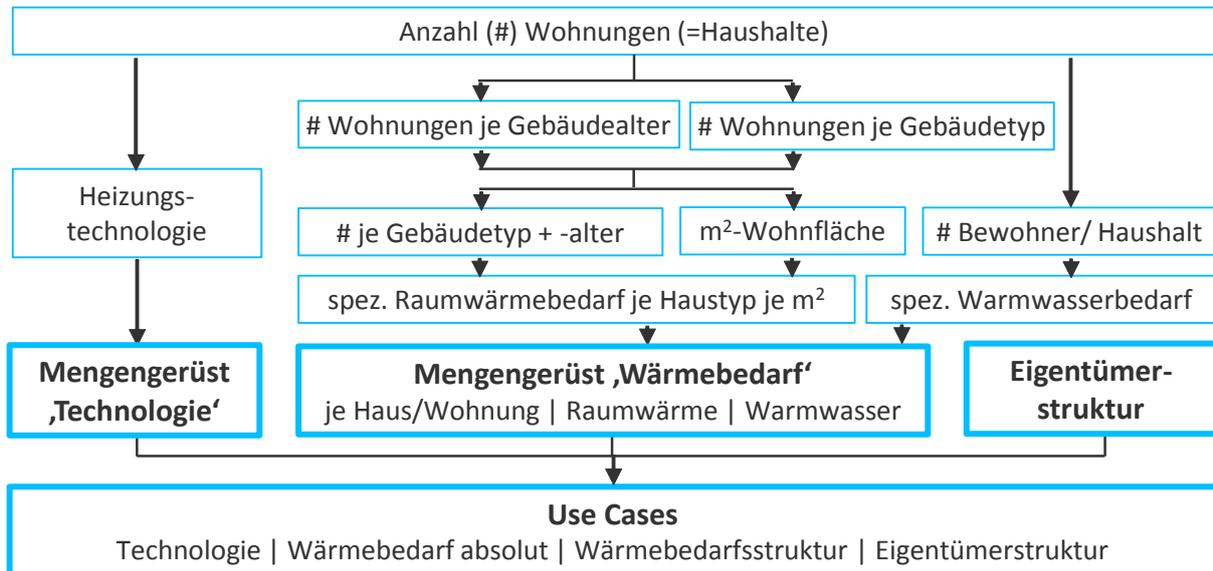


Abbildung 2-2: Übersicht über die Typisierung des Haushaltswärmemarkts

Der Raumwärmebedarf in Haushalten ist vor allem von folgenden Strukturmerkmalen abhängig:

- **Gebäudealter:** Jahrgang und Sanierungszustand eines Gebäudes haben wesentlichen Einfluss auf Wärmeverluste durch die Gebäudehülle
- **Gebäudetyp:** hier werden Einfamilienhäuser (FEH/RH) - unterteilt in freistehende Einfamilienhäuser (FEH) und Reihenhäuser (RH) -, Mehrfamilienhäuser (MFH) und große Mehrfamilienhäuser (GMH) unterschieden
- **Wohnfläche:** beeinflusst die Gebäudeaußenfläche
- **Außentemperatur:** bestimmt durch Standort und Witterung.

Der Warmwasserbedarf eines Haushaltes hängt dagegen hauptsächlich von der **Anzahl der Bewohner** und deren Verbrauchsverhalten ab. Für alle genannten Einflussfaktoren wird im Folgenden ein Mengengerüst mit Ausnahme der Außentemperatur dargestellt, die lokal sehr heterogen ist. Eine detailliertere Beschreibung dazu findet sich in Steuerer et al. 2016.

Gebäudetypen und Wohnflächen

Während freistehende Einfamilienhäuser mit einem Anteil von 10 Millionen die Anzahl der Gebäude im Wohnbestand dominieren, verschiebt sich das Gewicht bei Betrachtung der Zahl der Wohnungen. Hier findet sich mit 16,5 Millionen Wohnungen der größte Anteil in Mehrfamilienhäusern. Bei großen Mehrfamilienhäusern fällt die hohe Anzahl von 4,7 Millionen Wohnungen bei nur 0,2 Millionen Gebäuden auf, was einem Durchschnitt von 22 Wohnungen je Gebäude entspricht. Mit 1,5 Milliarden m² ist in freistehenden Einfamilienhäusern die größte

Wohnfläche zu finden (vgl. Abbildung 2-3), gefolgt von Mehrfamilienhäusern mit 1,2 Milliarden m², Reihenhäusern mit 0,6 Milliarden m² und großen Mehrfamilienhäusern mit 0,3 Milliarden m² (Loga et al. 2015).

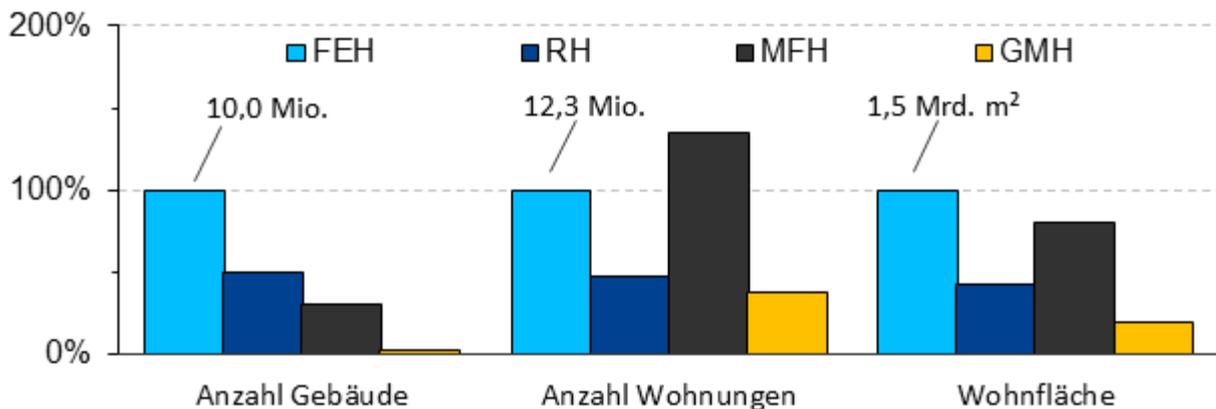


Abbildung 2-3: Verteilung von Gebäuden, Wohnungen und Wohnflächen auf die Gebäudetypen (Datenquelle: Loga et al. 2015)

Gebäudealter

Mit Blick auf die Altersstruktur der Gebäude wird deutlich, dass die Nachkriegsjahre 1949-1978 mit einem Anteil von 43,5 % den aktuellen Gebäudebestand dominieren (vgl. Abbildung 2-4). Hierbei fällt insbesondere die Dekade 1958-1968 mit ca. sieben Millionen Gebäuden ins Gewicht. Mit 17,9 % entfällt der zweithöchste Anteil am Gebäudebestand auf den Zeitraum 1979-1994, wobei hier insbesondere 1984-1994 mit ca. 4,5 Millionen Gebäuden im Bestand eine baustarke Dekade war. Auf die Bauzeiträume seit 1995 und vor 1949 entfallen vergleichsweise wenige Wohnungen (Loga et al. 2015).

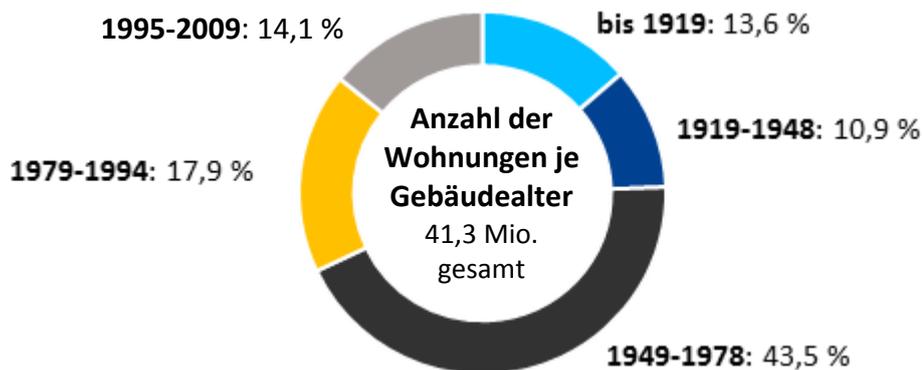


Abbildung 2-4: Anzahl der Wohnungen in Deutschland nach Gebäudealter (Datenquelle: Gesamtzahl der Wohnungen in Wohngebäuden nach Destatis 2016 abzüglich der Wohnungen in Wohnheimen)

Spezifischer und absoluter Wärmebedarf

Der spezifische Wärmebedarf je bewohnter Fläche nimmt tendenziell mit abnehmendem Gebäudealter und zunehmender Gebäudegröße ab. Dies verdeutlicht Abbildung 2-5, die den spezifischen Wärmebedarf in Abhängigkeit der verschiedenen Gebäudetypen und Altersklassen darstellt. Demnach weisen vor 1969 erbaute, freistehende Einfamilienhäuser den höchsten und nach 2001 erbaute Reihen- bzw. Mehrfamilienhäuser den niedrigsten spezifischen Wärmebedarf auf.

