

# Roadmap Gas ++ „Versorgungsstrategien von Niedrigener- giehäusern in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energie- netze“

## Abschlussbericht

**Dr.-Ing. Matthias Werschy**

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg

**Dipl.-Ing. Frank Erler**

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg

**Dipl.-Ing. Sabine Feldpausch-Jägers**

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

**Dipl.-Ing. Eren Tali**

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

**Herausgeber**

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Straße 1–3

53123 Bonn

T +49 228 91885

F +49 228 9188990

[info@dvgw.de](mailto:info@dvgw.de)

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

# **Roadmap Gas ++**

## **„Versorgungsstrategien von Niedrig- energiehäusern in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energienetze“**

### **Abschlussbericht**

März 2019

DVGW-Förderkennzeichen G 201705



## Zusammenfassung

Die Hauptaussage des DVGW-Projektes Roadmap Gas++ „Versorgungsstrategien von Niedrigenergiehäusern in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energienetze“ besteht darin, Schlussfolgerungen zum notwendigen Ausbau von Versorgungsnetzstrukturen zukünftiger Niedrigenergiehaus-Siedlungen zu geben und somit eine effiziente und wirtschaftliche Energieversorgung zu ermöglichen. Für die Projektbearbeitung der Forschungsstellen waren gemäß der ursprünglichen Projektplanung folgende 5 Arbeitspakete relevant:

1. Analysen zum Stand der Technik und zu typischen Energiebedarfen
2. Untersuchungen zu möglichen Versorgungsstrategien
3. Analysen zu Betriebsweisen von Versorgungssystemen
4. Darstellung und Analyse möglicher Geschäfts- und Betriebsmodelle
5. Entwicklung von Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger

Im Rahmen des Projektes wurden damit mögliche Versorgungsstrategien für Wärme und elektrische Energie von Niedrigenergiehaus-Siedlungen näher betrachtet. Dabei erfolgten Analysen zur Nah- und Fernwärme- sowie zur Einzelversorgung der Gebäude, zu Einsatzmöglichkeiten von Gastechnologien und zu möglichen Betriebsweisen der Anlagenkonfigurationen aus Wärme- und Strombereitstellung. Im Projekt lag der Fokus auf dem Einfamilienhaus (EFH)-Sektor im Neubau. Folgende Ergebnisse wurden schwerpunktmäßig erarbeitet:

1. Rechenergebnisse zum Jahresprimär- und Endenergiebedarf sowie zu CO<sub>2</sub>-Emissionen für EFH und Niedrigenergiehaus (NEH)-Siedlungen nach EnEV 2014/EnEV 2016 sowie weiteren Energiestandards mit verschiedenen Beheizungstechnologien (Energieberater Professional 3D der Hottgenroth Software).
2. Ermittlung der Jahresgesamtkosten von dezentralen und zentralen Heiztechnologien im Neubau.
3. Hocheffiziente Regenerativ-/Strom-/Gas-/Wärme-Kombinationen (Gas-plus-plus-Strategien) sind einsetzbar.
4. Eine dezentrale Beheizung mit GBW-Technik und solarer TWE unterschreitet deutlich die EnEV 2016-Vorgaben für den Jahres-Primärenergiebedarf (70,2 kWh/m<sup>2</sup> a). Für eine Förderung (KfW-EH 55) müsste allerdings z. B. der GBW-Kessel im beheizten Bereich aufgestellt und mit einer Wärmerückgewinnungsanlage ausgestattet werden, Den KfW-EH 40-Standard erreichen ein Pelletkessel oder eine Luft-EWP mit PV-Unterstützung. Der Pelletkessel weist dabei die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf.
5. Bei einer Nah- bzw. Fernwärmeversorgung unterschreiten die Technologien KWK-fossil, KWK-EE und Heizwerk-EE die EnEV 2016 - Vorgaben weit und eine KfW-Förderung ist möglich. Bei einer Nah- bzw. Fernwärmeversorgung mit KWK-EE treten keine CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Das Nahwärmenetz sollte als Low-Ex-Netz mit möglichst niedrigen Netztemperaturen betrieben werden.
6. Auf Basis umfangreicher Analysen, Berechnungen und Kostenbetrachtungen konnten Wärmeversorgungstechnologien im Einfamilienhaus (Neubau) analysiert und diese im Hinblick auf den Primärenergiebedarf, die Investitionskosten, die Verbrauchs- und Betriebskosten sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet werden. Als Referenz wurde das Gas-Brennwertgerät mit Solarthermie verwendet.

Die gewonnenen FuE-Ergebnisse ermöglichten Kernaussagen zu Versorgungsnetzstrukturen zukünftiger Niedrigenergiehaus-Siedlungen und bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Analysen zum Stand der Technik und zu typischen Energiebedarfen von Niedrigenergiehäusern .....	2
2.1	Aktueller Bezug zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung .....	2
2.2	Energiestandards und Konzepte von Niedrigenergiehäusern .....	6
2.2.1	Begriffserläuterungen .....	6
2.2.2	Energiestandards und Energiebedarfe von Wohngebäuden, Energieausweis..	9
2.2.3	Energiehaus-Konzepte .....	13
2.2.4	Details zum Gebäudeenergiegesetz - GEG .....	14
2.3	Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern .....	17
2.3.1	Wärmeschutzmaßnahmen der Gebäudehüllen im Neubau .....	17
2.3.2	Wärmeversorgungsstruktur und eingesetzte Heiztechnologien im Neubau .....	18
2.4	Analysen zu Energiestandards von Gebäudetypen und -anordnungen .....	22
2.4.1	Analysen zu Energiestandards von neugebauten Einfamilienhäusern, (freistehend, Reiheneckhaus, Reihenmittelhaus) .....	23
2.4.2	Analysen zu Energiestandards einer Niedrigenergiehaus-Neubau-Siedlung ...	31
3	Untersuchungen zu möglichen zentralen und dezentralen Versorgungsstrategien .....	35
3.1	Anbindung von Niedrigenergiegebäuden an bestehende Netzstrukturen .....	35
3.1.1	Besonderheiten beim Anschluss an bestehende Netzstrukturen .....	35
3.1.2	Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Versorgungssysteme .....	38
3.1.3	Betrachtungen zur Zentral- oder Einzelwärmeversorgung dieser Objekte .....	39
3.2	Technologien zur Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung sowie Speichertechnologien in Nahwärmenetzen .....	41
3.2.1	Einsetzbare Technologien für dezentrale Nahwärmenetze .....	45
3.2.2	Speichertechnologien für Wärmenetze .....	50
3.2.2.1	Saisonale Langzeit-Wärmespeicher .....	51
3.2.2.2	Eisspeicher .....	56
3.2.2.3	Elektrochemische Energiespeicher .....	58
3.2.3	Optimale Bedarfsanpassung durch virtuelle Kopplung der Erzeugersysteme ..	59
3.2.4	Darstellung von möglichen dezentralen Verbindungen der Energienetze .....	60
3.3	Versorgungsstrategien für Neubausiedlungen mit E-Mobility-Option .....	62
3.3.1	Integration der Elektromobilität in zukünftige Versorgungsstrategien für Neubausiedlungen .....	62
3.3.2	Möglichkeiten der Eigenstromerzeugung mit E-Mobility-Option .....	65
3.3.3	Untersuchung der Kombination einer Erd- bzw. „Bioerdgas“-Versorgung mit KWKK (zentral/dezentral) zur regenerativen Eigenversorgung (Biogaszertifikate, Öko-Strom) insbesondere mit Strom (=> E-Mobility-Option) .....	66
4	Betriebsweisen von Versorgungssystemen für Niedrigenergiehäuser .....	72
4.1	Betriebsweisen und Ausstattungsvarianten mit Speicherung .....	72
4.1.1	Bidirektionales Kalt-Warm-Netz mit Eisspeicher .....	72
4.1.2	Nahwärmeversorgung im Quartier mit BHKW, Erdgaskessel, PV und Stromspeicher .....	73
4.2	Untersuchungen zum Netzausbau unter Berücksichtigung der E-Mobility-Option ..	76

4.2.1	Analysen zum Ausbau von Versorgungsnetzen unter Beachtung der Elektromobilität, Einsatz von Speichertechnologien in „Energiezentralen“ .....	76
4.3	Bewertung verschiedener Versorgungssysteme, Analyse von Energieströmen.....	81
4.3.1	Bewertung verschiedener Versorgungssysteme durch Analyse unterschiedlicher dynamischer Last- und Erzeugerprofile.....	81
4.3.2	Ermittlung und Abschätzung der benötigten und der eigenerzeugten Energieströme, sowie die Prüfung von weiteren Synergieeffekten im Passiv-/Aktiv-Plus-Energiehaus .....	87
5	Darstellung und Analyse möglicher Geschäfts- und Betriebsmodelle .....	91
5.1	Wirtschaftlichkeitsanalysen für Einfamilienhäuser verschiedener Baustandards ....	91
5.2	Capex, Opex, CO <sub>2</sub> -Emissionen dezentraler Heiztechnologien im EFH-Neubau .....	95
5.3	Betrachtungen zur Anwendbarkeit möglicher Geschäfts- und Betriebsmodelle ....	103
5.3.1	Geschäfts- und Betriebsmodelle Mieterstrom, Quartierstrom und Contracting	103
5.4	Untersuchungen zu intelligenten, prädiktiven Vernetzungen .....	107
5.4.1	Recherche zu intelligenten, prädiktiven Vernetzungen .....	107
6	Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger .....	109
7	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	112
	Literaturverzeichnis .....	113
	Abbildungsverzeichnis.....	121
	Tabellenverzeichnis.....	126
	Anhang.....	127
	Ergänzungen zu AP 1: Analysen zu Energiebedarfen von NEH.....	127
	Aktueller Bezug zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung, Erläuterungen der Szenarien und Energieverbräuche .....	127
	Detaillierte Erläuterungen der Verordnungen und Gesetze zur Energieeinsparung in Deutschland .....	130
	Detaillierte Erläuterungen der Energiehaus-Konzepte [10, 15] .....	133
	KfW-Förderbedingungen, Programm 153 Neubau.....	135
	EnEV 2016: Transmissionswärmeverlust.....	136
	Analyse-Ergebnisse der Energiestandards eines freistehenden EFH, Neubau nach DIN 4108-6 und 4701-10 .....	137
	Analyse-Ergebnisse der Energiestandards von Reiheneck- und Mittelhaus-EFH, Neubau nach DIN 4108-6 und 4701-10.....	140
	Analyse-Ergebnisse der Energiestandards von Reiheneck- und Mittelhaus-EFH, Neubau nach DIN V 18599 .....	142
	Informationen zur Anbindung an Versorgungsnetze .....	143
	Zentrale oder dezentrale Wärmeversorgung? .....	145
	Nahwärmenetze – Netzverluste und Wärmebedarfsdichte.....	146
	Versorgungsbeispiele mit kalten Nahwärmenetzen.....	147
	Technologien von Umweltwärmequellen.....	150
	Speichertechnologien .....	151
	Detaillierte Informationen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	154
	Darstellung weiterer Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen verschiedener Versorgungssysteme .....	156

Beispiel einer Quartiersversorgung mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	158
Mieterstrom, Quartierstrom, Contracting .....	162
Intelligente Vernetzungen (Smart Grids) .....	165



# 1 Einleitung

Im Rahmen der „Roadmap für mehr Klimaschutz, Nachhaltigkeit und Sicherheit“ hat der DVGW den weiteren Weg der Innovationsforschung zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz dargestellt. Als klimafreundlicher Energieträger besitzt Gas auch weiterhin eine zentrale Rolle im Transformationsprozess in der Energiewirtschaft neben den erneuerbaren Energien. Durch die flexiblen Einsatzmöglichkeiten stellt Gas ein ideales Backup für die häufig nur volatil nutzbaren erneuerbaren Energien dar. Eine hocheffiziente Nutzung des Energieträgers Gas ist durch den Einsatz moderner Gasanwendungstechnologien, wie der Kraft-Wärme-Kopplung, der Gas-Brennwerttechnik und den Einsatz von Gaswärmepumpen möglich.

Eine besondere Herausforderung in Hinsicht auf die Einbindung dezentraler Versorgungskonzepte stellen Niedrigenergiegebäude dar, da sie in der Regel niedrige und kontinuierliche Lastprofile, aber auch hohe Bedarfsspitzen, beispielsweise für die Warmwasserbereitung aufweisen können.

Aufgrund des geringen Heizenergiebedarfs von Niedrigenergiegebäuden wird häufig auf den Gasanschluss verzichtet und Heizungssysteme eingesetzt, die mit elektrischer Energie betrieben werden. Im Rahmen dieses Projektes soll dargestellt werden, dass auch in diesen Gebäuden bzw. in Niedrigenergiehaussiedlungen ein wirtschaftlicher Einsatz von Gas möglich ist.

## Zielsetzung

Im Rahmen des Projektes sollen mögliche Versorgungsstrategien für Wärme und elektrischer Energie von Niedrigenergiehaus-Siedlungen näher betrachtet werden. Diese sollen Analysen zur Nahwärme- bzw. Einzelversorgung der Gebäude, zu Einsatzmöglichkeiten von Gastechnologien und zu möglichen Betriebsweisen der Anlagenkonfigurationen aus Wärme-/Strombereitstellung mit Speicherung beinhalten.

Die Hauptaussage des Projektes besteht darin, Schlussfolgerungen zum notwendigen Ausbau von Versorgungsnetzstrukturen zukünftiger Niedrigenergiehaus-Siedlungen zu geben und somit eine effiziente und wirtschaftliche Energieversorgung zu ermöglichen.

Das Projekt „Roadmap Gas ++“ liefert eine technische, ökonomische und ökologische Bewertung zu möglichen Strategien der Energieversorgung von Siedlungsgebieten mit Niedrigenergiegebäuden. Basierend auf Analysen zu Entwicklungstendenzen dieses Gebäudetyps und von einsetzbaren Versorgungstechnologien werden Versorgungskonzepte erstellt und bewertet. Dabei werden Einsatzmöglichkeiten der bisher weniger bei diesem Gebäudetyp eingesetzten Gastechnologien betrachtet. Diese können durch dezentrale Versorgungskonzepte in die Energieversorgung von Niedrigenergiegebäuden integriert werden und ermöglichen einen leistungsreduzierten Ausbau bzw. Anbindung an elektrische Versorgungsnetze. Ein wichtiger Punkt in Hinblick auf die Planung von Versorgungsnetzen ist auch der zukünftige Ausbau der Elektromobilität.

## 2 Analysen zum Stand der Technik und zu typischen Energiebedarfen von Niedrigenergiehäusern

Der Gebäudesektor ist der größte Endenergieverbraucher in Deutschland. Im Jahr 2015 betrug der Anteil an fossiler Energie im Gebäudebereich ca. 80 %, was ein außerordentlich hohes Energieeinsparpotenzial bedeutet und wesentlich zum Erreichen der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung beitragen kann [1].

Bereits in den 70-er Jahren, in Zeiten der Ölkrise, gab es Bemühungen, Energie einzusparen. 1977 stellte Deutschland mit der Verabschiedung der Wärmeschutzverordnung (WSchVo) bereits Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden. Die ordnungsrechtlichen Maßnahmen wurden seitdem immer wieder verschärft. In der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2002 taucht zum ersten Mal der Begriff „Niedrigenergiehaus“ in einer Verordnung auf. Seitdem wurde der zulässige Primärenergieverbrauchswert immer weiter verringert, der durch Umsetzung bestimmter baulicher Maßnahmen wie optimale Wärmedämmung der Gebäudehülle, Einbau von gut gedämmten Fenstern und Außentüren etc. sowie haustechnischer Maßnahmen durch Einsatz moderner Heiztechnik erreicht werden kann [2].

### 2.1 Aktueller Bezug zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung

Der Analyse typischer Energiebedarfe soll zunächst die von der Bundesregierung verfolgte Zielstellung zum Erreichen von globalen Klimaschutzzielen vorangestellt werden um die Tragweite zukünftiger Entwicklungstendenzen darzustellen.

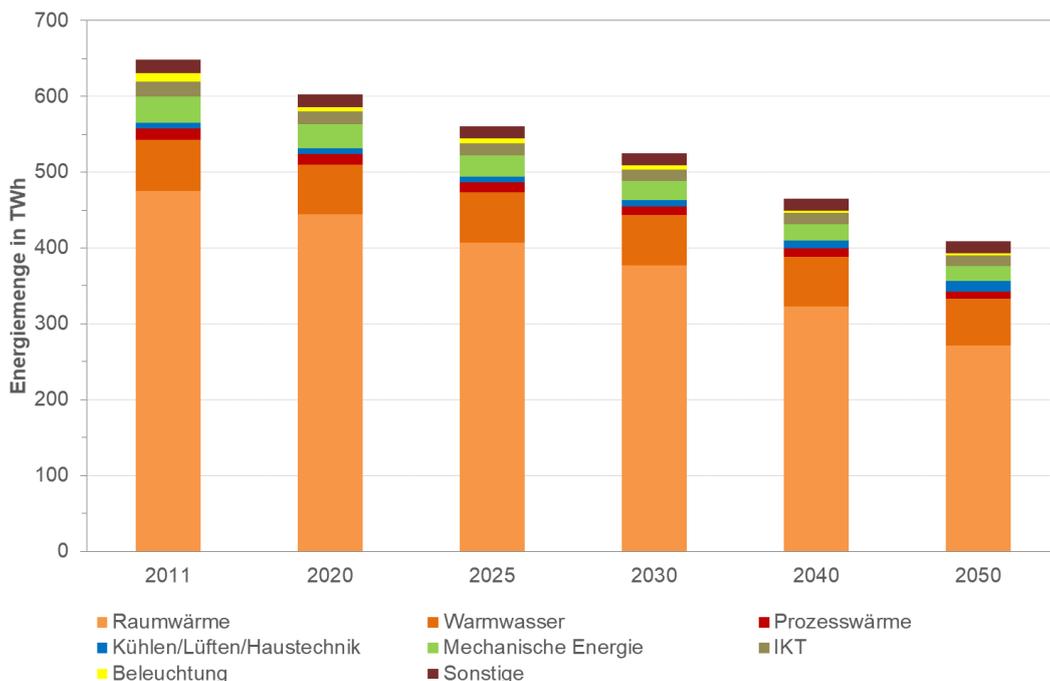
Mit dem im November 2016 von der deutschen Bundesregierung verabschiedeten Klimaschutzplan 2050 hat Deutschland als eines der ersten Länder die im Pariser Klimaabkommen geforderte Klimaschutzlangfriststrategie erstellt und bei der UN vorgelegt. Mit diesem Klimaschutzplan hat sich Deutschland das Langfristziel gestellt, bis zum Jahr 2050 die Emissionen von Treibhausgasen gegenüber 1990 um 80 bis 95 % zu senken und damit weitgehend treibhausgasneutral zu werden. Einen entscheidenden Beitrag dazu muss der Gebäudesektor leisten, da dieser für ca. 30 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich ist. Dafür wurde ein "Fahrplan für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand" definiert. Angestrebt wird zunächst bis 2030 eine Minderung der Emissionen um 66 bis 67 % gegenüber 1990 (s. Tabelle 2-1). [3], [4] Um die besten Wege zur Zielerreichung finden zu können, arbeitet die Deutsche Energieagentur (dena) mit 50 Stakeholdern aus Unternehmen und Verbänden zusammen. In der entwickelten dena-Leitstudie „Integrierte Energiewende“ erfolgte dazu eine Unterteilung in die vier Sektoren „Energieerzeugung und -verteilung“, „Gebäude“, „Industrie“ und „Mobilität“. Darin sollen realistische Transformationspfade entwickelt und Handlungsempfehlungen formuliert werden. Für die im Rahmen der Phase 1 dieser Studie durchzuführenden Modellierungen wurden drei Szenarien definiert, die im Anhang unter Kapitel 0 näher erläutert sind.

**Tabelle 2-1: Übersicht der in die Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder**

Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äq.)	2014 (in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äq.)	2030 (Minderung in % gegenüber 1990)
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	181	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	58 – 61	34 – 31 %
<b>Teilsumme</b>	<b>1.209</b>	<b>890</b>	<b>538 – 557</b>	<b>56 – 54 %</b>
Sonstige	39	12	5	87 %
<b>Gesamtsumme</b>	<b>1.248</b>	<b>902</b>	<b>543 – 562</b>	<b>56 – 55 %</b>

Quelle: Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

Der in der Abbildung 2-1 dargestellte Energiebedarf nach Anwendungsbereichen zeigt, dass der Anteil an Raumwärme stark rückläufig ist. Trotz einer Vergrößerung der Wohnflächen um 7 % wird für die Erzeugung von Raumwärme im Jahr 2030 rund 21 % bzw. im Jahr 2050 etwa 43 % weniger Energie als im Jahr 2011 benötigt. Gründe dafür liegen in einer energetisch verbesserten Qualität der Gebäude, effizienteren Heizanlagen und im wärmeren Klima. Das Diagramm zeigt auch, dass die Anteile an mechanischer Energie und an der Beleuchtung rückläufig sind bzw. der Anteil von Kühlen/Lüften/Haustechnik etwas steigen wird. Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass der Energiebedarf privater Haushalte kontinuierlich zurückgeht, die Erzeugung von Raumwärme aber auch zukünftig den weitaus größten Anteil davon einnehmen wird [5].



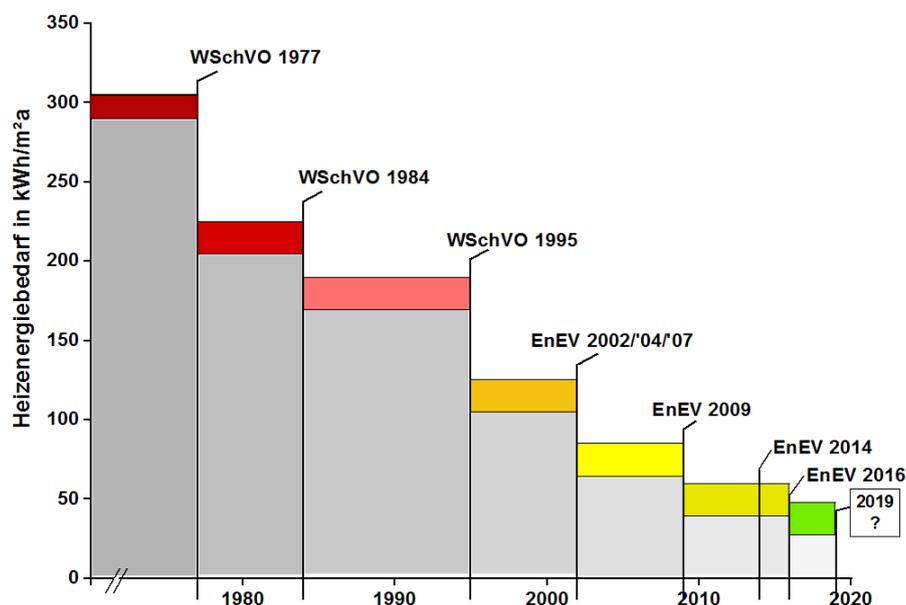
**Abbildung 2-1: Endenergieverbrauch privater Haushalte nach Anwendungsbereichen, 2011 – 2050 [5]**

Aufgrund des großen Energiebedarfs, der auch zukünftig zur Raumwärmeerzeugung benötigt wird, kommt der Verringerung des Heizwärmebedarfs von Wohn- und Nichtwohngebäuden enorme Bedeutung zu. Das betrifft insbesondere 2/3 der Bestandsgebäude, die vor 1979, also vor dem Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung gebaut wurden. [1] Seit dieser ersten Verordnung wurden die Wärmeschutzstandards verschärft und der zulässige Heizenergiebedarf immer weiter verringert, wie die Abbildung 2-2 verdeutlicht. Die EnEV formuliert als Hauptkriterium einen maximalen Jahres-Primär-Energiebedarf des gesamten Gebäudes. Dieses wird über ein virtuelles Referenzgebäude mit gleicher Geometrie, gleicher Ausrichtung und Gebäudenutzfläche berechnet. Dazu liegen konkrete Richtwerte für sämtliche Bauteile und Verbraucher vor. [EnEV § 3 Abs. 1] Die Pflichten zum Wärmeschutz der Gebäude wurden in den Jahren 2007, 2009, 2014 weiter verschärft, in der EnEV 2014 wurden die energetischen Anforderungen an Neubauten ab dem 1. Januar 2016 erheblich erhöht, weshalb daher von der „EnEV ab 2016“ gesprochen wird, weil es keine eigenständige, neue Fassung der Verordnung ist.

Die Anforderungen der EnEV 2016 beziehen sich vor allem auf folgende Punkte:

- Der zulässige Primärenergiebedarf wurde gegenüber EnEV 2014 um 25 % herabgesetzt.
- Die Transmissionswärmeverluste müssen um 20 % gesenkt werden.
- Bei Verstößen drohen stärkere Sanktionen mit Bußgeldern von bis zu 50.000 €.

Für den Bestand gelten weiterhin die Anforderungen der EnEV 2014.



**Abbildung 2-2: Auswirkung politischer Rahmenbedingungen auf den zulässigen Heizenergiebedarf im Neubau [6]**

Die aktuell gültigen energetischen Anforderungen stellen einen Zwischenschritt zum sogenannten Niedrigstenergiehaus dar, dass ab dem Jahr 2021 zum europaweiten Neubaustandard werden soll. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Inneres (BMI) haben am 14.11.2018 einen überarbeiteten Referentenentwurf

für ein „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung in Gebäuden“, das GEG, vorgelegt [7]. Es soll das Energieeinspargesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) zusammenführen und ersetzen, siehe Details in Kapitel 2.2.4. Auslöser war u. a. die EU-Gebäuderichtlinie (2010). Sie fordert den Niedrigstenergie-Standard für Neubauten ab 2019 für öffentliche und ab 2021 für privatwirtschaftliche Gebäude, das sogenannte nahezu Null-Energie-Gebäude (nZEB, nearly Zero-Energy-Building).

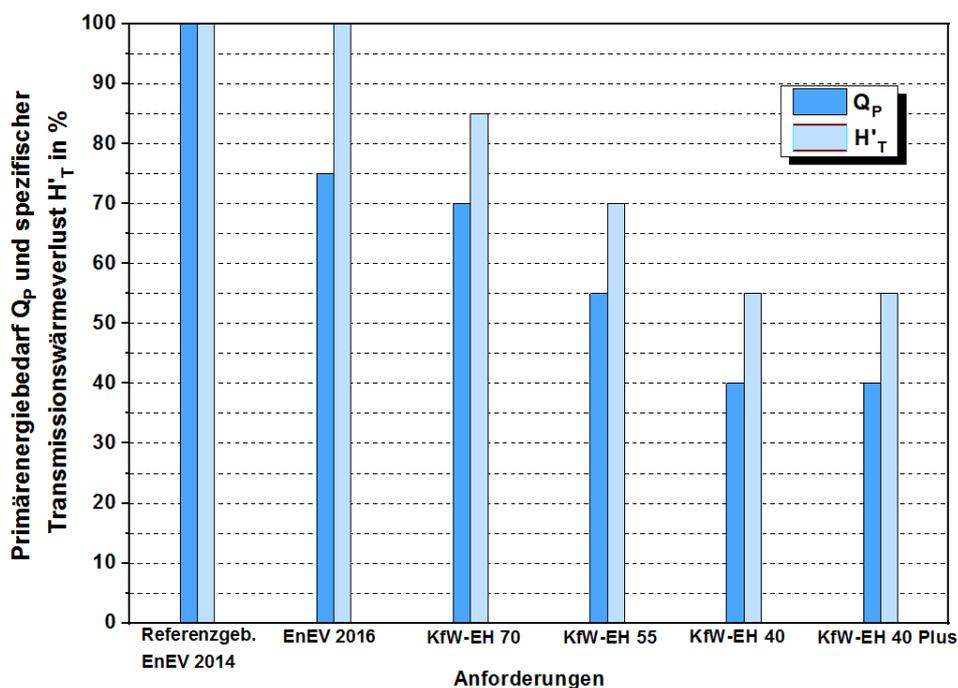
Nach dem aktuellen Entwurf wird es in der praktischen Umsetzung für Neubauvorhaben zu relativ wenigen Auswirkungen kommen.