Realisierungschancen für Flexibilität im Wärmemarkt – Typisierung Haushaltswärmemarkt

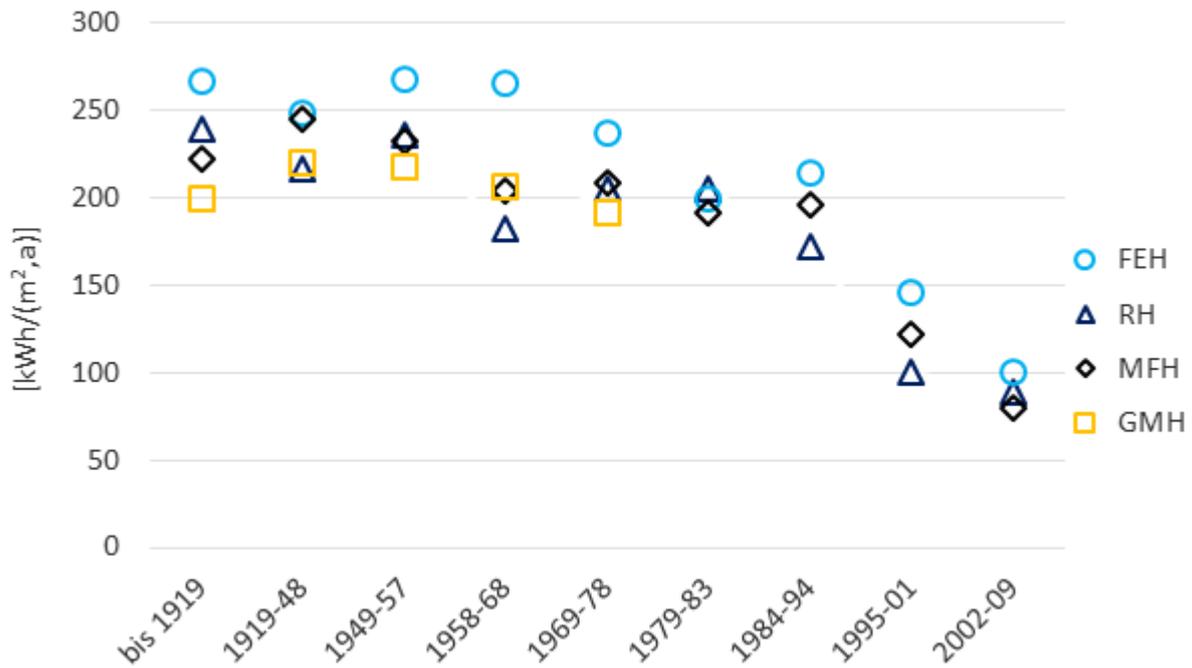


Abbildung 2-5: Spezifischer Wärmebedarf in Abhängigkeit des Gebäudetyps und -alters (Datenquelle: Loga et al. 2015)

Neben dem spezifischen Wärmebedarf je Wohnfläche ist die Wohnfläche je Gebäude für den absoluten Wärmebedarf je Gebäude maßgeblich. Abbildung 2-6 zeigt die Wohnflächen in Abhängigkeit von Gebäudetyp und -alter. Auffallend sind die sehr großen Wohnflächen bei großen Mehrfamilienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern von über 3.500 m² bzw. 2.800 m² je Gebäude der Dekade 1958-1968 sowie der Anstieg der Wohnflächen bei Mehrfamilienhäusern seit 2002.

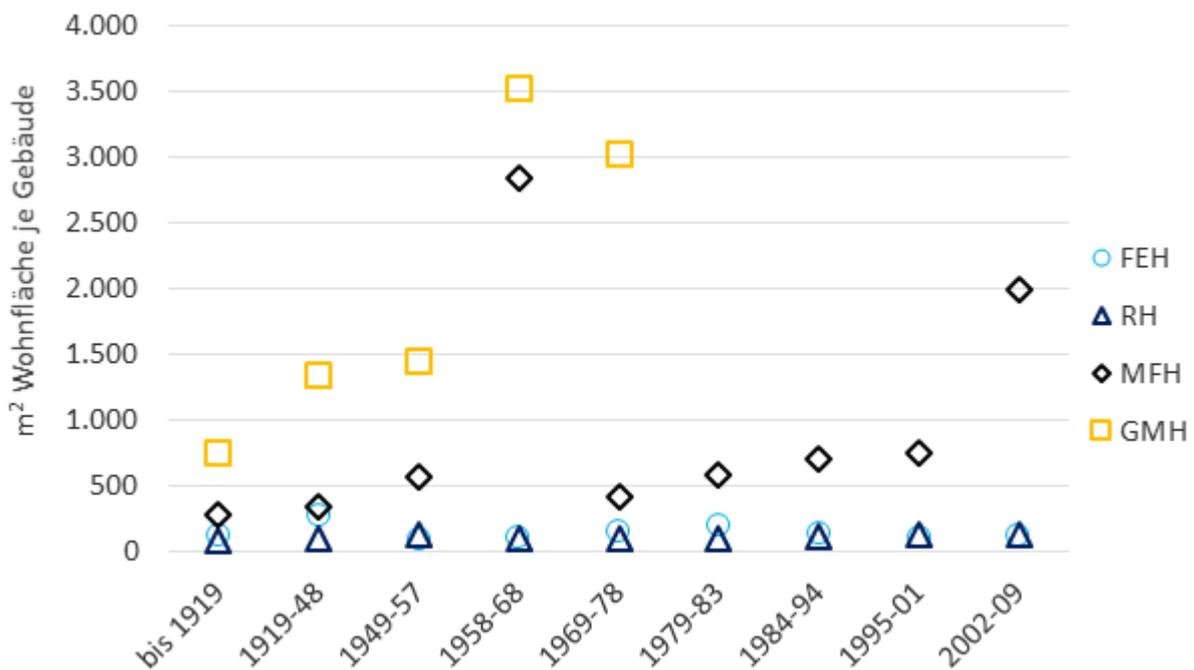


Abbildung 2-6: Wohnfläche in Abhängigkeit des Gebäudetyps und -alters (Datenquelle: Loga et al. 2015)

Durch Verknüpfen der Informationen zu spezifischem Wärmebedarf und Wohnflächen ergibt sich der in Abbildung 2-7 dargestellte absolute Wärmebedarf je Gebäudetyp und -alter. Besonders hohe Verbräuche weisen große Gebäude aus den Jahren vor 1979 auf (vgl. Loga et al. 2015).

Zusätzliche Informationen zu den für die Wärmeversorgung in Haushalten genutzten Technologien und Energieträgern sowie zu den Eigentumsstrukturen im deutschen Wohnungsbestand sind in Anhang A ab S. 21 zusammengestellt.

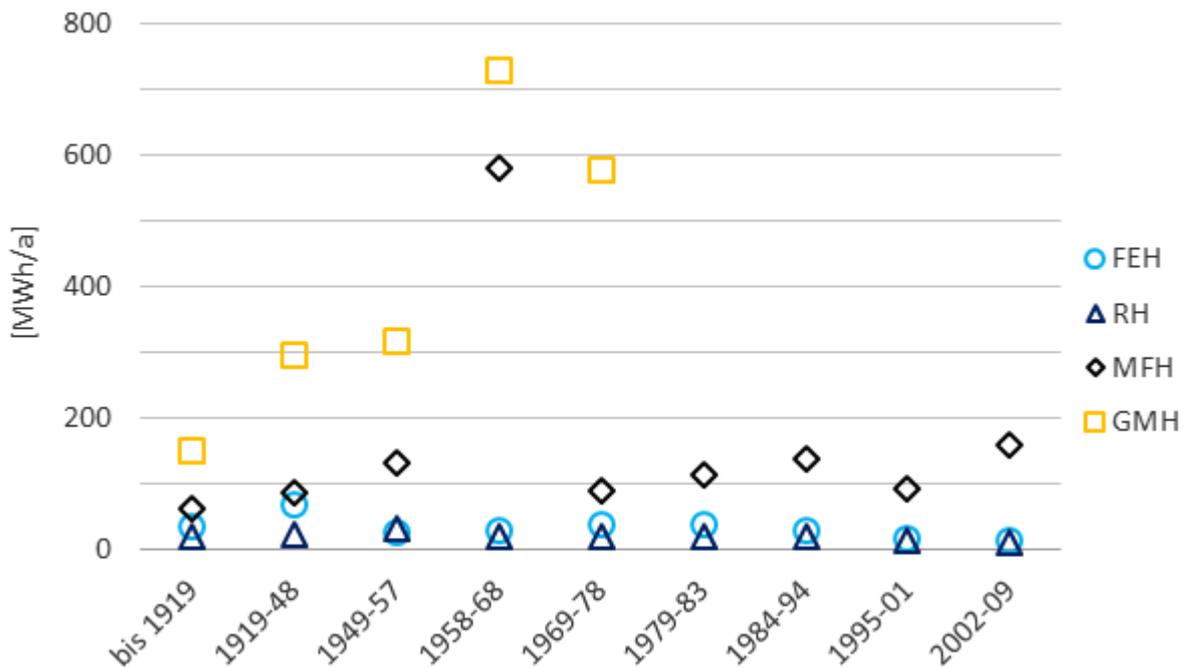


Abbildung 2-7: Absoluter Wärmebedarf in Abhängigkeit des Gebäudetyps und -alters (Datenquelle: Loga et al. 2015)

Bewohnerzahl

Für die Bemessung des Warmwasserbedarfs spielt die Bewohnerzahl eine wesentliche Rolle (vgl. DIN 4708). Die durchschnittliche Anzahl der Bewohner je Haushalt ist bei Einfamilienhäusern inklusive Reihenhäusern mit 2,5 am höchsten, bei großen Mehrfamilienhäusern mit 1,8 am geringsten (vgl. Abbildung 2-8).

Ø Zahl der Personen je Wohnung

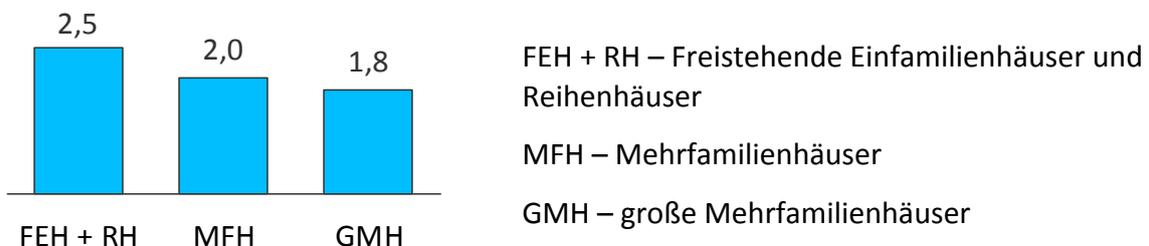


Abbildung 2-8: Durchschnittliche Zahl der Personen je Wohnung nach Gebäudetyp (Datenquelle: Loga et al. 2015)

3 Auswahl und Beschreibung von Use Cases

Auf Basis des beschriebenen Mengengerüsts werden drei Use Cases abgeleitet, die eine konkrete Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Investition und Nutzung von Flexibilitätstechnologien für realitätsnahe Beispiele erlauben. Tabelle 3-1 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Use Cases. Für alle drei Fälle wird die Flexibilitätstechnologie Power-to-Heat mit Widerstandserhitzer in Ergänzung zu einer bestehenden zentralen Wärmebereitstellung auf Basis eines Erdgas-Brennwertkessels betrachtet. Für den Fall des großen Mehrfamilienhauses (GMH) wird zusätzlich der flexible Betrieb eines bestehenden Blockheizkraftwerks (BHKW) betrachtet. Hinsichtlich der Eigentumsstruktur wird dabei jeweils von einem professionellen Anbieter aus der Wohnungswirtschaft ausgegangen.

Tabelle 3-1: Definition der Use Cases (Datenquelle: Loga et al. 2015)

Use Cases				
		FEH/RH	MFH	GMH
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	28	199	665
davon Warmwasser	MWh/a	3	19	60
Beispielhafte Zuordnung zu Typgebäuden				
Baujahr	-	1979-1983	1984-1994	1958-1968
Wohnfläche, beheizt	m ²	150	1.250	3.750
Vollgeschosse	#	2	4	8
Wohnungen	#	1	10	48
Personen, gesamt	#	4	20	86

Die wichtigste Unterscheidung der Use Cases betrifft den jährlichen Gesamtwärmebedarf. Dieser beeinflusst, neben der Wärmebedarfsstruktur, die mögliche Dimensionierung einer

Flexibilitätstechnologie und damit die Wirtschaftlichkeit. Basierend auf der Bestandsanalyse aus Kapitel 2 werden drei deutlich voneinander differenzierte Wärmebedarfsniveaus (bezogen auf Endenergie) ausgewählt, die in einem realitätsnahen Nutzungskontext stehen. Konkret werden die drei Wärmebedarfsniveaus 28 MWh/a, 199 MWh/a bzw. 665 MWh/a gewählt, wobei der Warmwasseranteil (11 %, 10 % bzw. 9 %) mit steigender Größe leicht abnimmt (vgl. Loga et al. 2015). Bezüglich der Wärmebedarfsstruktur werden nach dem Hellwig-Verfahren unterschiedliche Profile für Einfamilienhäuser einerseits und Mehrfamilienhäuser bzw. große Mehrfamilienhäuser andererseits unterschieden (Hellwig 2003, vgl. auch Steurer et al. 2016).

Die so definierten Use Cases können wie folgt in einen beispielhaften Anwendungskontext eingeordnet werden, der sich jeweils an vertrieblich relevanten Kriterien orientiert¹:

- Der **Use Case FEH/RH** mit 28 MWh/a Wärmebedarf repräsentiert ein Einfamilienhaus (freistehendes Einfamilienhaus oder Reihenhaus) des Zeitraums 1979-1983 mit vier Bewohnern und einer beheizten Wohnfläche von 150 m², die sich über zwei Stockwerke erstreckt.
- Für den **Use Case MFH** mit 199 MWh/a Wärmebedarf steht beispielhaft ein zwischen 1984 und 1994 gebautes Mehrfamilienhaus. Das Objekt mit 20 Bewohnern, verteilt auf zehn Mietparteien, hat eine beheizte Wohnfläche von insgesamt 1.250 m².
- Ein typisches Beispiel für den **Use Case GMH** mit einem sehr hohen Wärmebedarf von 665 MWh/a ist ein im Zeitraum 1958-1968 errichtetes großes Mehrfamilienhaus. Zu versorgen sind hier 86 Bewohner in 48 Wohnungen mit in Summe 3.750 m² Wohnfläche, die über ein zentrales Heizsystem beheizt wird. Unterschieden wird hier einerseits der Fall eines Erdgas-Brennwertkessels mit Option einer bivalenten Ergänzung durch eine Power-to-Heat-Technologie und andererseits der Fall eines Blockheizkraftwerks, dessen Betrieb flexibilisiert werden kann.

Die so definierten Use Cases sind ausschließlich beispielhaft zu verstehen. Die konkreten Annahmen und damit auch die Ergebnisse verschieben sich u. a. falls Sanierungsmaßnahmen mit Wärmedämmung o. ä. durchgeführt werden.

¹ Die konkret ausgewählten Use Cases im jeweiligen Anwendungskontext sind Ergebnis eines Workshops, der im März 2017 mit verschiedenen BDEW-Mitgliedsunternehmen durchgeführt wurde.

4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für die ausgewählten Use Cases wird im Folgenden eine Wirtschaftlichkeitsanalyse geeigneter Flexibilitätstechnologien beschrieben. Im Fokus steht dabei zunächst die Investition und Nutzung von Power-to-Heat-Anwendungen. D.h., zusätzlich zu einer bestehenden Erdgastechnologie zur Wärmebereitstellung wird ein elektrischer Wärmeerzeuger installiert und mit den notwendigen Steuerungskomponenten ausgestattet². Dieser kann in Situationen mit entsprechendem stromseitigem Preisanreiz vorübergehend die Erdgas-Wärmeerzeugung substituieren. Über die dadurch erzielte Einsparung kann die getätigte Investition refinanziert werden (vgl. Steurer et al. 2016).

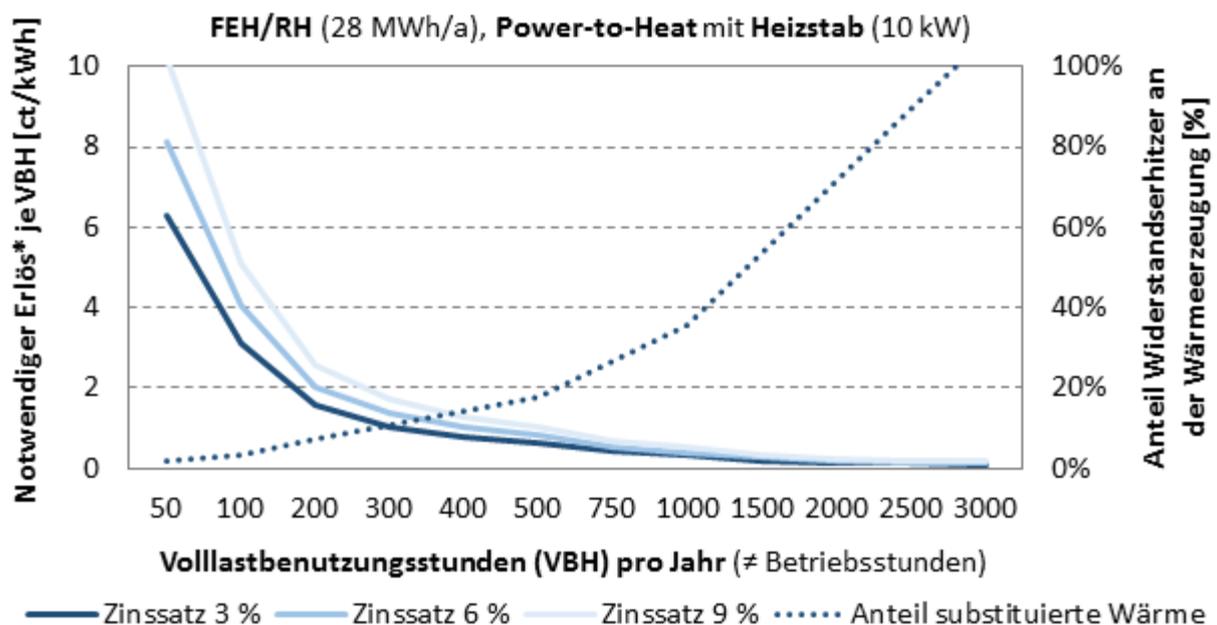
Als elektrische Wärmeerzeuger mit möglicher Eignung für eine wirtschaftliche Power-to-Heat-Anwendung kommen Heizstäbe und Flanschheizkörper in Frage. Aufgrund der Verfügbarkeit von Produkten am Markt wird in der vorliegenden Analyse bis zu einer Leistung von 10 kW mit Heizstäben und in größeren Leistungsklassen mit Flanschheizkörpern gerechnet. Da Flanschheizkörper einen Schaltschrank benötigen, wird dieser ab einer Leistung von 10 kW in den Investitionskosten berücksichtigt. Die technischen und ökonomischen Kenndaten dieser Technologien, speziell auch im niedrigen Leistungsbereich, wurden auf Basis einer Herstellerbefragung erhoben und sind in Anhang B auf S. 23 detailliert dargestellt.

Als erstes wesentliches Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigen die Abbildungen 4-1 bis 4-3, unter welchen Rahmenbedingungen die Investitionen für Power-to-Heat in den drei verschiedenen Use-Cases einen positiven Kapitalwert über der Lebensdauer erreichen. Dabei wird die Investition dann als rentabel angesehen, wenn die Investitions- und Fixkosten innerhalb der technischen Lebensdauer einschließlich einer vom Investor festgelegten Verzinsung (hier unterschieden 3 %, 6 % und 9 %) erwirtschaftet werden können. Je höher die Anzahl der mit der jeweiligen Technologie erzielbaren Vollastbenutzungsstunden (VBH) liegt, desto geringer muss der Erlös je VBH sein. Ein Erlös wird dann erzielt, wenn durch den Betrieb der Flexibilitätstechnologie Einsparungen bei einem sehr geringen oder negativen Strompreis, d.h. wenn ein Energieträger günstig zur Verfügung steht oder/und Zusatzerlöse durch Flexibilitätsvermarktung gegenüber dem Einsatz der Referenztechnologie (hier in allen Fällen Erdgas-

² Für die betrachteten Use Cases wird unterstellt, dass eine Nachrüstung bestehender Speicher problemlos möglich ist. Dies deckt sich mit Erfahrungen aus den durchgeführten Herstellerbefragungen.