Neu ist, dass gebäudenah erzeugter erneuerbarer Strom, speziell Photovoltaik, primärenergetisch bilanziert werden kann, wodurch sich die Anrechenbarkeit deutlich verbessert. Zum Beispiel lässt sich das System Brennwärnkessel plus Photovoltaik dann besser abbilden. Details zum GEG siehe Kapitel 2.2.4.

Wann und in welcher Form das neue Gesetz in Kraft tritt, ist noch nicht entschieden, ein mögliches Anfangsdatum ist 2020.

Detaillierte Informationen über die Entwicklungsgeschichte der EnEV, Verordnungen, Normen und Gesetze zur Energieeinsparung in Deutschland sind im Anhang in Kapitel 0 zusammengestellt.

Die Anforderungen an den Primärenergiebedarf und den spezifischen Transmissionswärmeverlust für verschiedene Gebäudestandards sind in Abbildung 2-3 dargestellt. Die Zahl in der Benennung des Effizienzhauses gibt den prozentualen Anteil des zulässigen Primärenergiebedarfs bezogen auf das Referenzgebäude der EnEV 2014 an. Das KfW-EH 55 darf damit maximal 55 % des zulässigen Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes der EnEV 2014 aufweisen.



**Abbildung 2-3: Anforderungen an den Primärenergiebedarf und die spezifischen Transmissionswärmeverluste für verschiedene Gebäudestandards**

## 2.2 Energiestandards und Konzepte von Niedrigenergiehäusern

Der Begriff Niedrigenergiehaus gilt als schwammiger Oberbegriff für Neubauten und sanierte Bestandsgebäude mit einem niedrigen Energie-Standard. Die Einteilung der Gebäude erfolgt nach ihrem Energiebedarf, der im Wesentlichen von den klimatischen Verhältnissen, dem Nutzerverhalten bei Heizung und Lüftung sowie von der Gebäudehülle und der Anlagentechnik abhängt. Bei dem Vergleich von Energiestandards ist es wichtig, auseinander zu halten, was in die Bilanz einbezogen ist, auf welcher Ebene der Energieumwandlung bilanziert wird und auf welche Fläche der Energiebedarf bezogen wird.

### 2.2.1 Begriffserläuterungen

Die schematische Darstellung in Abbildung 2-4 zeigt die Bilanzgrenze für den Primärenergiebedarf sowie die Einflussgrößen der Endenergie. Die Abkürzungen haben die Bedeutung  $Q_h$  Heizwärmebedarf;  $Q_w$  Warmwasserwärmebedarf;  $H_T$  Transmissionswärmeverlust;  $H_v$  Lüftungswärmeverlust;  $Q_s$  solare Wärmegewinne;  $Q_i$  interne Wärmegewinne.

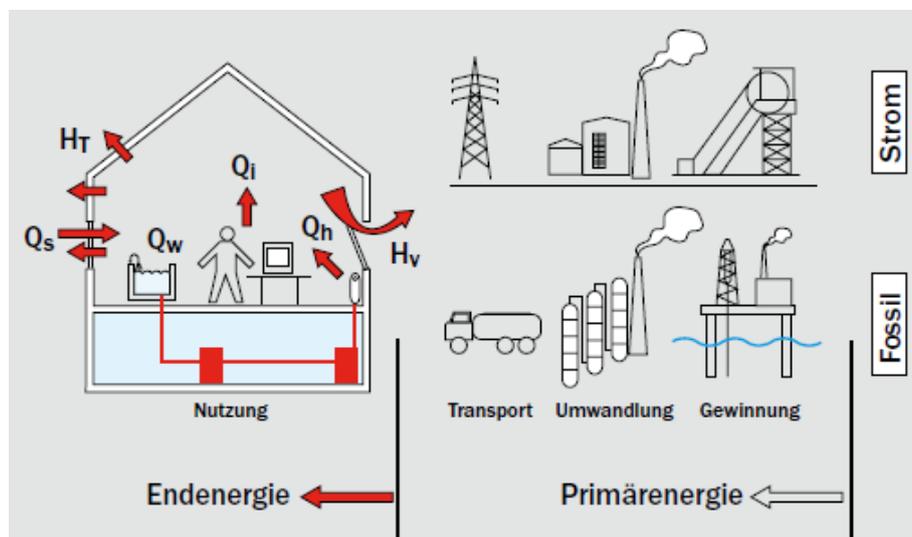


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung von Einflussgrößen auf die Bilanzierung des Primärenergiebedarfs [8]

Zunächst werden die unterschiedlichen Energiekennwerte und deren Bilanzgrenzen erläutert:

**Primärenergiebedarf  $Q_P$ :** Im Gebäude verbrauchte Endenergie ( $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ) zuzüglich des Energieaufwands außerhalb des Gebäudes, der für die Gewinnung, Verarbeitung und Transport entsteht. Der Primärenergiebedarf kann als relevantes Maß für die Beurteilung ökologischer Kriterien wie z. B.  $\text{CO}_2$ -Emission herangezogen werden.

**Endenergiebedarf  $Q_E$ :** Der Endenergiebedarf ( $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ) hat seine Bilanzgrenze an der Gebäudehülle. Er ist die Energiemenge, die für die Gebäudebeheizung sowie die Warmwasserbereitung inklusive der jeweiligen Verluste der Wärmebereitungssysteme sowie die Hilfsenergie für die Anlagen, Speicher, etc. aufgebracht werden muss. Die Endenergie muss der Verbraucher mit der Energiekostenabrechnung bezahlen.

**Nutzenergie:** Die Nutzenergie ( $\text{kWh/a}$ ) ist die Energiemenge, die dem Endverbraucher zur Verfügung gestellt werden muss, um eine entsprechende Raumtemperatur aufrecht zu erhalten, ohne Berücksichtigung von Anlagen-, Speicher- und Verteilverlusten.

**Heizwärmebedarf  $Q_h$ :** Der Heizwärmebedarf ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$ ) ist die Wärmemenge, die für die Beheizung der Räume notwendig ist. Er ist von der Bauweise des Gebäudes, dem Wärmeschutz, den bei der Lüftung entstehenden Wärmeverlusten und den solaren Wärme-gewinnen abhängig. Er kennzeichnet die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle.

**Warmwasserwärmebedarf  $Q_w$ :** Der Warmwasserwärmebedarf ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$ ) ist die Wärmemenge, die dem Kaltwasser zugeführt werden muss, um einen durchschnittlichen Warmwasserbedarf bereitzustellen. Bei der Bilanzierung nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 beträgt der Warmwasserwärmebedarf für Wohnnutzung  $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

**Transmissionswärmeverlust  $H_T$ :** Wärmeverlust eines Gebäudes aufgrund der Wärme übertragenden Umfassungsfläche (Gebäudehülle). Der Transmissionswärmeverlust lässt sich durch die U-Werte der Gebäudeumschließungsflächen beeinflussen, je niedriger die U-Werte, desto niedriger ist der Wärmeverlust, er errechnet sich aus dem Produkt von U-Wert mal Bauteilfläche und wird in  $\text{W}/\text{K}$  angegeben.

**Lüftungswärmeverluste  $H_V$ :** Wärmeverluste durch Fensterlüftung

**Interne Wärmegewinne  $Q_i$ :** interne Wärmegewinne durch Personen, elektrische Geräte, etc.

**Gebäudenutzfläche:** Für die Bewertung der Energieeffizienz eines Gebäudes wird die Größe des Hauses berücksichtigt, indem der Energiebedarf durch die Gebäudefläche dividiert wird und in  $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$  angegeben wird. In der EnEV wird als Bezugsfläche die Gebäudenutzfläche  $A_N$  verwendet, die eine hypothetische Größe ist und auf der Grundlage des beheizten Gebäudetruttovolumens berechnet wird. Das beheizte Gebäudevolumen  $V_e$  in  $\text{m}^3$  ist das Volumen, das von der wärmeübertragenden Umfassungsfläche  $A$  umschlossen wird.

Die Gebäudenutzfläche unterscheidet sich deutlich von der Wohnfläche, sie ist ca. 25 % höher als die Wohnfläche. Da der Energiebedarf durch die Fläche dividiert wird, liegen somit Kenngrößen, die sich auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  beziehen, um etwa 20 % niedriger als bei wohnflächenbezogenen Werten.

Der Primärenergiebedarf eines Wohngebäudes setzt sich aus dem Endenergiebedarf des Gebäudes und dem Endenergiebedarf aus der vorgelagerten Prozesskette zusammen. Der Energiebedarf für Gewinnung, Umwandlung und Transport wird durch den brennstoffspezifischen Primärenergiefaktor (siehe Abbildung 2-6) berücksichtigt.

Der Endenergiebedarf setzt sich zusammen aus dem Heizwärmebedarf, dem Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung sowie der Hilfsenergie der Anlagentechnik. Bei der Bilanzierung nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 beträgt der Warmwasser-wärmebedarf für Wohnnutzung  $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Der Heizenergiebedarf besteht aus dem Heizwärmebedarf sowie den Verlusten des Heizungssystems wie beispielsweise den Verteilverlusten, Speicherverlusten etc. Der Heizwärmebedarf wird durch Transmissions- und Lüftungswärmeverluste bestimmt, wobei die solaren und internen Wärmegewinne positiv berücksichtigt werden. Die Bilanzierung des Primärenergiebedarfs ist schematisch in Abbildung 2-5 dargestellt.

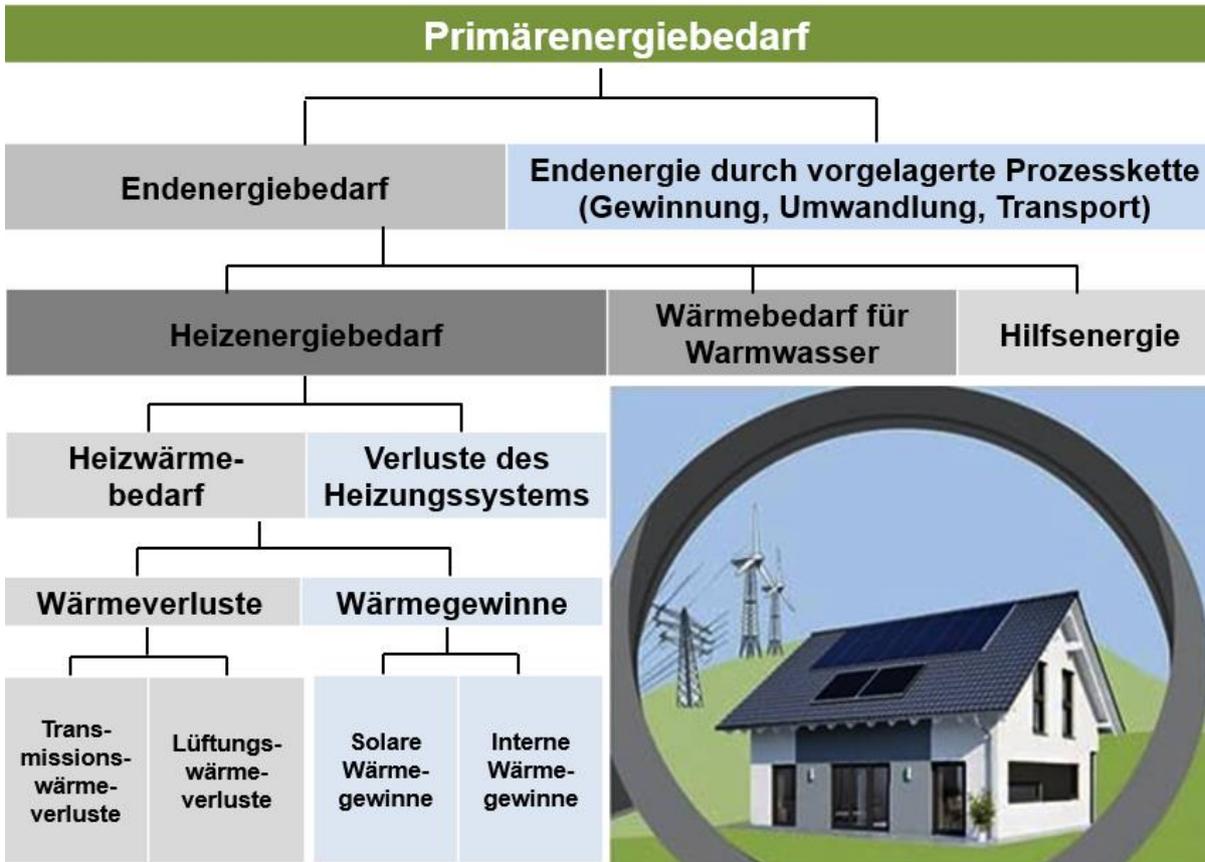


Abbildung 2-5: Bilanzierung des Primärenergiebedarfs eines Wohngebäudes

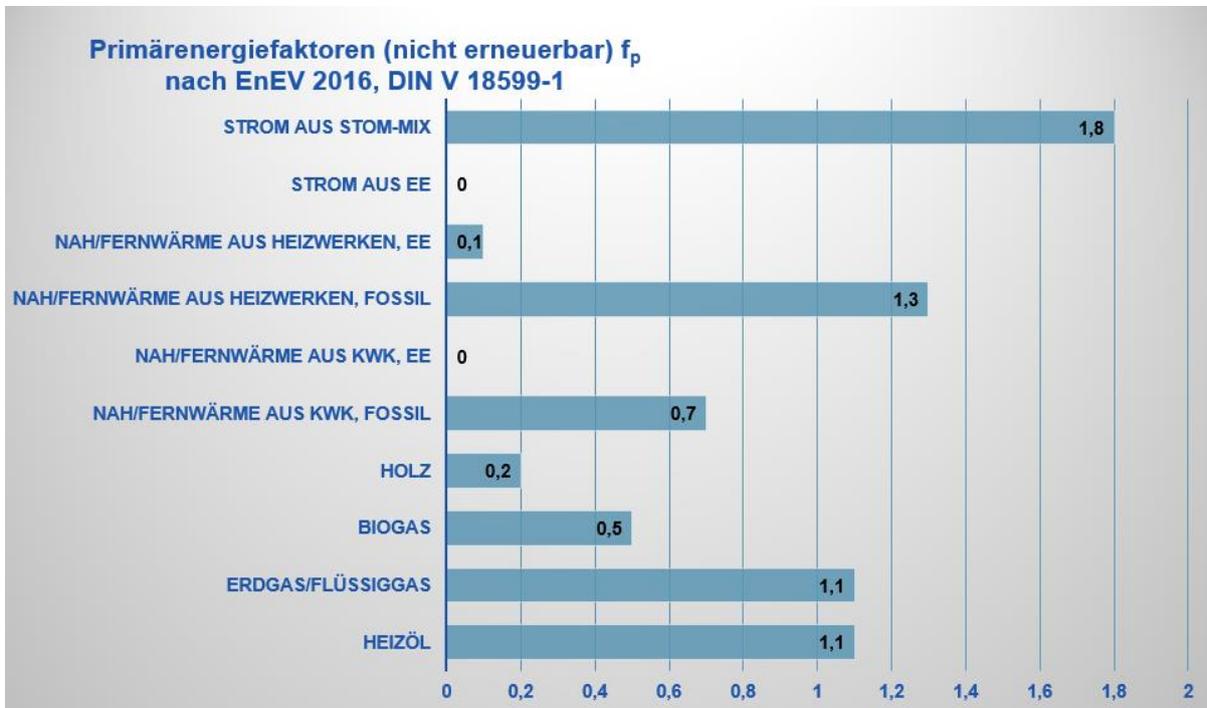


Abbildung 2-6: Primärenergiefaktoren verschiedener Energieträger

## 2.2.2 Energiestandards und Energiebedarfe von Wohngebäuden, Energieausweis

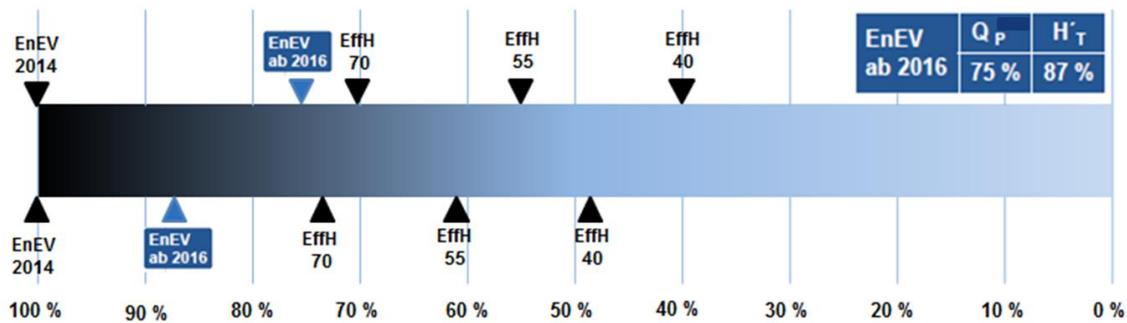
Den Analysen typischer Energiebedarfe von Niedrigenergiehäusern muss vorangestellt werden, dass es einen einheitlichen Energiestandard „Niedrigenergiehaus“ in Deutschland nicht gibt. Unter diesem Begriff werden sowohl energiesparende Neubauten, als auch sanierte Altbauten verschiedener Typen bzw. Standards zusammengefasst, die weniger Energie für Heizung und Warmwasser benötigen als vergleichbare Durchschnittsgebäude. Oftmals erfüllen diese Gebäude lediglich die Bestimmungen der jeweils gültigen Energie-einsparverordnung (EnEV). Prinzipiell können alle energiesparenden Gebäude, die gewisse energietechnische Anforderungen unterschreiten, als Effizienz- oder Niedrigenergiehäuser bezeichnet werden.

Für die bereits seit dem Anfang der 90er Jahre gebauten Niedrigenergiehäuser wurde zur Abgrenzung zu herkömmlichen Gebäuden ein Heizenergiebedarf von  $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  für Einfamilienhäuser verwendet. Da in frühen Verordnungen die teilweise großen Unterschiede in der Kompaktheit unterschiedlicher Gebäudetypen zu wenig berücksichtigt werden konnten, weisen erst neuere Verordnungen wesentlich differenziertere Kennwerte zur Definition des Begriffes Niedrigenergiehaus auf. Mit dem Inkrafttreten der EnEV 2009 wurde der Niedrigenergiehausstandard als energetische Mindestanforderung an Neubauten übernommen und seitdem weiter schrittweise verschärft. Der Energiestandard gilt grundlegend für

- den verpflichtenden Energieausweis (Energiepass) von Alt- und Neubauten
- die energetische Bewertung von Gebäuden
- die Förderung für energieeffizientes Bauen und Sanieren (z.B. KfW-Kredit)
- die Klassifizierung von Energiehäusern
- Verkaufsargumente für Hersteller und Handwerk

wobei die verschiedenen Bezugsgrößen Primärenergiebedarf  $Q_P$  (keine End- oder Nutzenergie, siehe Kapitel 2.2) und Heizwärmebedarf  $Q_h$  in  $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$  zu beachten sind. Seit 2002 hat der deutsche Energiestandard sich weiterentwickelt: bis zur EnEV 2007 galt dafür ein absoluter Höchstwert für den Primärenergie- bzw. Heizwärmebedarf, seit der EnEV 2009 wird mit einem Referenzgebäude mit einem Primärenergie-Bedarf von ca.  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  verglichen, wobei für die KfW-Effizienzhaus-Angabe der Prozentsatz des Heizwärmebedarfs des Referenzgebäudes von EnEV 2009 gilt.

Das KfW-Effizienzhaus steht für einen niedrigen Energiebedarf und orientiert sich an den Vorgaben der Energieeinsparverordnung. Gemessen wird die energetische Qualität anhand des Jahresprimärenergiebedarfes und des Transmissionswärmeverlustes. Für diese beiden Kennzahlen definiert die Energieeinsparverordnung (EnEV) Höchstwerte, die ein vergleichbarer Neubau einhalten muss. Aus dem Vergleich erfolgt die Zuordnung in einen der Förderstandards. Der Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_P$  wurde in der EnEV 2016 ab dem 01.01.2016 für Neubauten um 25 % gegenüber dem gemäß der EnEV 2014 berechneten Referenzwert reduziert. Der Transmissionswärmekoeffizient  $H'_T$  wurde gegenüber EnEV 2014 um 13 % reduziert. Abbildung 2-7 macht die höheren Anforderungen an den Jahresprimärenergiebedarf und den Transmissionswärmeverlust deutlich.



$Q_p$  : Jahres-Primärenergiebedarf  
 $H'_T$  : Transmissionswärmeverlust

**Abbildung 2-7: Anforderungen an den Primärenergiebedarf und den Transmissionswärmeverlust für verschiedene Gebäudestandards [9]**

Für den Transmissionswärmeverlust sind Höchstwerte, abhängig vom Gebäudetyp, in der EnEV festgelegt. Für freistehende Einfamilienhäuser mit einer Nutzfläche < 350 m<sup>2</sup> beträgt der spezifische Transmissionswärmeverlust  $H'_T = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Der Transmissionswärmeverlust lässt sich durch die U-Werte der Gebäudeumschließungsflächen beeinflussen, je niedriger die U-Werte, desto besser ist der Wärmeschutz und umso niedriger ist der Wärmeverlust. Die Energieeffizienzklassen mit den dazugehörigen Endenergiebedarfen für den Energieausweis für Wohngebäude sind in Abbildung 2-8 aufgeführt.

Energieeffizienzklasse	Endenergiebedarf oder Endenergieverbrauch	Ungefähre jährliche Energiekosten pro Quadratmeter Wohnfläche
A+	unter 30 kWh/(m <sup>2</sup> a)	weniger als 2 Euro
A	30 bis unter 50 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2 Euro
B	50 bis unter 75 kWh/(m <sup>2</sup> a)	3 Euro
C	75 bis unter 100 kWh/(m <sup>2</sup> a)	4 Euro
D	100 bis unter 130 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6 Euro
E	130 bis unter 160 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7 Euro
F	160 bis unter 200 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9 Euro
G	200 bis unter 250 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11 Euro
H	über 250 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 Euro und mehr

Quelle: Verbraucherzentrale NRW

**Abbildung 2-8: Energieeffizienzklassen in Energieausweisen für Wohngebäude ab Mai 2014 [10]**

Abbildung 2-9 gibt einen Überblick über die Einstufung von Endenergieverbräuchen verschiedener Effizienzhaus-Standards und Referenz-Gebäude in die Effizienz-Label-Skala für Wohngebäude. Ein Passivhaus oder auch ein KfW 40 Plus - Haus entsprechen der Effizienzklasse A+, die KfW-Häuser EH 40, 55 und 70 fallen in die Kategorie A, der für Neubauten geforderte Standard nach EnEV 2016 befindet sich im oberen Bereich der Stufe B. Die Einteilung bezieht sich auf den Endenergieverbrauch für Heizwärmebedarf inklusive Warmwassererwärmung.

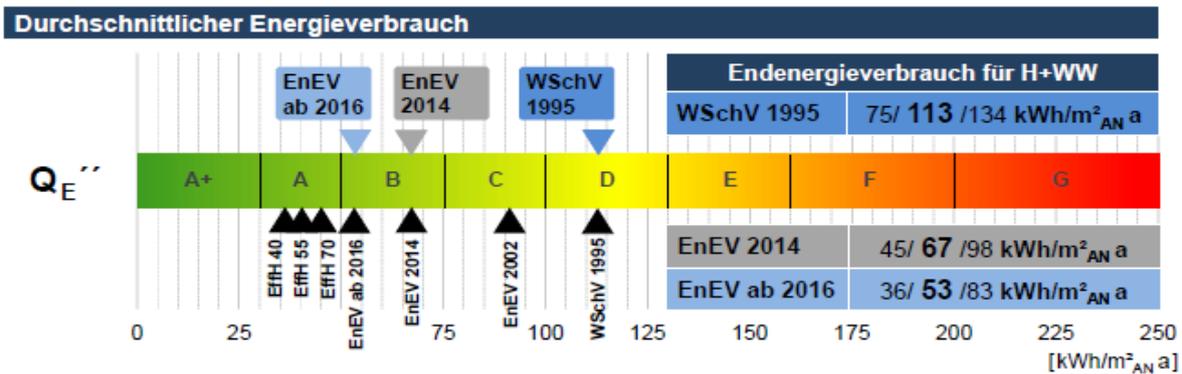


Abbildung 2-9: Durchschnittlicher Energieverbrauch von verschiedenen EnEV-Anforderungen und Effizienzhaus-Standards [9]

Beim Vergleich des Energiebedarfs von Gebäuden wird in erster Linie der Bedarf für Heizung und Warmwasser in Relation gesetzt. Der Primärenergiebedarf gemäß EnEV enthält keine Angabe über den Haushaltsstrombedarf.

Betrachtet man den flächenbezogenen Endenergiebedarf des gesamten Wohngebäudebestands inklusive Haushaltsstrom (Abbildung 2-10), so wird sichtbar, dass ein Rückgang insbesondere durch die Bedarfsenkung im Bereich Raumwärme zwischen den Jahren 2000 und 2015 eingetreten ist. Der Haushaltsstrombedarf hat sich in dieser Statistik nur geringfügig verändert und erreichte im Jahr 2015, nach einem zwischenzeitlichen Hoch, wieder etwa den Wert vom Jahr 2000.

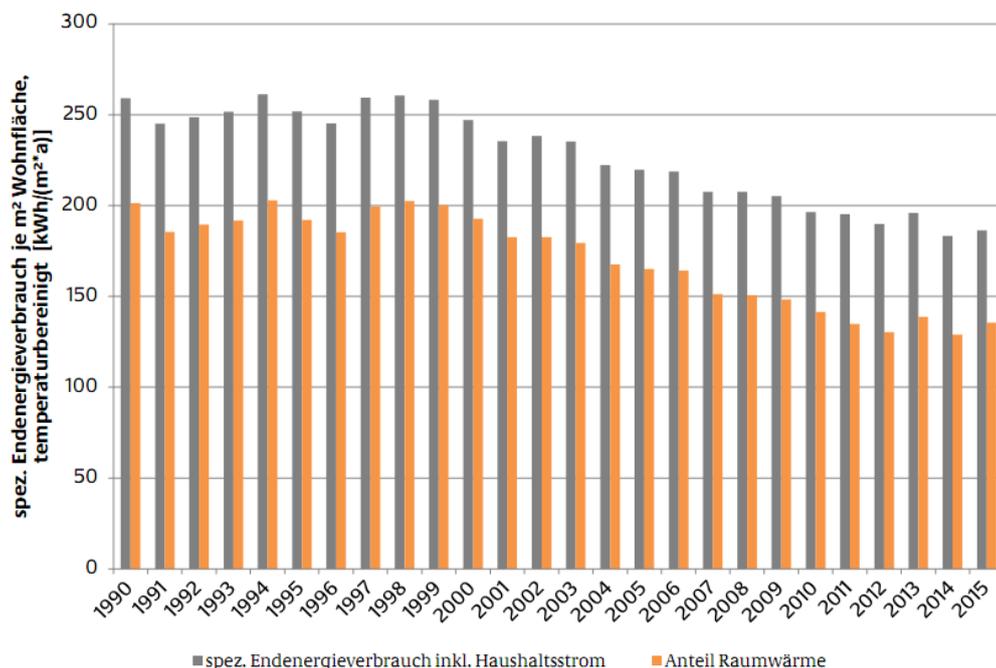
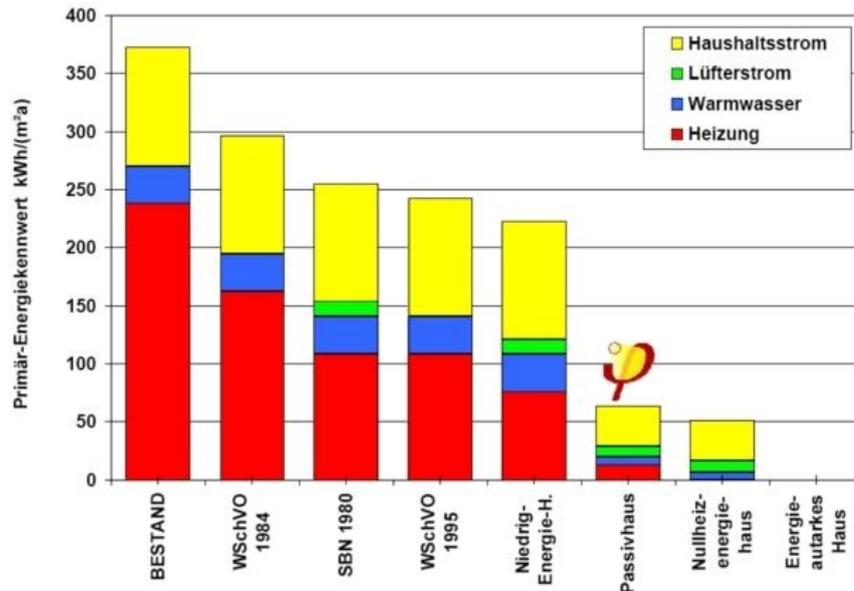


Abbildung 2-10: Flächenbezogener Endenergiebedarf in Wohngebäuden [1]

Differenziert man den Haushaltsstrombedarf nach Gebäudestandards (siehe Abbildung 2-11), so wird sichtbar, dass bei Bestandsgebäuden bis zum Niedrigenergiehausstandard von einem Haushaltsstrombedarf von etwa  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  (Primärenergiebedarfskennwert) ausgegangen wird.



Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt

**Abbildung 2-11: Primärenergiebedarfskennwerte verschiedener Gebäudestandards [11]**

Der Passivhausstandard ist vom Passivhaus-Institut Darmstadt hinsichtlich eines maximalen Primärenergiebedarfs für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und Haushaltsstrom definiert und ist mit max. 120 kWh/(m<sup>2</sup> a) beim Einsatz von nicht erneuerbarer Primärenergie angegeben. Die in der Abbildung 2-11 dargestellten Bedarfskennwerte von 60 kWh/(m<sup>2</sup> a) für das Passivhaus sind typisch für heutige Passivhäuser der 3. Generation und sollen beim Einsatz von effizienten Haushaltsgeräten erreicht werden [11].

Das Passivhausinstitut Darmstadt hat kürzlich seine Gebäudezertifizierung um neue Klassen erweitert, wonach es neben dem bewährten „Passivhaus Classic“ auch das „Passivhaus Plus“ und das „Passivhaus Premium“ zukünftig geben wird. Danach gilt der bisherige Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) auch weiterhin. Der Primärenergiebedarf wird durch den Gesamtbedarf „Erneuerbarer Primärenergie“ (PER / Primary Energy Renewable) gemäß Abbildung 2-12 ersetzt [11]. Die Differenzierung der 3 Passivhausklassen erfolgt durch den Anteil von selbsterzeugter erneuerbarer Endenergie (z. B. aus Photovoltaik).



**Abbildung 2-12: Neue Differenzierung der Passivhausklassen [11]**

### 2.2.3 Energiehaus-Konzepte

Bereits Anfang der siebziger Jahre waren wesentliche Anregungen für die Niedrigenergiebauweise aus den skandinavischen Ländern und aus Nordamerika bekannt [12]. Deutschlands erstes energieautarkes Haus, das sogenannte Freiburger Solarhaus, wurde im November 2012 20 Jahre alt [13]. Für den Begriff Niedrigenergiegebäude gibt es in Deutschland keine einheitliche Definition, der Energieverbrauch liegt jedoch unter den rechtlich zulässigen Werten. In der EnEV 2002 taucht zum ersten Mal der Begriff „Niedrigenergiehaus“ in einer Verordnung auf.

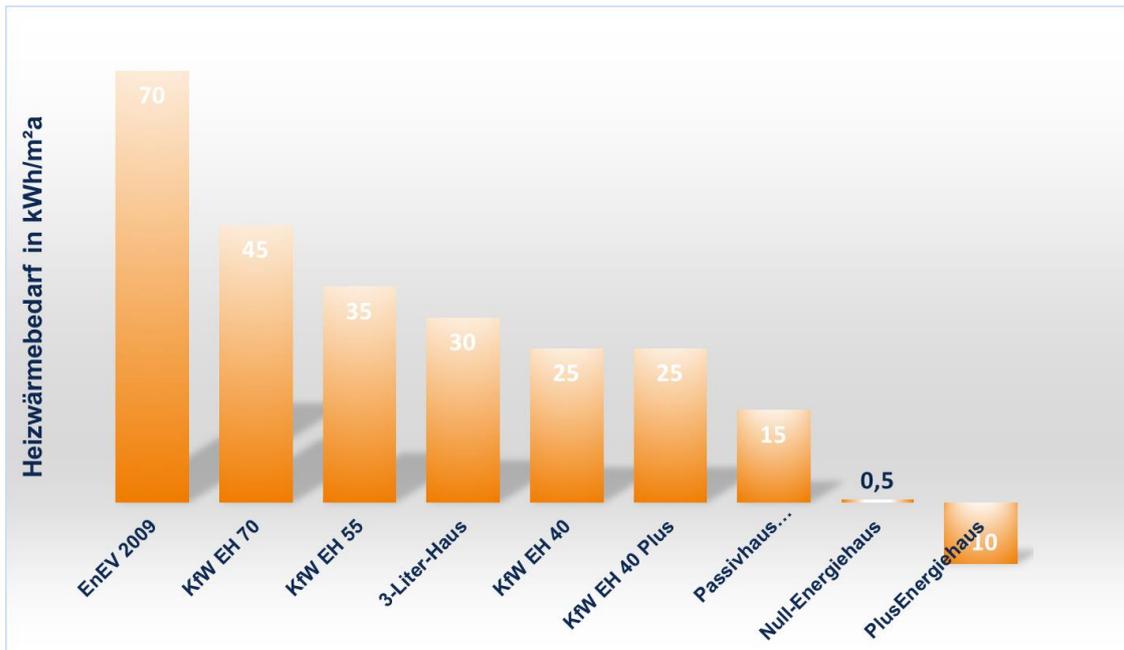
In Fachkreisen ist von den verschiedensten Energiehaustypen die Rede, die sich im Wesentlichen durch den erforderlichen Energiebedarf unterscheiden. Als das Haus der Zukunft gilt das Passivhaus mit einem Jahresheizwärmebedarf unter  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Eine nochmalige Weiterentwicklung ist das Nullenergiehaus, das seinen Energiebedarf im Jahresmittel durch eigenen Energiegewinn decken soll. Beim Plusenergiehaus entsteht rechnerisch sogar ein Energieüberschuss, allerdings hilft es wenig, wenn die Jahresbilanz zwar positiv ist, sommerliche Überschüsse jedoch nicht in den Winter genommen werden können. Während bei dem Passivhauskonzept auf eine möglichst gute Dämmwirkung der Gebäudehülle gesetzt wird, möchte das Sonnenhaus den maximalen Ertrag aus der Sonnenenergie nutzen. Mindestziel ist ein solarer Deckungsgrad von 50 Prozent, d.h. die Hälfte der benötigten Heizenergie kann durch Solarthermie gedeckt werden. So mag das Sonnenhaus zwar einen höheren Heizenergiebedarf besitzen, aber der wird ecoquent mit Sonnenwärme gedeckt – ohne fossile Brennstoffe. Ein energieautarkes Haus, ein sogenanntes Plusenergiehaus deckt seinen gesamten Energiebedarf an Ort und Stelle, auch den Strombedarf, z. B. durch Photovoltaik. [14]

Der Begriff Niedrigenergiehaus ist ein Oberbegriff für verschiedene Definitionen von energieeinsparender Gebäude mit unterschiedlichen Energie-Standards. Diese können in Niedrigenergiehäuser nach gesetzlichen Standards (z. B. EnEV 2009), nach weiteren definierten Standards (z. B. Zehn-, Sieben-, Fünf- und Drei-Liter-Haus; Passivhaus, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus) und in Niedrigenergiehäuser nach KfW-Effizienzhauskriterien eingeteilt werden. Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) unterteilt Effizienzhäuser gemäß des Energiebedarfs und bezeichnet diese mit einer Kennzahl, die den zulässigen Höchstwert des Energiebedarfs, bezogen auf ein vergleichbares Referenzgebäude angibt. Da die KfW ihre Standards auf die EnEV 2009 bezieht, sind durch die gestiegenen Anforderungen der EnEV nur noch die folgenden Standards förderfähig:

- Neubauten: Kategorien 55, 40 und 40 plus
- Sanierungen: Kategorien Denkmal (165), 115, 100, 85, 70 und 55.

Bei Nullenergie- und Plusenergiehäusern wird die benötigte Energie in der Gesamtbilanz durch Solarenergie selbst erzeugt. Da die aus der PV-Anlage gewonnene Elektroenergie nicht vollständig gespeichert werden kann, ist eine autarke Versorgung der Objekte nicht vollständig möglich. Überschüssige Elektroenergie kann für Elektromobilität genutzt oder in das öffentliche Netz eingespeist werden. Bei Plusenergiehäusern wird in der Gesamtbilanz mehr Energie erzeugt, als genutzt werden kann [15], [16].

In Abbildung 2-13 ist der Heizwärmebedarf verschiedener Neubau-Niedrigenergiehaus-Typen aufgeführt.



**Abbildung 2-13: Heizwärmebedarf verschiedener Niedrigenergiehaustypen im Neubau [15]**

Das Null-Energiehaus bezieht keine Energie von außen, das Plus-Energiehaus weist einen rechnerischen Energieüberschuss auf. Weiterhin spricht man von einem energieautarken Haus, wenn das Gebäude den gesamten Energiebedarf vor Ort deckt, was durch den Einsatz eines Energiespeichers möglich ist, das Sonnenhaus wird so bezeichnet, wenn es mindestens 50 % des Heizwärmebedarfs aus Sonnenenergie deckt.

Detaillierte Definitionen der verschiedenen Niedrigenergiehaus-Konzepte befinden sich im Anhang in Kapitel 0. Die Förderbedingungen im KfW-Programm 153 (Neubau) sind in Kapitel 0 aufgeführt.

#### 2.2.4 Details zum Gebäudeenergiegesetz - GEG

Die EU Gebäuderichtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten, die Nichtwohngebäude ab 2019 und alle anderen neuen Gebäude ab 2021 als Niedrigstenergiegebäude auszuführen (siehe Kapitel 0). Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Inneres (BMI) haben am 14.11.2018 einen überarbeiteten Referentenentwurf für ein „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung in Gebäuden“, das GEG, vorgelegt. Mit diesem Gesetz soll das Energieeinsparrecht für Gebäude strukturell neu konzipiert, vereinfacht und vereinheitlicht werden. Nachfolgend werden die Hauptinhalte des GEG-Entwurfs vorgestellt [7], [17]:

- Zusammenführung von Energieeinspargesetz (EnEG), Energieeinsparverordnung (EnEV) und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)
- Hauptanforderungsgröße bleibt Primärenergiebedarf
- Hohe Anforderungen an baulichen Wärmeschutz und effiziente Anlagentechnik bleibt bestehen, Wirtschaftlichkeitsgebot bleibt bestehen

- Beibehaltung des bisherigen EnEV-Anforderungsniveaus (EnEV 2016) für Neubauten und Bestandsgebäude, für öffentliche und private Gebäude, die bisherige Ausnahmeregelung für Hallengebäude >4 m entfällt
- Zum Teil Änderungen bei den Anforderungen an Nutzung von EE:
  - gebäudenah produzierter Strom aus PV (nicht für E-Direktheizung) kann primär-energetisch bilanziert werden, d.h. Verbesserung der Anrechenbarkeit
  - Systeme wie Brennwert + PV lassen sich besser abbilden
  - 10%ige Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes als Ersatzmaßnahme
- Primärenergiefaktoren bleiben im Wesentlichen unverändert bis auf
  - Pauschalfaktor 0,6 für Biogas in KWK
  - Pauschalfaktor 0,6 für Neubau Erdgas in KWK bei Mit-Versorgung eines Bestandsgebäudes
  - Wärmenetze KWK-Allokation perspektivisch mit Carnot, Untergrenze 0,3/0,2
- Neubauten müssen weiterhin EE nutzen, bisherige Erfüllungsmöglichkeiten und Ersatzmaßnahmen bleiben bestehen
- Gebäudeautomation zukünftig auch für Wohngebäude anrechenbar
- Eine Vielzahl der technischen Mindestanforderungen des EEWärmeG entfällt (WP-JAZ, Zählereinbau, Mindestwirkungsgrade)
- Zusätzlich gilt gebäudenah erzeugter erneuerbarer Strom als Erfüllung
  - Deckung des Wärme- und Kältebedarfs zu 15 %
  - PV in Wohngebäude  $0,02 \text{ kW}_{\text{peak}} \text{ je m}^2_{\text{AN}}$
- Weiterhin Referenzgebäudeverfahren, Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 (9/2018), alte Wohngebäudenormen weiterhin zulässig
- Einführung eines neuen vereinfachten Modelgebäudeverfahren für Wohngebäude als Nachfolger für EnEV-easy
- Prüfung der Umstellung der Hauptanforderungsgröße von PE auf CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt im GEG über eine Innovationsklausel (zunächst befristet bis 2023)
- Angabe von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energieausweis wird verpflichtend
- Unterschiede in der Anrechnung des EE-Stroms mit und ohne Stromspeicher: pauschal 150/200 kWh je kW installierter Nennleistung

Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Energiebedarfe von Effizienzhäusern.

**Tabelle 2-2: Typische Energiebedarfe (Wärme, Elektroenergie) von Effizienzhäusern [18]**

Effizienzhaustyp	Zulässiger Primärenergiebedarf (Heizung)	Typischer Elektroenergiebedarf (Warmwasser, Haushaltsstrom)
Gebäude nach EnEV ab 2016	Gemäß Referenzgebäudeverfahren, primärenergetische Anforderungen der EnEV 2014 um 25 % erhöht	Keine Angaben
KfW-Effizienzhäuser Neubau: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KfW-Effizienzhaus 40+</li> <li>• KfW-Effizienzhaus 40</li> <li>• KfW-Effizienzhaus 55</li> </ul> Sanierung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KfW-Effizienzhaus 55</li> <li>• KfW-Effizienzhaus 70</li> <li>• KfW-Effizienzhaus 85</li> <li>• KfW-Effizienzhaus 100</li> <li>• KfW-Effizienzhaus 115</li> <li>• Denkmal (165)</li> </ul>	Jahresprimärenergiebedarf (Zahlenwert in Prozent) gegenüber einem vergleichbaren Referenzhaus	Haushaltsstrom teilweise durch PV-Anlage verringert, Einsatz hocheffizienter Elektrogeräte
Niedrigstenergiehaus	max. 40 kWh/(m <sup>2</sup> a), Transmissionswärmeverlust kleiner als 0,28 W/m <sup>2</sup>	
Passivhaus	max. 15 kWh/(m <sup>2</sup> a), max. zulässige Heizlast 10 W/m <sup>2</sup>	jährliche Primärenergiebedarf (einschließlich Haushaltsstrom und Warmwasserbereitung) weniger als 120 kWh je Quadratmeter Wohnfläche
Nullenergiehaus	max. 15 kWh/(m <sup>2</sup> a), max. zulässige Heizlast 10 W/m <sup>2</sup>	Strom aus PV, kl. Windkraft, El.-Speicher, Energiebilanz ist ausgeglichen
Plusenergiehaus	max. 15 kWh/(m <sup>2</sup> a), max. zulässige Heizlast 10 W/m <sup>2</sup>	Einspeisung überschüssiger Strom aus PV, kl. Windkraft, El.-Speicher, negativer Jahres-Primär- und -Endenergiebedarf

## 2.3 Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern

Aus Sicht der Erfüllung der EnEV-Vorgaben sollten immer der bauliche Wärmeschutz und die Anlagentechnik gemeinsam betrachtet werden, um das vorgegebene Niveau des Primärenergiebedarfs zu erreichen. Durch das Inkrafttreten der verschärften Anforderungen der EnEV 2014 hinsichtlich des Primärenergiebedarfs ab dem 01.01.2016 haben sich die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Heiztechnologien in Neubauten deutlich geändert. Neben der Gebäudehülle hat auch die eingesetzte Heiztechnologie einen entscheidenden Einfluss auf den Jahres-Primärenergiebedarf und damit auf den erreichbaren Energiestandard bzw. die Erfüllung der Vorgaben der EnEV eines Neubaus.

### 2.3.1 Wärmeschutzmaßnahmen der Gebäudehüllen im Neubau

Im Rahmen des Förderprogramms „Energieeffizient Bauen“ der KfW werden seit 2016 die Energie-Standards KfW 55, KfW 40, KfW 40 plus gefördert, der Energiestandard KfW 70 gilt im Neubau seit 2016 als Referenzwert. Zur Erreichung der geförderten Neubau-Standards tragen neben anderen technologischen Möglichkeiten auch Maßnahmen an der Gebäudehülle bei.

In dem bisher aktuell zur Verfügung stehende Monitoring-Bericht des KfW-Programms „Energieeffizient Bauen“ des Jahres 2016 wurden geförderte Effizienzhäuser unter anderem hinsichtlich verschiedener Wärmeschutzmaßnahmen ausgewertet. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen prozentualen Werte beziehen sich auf die Anzahl der verwertbaren Stichproben der geförderten Effizienzhäuser.

Bei den Bauweisen der Außenwände sind vor allem das einschalige Mauerwerk ohne zusätzliche Dämmung, das einschalige Mauerwerk mit Dämmung, der Holzbau sowie das zweischalige Mauerwerk mit Dämmung von Bedeutung. In Tabelle 2-3 sind neben den Daten für das Referenzhaus EH 70 Daten zum Wärmeschutz der Gebäudehüllen für die Neubaustandards EH 55 und EH 40 und EH 40 Plus aufgeführt. Je höher der Effizienzstandard, desto hochwertigere Fenstertypen und Materialien für die Gebäudehülle werden verwendet, wodurch der spezifische Transmissionswärmeverlust sinkt und den Grenzwert nach EnEV deutlich unterschreitet. Die Daten stammen aus der KfW-Statistik von 2016.

Das bis zum Jahr 2016 stark dominierende KfW-Effizienzhaus 70 wird seit der Verschärfung der EnEV im Jahresverlauf 2016 nicht mehr gefördert. Aufgrund dessen ist der Anteil der geförderten Neubauten des KfW-Effizienzhaus 55-Standards von ca. 20 % auf 58 % angestiegen. Auch das EH 40 und das EH 40 Plus können einen Anstieg ihrer Anteile gegenüber den vorherigen Jahren steigern. In Relation zur Gesamtzahl der neuen Wohngebäude in Deutschland beträgt der Anteil der KfW-geförderten Neubauwohnungen gut 50 %. Auch nach dem Übergang zum höheren Standard in 2016 sind ein Großteil der Bauherren bereit, einen deutlich besseren Effizienzstandard für ihre Häuser zu erzielen. [16]

**Tabelle 2-3: Wärmeschutzmaßnahmen der Gebäudehülle für verschiedene Neubaustandards [16]**

2016	Effizienzhaus 70	Effizienzhaus 55	Effizienzhaus 40	Effizienzhaus 40 Plus
Abkürzung	EH 70	EH 55	EH 40	EH 40 Plus
Anzahl in Stichprobe	68	310	121	158
<b>Fenstertyp</b>				
Fenster mit 2-Scheiben-Verglasung	4 %	2 %	0 %	1 %
Fenster mit 3-Scheiben-Verglasung	84 %	78 %	62 %	51 %
Fenster mit 3-S.-Vgl. und hochdämmendem Rahmen	11 %	20 %	38 %	48 %
<b>Durchschnittliche U-Werte in W/(m²K)</b>				
Außenwand	0,19	0,18	0,13	0,13
Dach / Obergeschossdecke	0,18	0,16	0,13	0,13
Erdgeschossfußboden / Kellerdecke	0,24	0,21	0,17	0,16
Fenster	0,92	0,85	0,81	0,79
<b>spezifischer Transmissionswärmeverlust <math>H'_T</math></b> (Kennwert für Gesamt-Wärmeverlust der Gebäudehülle)				
erreichter Wert für $H'_T$ in W/(m²K)	0,30	0,25	0,20	0,19
Unterschreitung des Grenzwerts von $H'_T$ nach EnEV	32 %	36 %	50 %	50 %

### 2.3.2 Wärmeversorgungsstruktur und eingesetzte Heiztechnologien im Neubau

Im Neubau kann eine Vielzahl von Heizungssystemen zum Einsatz kommen, wobei die Auswahl von mehreren Kriterien abhängt. Neben der Verfügbarkeit von Energieträgern (Gas, Fernwärme), hat auch der angestrebte Energiestandard des jeweiligen Gebäudes entscheidenden Einfluss, wobei der bauliche Wärmeschutz und die Anlagentechnik gemeinsam betrachtet werden müssen.

Daneben gibt es gesetzliche Vorschriften wie das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EE-WärmeG), das eine Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien im Neubau ab einer Nutzfläche von 50 m² zur anteilmäßigen Wärme- oder Kälteversorgung vorschreibt. Alternativ müssen Ersatzmaßnahmen ergriffen werden, die aus der Nutzung von Abwärme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, den Einsatz konventionell erzeugte Fernwärme oder Fernkälte sowie aus einer verbesserten Energieeinsparung beim Gebäude bestehen können. Das EEWärmeG erlaubt auch einzelnen Bundesländern für den privaten Gebäudebestand Nutzungspflichten für erneuerbare Energien einzurichten oder einen Anschluss- und Benutzungszwang der öffentlichen Nah- oder Fernwärmeversorgung festzulegen.

Für neu errichtete Wohngebäude ist die Entwicklung der Energieträgerverteilung in den Jahren 2008 bis 2018 in Abbildung 2-14 dargestellt. Darin wird sichtbar, dass der Anteil von Gas seit 2007 um ca. 20 % zurückgegangen ist, aber mit ca. 38 % Anteil am häufigsten als Hauptenergieträger zum Einsatz kommt. Erneuerbare Energien (Umweltwärme, Holz/Holzpellets) haben seit der Jahrtausendwende an Bedeutung gewonnen und konnten bis zum Jahr 2018 32 % Anteil an der Heizwärmeversorgung einnehmen. Ebenso hat Fernwärme mit ca. 25 Prozent Anteil in Neubauten stark an Bedeutung gewonnen und erreicht einen fast ähnlich hohen Anteil wie Umweltwärme (Wärmepumpen). Mit Holzpellets bzw. Stückholz werden ca. 5 bis 7 % der Häuser beheizt. Heizöl ist als Energieträger im Neubau von 6 % im Jahr 2005 auf ungefähr

1 % zurückgegangen, auch Strom wird abgesehen von den Elektro-Wärmepumpen nur noch sehr gering verwendet [19].

Die Aufteilung der Umweltwärmequellen der Elektro-Wärmepumpen wird vom Bundesverband Wärmepumpe e.V. (bwp) für das Jahr 2017 mit ca. 28 % an erdgekoppelter Wärmepumpen und ca. 72 % Luft/Wasser – Wärmepumpen angegeben.

## Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau<sup>1)</sup> in Deutschland

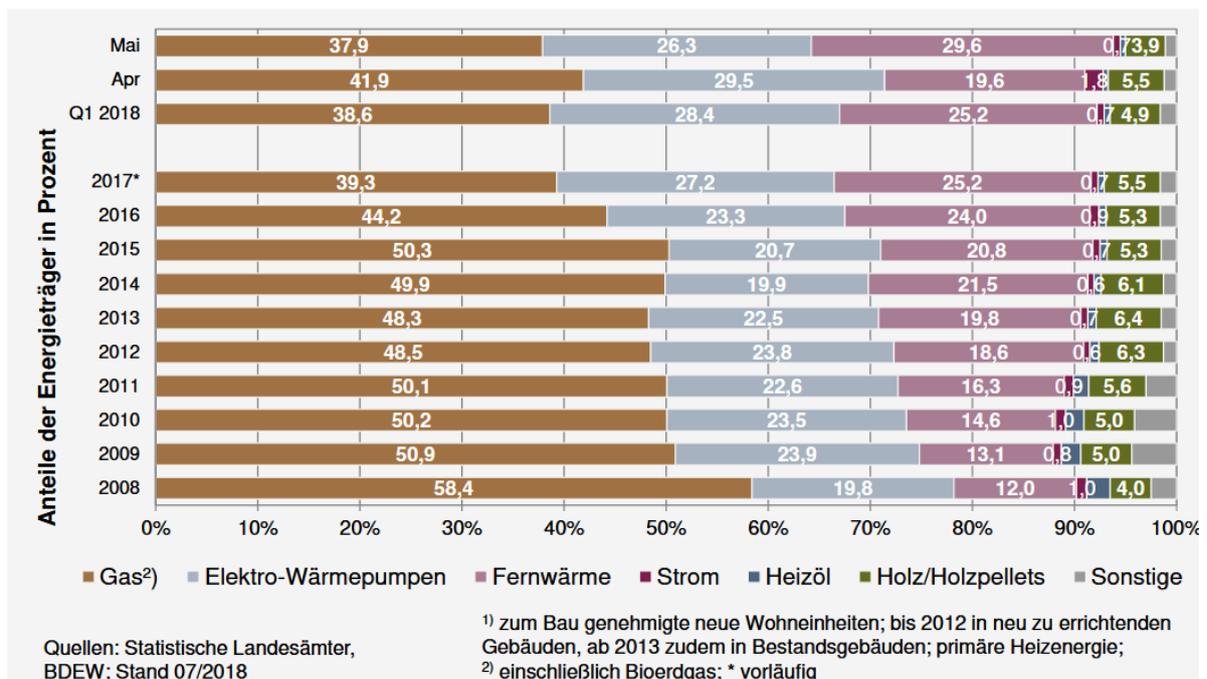


Abbildung 2-14: Prozentualer Anteil der im Neubau eingesetzten Beheizungssysteme, [19]

Im Monitoring-Bericht des KfW-Programms „Energieeffizient Bauen“ 2016 wird die Wärmeversorgungsstruktur verschiedener Energiehausstandards mit den in Tabelle 2-4 aufgeführten Daten angegeben. Auch hier beziehen sich die angegebenen prozentualen Werte auf die Anzahl der verwertbaren Stichproben der geförderten Effizienzhäuser.