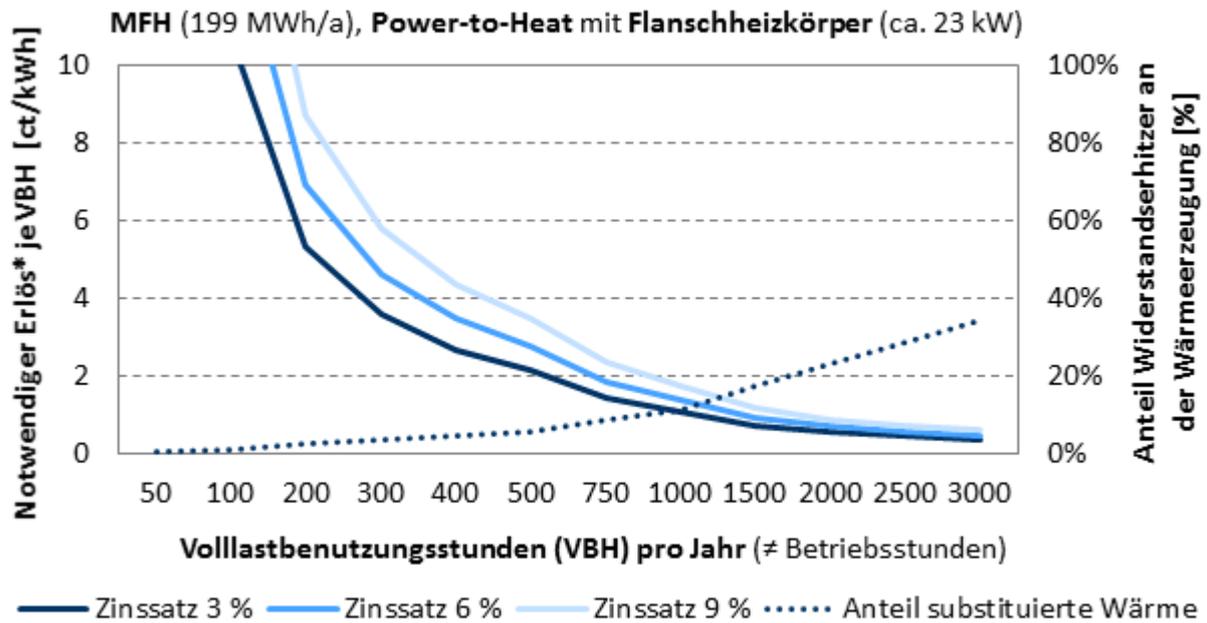
Brennwertkessel) erzielt werden. Die gestrichelte Linie in den Diagrammen ist jeweils der sekundären y-Achse zugeordnet und gibt Auskunft über den bei den jeweils vorliegenden VBH des Widerstandserhitzers substituierten Anteil der Wärmeerzeugung.

Deutlich erkennbar weist der Use Case Einfamilienhaus (FEH/RH, Abbildung 4-1) die günstigste Wirtschaftlichkeitscharakteristik auf, gefolgt von den Use Cases Großes Mehrfamilienhaus (GMH, Abbildung 4-3) und Mehrfamilienhaus (MFH, Abbildung 4-2). Dies liegt einerseits daran, dass für die Nutzung von Power-to-Heat im Use Case FEH/RH die Installation eines Heizstabs mit einer Leistung von maximal 10 kW ausreicht und somit die Investition in einen Schaltschrank entfällt. Für die Use Cases MFH und GMH sind dagegen Flanschheizkörper mit Schaltschrank zu installieren. Von diesem spezifischen Effekt abgesehen, bedeutet Größe im Sinne der Bezugsleistung des Widerstandserhitzers einen wirtschaftlichen Vorteil. So ist im Use Case GMH eine deutlich schnellere Amortisation möglich als im Use Case MFH.



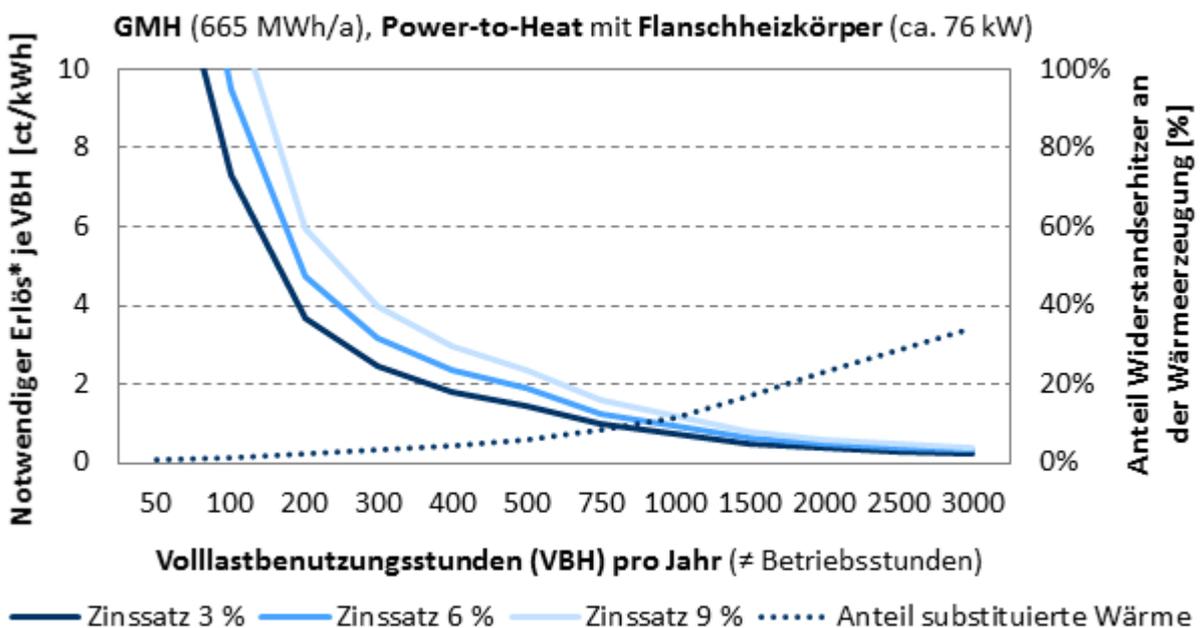
*Notwendiger durchschnittlicher Energieträgerpreisspread, um die Investition über ihre technische Lebensdauer zu finanzieren

Abbildung 4-1: Use Case FEH/RH: Wirtschaftlichkeit der Installation eines Heizstabs



*Notwendiger durchschnittlicher Energieträgerpreisspread, um die Investition über ihre technische Lebensdauer zu refinanzieren

Abbildung 4-2: Use Case MFH: Wirtschaftlichkeit der Installation eines Flanschheizkörpers



*Notwendiger durchschnittlicher Energieträgerpreisspread, um die Investition über ihre technische Lebensdauer zu refinanzieren

Abbildung 4-3: Use Case GMH: Wirtschaftlichkeit der Installation eines Flanschheizkörpers

Abbildung 4-1 zeigt beispielsweise auf, dass bei den gesetzten Annahmen eine Investition in einen Heizstab im Use Case FEH/RH bei angenommenen 450 Vollastbenutzungsstunden und einem kalkulatorischen Zinssatz von 3 % bei ca. 1 ct/kWh je VBH refinanziert werden kann. Für den Use Case MFH beträgt der analoge Wert ca. 2,5 ct/kWh und für den Use Case GMH ca. 1,7 ct/kWh. Im Fall des FEH/RH entsprechen 450 VBH einem vergleichsweise hohen substituierten Anteil der Wärmeerzeugung durch Power-to-Heat von etwa 16 %, da die Auslegung des Heizstabs an der 10 kW-Schwelle relativ zur Spitzenlast höher gewählt wird als bei MFH bzw. GMH, wo der analoge Wert jeweils bei knapp 5 % liegt.

Den gezeigten Charakteristika liegt die Annahme zugrunde, dass in allen Use Cases die Immobilien in den Händen professionell-gewerblicher Eigentümer liegen, die entsprechend günstig für die Montage sorgen können³. Insbesondere beim Use Case FEH/RH könnte sich ein deutlich höherer notwendiger Montageaufwand bei teuren Einzellösungen kritisch auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung auswirken.

Ergänzend zur dargestellten generischen Wirtschaftlichkeitsbewertung der unterschiedlichen Use Cases wurden beispielhafte Auswertungen anhand historischer Preise für Erdgas und Strom von 2016 durchgeführt. Im aktuellen regulatorischen Rahmen mit hohen statischen Belastungen des Haushaltsstrompreises durch Abgaben und Umlagen sowie in der Regel ganzjährig konstanten Tarifen besteht keine Möglichkeit, Erlöse durch Nutzung von Power-to-Heat in Zeiten niedriger Börsenstrompreise und damit eine entsprechende Substitution von Energieträgern zu erzielen. Daher werden beispielhaft folgende drei Szenarien analysiert, ob anders geartete stromseitige Preisanreize einen Business Case für Power-to-Heat unter o. a. Rahmenannahmen ermöglichen könnten:

- Das **Basiszenario**⁴ unterstellt die Annahme, dass Spotmarktpreise sowohl von Erdgas als auch von Strom direkt an die Haushaltskunden weitergegeben werden. Für Erdgas wird somit eine tägliche und für Strom eine stündliche Preisschwankung an den Verbraucher weitervermittelt. Der durchschnittliche Börsenpreis für Erdgas lag im Jahr 2016 bei 1,4 ct/kWh (GASPOOL Tagesreferenzpreis), der durchschnittliche Strompreis bei 2,9 ct/kWh (EPEX Spot Day-Ahead). Netzentgelte, Abgaben, Umlagen und Steuern werden nicht betrachtet. Somit handelt es sich um einen hypothetischen Fall, der die reine Energiesituation aufzeigt.
- In **Szenario A** wird für Erdgas entsprechend der heute tatsächlichen Situation von einem über das ganze Jahr konstanten Haushaltspreis mit allen Aufschlägen in Höhe von 6,8 ct/kWh ausgegangen. Für Strom wird hingegen analog zum Basiszenario eine direkte Weitergabe des Börsenstrompreises unterstellt, sodass für Strom Netzentgelte, Abgaben, Umlagen und Steuern entfallen. Auch dieses Szenario stellt einen hypothetischen Fall dar, der den Extremfall der Wettbewerbssituation zwischen Strom und Gas zu Gunsten von Strom abbildet.
- In **Szenario B** wird für Erdgas analog zu Szenario A ein konstanter Haushaltspreis angenommen. Bei Strom werden davon abweichend folgende Preiskomponenten auf den Börsenpreis aufgeschlagen: ein reduziertes Netzentgelt von 2,75 ct/kWh, eine reduzierte Konzessionsabgabe von 0,61 ct/kWh sowie die Stromsteuer mit 2,05 ct/kWh. Alle weiteren Aufschläge auf den Strompreis wie auch die EEG-Umlage entfallen. Auch

³ In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird mit folgenden Bedingungen gerechnet, die im konkreten Anwendungsfall erheblich abweichen können: Die Installation kann gemäß Herstellerangaben innerhalb von zwei Stunden durchgeführt werden. Die stündlichen Personalkosten für einen professionell-gewerblichen Anbieter werden mit 30 € angenommen. Hinzu kommen Materialkosten in Höhe von 17 % der Investitionskosten. Diese Bedingungen sind für einen Selbstnutzer oder privaten Kleinanbieter unrealistisch, sodass hier mit deutlichen Mehrkosten kalkuliert werden muss.