Die wesentlichen Anteile der Haupt-Energieträger bestehen bei dem Referenzgebäude EH 70 zu 46 % aus Strom, 32 % Erdgas und 14 % Fernwärme. Steigt der Effizienzhaus-Standard bis auf EH 40 an, wächst der Strom-Anteil auf 60 % an, der Erdgasanteil sinkt auf 6 %, der Biomasseanteil liegt bei EH 40 bei 20 % und die Fernwärme bleibt annähernd gleich bei 13 %. Eine Beheizung mit Heizöl beträgt bei sämtlichen Effizienzhäusern maximal noch 1 %. Die EH 40 Plus-Häuser werden durch die vorhandenen Photovoltaik-Anlagen weitgehend nur noch mit Strom als Energieträger versorgt, lediglich Biomasse und Fernwärme werden mit jeweils 6 % eingesetzt. Mit dem Energieträger Strom ist in den meisten Fällen die elektrische Wärmepumpe gemeint.

Die Effizienz der Neubauten wird neben der Heiztechnologie durch weitere Anlagentechnik wie Photovoltaik-Anlagen und Lüftungsanlagen erzielt. Die Anzahl solcher Anlagen nimmt mit steigendem Effizienzhaus-Standard zu, im Gegensatz dazu nehmen die Anteile der Solarthermie-Anlagen ab.

Tabelle 2-4: Vergleich der Wärmeversorgungsstruktur verschiedener EH-Standards [16]

2016	Effizienzhaus 70	Effizienzhaus 55	Effizienzhaus 40	Effizienzhaus 40 Plus
Anzahl in Stichprobe	68	310	121	158
<b>Anteile Haupt-Energieträger</b>				
Erdgas/Flüssiggas	32 %	13 %	6 %	0 %
Heizöl	0 %	0 %	1 %	0 %
Biomasse	7 %	7 %	20 %	6 %
Strom	46 %	64 %	60 %	88 %
Fernwärme	14 %	16 %	13 %	6 %
<b>Anteile Solaranlagen</b>				
Photovoltaik	3 %	25 %	44 %	92 %
Solarthermie	25 %	16 %	13 %	4 %
<b>Anteile Lüftungsanlagen</b>				
mit Lüftungsanlage	45 %	66 %	80 %	99 %

In Tabelle 2-5 sind die in den unterschiedlichen Neubaustandards einsetzbaren Heizungssysteme zusammengestellt.

Tabelle 2-5: Gebräuchlichste Heizsysteme im Neubau [18]

Gebäudestandard	Heizsysteme
KfW-Effizienzhäuser Neubau / Sanierung	Zukunftsweisende / konventionelle Heizungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brennwertkessel (Gas, Öl) plus solare TWE/HeizU</li> <li>- Hybridgeräte (Elektrowärmepumpe / Gas-Brennwertkessel)</li> <li>- Gaskamine, Gaskaminöfen, KWK (Otto, Stirling, Brennstoffzelle)</li> <li>- Elektro- oder Gas-Wärmepumpen, Biomasseheizungen</li> <li>- Zentrale Lüftungsanlage, Photovoltaik</li> <li>• Auswahl auch abhängig von der primärenergetischen Bewertung des jeweiligen Systems</li> </ul>
Niedrigstenergiehaus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kompaktgeräte mit Luftheizung und wassergeführtem System</li> <li>- Solarthermie, Photovoltaik</li> </ul>
Passivhaus	Keine konventionelle Heizung → passive Energiequellen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung</li> <li>- Heizung und WW-Erzeugung über Abluft-Wärmepumpe, Solarthermie, elektr. Luftheizung, Holzofen, u.ä.</li> </ul>
Nullenergiehaus	Wie Passivhaus, weitere Absenkung des Energiebedarf durch größere Photovoltaikanlage und Solarkollektoren <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Energie von außen</li> </ul>
Plusenergiehaus	Wie Nullenergiehaus, weitere Absenkung Energiebedarf <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energieüberschuss, insbesondere Solarstrom</li> </ul>

In der nach Gebäudestandards durchgeführten Unterteilung wird sichtbar, dass konventionelle Heizungssysteme bei hocheffizienten Gebäuden, die nach dem Passivhausstandard gebaut werden, aufgrund des geringen Wärmebedarfs nicht mehr nötig sind. Die benötigte Heizwärme kann durch passive Energiequellen oder eine elektrische Zuluftheizung bereitgestellt und durch das Lüftungssystem verteilt werden. Es können aber auch zentral aufgestellte Einzelraumfeuerstätten, wie Pellet- oder Kaminöfen zum Einsatz kommen, die für ggf. notwendige Wärmezufuhr sorgen. Die Warmwassererzeugung kann über eine thermische Solaranlage bzw. einen Brennwertkessel erfolgen. Es werden auch Kompaktgeräte eingesetzt, die Lüftung, Lüftung und Warmwasserbereitung kombinieren. Diese Wärmepumpen können neben der Abluft zusätzlich auch die Außenluft oder das Erdreich als Energiequelle nutzen.

Für Gebäude mit etwas höherem Wärmebedarf bis ca. 25 kWh/m<sup>2</sup> a werden Kompaktgeräte angeboten, die Radiatoren bzw. Wand- und Fußbodenheizung über ein wassergeführtes System mit Wärme versorgen können.

Neubauten, die gemäß den energetischen Mindestanforderungen der EnEV bzw. nach KfW-Effizienzhauskriterien gebaut werden, erfordern in Abhängigkeit vom Heizwärmebedarf bzw. der benötigten Heizlast den Einsatz einer konventionellen Beheizung, d.h. es ist ein wassergeführtes Heizungssystem erforderlich.

Bei den genannten Heizsystemen ist auch zusätzlich der Einsatz von Solarthermie (Trinkwassererwärmung / Heizungsunterstützung) oder Photovoltaik möglich. Dieser kann insbesondere bei Anlagenkombinationen mit Mikro-KWK-Anlagen zur verminderten Auslastung und zu niedrigeren Vollbenutzungsstunden der Geräte führen und die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen.

Neben dem Einsatz in dezentralen Versorgungssystemen (Einzelwärmeversorgung) kommen Gastechnologien in Heizkraftwerken zum Einsatz, die Wärme für die Heizung öffentlicher und privater Gebäude bereitstellen oder Betriebe mit Prozesswärme versorgen. Dabei sind Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung die am meisten verbreitete Form der Fernwärme-Erzeugung in Deutschland.

Insbesondere in kleinen Quartieren bzw. Siedlungen mit Niedrigenergiegebäuden in Reihenbebauung kann der Einsatz von Energie- oder Heizzentralen, in Verbindung mit Nahwärmenetzen, wirtschaftlich sein. In diesen Zentralen können Gastechnologien wie KWK-Anlagen, Gaswärmepumpen oder Gas-Brennwertkessel neben Energiespeichern und erneuerbaren Energien (Biogas, Biomasse, Solarthermie oder Photovoltaik) zum Einsatz kommen. Die Gastechnologien können dabei als Kopplungselement zwischen Gas- und Stromnetz dienen und durch die zusätzliche Stromerzeugung der KWK-Technologien und den verminderten Einsatz von Elektroenergie zur Wärmeerzeugung (Wärmepumpen, Stromheizungen) die Stromnetze entlasten.

Die Wirksamkeit der Primärenergieeinsparung verschiedener Wärmeschutzmaßnahmen, Heiztechnologien, Lüftung mit WRG sowie zentrale Wärmeversorgungsmöglichkeiten gibt Abbildung 2-15 wieder. Es ist das prozentuale Einsparpotential an Primärenergie von Minimum (dunkelgrau) bis Maximum (hellgrau) für die verschiedenen Maßnahmen abgebildet.

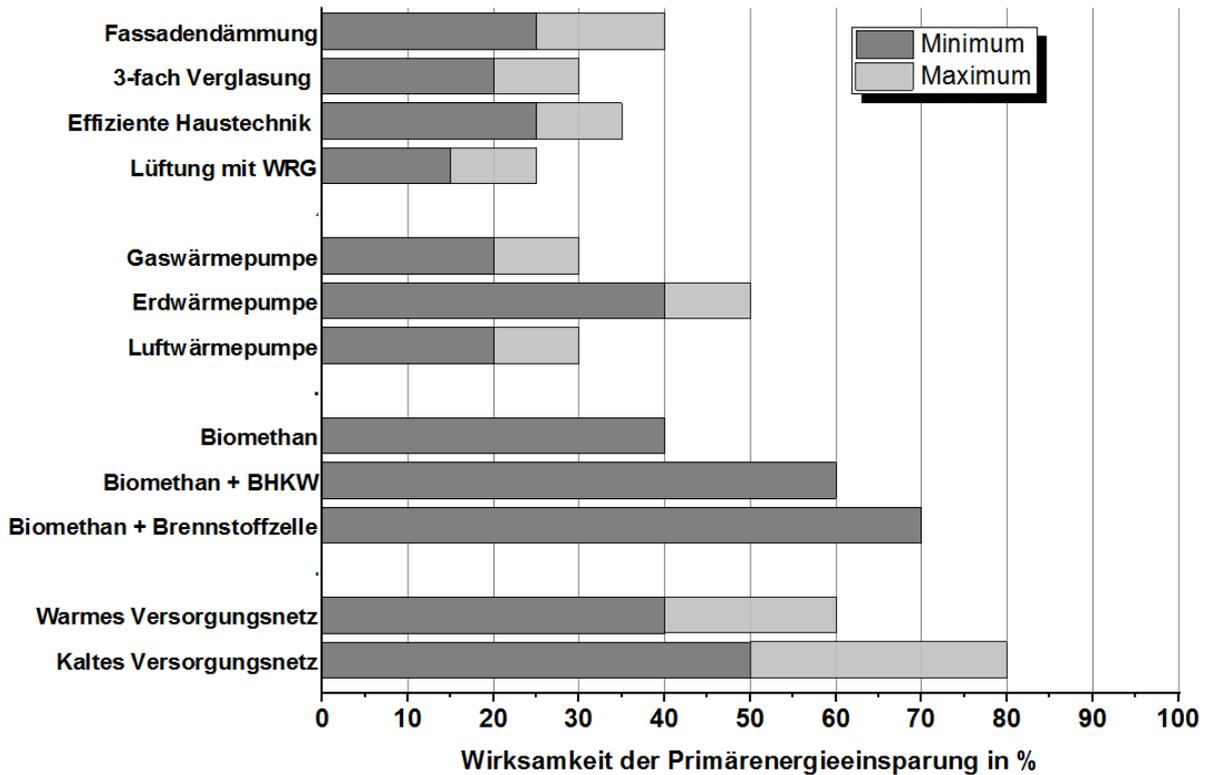
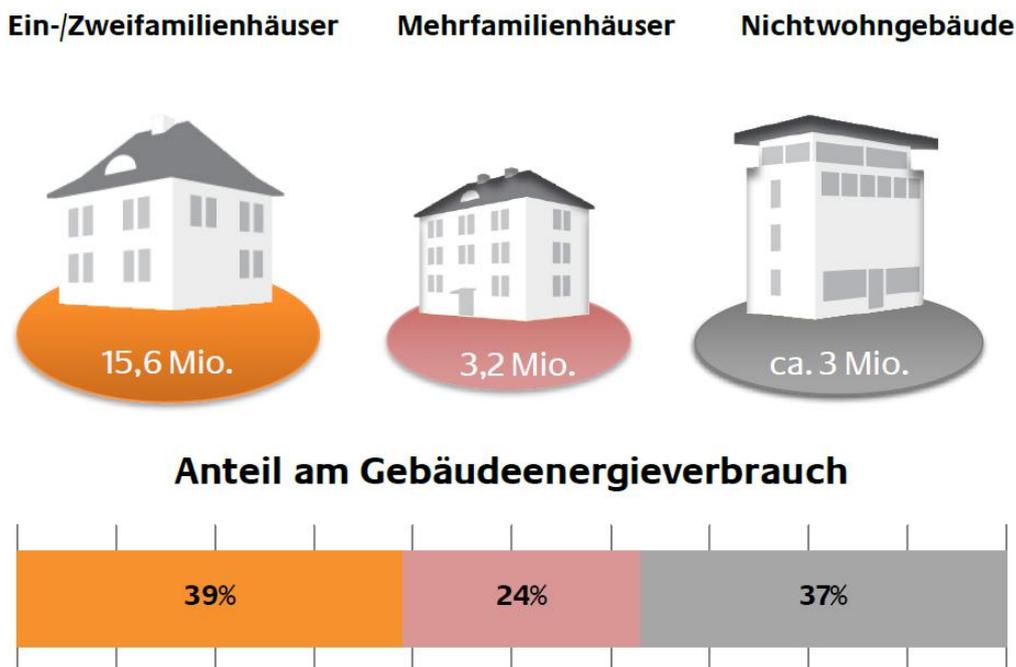


Abbildung 2-15: Wirksamkeit von Primärenergieeinsparmaßnahmen [20]

## 2.4 Analysen zu Energiestandards von Gebäudetypen und -anordnungen

In Deutschland wurden im Jahr 2015 864 TWh für Beheizung, Warmwasser, Beleuchtung und Kühlung von Gebäuden verbraucht. Dies entspricht ungefähr 35 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Der Anteil am Gebäudeenergieverbrauch teilt sich auf die Gebäudetypen wie in Abbildung 2-16 angegeben auf. Die Ein- und Zweifamilienhäuser verursachen mit 39 % den größten Anteil des Gebäudeenergieverbrauchs, sie weisen die höchsten auf einen Quadratmeter bezogenen Verbräuche auf. Die Mehrfamilienhäuser bilden die größte Gruppe der Wohneinheiten, haben aber aufgrund ihrer kompakteren Bauweise geringere Energieverbräuche, bezogen auf die Wohnfläche. Im Mehrfamilienhausbereich wird 24 % der Gebäudeenergie verbraucht. Auf die ca. 3 Millionen Nichtwohngebäude entfallen 37 % des Gebäudeenergieverbrauchs, was für die geringe Anzahl der Gebäude recht hoch ist. Gründe hierfür sind die große Fläche je Gebäude sowie hohe quadratmeterbezogene Verbräuche [1].



**Abbildung 2-16: Gebäudetypen in Deutschland und ihr Anteil am Endenergieverbrauch in Gebäuden, [1]**

#### 2.4.1 Analysen zu Energiestandards von neugebauten Einfamilienhäusern, (freistehend, Reiheneckhaus, Reihenmittelhaus)

In diesem Projekt liegt der Fokus auf dem Einfamilienhaus-Sektor im Neubau. Zunächst wird der Jahresprimärenergiebedarf für ein freistehendes Einfamilienhaus, für ein Reiheneckhaus und ein Reihenmittelhaus ermittelt. Neben den Referenzwerten nach EnEV werden weitere Energiestandards berechnet und die dafür geeigneten Technologien aufgezeigt. Aus den berechneten Energiestandards kann anschließend der Energieverbrauch für eine Siedlung bestimmt werden.

Die Analysen der Energiestandards werden mit dem Programm „Energieberater Professional 3D“ der Hottgenroth Software GmbH & Co.KG [21] durchgeführt, eine Software zur energetischen Planung und Bewertung von Wohngebäuden nach aktueller EnEV für Neubauten sowie Bestandsgebäude. Die Bilanzierung kann wahlweise nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10/12 oder nach DIN V 18599 erfolgen. Die Ermittlung des Energiebedarfs nach DIN V 18599 geschieht gegenüber DIN V 4108-6 in leicht abgeänderter Form: der in DIN V 4108-6 definierte Heizwärmebedarf des Gebäudes wird im Verfahren der DIN V 18599 bereits mit den nutzbaren Wärmeeinträgen der Wärmeverteilung und der Speicherkomponenten der Anlagentechnik verrechnet und als sog. Nutzwärmebedarf bezeichnet. Aus diesem Grund können diese beiden Bestandteile der Energiebilanz auch nicht unmittelbar miteinander verglichen werden. Im Anschluss beider Berechnungsansätze werden die Verluste der Anlagentechnik bilanziert, die dann zum Heizenergiebedarf führen. In Tabelle 2-6 sind einige Merkmale der Berechnungsverfahren gegenübergestellt.

Tabelle 2-6: Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren, [8]

DIN 4108-6/DIN 4701-10	DIN 18599
Monatsbilanzverfahren (baulich)	Monatsbilanzverfahren (baulich und anlagentechnisch)
Nutzenergie Trinkwarmwasser pauschal (12,5 kWh/(m <sup>2</sup> a))	Nutzenergie Trinkwarmwasser nach Nutzung (EFH und MFH) differenziert (10,1 und 13,8 kWh/(m <sup>2</sup> a))
Interne Wärmeeinträge pauschal (5 W/m <sup>2</sup> )	Interne Wärmeeinträge nach Nutzung für EFH differenziert (1,9 und 3,8 W/m <sup>2</sup> )
Endenergie bezogen auf Heizwert	Endenergie bezogen auf Brennwert
Raumtemperatur: 19 °C	Raumtemperatur: 20 °C
Bestandsanlagen in anderen Normenteilen	Bestandsanlagen integriert

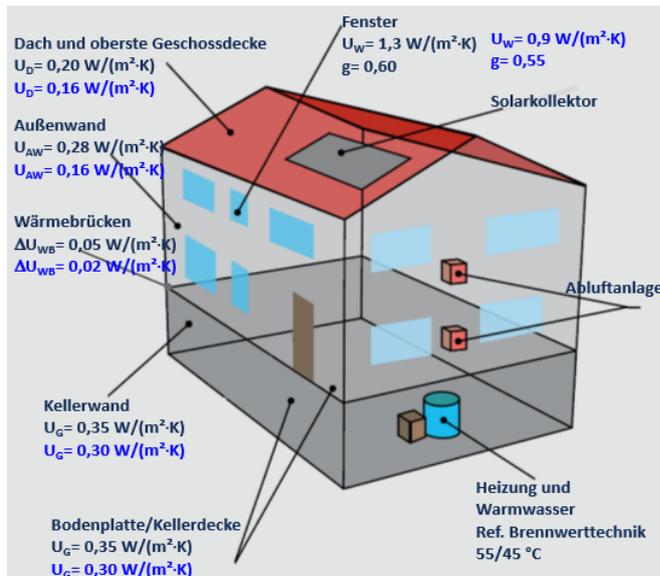
Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden mit dem Berechnungstool der Hottgenroth-Software Energieberater Professional nach DIN V 18599 berechnet. Folgende nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10/12 ermittelten Ergebnisse befinden sich im Anhang:

- In Kapitel 0 sind der PE-Bedarf, der Endenergiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines jeweils mit Abluftanlage und Lüftungsanlage mit WRG ausgestatteten freistehenden EFH in Abbildung 0-8 bis Abbildung 0-13 dargestellt.
- In Kapitel 0 ist der Primärenergiebedarf eines Reiheneckhauses mit Abluftanlage in Abbildung 0-14 aufgeführt und in Abbildung 0-15 ist der Primärenergiebedarf eines Reihemittelhauses abgebildet.

### Annahmen für ein typisches Einfamilienhaus

Die Anforderungen an die Gebäudehülle eines typischen Einfamilienhauses als Referenzgebäude der EnEV 2014 (graue Schrift) sowie für den verbesserten Wärmeschutz (blaue Schrift) sind im linken Teil der Abbildung 2-17 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Wärmedurchgangskoeffizienten für die Gebäudehülle, den Wärmebrückenzuschlag sowie der Durchlassgrad  $g$  der Verglasung der Fenster des Referenzgebäudes. Weiterhin ist ein Brennwertkessel mit Heizungsvor- und Rücklauftemperaturen von maximal 55/45 °C, eine thermische Solaranlage und eine zentrale Abluftanlage in dem Referenzgebäude vorgesehen. Im rechten Teil der Abbildung 2-17 sind die dazugehörigen Gebäudedaten aufgeführt.

### Referenzgebäude EnEV 2014/ verbesserter Wärmeschutz



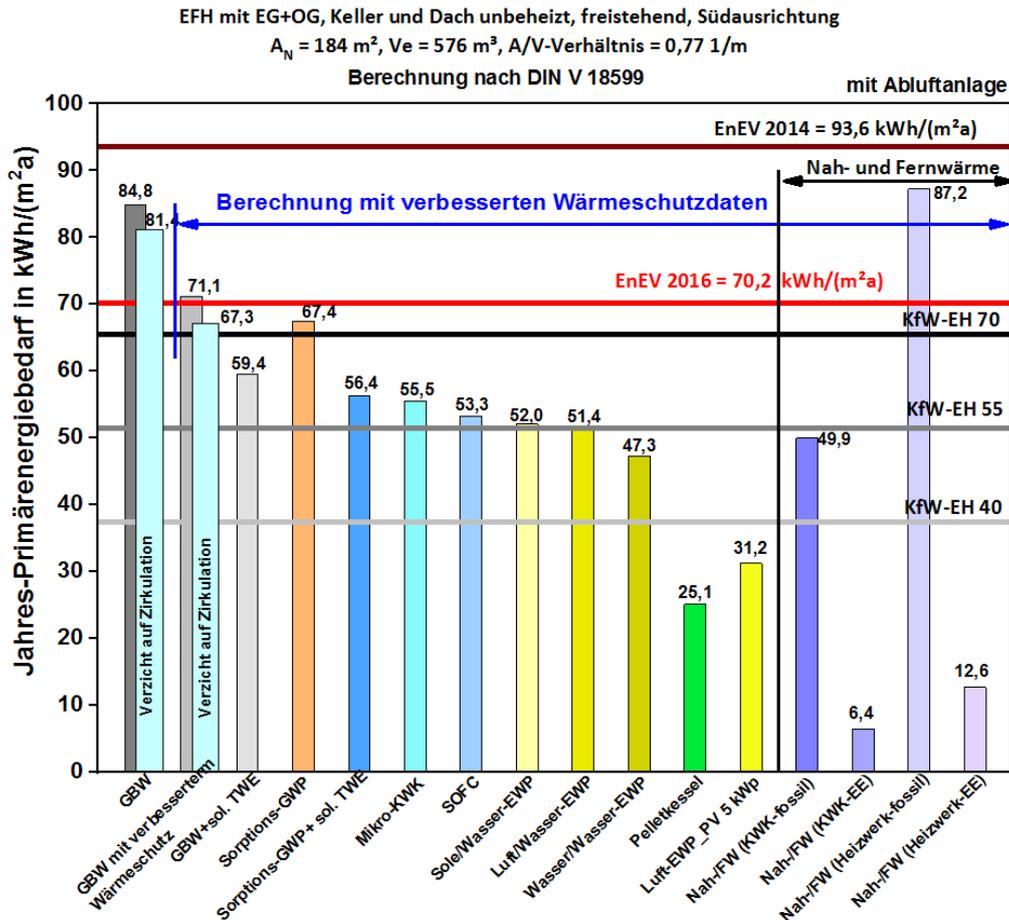
### Gebäudedaten:

- EFH mit EG+OG, Neubau
- Keller und Dach unbeheizt
- Südausrichtung
- beheizte Wohnfläche  $A_{beh.} = 154 \text{ m}^2$
- Nutzfläche  $A_N = 184 \text{ m}^2$
- Hüllfläche  $A_H = 443 \text{ m}^2$
- beheiztes Volumen  $V_e = 576 \text{ m}^3$
- A/V-Verhältnis =  $0,77 \text{ m}^{-1}$
- Klimareferenzort = Potsdam
- Gebäudenutzung = Wohngebäude
- Gebäudebauart = pauschal-schwere Bauart
- Raumtemperatur  $20 \text{ °C}$ ; mit Nachtabschaltung
- Berechnung nach DIN V 18599

**Abbildung 2-17: Anforderungen an das Referenzgebäude der EnEV 2014 und an ein Gebäude mit verbessertem Wärmeschutz, [8] und GWI**

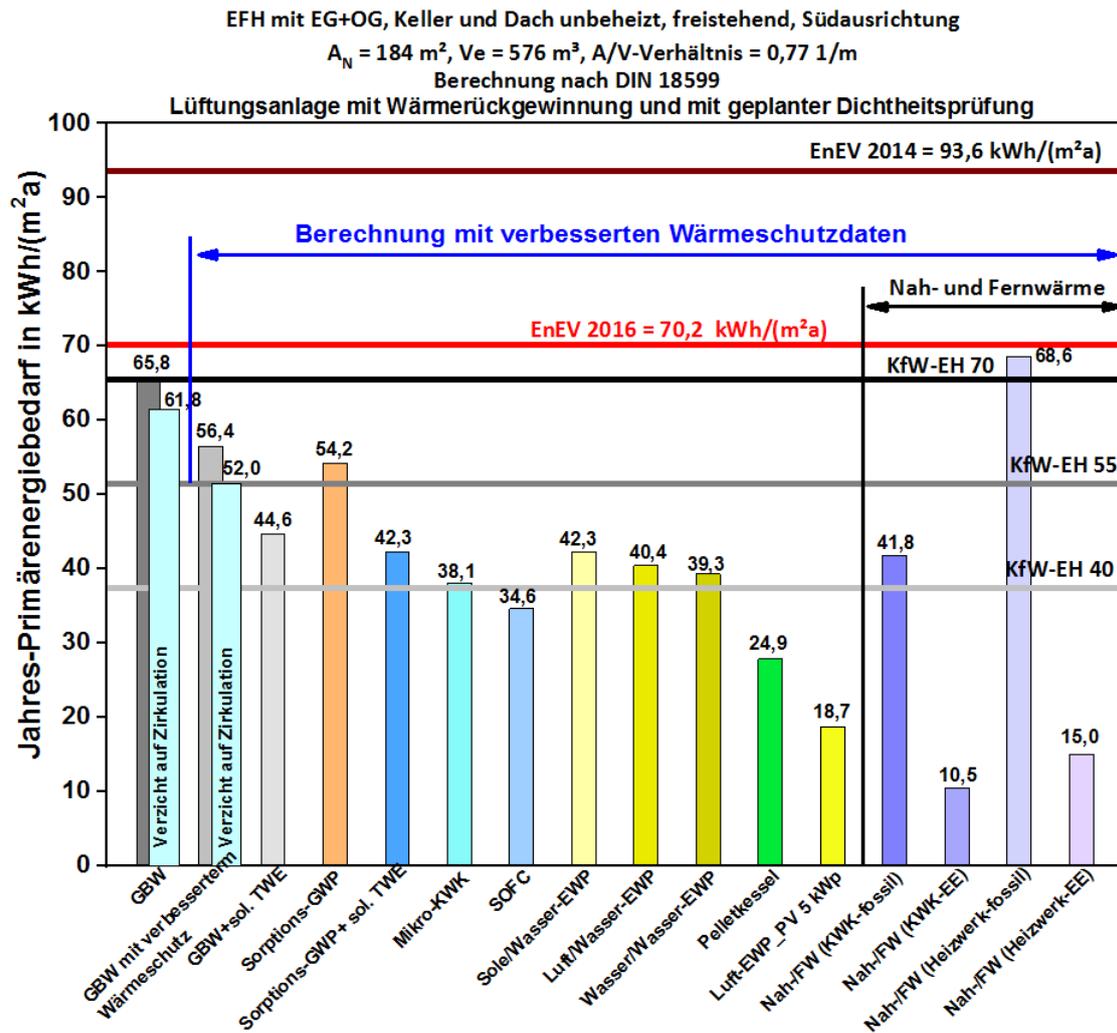
Der jährliche Primärenergiebedarf, berechnet nach EnEV 2014/EnEV 2016, mit verbesserten Wärmeschutzdaten und verschiedenen KfW-Effizienzhaus-Standards ist für diverse Anlagenkonstellationen in Abbildung 2-18 veranschaulicht.

Der für den Neubau des EFH nach EnEV 2016 einzuhaltende Jahresprimärenergiebedarf ist mit der roten Linie markiert und beträgt  $70,2 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Die von der KfW geförderten Effizienzhaus-Stands EH 55 und EH 40 sind in dunkelgrau und hellgrau gekennzeichnet. Um den Grenzwert der EnEV 2016 zu erreichen, sind Maßnahmen zum verbesserten Wärmeschutz alleine nicht ausreichend. Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sind nötig, beispielsweise ergibt der Verzicht auf eine Zirkulation einen Jahresprimärenergiebedarf von  $67,2 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Weiterhin erzielt eine solare Trinkwassererwärmung (TWE) in Kombination mit dem Brennwertkessel einen PE-Bedarf von  $59,4 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Andere Heiztechnologien wie Mikro-KWK, verschiedene Wärmepumpen, Pelletkessel sowie Nah- und Fernwärmeversorgungen sind ebenfalls mögliche Effizienzverbesserungs-Varianten. Eine Photovoltaik-Anlage reduziert nochmals deutlich den Jahresprimärenergiebedarf. Weitere Möglichkeiten zur Reduzierung des PE-Bedarfs sind neben weiteren baulichen Verbesserungen Lüftungsanlagen mit unterschiedlichen Wärmerückgewinnungsgraden, eine Ausschaltung der Zirkulation, Absenkung der Vor- und Rücklauftemperaturen durch Verwendung einer Fußbodenheizung.



**Abbildung 2-18: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit Abluftanlage und verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI**

In Abbildung 2-19 (Rahmenbedingungen in Abbildung 2-17) ist der mit den Standard-Einstellungen nach DIN V 18599 berechnete Jahres-PE-Bedarf des mit einer Lüftungsanlage mit 80 % Wärmerückgewinnung (WRG) ausgestatteten Einfamilienhauses dargestellt. Die Lüftungsanlage mit WRG bewirkt eine deutliche Reduzierung des PE-Bedarfs, so dass der EnEV-Grenzwert von allen Technologien unterschritten wird sowie die meisten Heiztechnologien sogar den KfW-EH 55-Standard erreichen können.



**Abbildung 2-19: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH, mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI**

Der jährliche Endenergiebedarf mit Einbeziehung des Hilfsenergiebedarfs für die berechneten Anlagenkonstellationen ist in Abbildung 2-20 (Rahmenbedingungen Abbildung 2-17) dargestellt. Auffällig ist die Variante des Pelletkessels. Aufgrund des niedrigen Brennwertes von Holz ist der Endenergiebedarf besonders hoch.

EFH mit EG+OG, Keller und Dach unbeheizt, freistehend, Südausrichtung  
 $A_N = 184 \text{ m}^2$ ,  $V_e = 576 \text{ m}^3$ ,  $A/V\text{-Verhältnis} = 0,77 \text{ 1/m}$

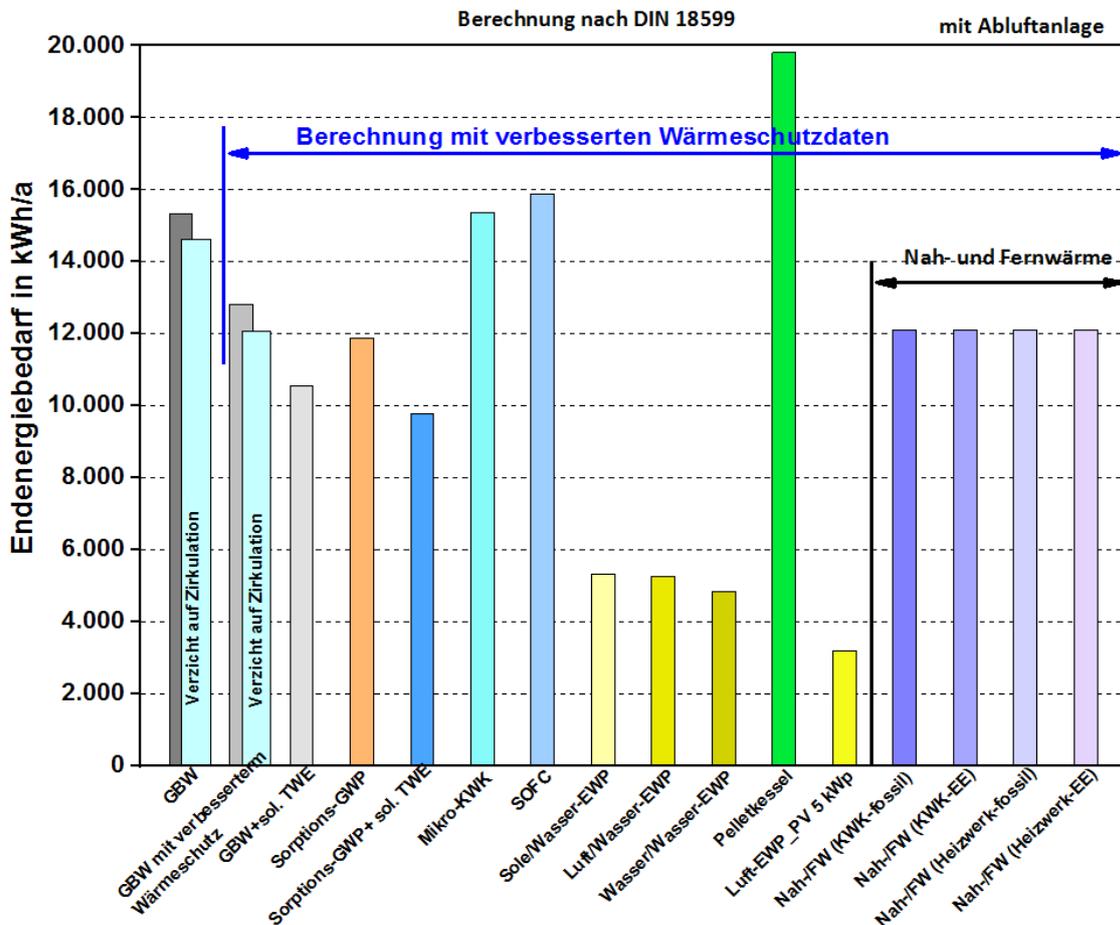
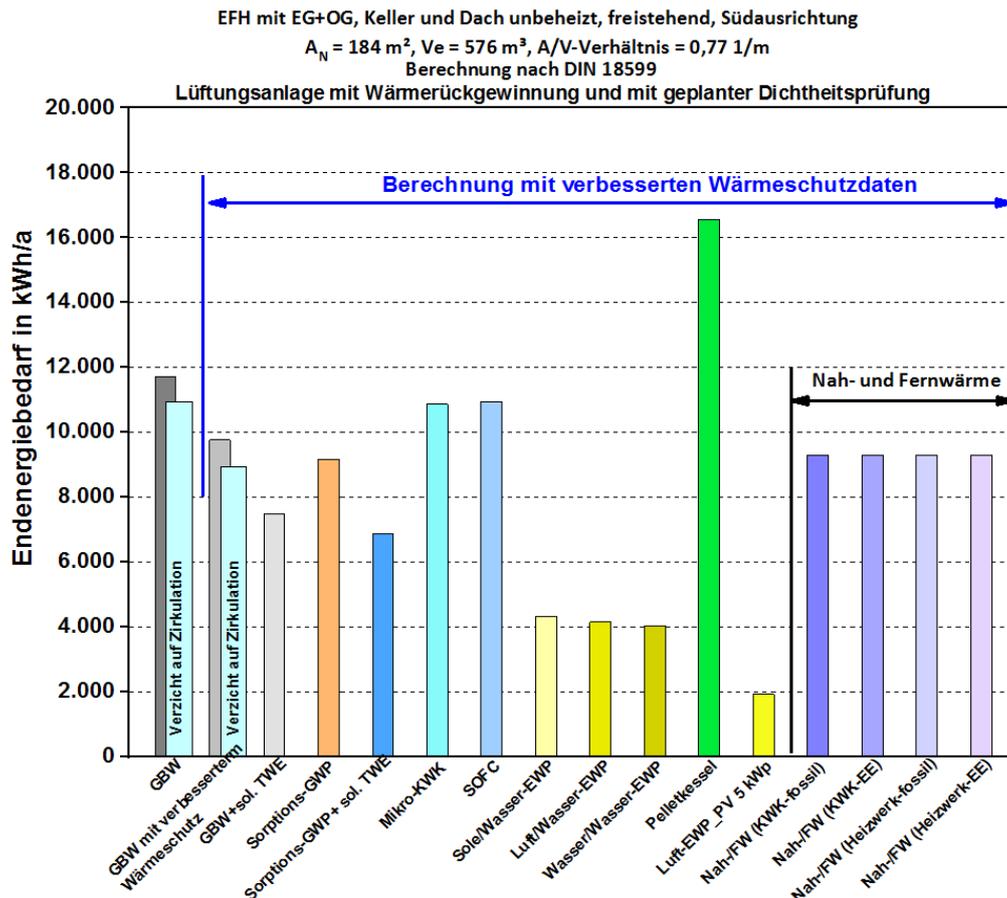


Abbildung 2-20: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI

Die Abbildung 2-21 gibt den Endenergiebedarf des freistehenden Einfamilienhauses beim Einsatz der unterschiedlichen Anlagenvarianten unter Berücksichtigung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung an. Durch die Wärmerückgewinnung sinkt der Endenergiebedarf bei sämtlichen Anlagenkonfigurationen deutlich ab.

Ähnlich verhält es sich auch bei den jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein mit unterschiedlichen Technologien beheiztes freistehendes Einfamilienhaus ohne eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erzeugt zwischen 6 und 20 kg CO<sub>2</sub> pro m<sup>2</sup> Nutzfläche im Jahr (Abbildung 2-22), sowie analog dazu liegen die mit einer Wärmerückgewinnungsanlage berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 6 und 15 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> und Jahr, siehe Abbildung 2-23.



**Abbildung 2-21: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH, mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI**

Der nach DIN V 18599 berechnete Jahres-Primärenergiebedarf eines neugebauten Reiheneckhauses, ebenfalls mit verschiedenen Anlagenkonstellationen mit Abluftanlage ist im Anhang in Kapitel 0 in Abbildung 0-16 dargestellt. Es sind die gleichen baulichen Daten wie bei dem freistehenden EFH verwendet worden, das A/V-Verhältnis hat sich durch das einseitig angebaute Gebäude auf 0,69 verringert. Der nach EnEV 2016 zulässige Grenzwert des PE-Bedarfs liegt um ca. 5 kWh/m<sup>2</sup> niedriger und beträgt nun 64,7 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr.

Bei den in Abbildung 0-17 gezeigten Daten eines Reihenmittelhauses reduziert sich der nach EnEV 2016 zulässige Grenzwert des PE-Bedarfs nochmals um 5,7 kWh/m<sup>2</sup> und liegt bei diesem Gebäudetyp unter Berücksichtigung der gleichen baulichen Daten wie bei dem freistehenden EFH bei 59 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr. Das A/V-Verhältnis beträgt bei diesem Gebäudetyp 0,61.

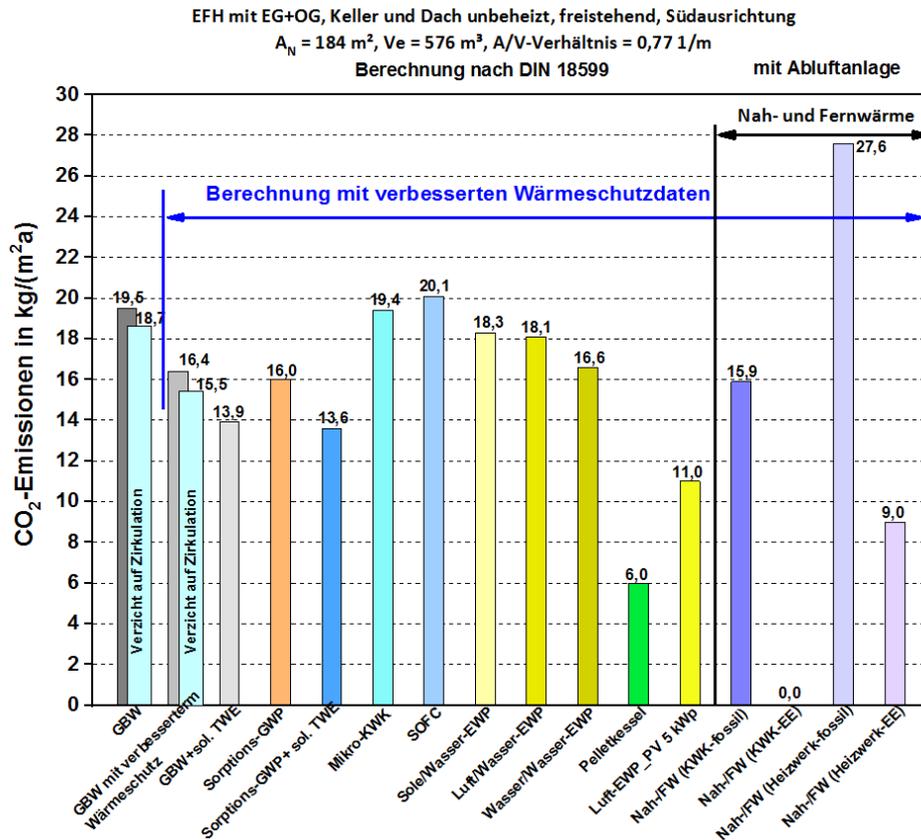


Abbildung 2-22: Jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI

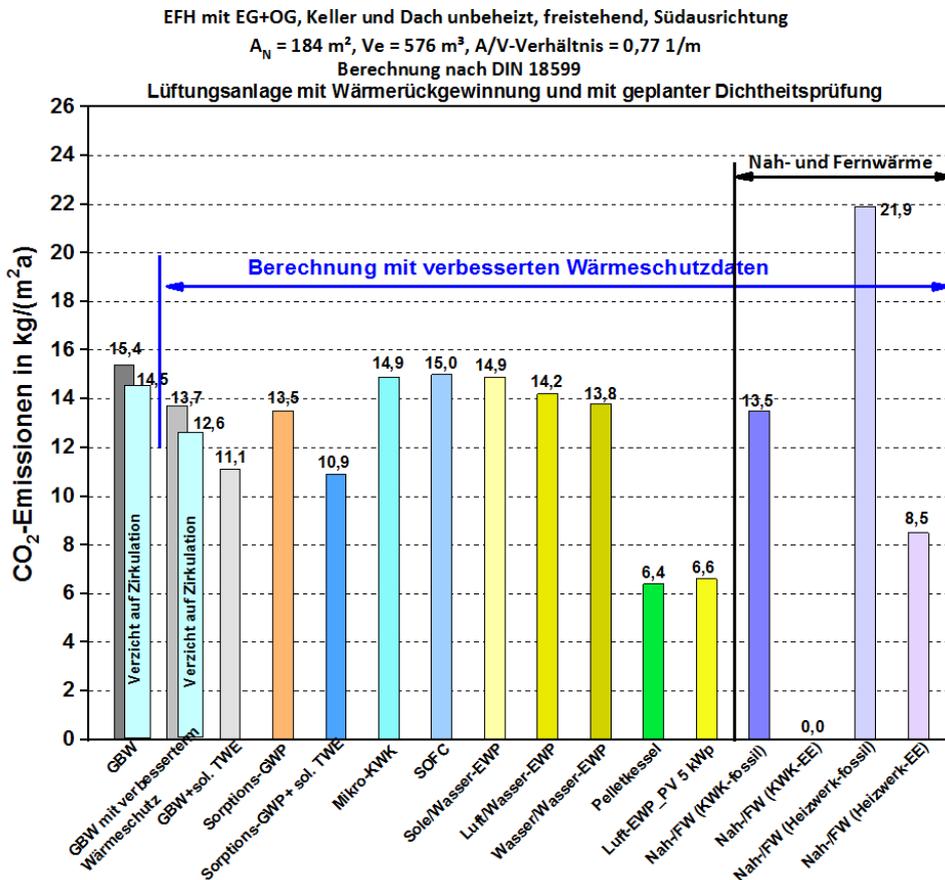
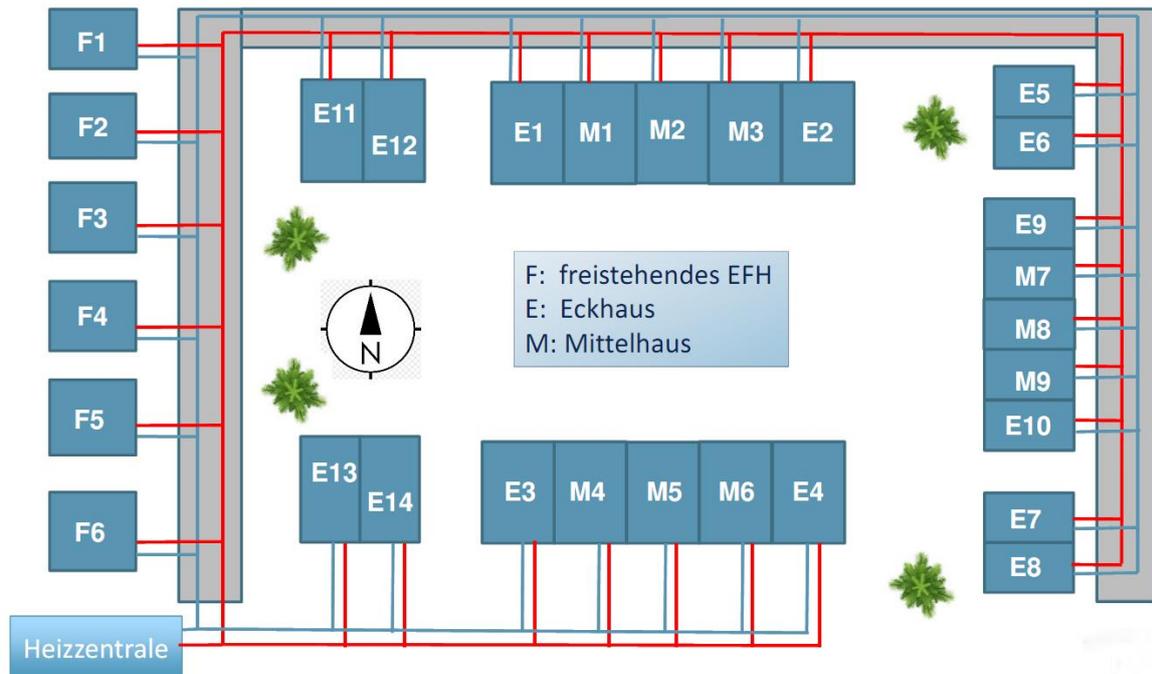


Abbildung 2-23: Jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen eines EFH, mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI

## 2.4.2 Analysen zu Energiestandards einer Niedrigenergiehaus-Neubau-Siedlung

Betrachtungen zur Energieversorgung einer Niedrigenergiehaus-Siedlung werden an dem in Abbildung 2-24 dargestellten Siedlungs-Modell durchgeführt. Die Siedlung besteht aus 6 freistehenden Einfamilienhäusern, 14 Reiheneck- und 9 Reihenmittelhäusern. Als baustrukturelle Kennwerte sind die Nettogrundfläche mit 3750 m<sup>2</sup> und einer Nutzfläche von 4210 m<sup>2</sup> zu nennen sowie eine Hüllfläche von 9290 m<sup>2</sup> und einem beheizten Volumen von 13.120 m<sup>3</sup>.



**Abbildung 2-24: Modell einer Niedrigenergiehaussiedlung, Quelle GWI**

In Abhängigkeit des Gebäudestandards beträgt der Primärenergiebedarf dieser Modell-Siedlung:

- nach EnEV 2016 284 MWh/a
- nach KfW-EH 55 208 MWh/a
- nach KfW-EH 40 151 MWh/a

Die Berechnungsergebnisse wurden mit der Software Energieberater Professional der Firma Hottgenroth erstellt. Der Energiebedarf wurde für jeden Haustyp mit den Vorgaben des Referenzgebäudes (siehe Abbildung 2-17) mit dem verbesserten Wärmeschutz berechnet. Als Heiztechnologie wurde ein Gasbrennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung eingesetzt. Weiterhin wurden folgende Varianten der Lüftung und Kühlung berechnet:

- mit Abluftanlage und ohne Kühlung
- mit Wärmerückgewinnung (WRG) und ohne Kühlung
- mit Wärmerückgewinnung (WRG) und mit Kühlung durch eine Kompressions-Kältemaschine
- mit Wärmerückgewinnung (WRG) und mit Kühlung durch eine Ab-/Adsorptions-Kältemaschine

Zusätzlich wurde noch der Aufstellungsort des Wärmereizers variiert, d.h. es wurden jeweils die Varianten unterschieden, ob der Brennwertkessel außerhalb des beheizten Bereichs (z. B. im Keller oder auf dem Dachboden) oder innerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt ist, was als schraffierte Säulen in Abbildung 2-25 gekennzeichnet ist. Der Aufstellungsort hat einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Energiebedarf der Gebäude, wie der Vergleich der Energiebedarfe der verschiedenen Anlagenvarianten aufzeigt. Befindet sich der Wärmereizer innerhalb des beheizten Bereichs, so unterschreitet der Primärenergiebedarf der einfachsten Beheizungsvariante ohne Wärmerückgewinnung bereits den EnEV-Grenzwert, der als rote Linie dargestellt ist. Die dunkelgraue Linie markiert die Grenze zum Erreichen des Effizienzhaus 55-Standards. Diese Grenze kann durch den Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen unterschritten werden, sowohl ohne Kühlmöglichkeit als auch mit einer Ab-/Adsorptionskältemaschine. Befindet sich der Wärmereizer außerhalb des beheizten Bereichs, wird aufgrund von Wärmeverlusten der Jahresprimärenergiebedarf größer, so dass die einfache Variante der Beheizung mit einem Brennwertkessel und solarer Trinkwassererwärmung ohne WRG nicht angewendet werden darf, da der EnEV-Grenzwert überschritten wird. Durch Wärmerückgewinnungsanlagen reduziert sich der Energiebedarf der Siedlung so weit, das die EnEV-Voraussetzung erfüllt wird. Dies ist auch in den Anlagenvarianten mit beiden Kühlmöglichkeiten der Fall. Für alle betrachteten Varianten wurde nach DIN V 18599-10 für die Beheizung eine Raumsolltemperatur von 20 °C zugrunde gelegt sowie für die Kühlung eine Raumsolltemperatur von 25 °C. Bei der Berechnung des Primär- und Endenergiebedarfes nach EnEV 2016 bleibt die Energie für die Kühlung unberücksichtigt.