⁴ Die definierten Szenarien sind Ergebnis eines Workshops, der im März 2017 mit verschiedenen BDEW-Mitgliedsunternehmen durchgeführt wurde.

Realisierungschancen für Flexibilität im Wärmemarkt – Wirtschaftlichkeitsanalyse

dieses Szenario ist zunächst hypothetisch, hat jedoch einige Ähnlichkeiten mit im politischen Umfeld diskutierten Optionen zu Neuregelungen von Umlagen und Abgaben.

Die Szenarien A und B entsprechen angenommenen Rahmenseetzungen, die nicht dem Wert der Flexibilität an den Großhandelsmärkten für die Energieträger entsprechen. Dieser wird im Basisszenario abgebildet.

Tabelle 4-1 zeigt die Ergebnisse der so durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnungen im Überblick. Dargestellt sind für jeden der drei betrachteten Use Cases die installierte elektrische Leistung P_{el} des Widerstandserhitzers, die dazu notwendigen Investitionskosten inklusive Hardware und Montage sowie die realisierbaren jährlichen Einsparungen und substituierte Wärmeerzeugung in den drei beschriebenen Szenarien. Die zugrundeliegenden Kostenannahmen wurden auf Basis von Herstellerangaben getroffen.

Zur Einordnung: Die jährlichen Kosten für Erdgas zur Wärmebereitstellung liegen für das Jahr 2016 ohne Power-to-Heat-Einsatz für das Einfamilienhaus (FEH/RH) mit 28 MWh/a Wärmebedarf bei 1.921 €, für das Mehrfamilienhaus (MFH) mit 199 MWh/a bei 13.667 € und für das große Mehrfamilienhaus (GMH) mit 665 MWh/a bei 45.619 €.

Tabelle 4-1: Kosten-Erlös-Übersicht der betrachteten Szenarien (Eigene Berechnungen mit Kostenannahmen auf Basis von Herstellerangaben)

		P_{el} [kW]	Invest [€]	Jährliche Einsparung [€/a]			Substituierte Wärme					
				Basis	A	B	Absolut [MWh]			Prozentual [%]		
							Basis	A	B	Basis	A	B
	FEH /RH	10	362	53	1.377	62	5	28	6	16	100	21
	MFH	23	3.484	140	6.504	190	14	146	21	7	73	11
	GMH	76	8.061	468	21.736	634	46	487	70	7	73	11

Basisszenario: Spotmarktpreis Erdgas und Strom; **Szenario A:** Konstanter Haushaltspreis Erdgas, Spotmarktpreis Strom; **Szenario B:** wie Szenario A zuzüglich reduziertem Netzentgelt, reduzierter Konzessionsabgabe und Stromsteuer bei Strom; **Bezugsjahr:** 2016

Im Vergleich der drei Use Cases zeigt sich hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit⁵ deutlich die Reihenfolge Einfamilienhaus (FEH/RH) vor großem Mehrfamilienhaus (GMH) und Mehrfamilienhaus (MFH), was aufgrund der in den Abbildungen 4-1 bis 4-3 dargestellten Investitionscharakteristika zu erwarten war. Im Vergleich der drei Szenarien fällt auf, dass in Szenario B der Einsatz und entsprechend die Wirtschaftlichkeit der Power-to-Heat-Technologien etwas höher als im Basisszenario liegt. Im Fall des Use Cases FEH/RH kann in Szenario B beispielsweise durch Substitution von rund einem Fünftel der Wärmeerzeugung eine jährliche Einsparung in Höhe von rund einem Sechstel der Investitionskosten erzielt werden. Dieses Ergebnis ist stark sensitiv gegenüber weiteren regulierten Strompreiskomponenten, die in der beispielhaften Betrachtung berücksichtigt oder weggelassen werden können. Dies verdeutlicht Szenario A,

⁵ d.h. Verhältnis der möglichen jährlichen Einsparung zu den Investitionskosten bzw. zu den jährlichen Heizkosten bei den o. a. Rahmenannahmen

in dem aufgrund des im Vergleich zum Gaspreis sehr günstig angenommenen Strompreises bis fast 100 % der Wärmeerzeugung durch Power-to-Heat substituiert wird und dadurch ein Vielfaches der Investitionskosten in nur einem Jahr erlöst werden kann.

Die beschriebenen Einsparungen gehen auf die Nutzung der jeweiligen Power-to-Heat-Option in Zeiten niedriger Strompreise zurück, wodurch in diesen Zeiten teurerer Brennstoffverbrauch vermieden werden kann. Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 verdeutlichen dieses Einsatzschema beispielhaft für den Use Case Einfamilienhaus. Abbildung 4-4 zeigt als Referenzfall den Einsatz eines Erdgas-Brennwertkessels zur Deckung der Raumwärme- und Warmwassernachfrage eines Haushalts im Jahresverlauf (im Schaubild abgebildet sind die 8760 Stunden des Kalenderjahres), wobei keine Power-to-Heat-Technologie zur Verfügung steht. Der Einsatz des Brennwertkessels zur direkten Wärmebereitstellung ist in Abbildung 4-4 als blauer Balken eingetragen. Das Laden eines im Beispiel vorhandenen Wärmespeichers durch den Brennwertkessel ist mit hellgrauen Balken gekennzeichnet. Dunkelgraue Balken symbolisieren die Wärmebedarfsdeckung durch Entladen des Wärmespeichers. Der Einsatz des Wärmespeichers richtet sich im Beispiel von Abbildung 4-4 nach dem historischen Spotmarktpreis für Erdgas von 2016 mit täglich variierendem Preismuster, d. h. es wird hypothetisch davon ausgegangen, dass ein Erdgas-Preissignal vom Verbraucher für einen optimierten Einsatz des Brennwertkessels genutzt werden kann.

In Abbildung 4-5 ist der analoge Fall der Wärmebereitstellung in einem Einfamilienhaus abgebildet, wobei ein Heizstab mit 10 kW Leistung als Power-to-Heat-Technologie zur Verfügung steht. Die direkte Wärmebedarfsdeckung durch den Heizstab ist mit orangenen Balken, das Laden des Wärmespeichers durch den Heizstab mit gelben Balken gekennzeichnet. Der Einsatz des Heizstabs erfolgt immer dann, wenn der stündlich aufgelöste historische Spotmarktpreis für Strom von 2016 einen Kostenvorteil im Vergleich zum gleichzeitigen Erdgas-Spotpreis induziert, wobei die einsatzrelevanten Wirkungsgrade der Technologien Brennwertkessel und Heizstab berücksichtigt werden. Dies war im Basisszenario in 535 Stunden des Jahres 2016 der Fall, entsprechend 456 Vollastbenutzungsstunden des 10 kW-Heizstabs. Wie in Tabelle 4-1 dargestellt, können auf diese Weise durch Einsatz des Heizstabs 16 % der Wärmeerzeugung durch den Brennwertkessel substituiert werden. Dadurch ergibt sich auf Basis der vorgegebenen Rahmenannahmen eine jährliche Kosteneinsparung von 53 €, mit der ca. 15 % der Investitionskosten erwirtschaftet werden können.

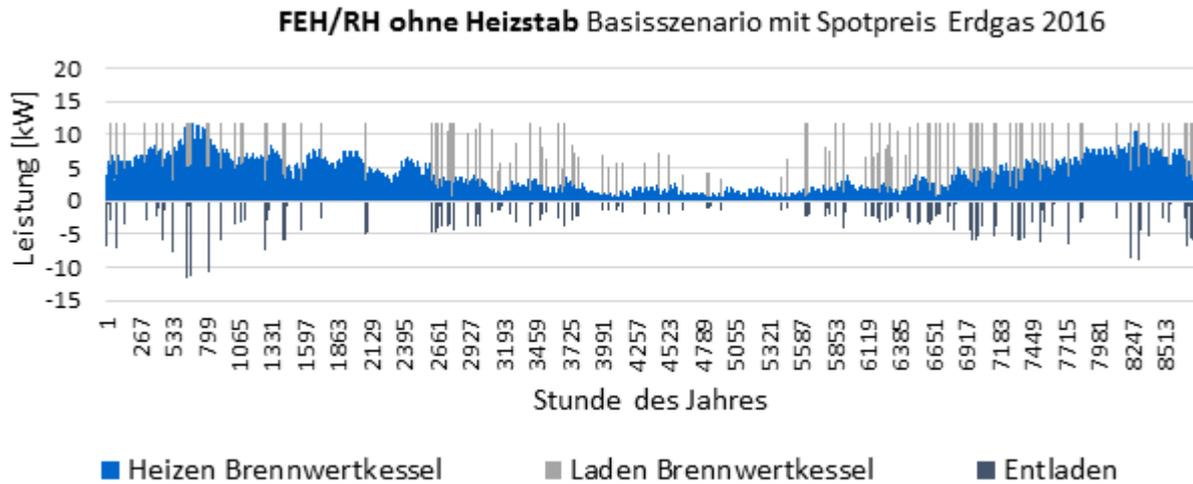


Abbildung 4-4: Use Case FEH/RH: Beispiel für Wärmebereitstellung ohne Heizstab (Basisszenario)