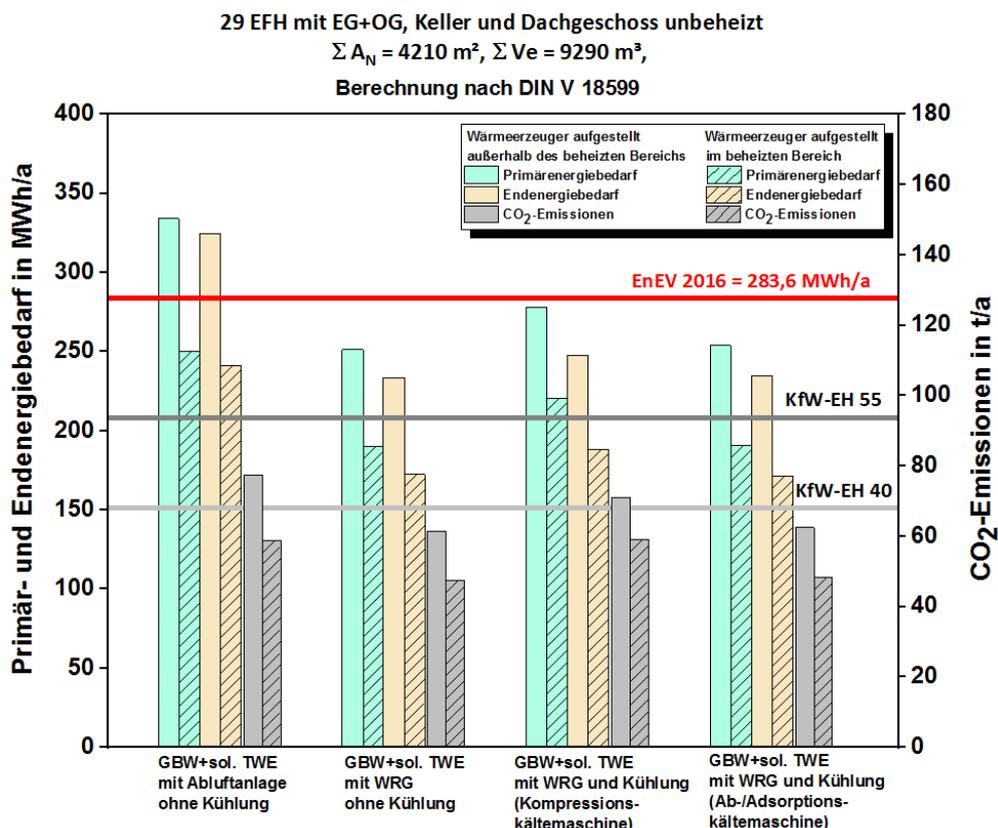
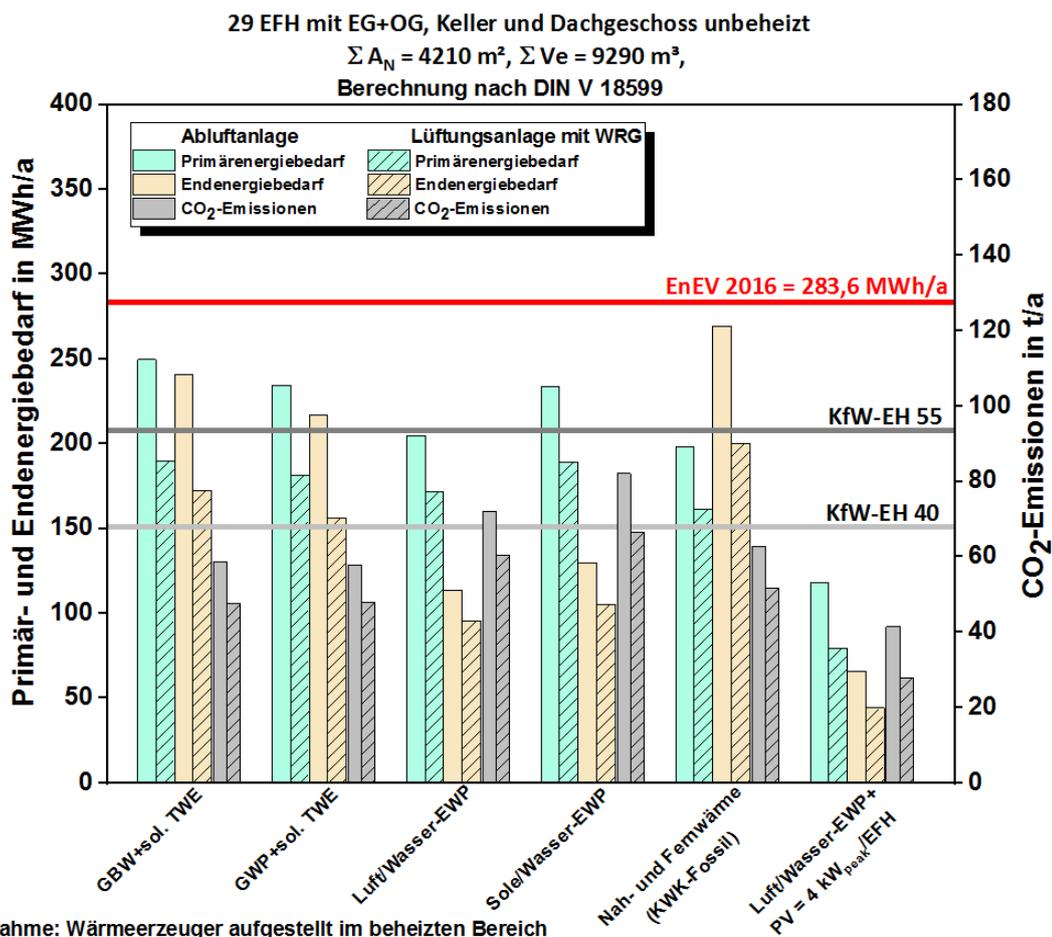


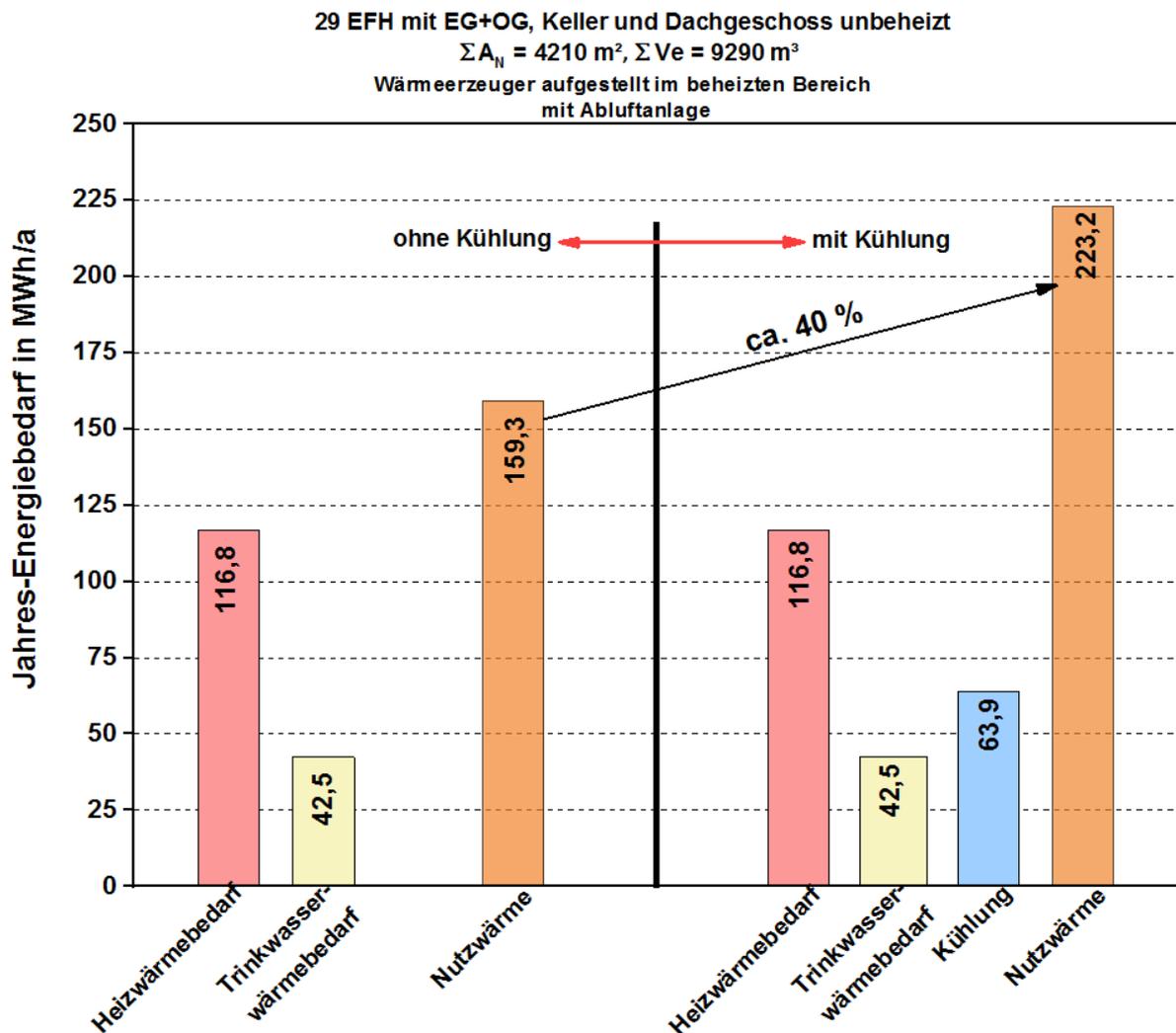
Abbildung 2-25: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen einer NEH-Siedlung mit BWK mit verschiedenen Lüftungs- und Kühlanlagen, Wärmereizer innerhalb/außerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt, Quelle GWI

Abbildung 2-26 stellt den Jahres-Primär- und Endenergiebedarf sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen der mit verschiedenen Technologien beheizten Niedrigenergiehaussiedlung dar. Der Energiebedarf setzt sich zusammen aus dem Energiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie dem Hilfsenergiebedarf (Pumpen, Zubehör und Nebenaggregate). Die Gebäude wurden zum einen mit einer Abluftanlage und zum anderen mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung berechnet, jeweils unter der Bedingung, dass der Wärmeerzeuger im beheizten Bereich aufgestellt ist. Sämtliche Technologien erfüllen die EnEV-Anforderungen. Bei den mit Abluftanlagen ausgestatteten Häusern unterschreiten die Beheizungstechnologien Luft/Wasser-EWP und die auf fossiler KWK-Technik beruhende Nah- und Fernwärme die KfW-Effizienzhaus-Standard 55-Grenze. Wird jedes mit der Luft/Wasser-EWP beheizte Gebäude zusätzlich mit einer PV-Anlage mit je 4 kW Peak ausgestattet, verringert sich der Primärenergiebedarf aufgrund des selbst erzeugten Stroms erheblich, so dass auch der KfW EH-40 Standard dadurch sehr deutlich unterschritten wird. Bei allen Heiztechnologien mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (schraffierte Säulen) nehmen der Primär- und Endenergieverbrauch und somit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich ab. Aufgrund der Wärmerückgewinnung erzielen sämtliche betrachteten Heiztechnologien eine Unterschreitung des KfW-Effizienzhaus-Standard 55. Durch den höheren Stromverbrauch für Pumpen, Zubehör und Nebenaggregate bei der Sole/Wasser-EWP (JAZ=3,7) liegen der Primär- und Endenergiebedarf sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen etwas höher als bei der Luft/Wasser-EWP (JAZ= 2,8). Dieser Unterschied ist auf die zugrunde gelegte Berechnungsnorm (DIN V 18599) zurückzuführen.



**Abbildung 2-26: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen einer NEH-Siedlung mit verschiedenen Beheizungstechnologien und mit Abluft- und Lüftungsanlagen mit WRG, Wärmeerzeuger innerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt, Quelle GWI**

Für die Niedrigenergiehaus-Siedlung wurde für die Variante „Wärmeerzeuger aufgestellt innerhalb des beheizten Bereichs und mit Abluftanlage“ nach DIN V 18599 der Energiebedarf pro Jahr berechnet. Es ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 116,8 MWh/a und ein Trinkwasserwärmebedarf 42,5 MWh/a, was sich auf 159,3 MWh/a Nutzwärme aufsummiert. Eine Kühlung der 29 Niedrigenergiehäuser auf 25 °C Raumtemperatur benötigt weitere 63,9 MWh/a, so dass sich der Nutzwärmebedarf aufgrund der Kühlenergie um ca. 40 % erhöht, siehe Abbildung 2-27. Der Nutzwärmebedarf hängt wesentlich vom Energiestandard des Gebäudes ab, von der eingesetzten Heiztechnologie ist der Nutzwärmebedarf unabhängig.



**Abbildung 2-27: Jahres-Energiebedarf einer mit Abluftanlagen ausgestatteten NEH-Siedlung Gegenüberstellung mit und ohne Kühlung, Wärmeerzeuger innerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt, Quelle GWI**

Eine vorteilhafte Methode der Kühlung ist die Kombination aus Kraft-Wärme-Kopplung und Kälteerzeugung. Wird eine Siedlung beispielsweise mit einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (BHKW) versorgt, so entsteht im Sommer ein Überschuss an nicht benötigter Wärme, aus der Ab- oder Adsorptionskältemaschinen Kälte erzeugen können. Die Kälte kann entweder dezentral über ein Blockheizkraftwerk und eine Kälteanlage nahe am Gebäude produziert werden oder über eine zentrale Anlage in ein Fernkältenetz eingespeist werden.

## 3 Untersuchungen zu möglichen zentralen und dezentralen Versorgungsstrategien

### 3.1 Anbindung von Niedrigenergiegebäuden an bestehende Netzstrukturen

Grundlage für die Herstellung der Hausanschlüsse an das Strom- und Gasnetz sind gemäß Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) die Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) und die Niederdruckanschlussverordnung (NDAV). Die Paragraphen 17 und 18 des EnWG regeln den diskriminierungsfreien Netzanschluss und verpflichten die Betreiber von Energieversorgungsnetzen, Letztverbraucher und Erzeugungsanlagen an ihr Netz anzuschließen.

Die Planung von Anschlusseinrichtungen der Versorgungs-Sparten Strom (Netzebene Niederspannung), Gas, Trinkwasser, Fernwärme und Kommunikation für Wohn- und Nichtwohngebäude muss gemäß DIN 18012:2018-04 erfolgen [22]. Sie enthält Festlegungen zu den baulichen und technischen Voraussetzungen für deren Errichtung. Bei der Strom- und Gasversorgung wird der Begriff „Netzanschluss“, in der Trinkwasser-, Fernwärme- und Kommunikationsversorgung der Begriff „Hausanschluss“ verwendet. Die Anschlusseinrichtungen innerhalb von Gebäuden sind unterzubringen in:

- in Hausanschlussräumen (bei Gebäuden mit > 5 Nutzungseinheiten), Anforderungen können auch in Gebäuden mit bis zu 5 Nutzungseinheiten angewendet werden
- auf Hausanschlusswänden (bei Gebäuden mit  $\leq 5$  Nutzungseinheiten)
- in Hausanschlussnischen (bei nicht unterkellerten Einfamilienhäusern)

#### 3.1.1 Besonderheiten beim Anschluss an bestehende Netzstrukturen

In diesem Abschnitt soll das geltende Regelwerk kurz erwähnt werden, dass beim Anschluss an die jeweiligen Netzstrukturen zu beachten ist. Darüber hinaus werden Besonderheiten dargestellt, die bei der Anbindung von Niedrigenergiegebäuden auftreten.

Weitere detaillierte Informationen zur Netzanbindung von Niedrigenergiegebäuden sind im Anhang in Kapitel 0 eingefügt.

#### **Anbindung an Gasversorgung**

Die Planung und Errichtung von Hausanschlüssen für die öffentliche Gasversorgung bis 4 bar Betriebsdruck erfolgt gemäß der technischen Regel G 459/I. Darin ist formuliert, dass ein Hausanschluss mit dem Abgang von der Versorgungsleitung beginnt und mit der Hauptabsperreinrichtung (HAE) endet. Er beinhaltet auch eine ggf. vorhandene Gasdruckregelung gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 459/II.

Nach der Hauptabsperreinrichtung beginnt die Kundenanlage (außer Gas-Druckregler und Gaszähler). Die Ausführung der Gasinstallation im Gebäude ist im DVGW-Arbeitsblatt G 600 (TRGI) geregelt.

Besonderheiten im Neubau:

Da in Neubauten der Heizenergieanteil immer geringer wird, werden die Jahresgesamtkosten bei konventionellen Heizungssystemen überproportional durch die Investitionskosten bestimmt und verschlechtern die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Systemen mit geringeren Investitions- und höheren Verbrauchskosten. Dennoch ist Erdgas der am häufigsten eingesetzte Energieträger im Neubau, da der Einsatz kostengünstig, wirtschaftlich und effizient ist.

### **Anbindung an Elektroenergieversorgung**

Die Planung der Hausanschlusseinrichtungen ist gemäß DIN 18012:2018-04 durchzuführen. Grundsätzlich muss jedes Grundstück (als selbständige wirtschaftliche Einheit) bzw. jedes Gebäude (mit eigener Hausnummer) über einen eigenen Netzanschluss an das Netz des Netzbetreibers bzw. Versorgungsunternehmens angeschlossen werden. Dabei müssen die Vorgaben der NAV und die technischen Anschlussbedingungen (TAB) des Netzbetreibers als Bestandteil der technischen Mindestanforderungen gemäß § 19 EnWG eingehalten werden.

Der Hausanschluss (Hauptleitung) ist die Schnittstelle zum Versorgungsnetz und kann als Erdkabel oder Freileitung ausgeführt werden. Für die Dimensionierung der Hauptstromversorgung in Wohngebäuden ist die DIN 18015-1:2013-09 gültig.

Die DIN 18015-1:2013-09 [23] unterscheidet bei der Dimensionierung in Wohneinheiten ohne und mit elektrischer Warmwasserbereitung für Bade- oder Duschzwecke und nimmt dafür Leistungsbedarfe von 14,5 kW bzw. 34 kW für eine Wohneinheit ohne Elektroheizung an.

Gemäß den TAB des Netzbetreibers ergeben sich Besonderheiten beim Anschluss von Geräten zur Heizung und Klimatisierung, einschließlich Wärmepumpen an das Versorgungsnetz. Diese bestehen u.a. in einer ggf. höheren Dimensionierung des Hausanschlusses, der Installation von schaltungstechnischen Vorkehrungen, z. B. Vorrangschaltung oder Lastabwurfrelais bei gleichzeitigen Betrieb von Durchlauferhitzern und elektrischen Heizungsanlagen und der Installation einer Steuerungs- bzw. Regelungseinrichtung, die eine vorgegebene Anpassung der Leistungsanspruchnahme an die Belastungsverhältnisse im Verteilungsnetz bzw. einen zeitlich eingeschränkten Betrieb durch den Netzbetreiber ermöglicht. Weiterhin müssen Geräte mit einer Bemessungsscheinleistung von mehr als 4,6 kVA für Drehstromanschluss ausgelegt werden. Ein typisches Tageslastprofil einer Wärmepumpe ist in der Abbildung 3-1 dargestellt. In dem ansonsten konstanten Lastprofil sind Sperrzeiten zu Stunden mit höchster Netzlast mit Ziel der Lastreduktion sichtbar [24].

Die Anbindung der Haushalte an das deutsche Stromnetz erfolgt auf der Niederspannungsebene (Netzebene 7) des Verteilnetzes und ist in der Abbildung 3-2 ersichtlich [25].

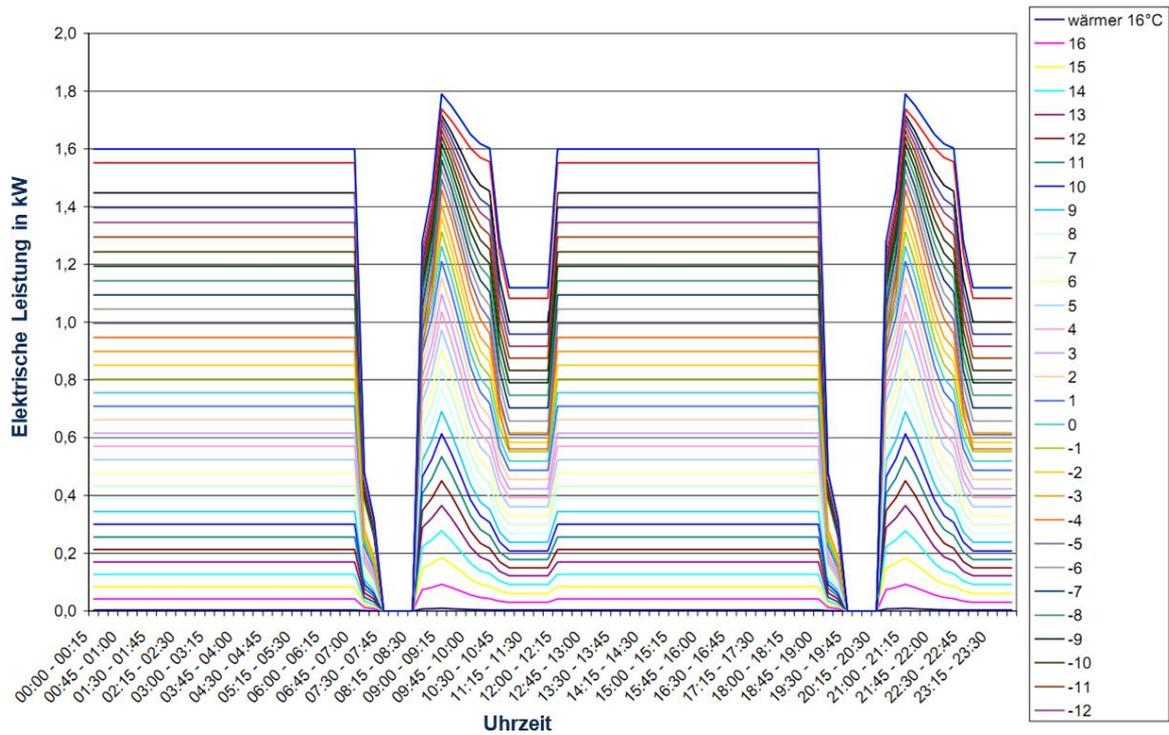


Abbildung 3-1: Tageslastprofil für Wärmepumpen (Beispiel eines Verteilnetzbetreibers) [24]

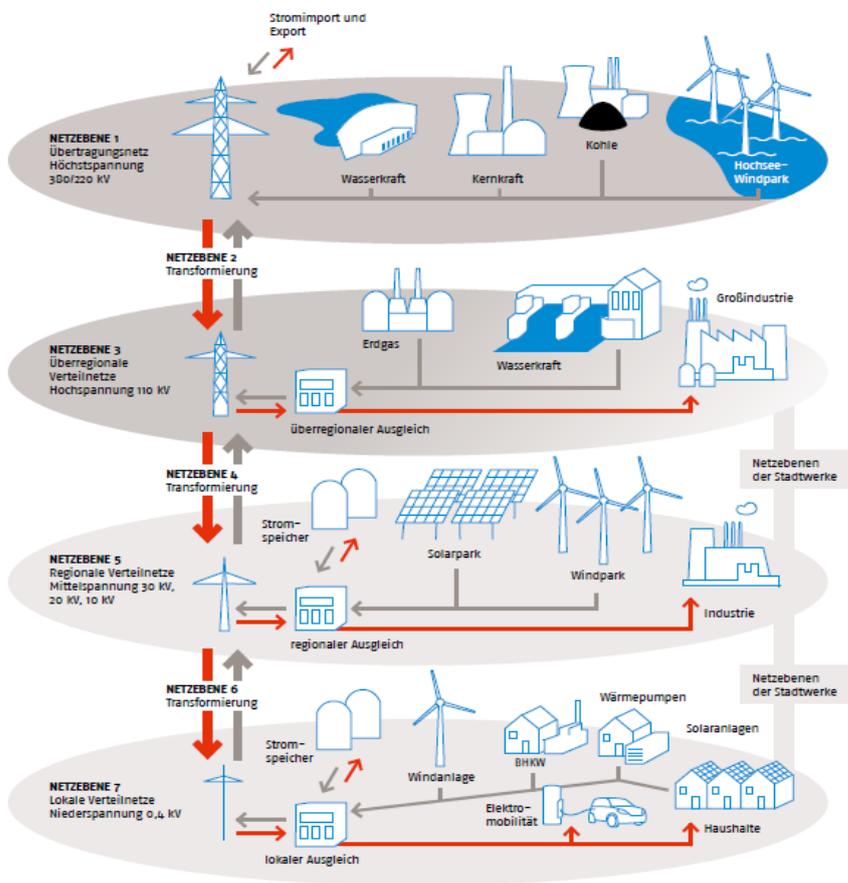
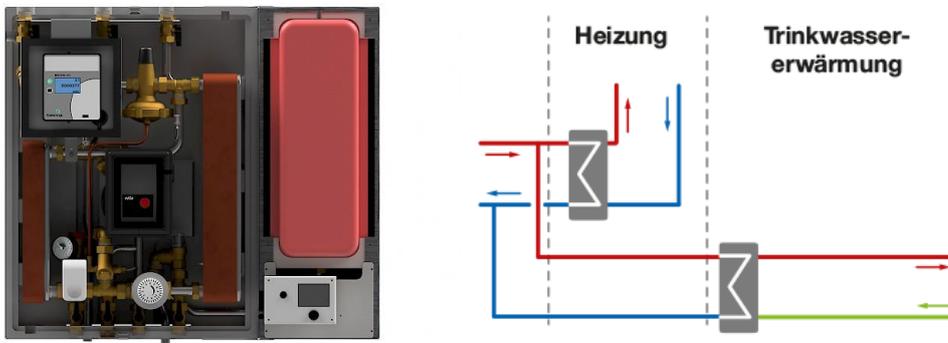


Abbildung 3-2: Beispielhafte Darstellung für das deutsche Stromnetz [25]

## Anbindung an Fern-/Nahwärmeversorgung

Die Hausanschlussstation (HAST) ist die Schnittstelle zur Wärmeübergabe zwischen der Nahwärmeleitung und dem Wärmeversorgungssystem innerhalb des Gebäudes. Sie muss gemäß DIN 4747-1 [26] mit sicherheitstechnischer Ausrüstung ausgerüstet sein. Diese besteht im Wesentlichen aus Vorrichtungen zum Erkennen von Druck und Temperatur sowie Einrichtungen zu deren Begrenzung (Mess-, Steuer-, Regel- und Sicherheitseinrichtungen). In dieser Norm sind auch die Anforderungen an die Hausanlage, unterteilt nach Raumheizung bzw. Raumluftheizung definiert.

Die Festlegungen im Hausanschlussvertrag oder den Technischen Anschlussbedingungen der Fernwärmeversorgungsunternehmen (FVU) gelten für die Planung, den Anschluss und den Betrieb von Anlagen, die an die mit Heizwasser betriebenen Fern-/Nahwärmenetze der FVU angeschlossen werden. Die Abbildung 3-3 zeigt eine Innenansicht und ein mögliches Anschlussschema einer HAST.



**Abbildung 3-3: Innenansicht (links) und beispielhaftes Anschlussschema (rechts) einer Hausanschlussstation [27]**

### 3.1.2 Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Versorgungssysteme

Durch die sich weiter verschärfenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung (zuletzt EnEV 2014, Aktualisierung 01.01.2016) wurden die Anforderungen an den Primärenergiebedarf von Neubauten im Vergleich zu 2009 um 25 % verschärft. Da in Hinblick auf die Erfüllung der EnEV-Vorgaben immer der bauliche Wärmeschutz und die Anlagentechnik gemeinsam betrachtet werden, kommt der Auswahl eines geeigneten Heizungssystems große Bedeutung zu. Auch der Heizungsmarkt hat sich in dieser Hinsicht verändert und bietet hocheffiziente Gerätetechnik an, die neben fossilen Brennstoffen verstärkt erneuerbare Energien nutzt. Bereits bei der Bauplanung sollten die Anforderung an Heizung und Lüftung definiert und ein Vollkostenvergleich vorgenommen werden, um nach der Fertigstellung sowohl das vorgegebene Niveau des Primärenergiebedarfs als auch niedrige Jahresgesamtkosten erreichen zu können.

Im Rahmen der Veröffentlichung [28] wurden, ähnlich wie in den im Abschnitt 2.4.1 dargestellten Modellierungsergebnissen, auf dem Markt verfügbare Heiztechnologien bzw. Anlagenvarianten betrachtet und die Auswirkungen der EnEV 2014 bzw. deren Verschärfung 2016 auf den Einsatz dieser Anlagen bzw. auf notwendige gebäudetechnische Maßnahmen an einem vorab definierten Einfamilienhaus analysiert. Zusätzlich wurden Investitionskosten und Jahresgesamtkosten der betrachteten Anlagenvarianten, auch verbunden mit anlagentechnischen Zusatzmaßnahmen, die zur Erfüllung der EnEV-Anforderungen führen, modelliert. Da

die im Rahmen dieser Veröffentlichung verwendeten Randbedingungen nicht bekannt sind, soll an dieser Stelle auf die in Kapitel 5.2 (Capex, Opex, CO<sub>2</sub>-Emissionen dezentraler Heiztechnologien im EFH-Neubau) dargestellten, im Projekt durchgeführten Analysen und Berechnungen verwiesen werden.

### 3.1.3 Betrachtungen zur Zentral- oder Einzelwärmeversorgung dieser Objekte

Besteht beim Neubau oder bei der Grundsanierung eines Bestandgebäudes die Wahl zwischen dezentraler oder zentraler Wärmeversorgung, so muss bereits bei der Bauplanung eingeschätzt werden, ob der Anschluss an ein Wärmenetz wirtschaftlich ist. Wie bereits im Abschnitt 2.4.1 dargestellt wurde, hat auch die eingesetzte Heiztechnologie Einfluss auf den Jahres-Primärenergiebedarf eines Neubaus und damit auf den erreichbaren Energiestandard bzw. die Erfüllung der Vorgaben der EnEV. Bei der Auswahl des Wärmeerzeugers spielen auch neben den Investitionskosten die zu erwartenden Energiekosten eine entscheidende Rolle.

In vielen Fällen wird diese Auswahl durch einen von der Kommune per Satzung vorgegebenen Anschluss- und Benutzungszwang zugunsten des Fernwärmenetzes entschieden. Dieser kann mit gebietsweise bestehenden Verbrennungsverboten für fossile Brennstoffe verschärft sein, oder durch Brennstoffverordnungen Emissionsgrenzwerte für Heizungsanlagen festlegen bzw. bestimmte Heiztechnologien verbieten.

Generell ist die Entwicklung der Energiepreise entscheidend für die zu erwartenden Energiekosten eines Gebäudes. Dabei bestehen wesentliche Unterschiede bei den verschiedenen Energieträgern. Im Kapitel 5.2 werden diese Kosten für weitere Modellierungen verwendet und sind in der Tabelle 5-2 zusammengestellt. Wie die Tabelle zeigt, setzen sich die Preise von leitungsgebundenen Energieträgern aus einem Grundpreis und einem Arbeitspreis zusammen, die sich in der Regel in Abhängigkeit vom Anbieter unterscheiden können. Der Grundpreis ist abhängig von der Anschlussleistung, ist unabhängig von der abgenommenen Energiemenge zu bezahlen und steigt mit zunehmender Anschlussleistung. Die Höhe des Arbeitspreises ist abhängig von der abgenommenen Energiemenge und sinkt mit steigender Abnahme.

Um eine Entscheidung für den Einsatz einer dezentralen oder zentralen Wärmeversorgung treffen zu können, müssen neben den verbrauchsgebundenen Kosten auch die kapital- und betriebsgebundenen Kosten berücksichtigt werden.

Wie auch in Abbildung 5-8 dargestellt ist, sind beim Anschluss eines EFH an Fernwärme aus KWK die Investitionskosten inklusive der Kosten für zusätzliche bauliche oder anlagentechnische Maßnahmen am niedrigsten (im Vergleich 77 % gegenüber 100 % bei Gas-Brennwert mit solarer Trinkwassererwärmung). Die kapitalgebundenen Kosten, die den jährlichen Anteil der Investitionskosten und der anfallenden Kapitalkosten darstellen, verhalten sich ähnlich. Gründe dafür bestehen darin, dass kein eigener Wärmeerzeuger, kein Gasanschluss und keine Abgasanlage benötigt werden. Lediglich beim indirekten Anschluss an das Wärmenetz entstehen Investitionskosten für die Wärmeübergabe- bzw. Hausanschlussstation. Aufgrund des geringen anlagentechnischen Aufwands sind auch die betriebsgebundenen Kosten (Wartungskosten) niedrig. Die verbrauchsgebundenen Kosten sind beim Wärmenetzanschluss höher als bei der Versorgung mit anderen Energieträgern. Das wird auch in der Tabelle 5-2 anhand des hohen Grundpreises sichtbar, kann aber mit dem hohen anlagentechnischen Aufwand, Einsatz von Hilfsenergie und den Verteilungsverlusten seitens des FVUs begründet



### **Nachteile bei Anschluss an Nah- und Fernwärme:**

- Hohe laufende Kosten:
- hoher jährlicher Grundpreis
  - höhere verbrauchgebundene Kosten als bei Einzelwärmeversorgung
  - Kostensteigerungen nach Modernisierungsmaßnahmen durch abnehmende Leistungsdichte
  - monopolistische Marktstrukturen bei der Fernwärmerversorgung führen zur Verteuerung
- Bindung an Versorger:
- langfristige Verträge
  - kein Anbieterwechsel wie bei Strom und Gas möglich

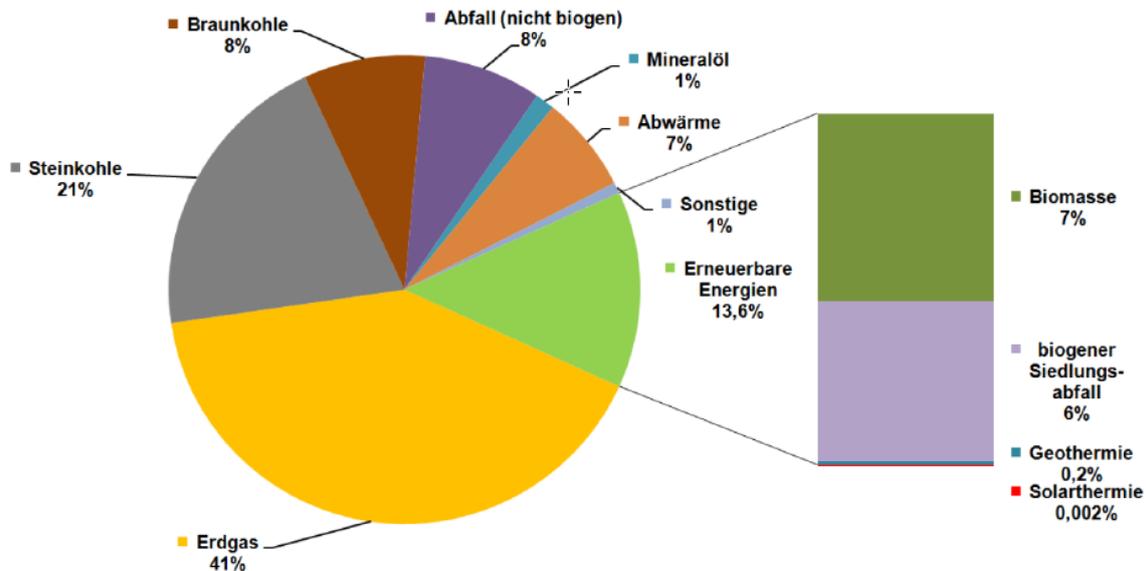
Weitere Informationen und beispielhafte schematische Darstellungen von typischen zentralen und dezentrale Varianten der Wärmeversorgung sind im Kapitel 0 dargestellt.

## **3.2 Technologien zur Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung sowie Speichertechnologien in Nahwärmenetzen**

Wärmenetze stellen eine Schlüsseltechnologie einer zukünftigen und nachhaltigen Wärme- und Kälteversorgung dar. Ein zukünftiges System der integrierten Versorgung mit Wärme und Kälte mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energie erfordert eine Vernetzung diverser neuer bzw. noch wenig verbreiteter Technologien in deren Zentrum das Wärmenetz steht.

In den deutschen Wärmenetzen wurden 2016 ca. 137 TWh verteilt, wobei die Nettowärmeerzeugung aus den in Abbildung 3-4 aufgeführten Energieträgern erfolgte. 13,6 % der in die Wärmenetze eingespeisten Wärme stammt aus erneuerbaren Energien, wobei davon die Biomasse und der biogene Siedlungsabfall die größten Anteile ausmachen. Von den im Jahr 2016 neugebauten Wohnungen wurden 23,8 % über Wärmenetze beheizt. [31]

Gemäß der Daten des Bundeskartellamtes von 2012 beträgt der Anteil an Kleinstnetzen mit einer maximalen Leitungslänge von 1 km an der gesamten leitungsgebundenen Wärmeversorgung nur 2 % und auch die kleine Netzgröße zwischen 1 bis 10 km beträgt nur 3 %, gefolgt von 9 % aus dem Bereich der großen Netze bis 100 km Leitungslänge. Der Großteil entfällt mit 86 % auf die mit mehr als 100 km langen Großnetze. [32]



**Abbildung 3-4: Energieträgerverteilung heutiger Wärmenetze [31]**

Für Niedrigenergiehaussiedlungen eignen sich aufgrund der geringen Nutzenergieabnahme und Anschlussdichte am besten Niedertemperaturnetze. Diese sogenannten Low-Ex-Netze sind Netze mit Vorlauftemperaturen unter 90 °C und sorgen zunächst für einen verlustarmen Wärmetransport. Sie lassen sich bzgl. der Vorlauftemperaturen nochmals unterteilen in:

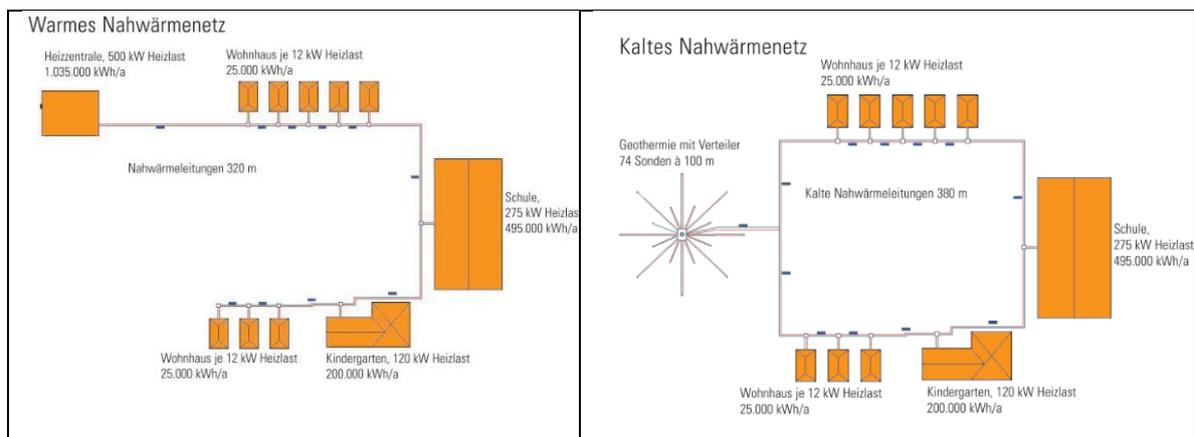
- Klassisches Nahwärmenetz:  $T(\text{VL}) = 70 \text{ °C}$
- Mittleres Nahwärmenetz:  $T(\text{VL}) = 40 \text{ °C}$
- Kaltes Nahwärmenetz:  $T(\text{VL}) = 8 - 20 \text{ °C}$
- Bidirektionales Kalt- Warmnetz (bKWN)

Zur Brauchwasseraufbereitung sind aufgrund der Legionellenproblematik Vorlauf-temperaturen von mindestens 65 °C erforderlich. Als Alternative ist bei niedrigeren Vorlauftemperaturen jedoch auch eine dezentrale Erhöhung der Temperatur zur Warmwasserbereitung möglich.

Für durch Wärmenetze versorgte Niedrigenergiehaussiedlungen gilt, je geringer das Temperaturniveau, desto geringer ist der Wärmeverlust der Wärmeverteilung, besser die Möglichkeit der Verwendung kostengünstiger Materialien sowie der mögliche Wärme-Transport über größere Distanzen und ein eventuell besserer etappenweiser Ausbau. Dies sind insbesondere für die Wirtschaftlichkeit interessante Aspekte. Den Verbrauchern wird thermische Energie nahe der Umgebungstemperatur zur Verfügung gestellt, mit der sowohl Heizen als auch Kühlen möglich ist. LowEx-Netze haben folgende Vorteile:

- Reduzierung der Wärmeverteilverluste, d.h. je niedriger die Vorlauftemperaturen, desto niedriger die Netzverluste = systemische Effizienzsteigerung.
- Kalte Nahwärmenetze erfordern keine Isolierung der Versorgungsleitungen.
- Einspeisung von Niedertemperaturwärme aus erneuerbaren Energiequellen wie Solarenergie, Umgebungswärme, geothermische Wärme, KWK-Wärme, Prozesswärme, Abwasserwärme, etc.
- Erschließung neuer Wärmequellen in Randgebieten, z. B. Abwärmennutzung oder Flächenverfügbarkeit von Solarthermie.
- Vermeidung von Degradation durch Verringerung von thermischen Spannungen im Rohrmaterial.

Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus sind allerdings relativ große Volumenströme im Netz erforderlich. Wesentliche Auslegungskriterien für Nahwärmenetze in Niedrigenergiehaussiedlungen sind zum einen der Wärmebedarf und die Anschlussdichte, siehe die Darstellung der Funktion der Wärmebedarfsdichte in Abhängigkeit der spezifischen Verlustleistung im Anhang in Kapitel 0, Abbildung 0-22. Beide Kriterien sind in NEH-Siedlungen niedrig, was die Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmenetzes in Frage stellen kann. Für solche Siedlungen wären zusätzliche Gebäude, wie z.B. eine Schule, Mehrfamilienhäuser etc. mit einem größeren Wärmebedarf von Vorteil, siehe Abbildung 3-5.



**Abbildung 3-5: Beispiel für ein warmes (links) und ein kaltes (rechts) Nahwärmenetz [33]**

### Kaltes Nahwärmenetz

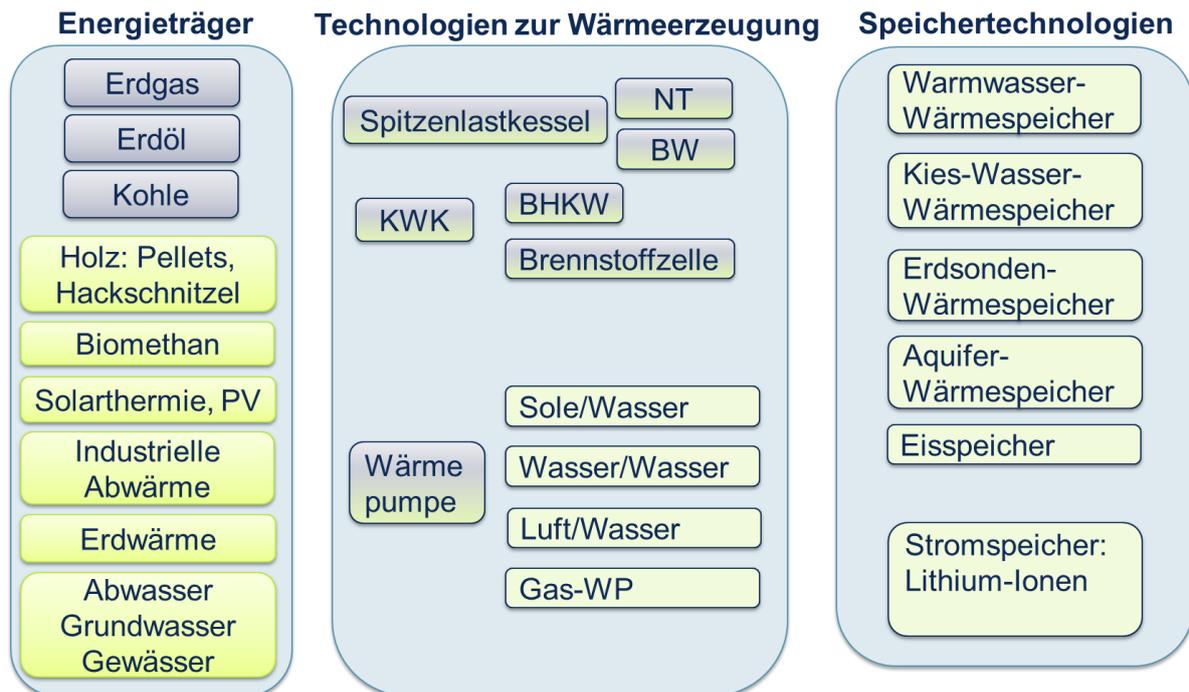
Ein kaltes Nahwärmenetz verfügt über eine zentrale oder mehrere dezentrale Wärmequellen. Im Nahwärmenetz zirkuliert ein Wärmeträgermedium, ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel, welches die Wärme von der Wärmequelle aufnimmt. Bei einem Erdsondenfeld als Wärmequelle treten zum Beispiel ganzjährig konstante Temperaturen von zehn bis zwölf Grad Celsius auf. Die aufgenommene Wärmeenergie wird über eine Ringleitung zu den einzelnen Verbrauchern geführt. Die Gebäude docken mittels Wärmepumpe an diese Ringleitung an und können die im Nahwärmenetz verfügbare Wärme auf ein zum Heizen erforderliches Temperaturniveau bringen. Neben der Heizung im Winter bietet das Netz auch die Möglichkeit, die Häuser im Sommer ökologisch und wirtschaftlich zu kühlen. Die in den sommerlich-warmen Innenräumen aufgenommene Wärme führen die Leitungen zurück ins Erdreich und können so zum Beispiel eine Regeneration eines Erdsondenfeldes ermöglichen. Vorteile von kalter Nahwärme [34] sind:

- Für Investoren:
  - Verwendung von ungedämmten, in Ringen angelieferten PE-Rohren
  - Ringleitungen dienen zusätzlich als „Erdkollektoren“
  - Durch Gleichzeitigkeitsfaktor kann die Wärmequelle kleiner gewählt werden
  - „Kühlung“ kann zu einer Größenreduzierung der Wärmequelle führen
  - Nur geringe zusätzliche Erdarbeiten, da die Verlegung der Erdleitungen parallel zu Wasser- und Abwasserleitungen erfolgen kann
  - Netzausbau kann in die Erschließungskosten eingerechnet werden
  - Mehrsparten-Hauseinführung
  - Keine Abnutzung der Rohrleitungen, hohe Lebensdauer
  - Staatliche und regionale Förderungen

- Für Netzbetreiber:
  - Einhaltung der Trinkwasser-Verordnung
  - Langfristig planbare Energiekosten
  - Keine Abhängigkeit von zusätzlichen Energie- oder Wärmelieferanten
  - Enorme CO<sub>2</sub>-Einsparung
  - Einbindung in ein intelligentes Stromnetz (Smart Grid)
  - Emissionsfreie Wärme- und Kältelieferung
  - Kundenbindung durch Lieferverträge
  - Gesetzliche Vorschriften (EnEV / EEWärmeG) werden erfüllt
  - Geringe Betriebs- und Verbrauchskosten
  - Netzausbau ist in Etappen möglich, vorteilhaft bei mehreren Bauabschnitten
  - Spätere Erweiterungen sind möglich (z.B. bei Sanierungen)
  - Kosten für Nutz- und Quellsystem können durch Nutzungsgebühren berechnet werden, kein Zählsystem
  
- Für Endkunden:
  - Kein Investitionsrisiko bzw. verringerte Baukosten
  - Je nach Abrechnungsmodell keine Investition für die Wärmeerzeugung
  - Netzbetreiber gewährleistet Betriebssicherheit
  - Gesetzliche Vorschriften (EnEV / EEWärmeG) werden erfüllt
  - Monatliche Energiekostenabrechnung (optional)
  - Keine Schallemissionen
  - Heizen und Kühlen möglich (erhöhter Wohnkomfort)
  - Fernwartung durch Netzbetreiber (optional)
  - Einfache Heizkostenabrechnung und „kalkulierbare“ Energiepreise
  - Beitrag zum Umweltschutz, der sich auch noch im Laufe der Jahre erhöht
  - Hohe Individualität für den Verbraucher durch die dezentrale Energieversorgung

### 3.2.1 Einsetzbare Technologien für dezentrale Nahwärmenetze

Dezentrale Nahwärmenetze für Niedrigenergiehaussiedlungen können mit verschiedenen Energieträgern betrieben werden, wobei sie sich insbesondere für die Einbindung von erneuerbarer Energie eignen. Weiterhin bietet sich insbesondere im Neubau der Einsatz von innovativen Effizienztechnologien zur Wärmeerzeugung an. Für Nahwärmenetze zur Verfügung stehende Energieträger, zentrale und dezentrale Wärmeerzeugungstechnologien sowie Speichermöglichkeiten insbesondere der Erneuerbaren Energien sind in Abbildung 3-6 angegeben.



**Abbildung 3-6: Energieträger und Technologien für Nahwärmenetze**

Als 4. Generation der Wärmenetze werden innovative Wärmeinfrastrukturen auf Basis von temperaturoptimierten Wärmenetzen bezeichnet, die technisch und wirtschaftlich optimiert werden durch eine optimale Kombination von regenerativen Niedertemperaturquellen wie Solarenergie, Umgebungswärme, Geothermische Wärme und Abfallwärme, Wärmespeichern und Wärmeerzeugern. Ein Beispiel für mögliche Kombinationen eines klimaneutralen Wärmenetzes, bestehend aus mehreren Umweltquellen und Erzeugungsanlagen zeigt Abbildung 3-7.

Zum Anheben der niedrigen Vorlauftemperaturen auf ein nutzbares Niveau können elektrische oder Gasmotor-Wärmepumpen eingesetzt werden, entweder als kleine Einheiten dezentral in jedem Gebäude oder zentral für kleine nachgeschaltete Nahwärmenetze. Vorteile der zentralen Wärmepumpen sind ein geringerer spezifischer Preis pro elektrischer Kilowattstunde sowie eine höhere Effizienz. Beim Einsatz einer zentralen Gaswärmepumpe ist die Notwendigkeit von nur einem Gasanschluss ein weiterer Vorteil.

Flexibel einsetzbar sind Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), z. B. Brennstoffzellen oder Blockheizkraftwerke, die sowohl Strom als auch Wärme produzieren. BHKW's können neben Erdgas auch mit Flüssiggas und mit erneuerbarem Biomethan betrieben werden.

Als Wärmeerzeuger zur Abdeckung von Spitzenlasten eignen sich Erdgas-Brennwertkessel oder Biomasse-Kessel.

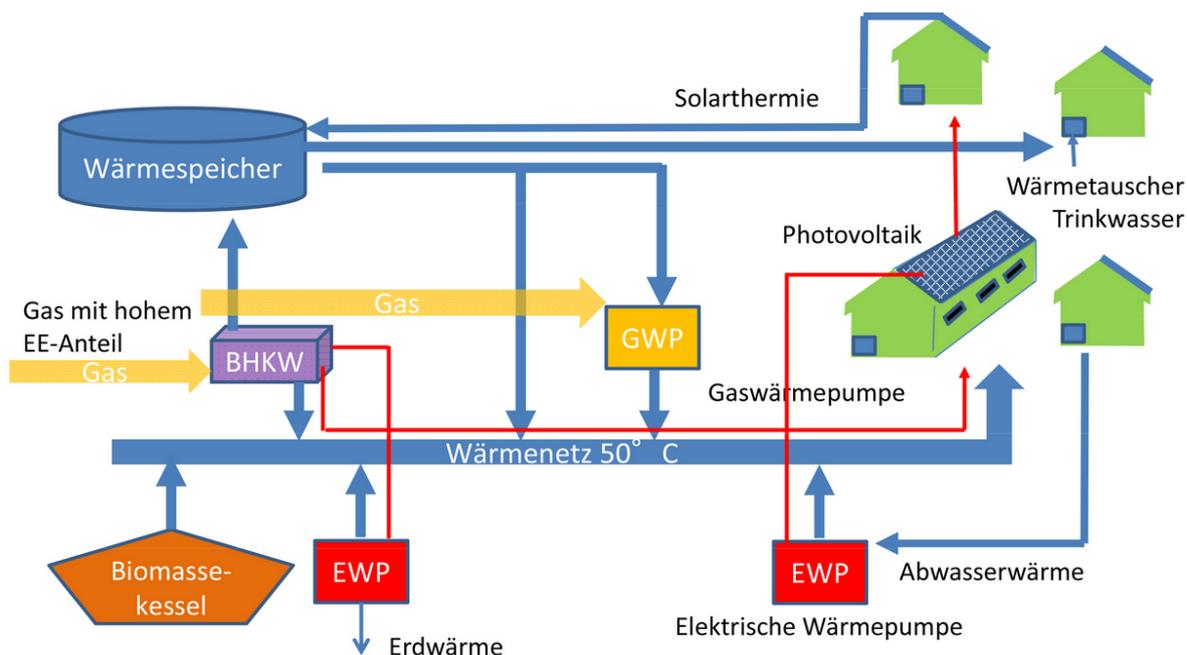
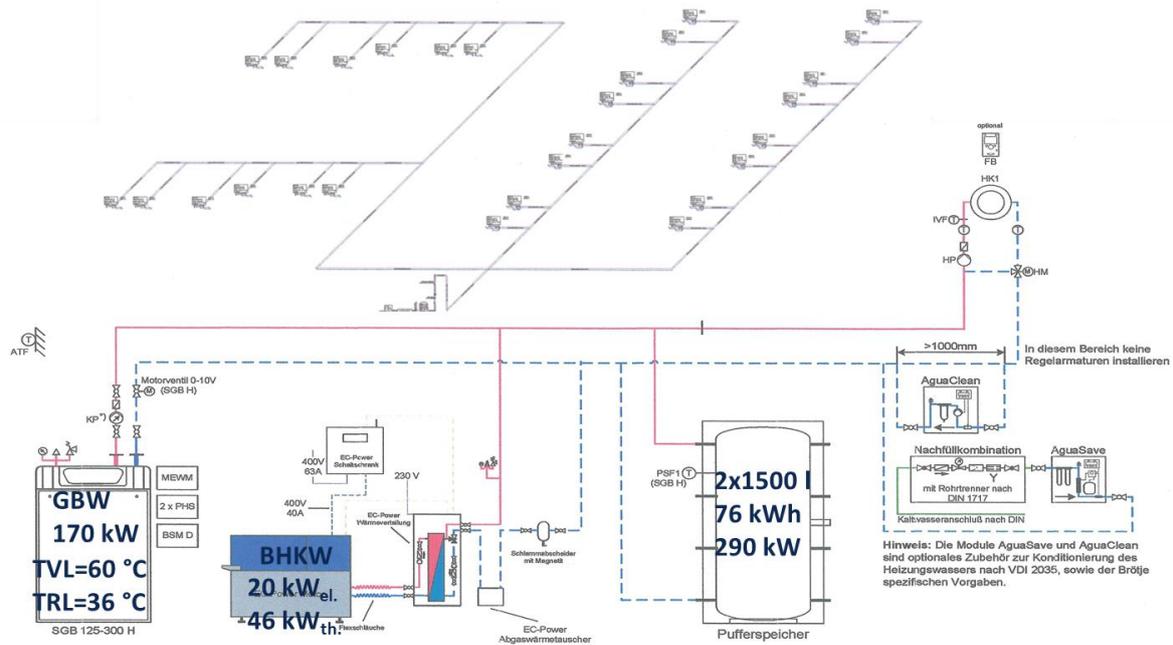


Abbildung 3-7: Wärmenetzsystem 4.0 [35]

### Beispiele mit unterschiedlichen Technologien in klassischen dezentralen warmen Nahwärmenetzen

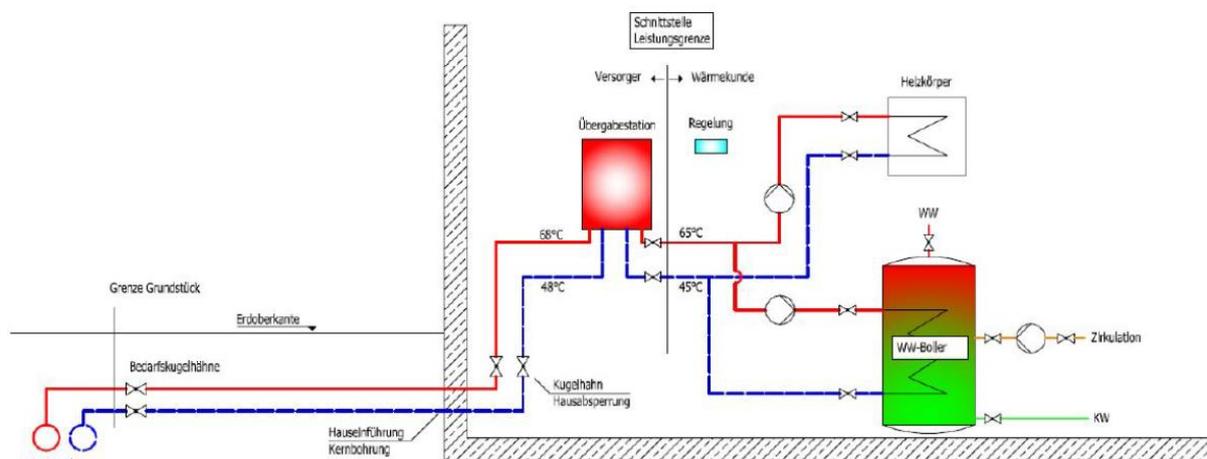
Abbildung 3-8 zeigt ein Praxisbeispiel einer Wärmeversorgung einer aus 28 Einfamilienhäusern bestehenden Siedlung durch ein dezentrales klassisches Nahwärmenetz. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit 20 kW elektrischer Leistung und 46 kW thermischer Leistung. Zur Deckung von Bedarfsspitzen ist weiterhin ein Brennwertkessel mit 170 kW thermischer Leistung integriert. Die erzeugte Wärme wird in zwei Warmwasserspeichern mit jeweils 1500 Liter gespeichert. Das Nahwärmenetz wird mit einer Vorlauftemperatur von 65 °C und einer Rücklauftemperatur von 45 °C betrieben, die einzelnen Häuser erhalten die Wärme über eine Wärmeübergabestation, die platzsparend ist, insbesondere bei Einfamilienhäusern ohne Keller. Weitere Vorteile eines klassischen dezentralen Nahwärmenetzes sind:

- Warmwasserbereitung erfolgt durch einen Plattenwärmetauscher an der Übergabestation, daher kein Legionellenproblem
- Keine Instandhaltungs- und Wartungskosten sowie keine neuen Investitionskosten
- Keine Schornsteinfegerkosten
- Es wird nur die kWh Endenergie bezahlt – keine Wirkungsgradverluste
- Bei Vorlauftemperaturen von 65 °C (klassisches Nahwärmenetz) an der Übergabestation ist die Art der Wärmeübertragung im Haus, d.h. Radiatoren oder Fußbodenheizung, frei wählbar
- Die komplette Technik zur Wärme- und Strom-Versorgung für ca. 30 – 40 EFH passt in eine Doppelgarage.