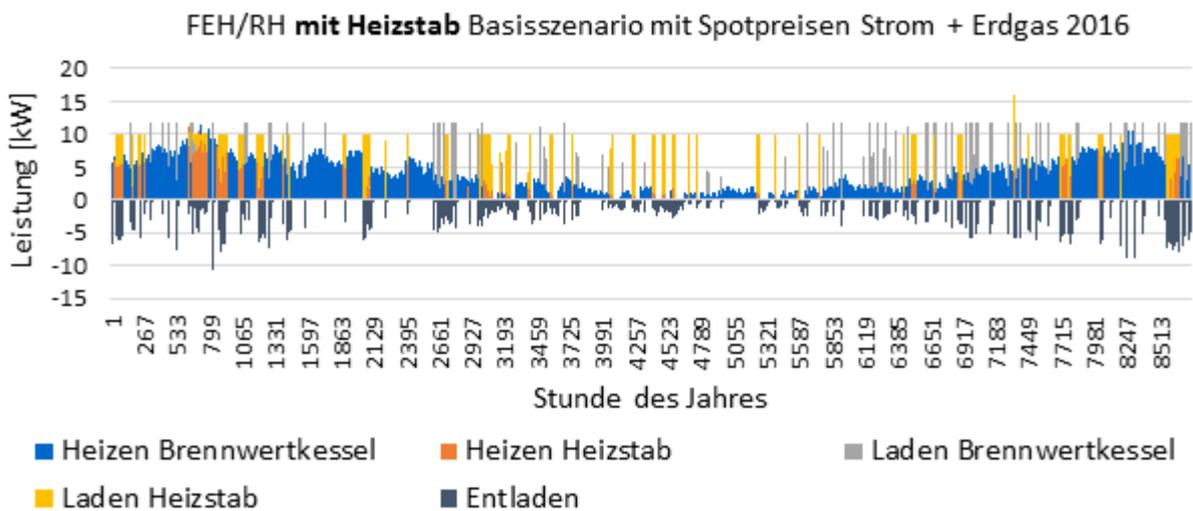


Abbildung 4-5: Use Case FEH/RH: Beispiel für Nutzung von Power-to-Heat durch Einsatz eines Heizstabes mit 10 kW Leistung (Basisszenario)

Für den Use Case Großes Mehrfamilienhaus wird neben dem Einsatz von Power-to-Heat die Flexibilisierung eines Blockheizkraftwerks (BHKW) als Flexibilitätstechnologie betrachtet. Dabei steht nicht die Entscheidung über eine Investition in ein neues BHKW zur Deckung des Wärme- und Strombedarfs im Fokus, sondern die Anpassung der Fahrweise eines bestehenden BHKW. Wie aus Steurer et al. 2016 deutlich hervorgeht, besteht bei konstanter Einspeisevergütung für KWK-Anlagen kein Anreiz für eine zeitliche Flexibilisierung der Fahrweise eines BHKW in Reaktion auf ein Strompreissignal. In Blockheizkraftwerken in Haushalten sind daher typischerweise Steuerungen implementiert, die keine Reaktion auf ein externes Preissignal vorsehen.

Einen bedingten Anreiz zur KWK-Flexibilisierung geben Neuregelungen durch das Anfang 2016 in Kraft getretene Gesetz zur Neuregelung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG), nach denen die KWK-Vergütung bei Spotmarktpreisen kleiner oder gleich Null ausgesetzt wird (vgl. § 7 Abs. 7 KWKG). In Kombination mit einem Pufferspeicher und einer geeigneten Steuerung lässt sich die BHKW-Fahrweise so anpassen, dass Stromeinspeisung nur in Zeiten positiver

Spotmarktpreise und somit mit Einspeisevergütung erfolgt. Dazu sind jedoch Investitionen in die Steuerung notwendig, die bereits in Steurer et al. 2016 quantifiziert wurden.

Die möglichen Effekte einer Umstellung der BHKW-Betriebsstrategie unter Berücksichtigung der genannten Neuregelung nach KWKG 2016 verdeutlichen beispielhaft die Abbildungen 4-6 und 4-7. Jeweils dargestellt ist das Einsatzverhalten eines BHKW in einem großen Mehrfamilienhaus in den letzten neun Tagen des Jahres 2016 (Stunden 8545 bis 8760). Die Deckung des lokalen Wärmebedarfs durch das BHKW ist mit blauen Balken gekennzeichnet, die Eigennutzung von Strom aus dem BHKW mit hellgrauen Balken. Gelbe Balken kennzeichnen die Netzeinspeisung von KWK-Strom. Das Laden eines vorhandenen Wärmespeichers durch das BHKW wird durch orangene Balken, das Entladen des Speichers zur Wärmebedarfsdeckung durch dunkelgraue Balken symbolisiert. Der Unterschied zwischen den beiden Schaubildern liegt in der Einsatzstrategie in Zeiten von Strompreisen kleiner oder gleich Null.

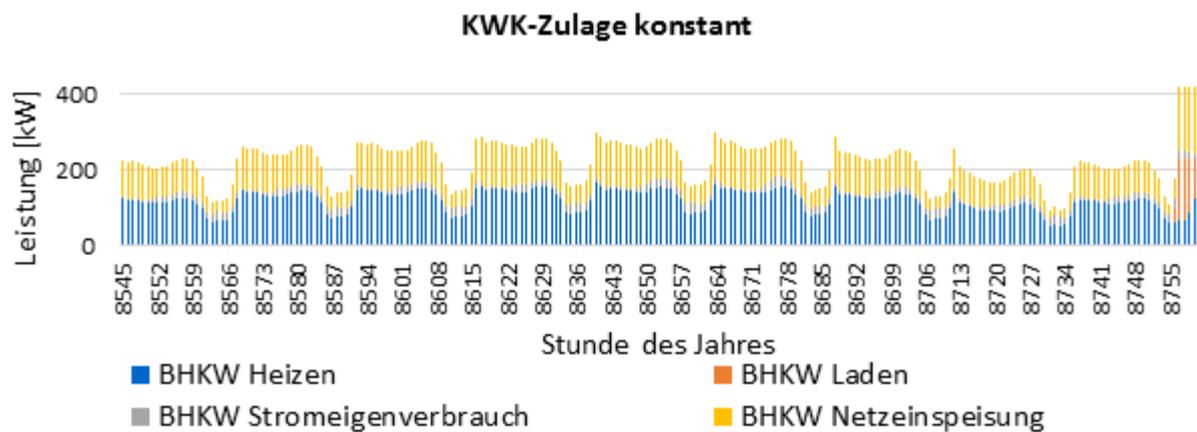


Abbildung 4-6: Use Case GMH: Einsatzstrategie BHKW bei konstanter KWK-Zulage nach KWKG 2012 (Basisszenario)

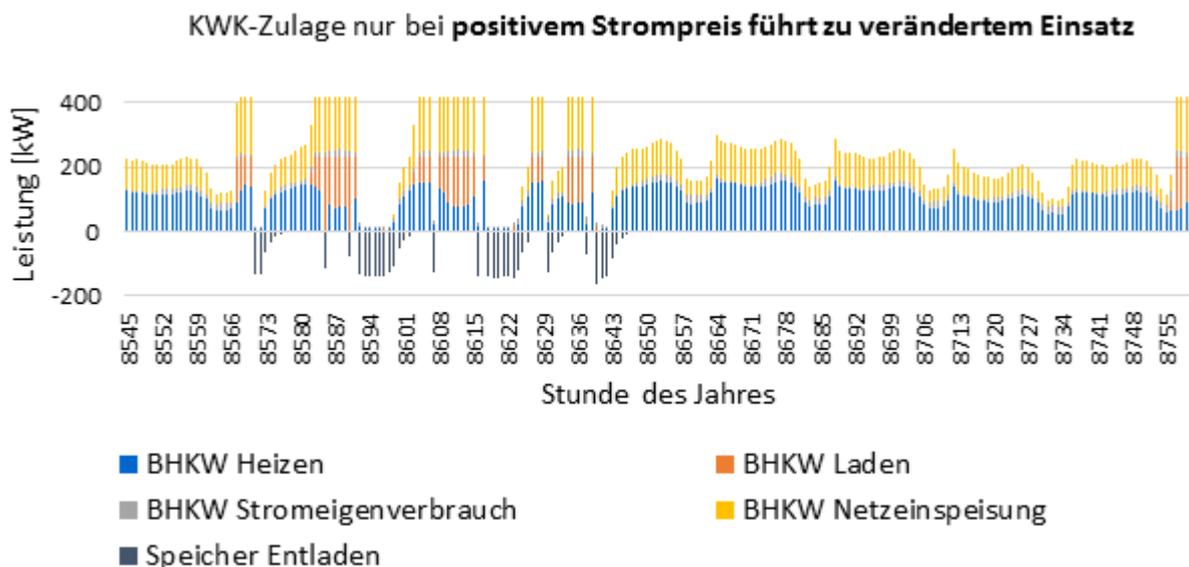


Abbildung 4-7: Use Case GMH: Einsatzstrategie BHKW bei KWK-Zulage nur in Stunden mit positivem Börsenstrompreis nach KWKG 2016 (Basisszenario)

Deutlich erkennbar gibt es in Abbildung 4-6 keinerlei Anpassungen der Fahrweise, während im Laufe der Weihnachtsfeiertage und der beiden Folgetage (Stunden 8571 bis 8647) 35 mal negative Börsenpreise auftreten. In Abbildung 4-7 wird dies dagegen durch eine entsprechende Steuerung berücksichtigt. Im Jahr 2016 kam es in 98 Stunden zu negativen Spotmarktpreisen (EPEX Spot), was für den Beispielfall einen Mehrerlös von maximal 331 €⁶ durch Anpassung der Betriebsstrategie eingebracht hätte. Der genannte Mehrerlös liegt für die oben gesetzten Rahmenannahmen in einer Größenordnung von 50-70 % der in Tabelle 4-1 dargestellten Einsparungen, die bei geeigneten regulatorischen Bedingungen durch den Einsatz von Power-to-Heat-Technologien erzielt werden können.

Dabei wird einerseits unterstellt, dass das Betriebsverhalten der KWK-Anlage keine Auswirkung auf den Strompreis hat, was bei den betrachteten Kleinanlagen im Haushaltsbereich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit der Fall ist. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass eine entsprechende Steuerung in der Realität ggf. nicht in jeder Situation mit Börsenstrompreisen kleiner oder gleich Null diese – wie hier unterstellt – präzise vorab prognostizieren und das Betriebsverhalten der Anlage entsprechend danach ausrichten könnte.

⁶ KWK-Anlage ausgelegt auf 177 kW_{el} bei einem Jahreswärmebedarf von 665 MWh/a. Der genannte Betrag ergibt sich aus der Netzeinspeisung, die im Vergleich zum in Abbildung 4-6 gezeigten Fall aus Stunden mit einem Börsenstrompreis kleiner oder gleich Null in Stunden mit positivem Börsenstrompreis verlagert werden konnte, multipliziert mit der KWK-Vergütung von 5 ct/kWh für diese Anlagengröße – abzüglich des durch den vermehrten Einsatz des Pufferspeichers mit entsprechenden Wärmeverlusten anfallenden Mehraufwands für Erdgas.

5 Schlussfolgerung und Handlungsempfehlung

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen aus vertrieblicher Sicht

Power-to-Heat

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, dass bei den getroffenen Rahmenannahmen mit dem Vermarktungsansatz „Spotmarkt“ unter der Voraussetzung eines angepassten regulatorischen Rahmens Investitionen in Power-to-Heat-Technologien über ihre Lebensdauer bereits refinanziert werden können. Die Ergebnisse sind dabei sensitiv bezüglich des angenommenen Montagepreises. Für eine finanziell lukrative Installation von Power-to-Heat-Anlagen ist daher die Erreichung eines günstigen Konzepts für die Installation erfolgskritisch.

Neben der Nutzung von günstigen Spotmarktpreisen könnte auch die Eigennutzung von Strom aus Photovoltaik (PV)-Anlagen, für die unter bestimmten Voraussetzungen schon heute die Befreiung von Netzentgelten, Abgaben, Umlagen und Steuern gilt, einen Business Case bilden. Auch die Teilnahme an Regelleistungsmärkten könnte eine weitere Option darstellen, die jedoch erhöhte technische Investitionen erfordert. Eine weitere Option, Erlöse zu erzielen, die sich gegebenenfalls in Zukunft durch Schaffung entsprechender Produkte ergeben könnte, ist die Bewirtschaftung von Verteilnetzkapazitäten.

Bezüglich des Anwendungsfalls Eigenstromnutzung ist zu bemerken, dass hierzu in der Regel modulierende Widerstandserhitzer notwendig sind, die ihr Leistungsniveau variabel auf Teillastniveaus fahren können. Dies ist in der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht berücksichtigt und würde zu entsprechenden Mehrkosten bei der Investition führen. Ebenso würden bei einer gewünschten Regelleistungsvermarktung je nach geforderter Produktqualität zusätzliche Investitionen in geeignete Steuerungssysteme anfallen. Insbesondere in Einfamilienhäusern stellen neben finanziellen Anreizen die Aspekte Autonomie bzw. Autarkie sowie der durch Power-to-Heat leistbare Beitrag zur Energiewende ein wesentliches Entscheidungskriterium dar.

Im Vergleich den betrachteten Use Cases zeigt sich, dass für eine wirtschaftliche Investition in Power-to-Heat grundsätzlich Größe von Vorteil ist, da die spezifischen Investitionskosten mit steigender Geräteleistung abnehmen. Eine Ausnahme bildet hier jedoch der Bereich der Heizstäbe in der Leistungsklasse bis 10 kW, die für Power-to-Heat in Einfamilienhäusern genutzt werden können, da hier die für Flanschheizkörper in höheren Leistungsklassen notwendige Leistungselektronik mit den damit verbundenen Mehrkosten entfällt.

Flexibler KWK-Betrieb

Für bestehende Blockheizkraftwerke in Mehrfamilienhäusern ergab die Analyse, dass eine Umstellung der Steuerungslogik auf eine Vermeidung der Stromnetzeinspeisung in Zeiten von Börsenstrompreisen kleiner oder gleich Null eine sinnvolle Investition darstellen kann. Hintergrund ist die Anfang 2016 in Kraft getretene Novellierung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes, die eine KWK-Vergütung nur noch in Zeiten positiver Börsenstrompreise vorsieht. Mit einer geeignet angepassten Steuerung lassen sich unter Ausnutzung eines typischerweise vorhandenen Pufferspeichers entsprechend Mehrerlöse durch Verlagerung der Netzeinspeisung in Zeitfenster mit KWK-Vergütung erzielen.

Eine weitere mögliche Erlösquelle für den flexiblen Betrieb von KWK-Anlagen im Zusammenspiel mit Power-to-Heat-Technologien stellt die neue Regelung nach § 13 Abs. 6a EnWG dar. Diese soll helfen, die abzuregelnde Stromeinspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien zu vermindern, indem den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) ein zusätzliches Potential für Netzengpassmanagement (Redispatch) aus KWK-Bestandsanlagen zur Verfügung gestellt wird. Dabei stehen zunächst windkraftreiche Gebiete im Norden Deutschlands mit entsprechenden Netzproblemen im Vordergrund. Die Regelung sieht vor, dass die ÜNB mit den Betreibern bestehender KWK-Anlagen in einer zukünftig zu definierenden Netzausbauregion in Norddeutschland Durchführungsverträge abschließen und die Anlagen ähnlich wie im Redispatch bei Netzengpässen heranziehen. Im Abruffall wird zur Engpassentlastung die mit fossilen Brennstoffen betriebene Wärme- und Strombereitstellung der KWK-Anlage reduziert. Die dadurch entgangene fossile Wärmeerzeugung wird durch elektrische Wärmeerzeugung aus einer dazu installierten Power-to-Heat-Anlage substituiert. Die anfallenden Aufwendungen für die Flexibilisierung der KWK-Anlage, d. h. für das Nachrüsten von Power-to-Heat-Anwendungen, werden von den ÜNB erstattet (BNetzA 2016).

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen in Bezug auf den regulatorischen Rahmen

Die Analysen zeigen deutlich, dass der bestehende hohe „Sockel“ an staatlich induzierten Abgaben und Umlagen in den Arbeitsentgelten des Stroms ein Hemmnis für eine verstärkte Sektorkopplung durch Power-to-Heat darstellt. Dadurch entfällt eine Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien aus Windkraft und Photovoltaik über den Stromsektor hinaus, um eine Dekarbonisierung auch im Wärmesektor voranzubringen. Die Nutzung von Power-to-Heat bietet überdies die Möglichkeit zur Flexibilisierung im Strombereich und somit eine potentiell kostengünstige Integration zukünftig weiter steigender Anteile fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung (vgl. Steurer et al. 2016). Ohne die Einflüsse der Netzentgelt-, Abgaben- und Umlagenstruktur wäre in vielen Fällen bereits in der Vergangenheit eine Wirtschaftlichkeit erreichbar gewesen. In Bezug auf eine effiziente Bewirtschaftung von Netzengpässen bei gleichzeitig verstärkter Sektorkopplung erscheint eine Ausweitung der oben beschriebenen Regelung nach § 13 Abs. 6a EnWG auf weitere betroffene Regionen sinnvoll. Durch den Abruf geeignet ertüchtigter KWK-Anlage kann im Fall lokaler Stromüberschüsse eine doppelte Entlastungswirkung erzielt werden: Die konventionelle Stromerzeugung durch die KWK-Anlage wird abgesenkt und gleichzeitig wird der Stromverbrauch durch Power-to-Heat-Anlagen entsprechend erhöht. Dieses Potential kann vergleichsweise günstig und schnell durch Nachrüsten von Power-to-Heat-Anlagen mit entsprechender Steuerung in KWK-Bestandsanlagen erschlossen werden.

Anhang

A Zusatzinformationen zu Technologien und Eigentumsstruktur

Im deutschen Wohnungsbestand sind Zentralheizungssysteme mit ca. 70 % Durchdringung die dominante Heizungstechnologie. Weit geringere Anteile entfallen auf Fernwärme, Etagenheizungen und weitere Technologien wie Einzel- oder Mehrraumöfen (Abbildung 0-1).

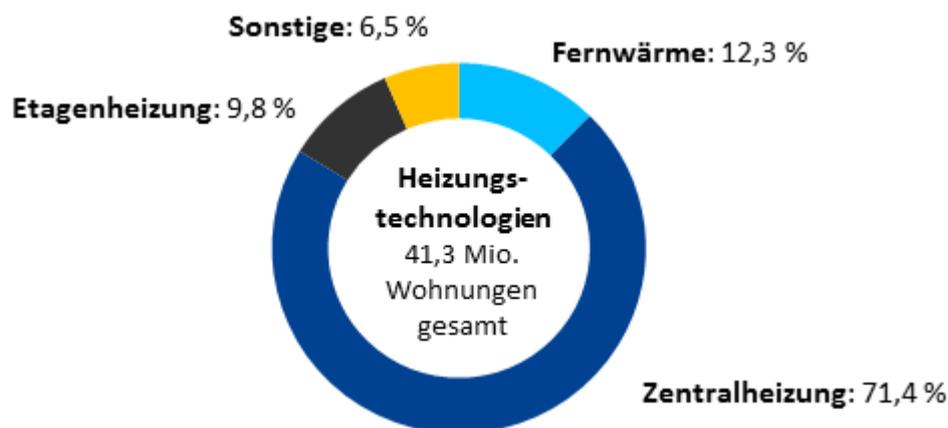


Abbildung 0-1: Anzahl der Wohnungen in Deutschland nach Heizungstechnologie (Datenquelle: Gesamtzahl der Wohnungen in Wohngebäuden nach Destatis 2016 abzüglich der Wohnungen in Wohnheimen, Verteilung auf Gebäudealter nach Destatis 2011)

Bezüglich der Eigentümerstruktur lassen sich drei große Eigentümergruppen unterscheiden: Selbstnutzer haben mit 43 % den höchsten Anteil am Wohnungsbestand, gefolgt von privaten Kleinanbietern und Amateurvermietern mit zusammen 37 % sowie professionell-gewerblichen Anbietern mit 20 % (Abbildung 0-2) (GdW 2015). Letztgenannte Gruppe hat zwar einen vergleichsweise kleinen Anteil an der Gesamtzahl der Immobilien, bietet aber aufgrund der typischerweise großen Objekte die größten vertrieblichen Potentiale.

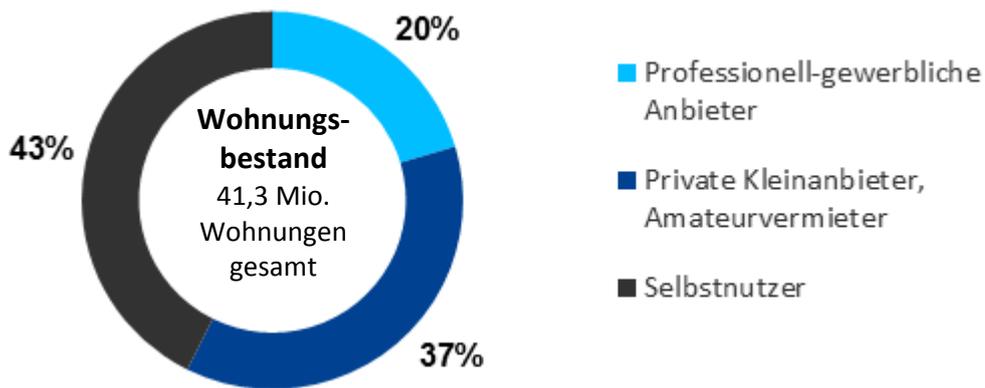


Abbildung 0-2: Eigentumsstruktur des Wohnungsbestands inklusive Selbstnutzer (Datenquelle: Gesamtzahl der Wohnungen in Wohngebäuden nach Destatis 2016 abzüglich der Wohnungen in Wohnheimen, Verteilung auf Anbieterstruktur nach GdW 2015)

Bei genauerem Blick auf die nach Eigentübertyp differenzierte Verteilung von Heizungstechnologien zeigt sich, dass Fernwärme bei professionell-gewerblichen Anbietern mit typischerweise großen Liegenschaften eine vergleichsweise sehr hohe Durchdringung von über 50 % hat. Bei privaten Kleinanbietern und Amateurvermietern liegt der Fernwärmeanteil dagegen nur bei 8 %. Fernwärmetechnologien liegen nicht im Fokus der vorliegenden Untersuchung.

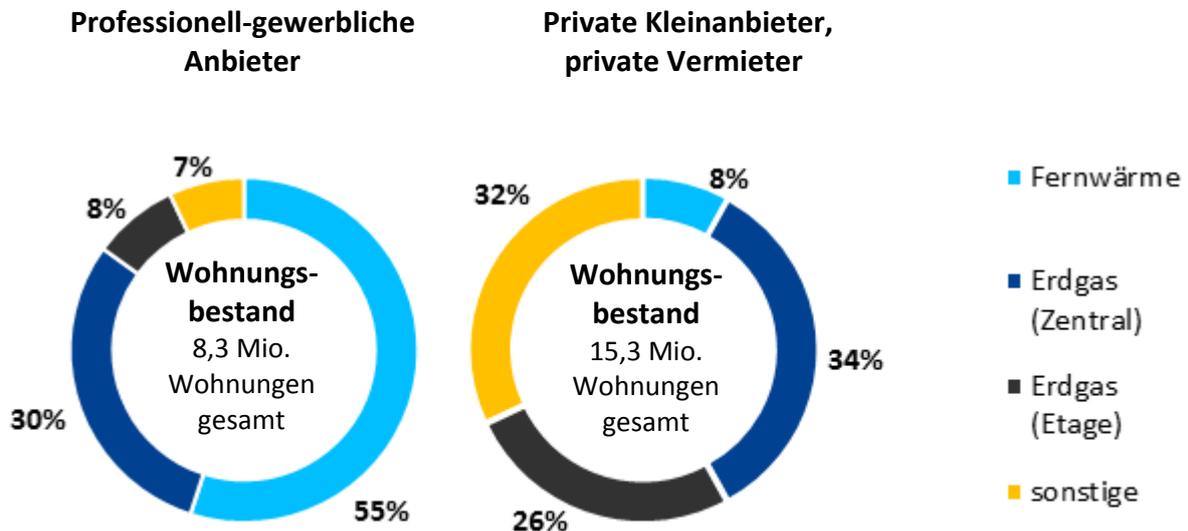


Abbildung 0-3: Heizungsart je Wohnungsbestand bei professionell-gewerblichen und privaten Anbietern (Datenquelle: Gesamtzahl der Wohnungen in Wohngebäuden nach Destatis 2016 abzüglich der Wohnungen in Wohnheimen)

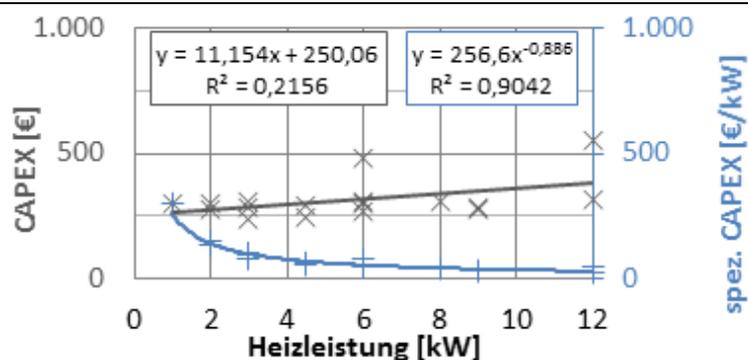
B Charakteristika von P2H-Technologien mit geringer Leistung

Die in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Power-to-Heat-Technologien liegen im Vergleich zu den in Steurer et al. 2016 erfassten Technologien teilweise in einem Bereich deutlich niedrigerer elektrischer Bezugsleistungen und daher in einem Randbereich der für die damalige Studie ermittelten Regressionsgeraden für Investitionskosten. Da die spezifischen Investitionskosten eine kritische Einflussgröße für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen darstellen, wurden daher für die vorliegende Untersuchung zusätzliche Herstelleranfragen speziell für kleine Leistungsbereiche durchgeführt, um die zugrundeliegenden Daten zu validieren. Konkret wurden aktuelle Kostendaten für Elektroflanschheizkörper, elektrische Heizstäbe, dazugehörige Speicher- und Steuerungstechnik einschließlich Hardware und Montage von fünf namhaften Herstellern abgefragt. Tabelle 0-1 zeigt die so ermittelten Regressionskurven für spezifische Investitionskosten für Power-to-Heat-Technologien im kleinen Leistungsbereich sowie die aus Steurer et al. 2016 bekannten technologischen Parameter.

Tabelle 0-1 Technologische Parameter und spezifische Investitionskosten für Power-to-Heat-Technologien im kleinen Leistungsbereich (Steurer et al. 2016, heatsystems 2017, Solarbayer 2017, Türk+Hilinger 2017, TWL 2017, Viessmann 2017)

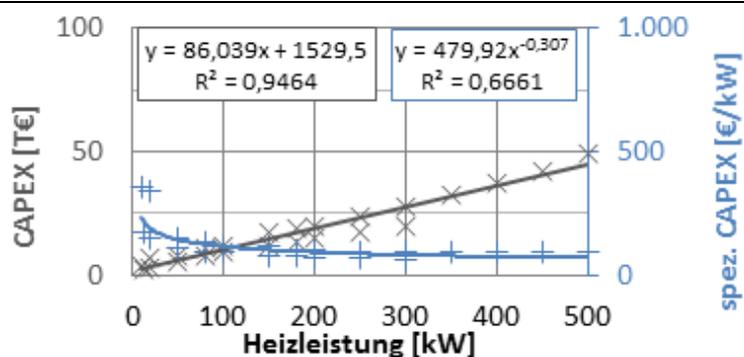
Elektroflanschheizkörper

Wirkungsgrad: 99 %
 techn. Lebensdauer: 20 a
 fixe Betriebskosten: 2 %



Elektrischer Heizstab

Wirkungsgrad: 99 %
 techn. Lebensdauer: 20 a
 fixe Betriebskosten: 2 %



Literaturverzeichnis

- BMWi 2017 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Energiedaten gesamt 2016. Berlin 2017.
- BNetzA 2016 Bundesnetzagentur: Workshop Zuschaltbare Lasten - Nutzen statt Abregeln nach § 13 Abs. 6a EnWG. Bonn 7. September 2016. Online abrufbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Veranstaltungen/Workshop%20Zuschaltbare%20Lasten_2016.html?nn=708190
- Destatis 2011 Statistisches Bundesamt: Zensus 2011 - Sonderauswertung Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum inklusive Wohnheime und sonstige Gebäude mit Wohnraum. Berlin 2011.
- Destatis 2016 Statistisches Bundesamt: Gebäude und Wohnungen, Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969-2015. Wiesbaden 2016.
- GdW 2015 Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V. Online abrufbar unter: <http://web.gdw.de/uploads/pdf/infografiken/15.10.2014/Anbieterstruktur.pdf>
- Hellwig 2003 Hellwig, M.: Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München. München 2003.
- heatsystems 2017 heatsystems GmbH & Co. KG: persönliche Kommunikation
- Loga et al. 2015 Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.: Deutsche Wohngebäudety-pologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden – zweite erweiterte Auflage. Darmstadt 2015.

Realisierungschancen für Flexibilität im Wärmemarkt – Literaturverzeichnis

Solarbayer 2017 Solarbayer GmbH: persönliche Kommunikation

Steurer et al. 2016 Steurer, M.; Klemp, N.; Haasz, T.; Fahl, U.; Hufendiek, K.: Beitrag des Gewerbes im Smart Market mit Fokus auf erdgasspezifische Anwendungen – Studie im Auftrag des Bundesverbands für Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Stuttgart, Berlin 2016.

Türk+Hillinger 2017 Türk und Hillinger GmbH: persönliche Kommunikation

TWL 2017 TWL Technologie GmbH: persönliche Kommunikation

Viessmann 2017 Viessmann Werke GmbH & Co. KG: persönliche Kommunikation