**Abbildung 3-8: Wärmeversorgung einer EFH-Siedlung durch ein dezentrales klassisches Nahwärmenetz [36]**

Eine weitere Möglichkeit der Warmwasserversorgung im Gebäude ist ein Warmwasserspeicher in jedem Einfamilienhaus, der über das klassische Nahwärmenetz versorgt wird, siehe Abbildung 3-9.



**Abbildung 3-9: Funktionsschema einer Wärmeübergabe im Gebäude [37]**

Ein weiteres Beispiel für ein warmes Nahwärmenetz ist in Abbildung 3-10 abgebildet. Als Wärmeerzeuger des warmen Netzes eignet sich ein effizientes KWK-BHKW in Kombination mit einer Wärmepumpe. Das BHKW kann mit Biomethan oder Erdgas betrieben werden. Als weitere Wärmeerzeugung nutzt eine Absorptionswärmepumpe eine Abwasserleitung. Im Sommer kann diese Wärmepumpe zur Kühlung eingesetzt werden. Der im BHKW erzeugte Strom wird für die Betrieb der Wärmepumpe genutzt und kann optional oder auch ergänzend noch für die Ladung von Elektroautos oder zur Einspeisung ins öffentliche Netz verwendet werden. Überschüssige Wärme wird in einem Warmwasserwärmespeicher gespeichert. Jedes Gebäude ist mit Solarthermie oder Photovoltaik ausgestattet.

Vorteile dieses warmen Nahwärmenetzes sind die klassische Netzstruktur, Einsatzmöglichkeiten für KWK, flexible Fahrweise der Kombination des BHKW mit der EWP, Ergänzung durch

Solarthermie und PV sowie der Integrationsmöglichkeit einer KWKK-Anlage. Nachteilig ergeben sich aufgrund der Vorlauftemperatur gewisse Netzverluste und schlechtere Nutzbarkeit von Abwärme sowie die Verluste des Warmwasser-Wärmespeichers.

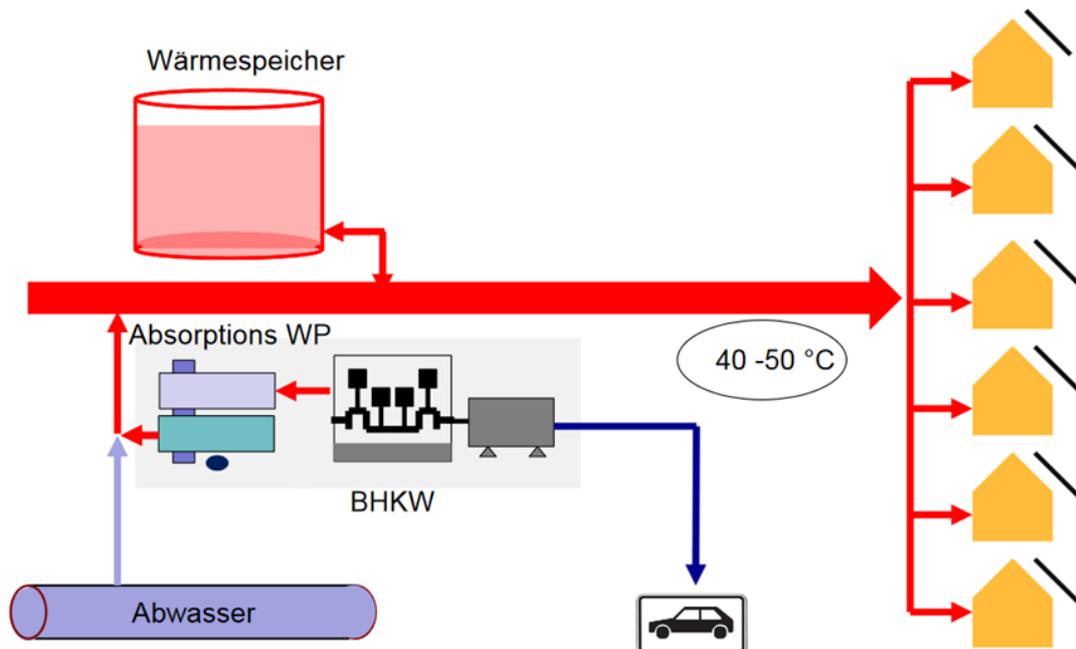
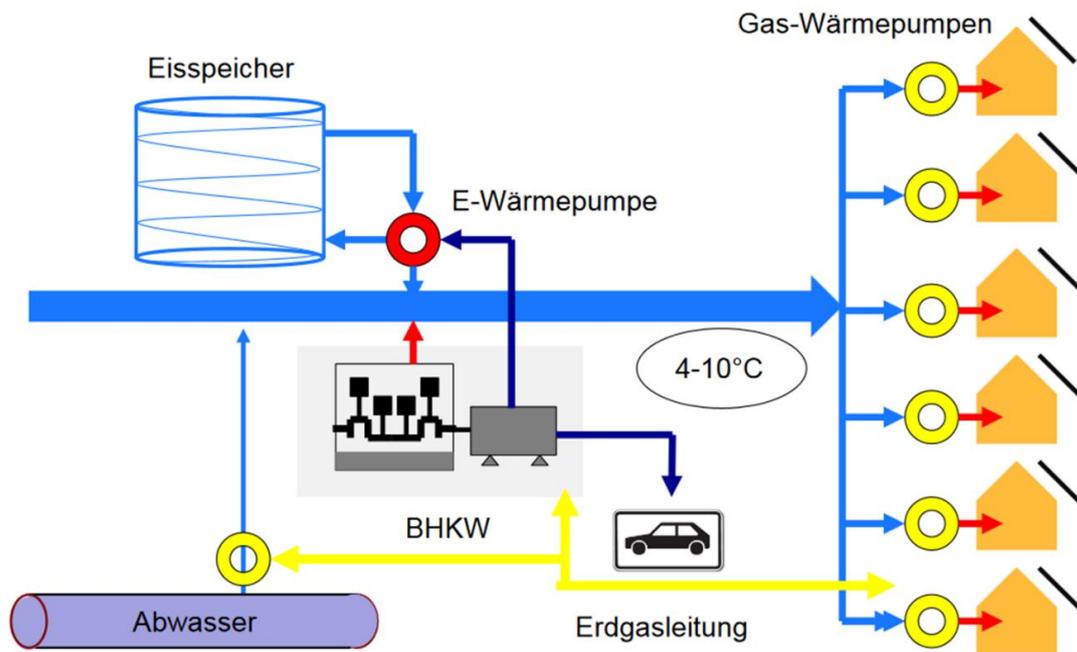


Abbildung 3-10: Warmes Nahwärmenetz mit BHKW, Absorptionswärmepumpe, Wärmespeicher und Abwasserabwärmenutzung [20]

### Beispiele mit unterschiedlichen Technologien in klassischen dezentralen kalten Nahwärmenetzen

Als einfachste Variante eines kalten Nahwärmenetzes ist als Wärmequelle lediglich die Nutzung von Geothermie zu nennen in Verbindung mit einer Elektrowärmepumpe in jedem Haus. Die Vorlauftemperatur im Netz beträgt ca. 4 bis 6 °C. Die Erweiterung durch ein mit Biomethan oder Erdgas betriebenes BHKW erhöht die Netztemperatur auf 4 bis 10 °C. Der mit dem BHKW erzeugte Strom wird in den einzelnen Elektrowärmepumpen verwendet. Die Effizienz des Netzes lässt sich durch den Einsatz eines Eisspeichers in Verbindung mit einer Elektrowärmepumpe weiter steigern.

Anstelle von Elektrowärmepumpen in den Gebäuden können auch Gaswärmepumpen angewendet werden. Der Strom des BHKW wird dann von der in Verbindung mit dem Eisspeicher betriebenen EWP verbraucht. Eine weitere Effizienzsteigerung durch die Nutzung von Solarthermie in jedem Gebäude ist natürlich möglich. Auch kann neben der Geothermie eine weitere Umweltwärmequelle wie z. B. Abwärmenutzung von Abwasser eingesetzt werden, die Funktionsweise ist im Anhang in Abbildung 0-29 dargestellt. Auch ist als Umweltwärmequelle nur die Abwärmenutzung von Abwasser möglich, wenn eine weitere Gaswärmepumpe zur Erhöhung der Temperatur im kalten Nahwärmenetz integriert wird, siehe Abbildung 3-11. Vorteile eines solchen kalten Versorgungssystems sind eine einfache Netzstruktur ohne Netzverluste, Einsatz von effizienter Geothermie, Erweiterungsmöglichkeit von Abwärmenutzung sowie eine Flexibilitätsoption durch die Kombination von BHKW und GWP. Nachteile sind die individuellen Wärmepumpen, die Anforderlichkeit der besonderen Trinkwasserbehandlung sowie die Anwendung von nur kleinen KWK-Anlagen.



**Abbildung 3-11: Kaltes Nahwärmenetz mit BHKW, Gaswärmepumpen, Eisspeicher und Abwasserabwärmenutzung [20]**

Wird eine Siedlung mit einem kalten Nahwärmenetz versorgt, ist für die Wärmeerzeugung in den einzelnen Gebäuden jeweils eine Gas- oder Elektrowärmepumpe erforderlich. Diese erhöht die Vorlauftemperatur von 10 °C auf ca. 35°C, was für eine Fußbodenheizung ausreicht. Die Warmwasserbereitung kann ebenfalls durch einen Warmwasserspeicher innerhalb der Wärmepumpe oder auch elektrisch erfolgen.

Weitere Versorgungsbeispiele mit kalten Nahwärmenetzen sind im Anhang auf Seite 148 ff in den Abbildung 0-23 bis Abbildung 0-28 aufgeführt.

### 3.2.2 Speichertechnologien für Wärmenetze

Für die Energiewende haben Energiespeicher eine große Bedeutung. Neben der Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien in Batteriespeichern, als Wasserstoff oder synthetisches Methan wird auch die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien zukünftig immer wichtiger. Für eine möglichst weitgehende Versorgung mit treibhausgasneutraler Wärme werden Wärmenetze und Wärmespeicher benötigt. Die Wärmenetze werden aus Bioenergie, Solarthermie, Erdwärme oder strombasierten Anlagen wie Großwärmepumpen gespeist. Insbesondere für die schwankende Energiebereitstellung der Solarthermie sowie dem erneuerbaren Strom aus Windkraftanlagen, der mit Power to Heat-Anlagen in Wärme umgewandelt werden kann, werden Wärmespeicher immer bedeutender. So kann beispielsweise die überschüssige Solarwärme im Sommer zur Wärmebereitstellung im Winter genutzt werden.

Thermische Energie kann in sensiblen, latenten oder thermochemischen Speichern gespeichert werden. Die Technologien unterscheiden sich in der Energiedichte (Wärmekapazität des Speichermediums), der maximal speicherbaren Temperatur (Temperaturdifferenz) und der Speicherdauer. Kurzzeitspeicher speichern die Wärme für Stunden bis Tage, Langzeitspeicher können Wärme über einige Wochen bis Monate speichern.

Marktreif verfügbar sind heutzutage sensible Wasserbehälterspeicher, bei denen das Speichermedium seine fühlbare Temperatur durch die Be- bzw. Entladung verändert. Während des Ladevorgangs wird dem Speichermedium direkt oder indirekt über einen Wärmetauscher Wärme zugeführt. Beim Entladen wird die gespeicherte Energie wieder abgegeben und der Speicher kühlt ab. Wasser besitzt eine hohe Wärmekapazität, ein Kilogramm flüssiges Wasser besitzt zwischen Gefrier- und Siedepunkt eine Speicherkapazität von 116 Wattstunden (Wh).

Latente Speicher nutzen die Wärmeenergie, die durch die Änderung des Aggregatzustandes des Speichermediums frei wird. Als Beispiel sind Eisspeicher zu nennen, deren Speichermedium Wasser bei der Wärmezufuhr flüssig wird und beim Entladen, d.h. der Wärmeabgabe erstarrt. Eisspeicher kommen in Wärmenetzen zur Anwendung. Vorteilhaft im Vergleich zu den sensiblen Speichern ist ihre hohe Speicherdichte (50-150 kWh/m<sup>3</sup>) durch die Speicherung und Entnahme auf gleichbleibendem Temperaturniveau sowie das breite Spektrum an Schmelztemperaturen (-40 bis hin zu über 1.000 Grad Celsius) und die höhere Speicherkapazität. Latente Wärmespeicher benötigen weniger Platz, sind aber kostenintensiver. Wird auch eine Kühlfunktion benötigt, eignen sich latente Eisspeicher, die sowohl zur Beheizung als auch zur Kühlung angewendet werden können.

Thermochemische Wärmespeicher speichern Wärme durch endotherme Reaktionen und geben sie durch exotherme Reaktionen wieder ab. Als Beispiel sind Sorptionsspeicher zu nennen deren Vorteile gegenüber Wasserspeichern in der höheren Speicherdichte von 200 bis 300 Kilowattstunden pro Kubikmeter, im großen Temperaturbereich von 100 bis 500°C sowie geringerer Wärmeverluste liegen. Nachteilig sind sehr hohe Produktionskosten.

Die Speichertechnologie ist ein Teil des gesamten Energiekonzeptes eines neuen Bauprojektes. Die Wahl der Speichertechnologie hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab, u.a. von den zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energien, von der Wärmeleistungsanforderung und somit von der Größe des zu versorgenden Baugebietes bzw. Gebäudes. Für kleinere Anlagen eignen sich eher Kurzzeit-Pufferspeicher, die die Wärme oder Kälte über kurze Zeiträume, meist nur wenige Stunden oder Tage, speichern. Wesentlich sind auch die Kosten für

den Speicher, zum einen die spezifischen Investitionskosten, die stark von den Rahmenbedingungen vor Ort abhängen und zum anderen die Wärmekosten pro kWh.

Ab einem Speichervolumen von 1000 m<sup>3</sup> kommen saisonale Wärmespeicher oder Multifunktionspeicher in Betracht. Sensible kleine Kurzzeitspeicher kommen als Pufferspeicher in Verbindung mit Heizungsanlagen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern zum Einsatz. Durch den Einsatz eines Pufferspeichers wird das Betriebsverhalten der gesamten Heizungsanlage verbessert, da es effizienter ist, die Heizung aus dem erhitzten Speicher zu speisen, als den Brenner im Dauerbetrieb zu halten. [38]

Überschüssige elektrische Energie aus Photovoltaikanlagen kann in chemischen Batteriespeichern gespeichert werden.

### 3.2.2.1 Saisonale Langzeit-Wärmespeicher

Saisonale Wärmespeicher eignen sich für solare Wärmenetze, um über die Sommermonate mit Solarwärme aus solarthermischen Kollektorfeldern beladen zu werden und um damit im Winter die über ein Wärmenetz angeschlossenen Gebäude zu heizen, insbesondere in Kombination mit solaren Nahwärmenetzen für den Niedertemperatur-Wärmemarkt. So wird das zeitliche Ungleichgewicht von Wärmeangebot und Nachfrage ausgeglichen. Saisonale Wärmespeicher verwenden je nach Bauart entweder Wasser oder eine Kies-Wasser- bzw. Erdreich-Wasser-Mischung oder direkt den Untergrund, um Wärme saisonal zu speichern, siehe Abbildung 3-12.

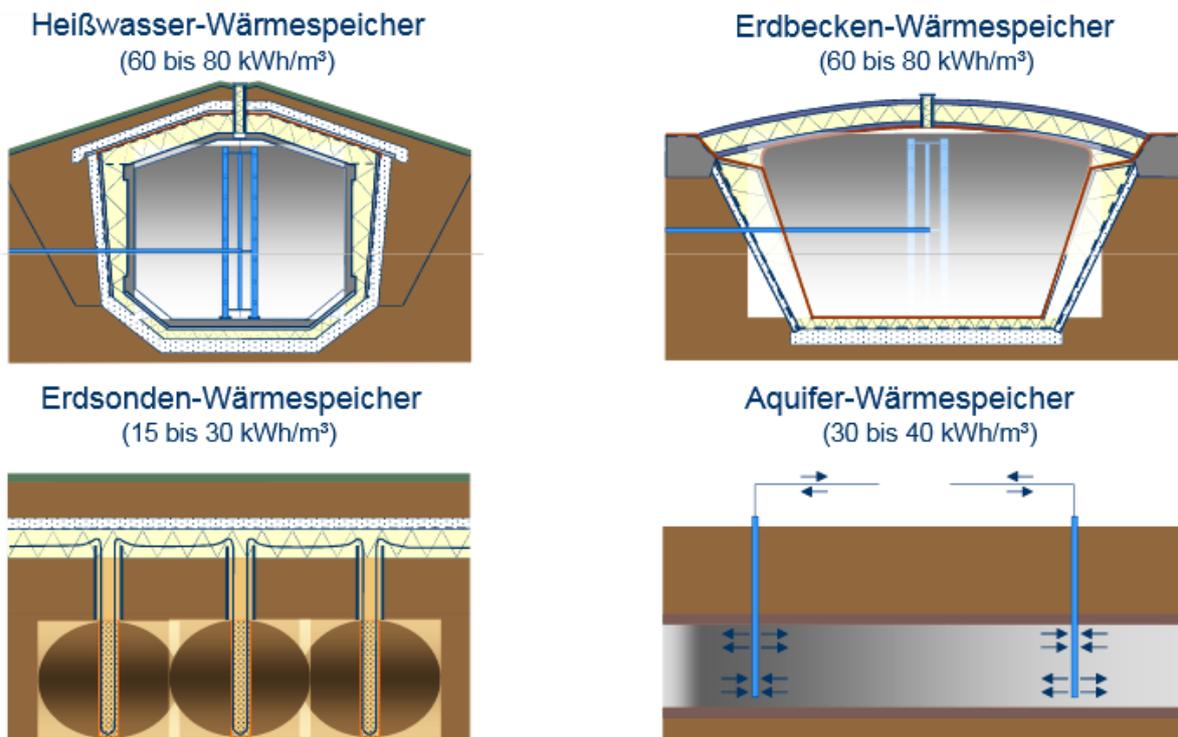


Abbildung 3-12: Bauarten von saisonalen Wärmespeichern [39]

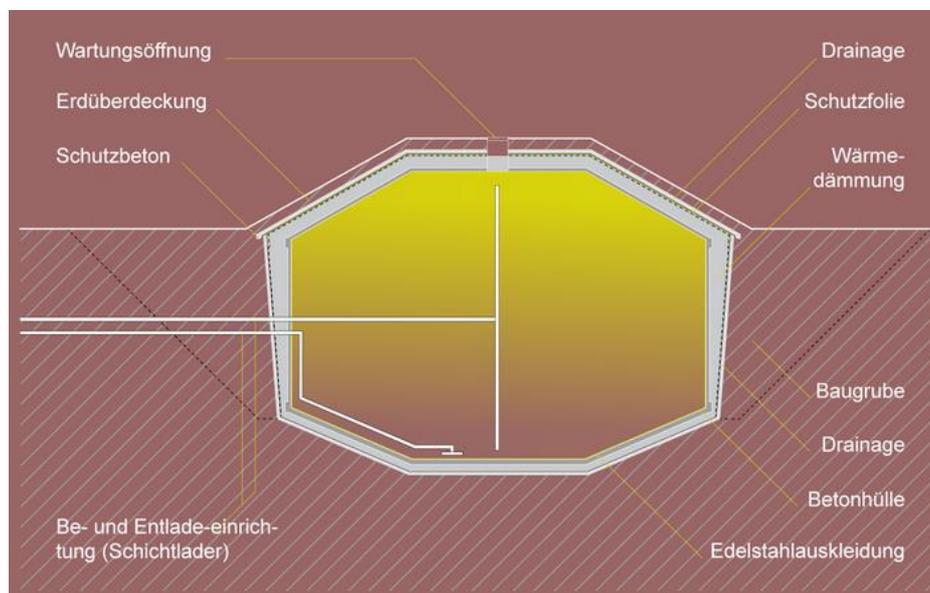
Wesentliche technische Daten von verschiedenen saisonalen Wärmespeichern sind in Tabelle 3-1 zusammengestellt. Beispiele mit Daten saisonaler Wärmespeicher sind im Anhang in Abbildung 0-30 aufgeführt.

**Tabelle 3-1: Technische Daten von saisonalen Wärmespeichern [40]**

Speicherart	Größe [m³]	Einsatzbereich	Energiedichte [kWh/m³]	Temperatur [°C]
Warmwasser Wärmespeicher	50 bis 6.000	Warmwassernutzung	60-80	70-95
Kies/Wasser Wärmespeicher	über 1.000	Nahwärme	30-50	10-90
Erdsonden Wärmespeicher	über 50.000	Nahwärme	15-30	10-80
Aquifer Wärmespeicher	über 1.000	Nahwärme	30-40	70-80

### Heißwasser-Wärmespeicher

Behälter-Wärmespeicher bestehen meistens aus unterirdischen Stahlbetonbehältern, die mit Wasser gefüllt sind und an einen Be- und Entladekreislauf angeschlossen sind. Sie können auch aus Metall oder Kunststoff gebaut sein. Sie werden an Boden, Wänden und Dach gedämmt, um Wärmeverluste zu vermeiden. Als Dämmstoffe werden je nach Belastungsfall Schaumglasschotter für den Boden und Blähglasgranulat in einer Membranschalung für Wand und Dach verwendet. Die In Abbildung 3-13 ist der Querschnitt durch einen Heißwasser-Wärmespeicher aufgeführt. Durch die Speicherdecke sind zwei Be- und zwei Entladerohre mit entsprechenden Auslässen eingebaut, die für die vermischungsarme Einschichtung des Wassers sorgen. Das Wasser steht durch Belüftungsrohre mit der Atmosphäre in Verbindung, d.h. der Speicher ist drucklos. Zur Vermeidung der Dampfdiffusion durch den Beton ist der Speicher innen mit 1,25 mm starken V4A Edelstahlblechen ausgekleidet. Energetisch effizient werden Heißwasser-Wärmespeicher ab einem Wasservolumen von 1000 m³, sonst sind die volumenbezogenen Wärmeverluste zu hoch. [39]



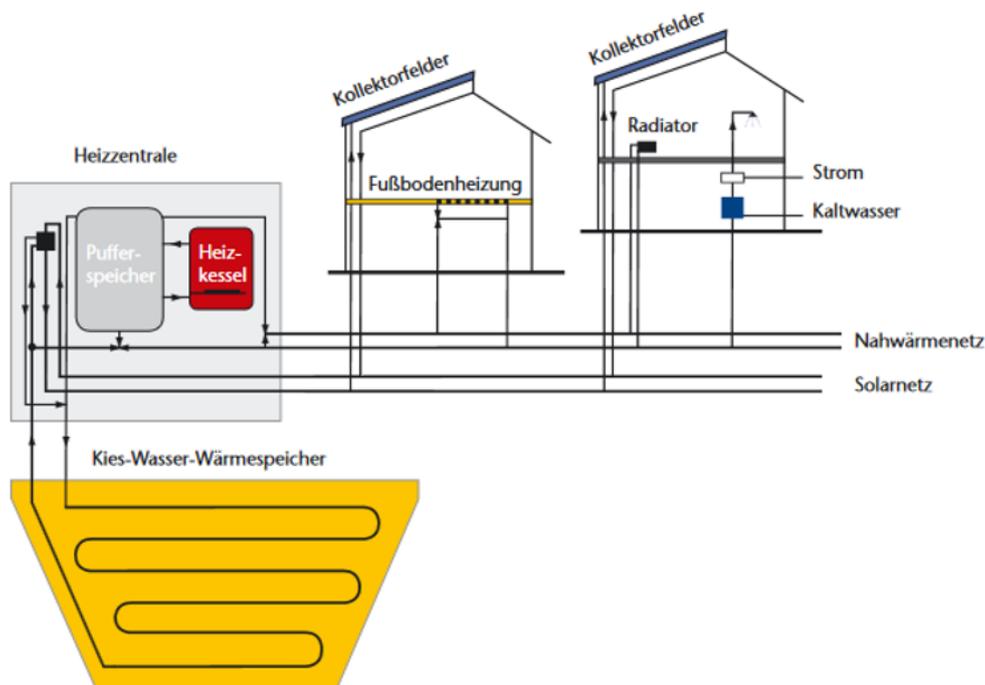
**Abbildung 3-13: Heißwasser-Wärmespeicher [39]**

### Erdbecken-Wärmespeicher

Als Erdbecken-Wärmespeicher werden 5 bis 15 m tief in die Erde eingegrabene, abgeschlossene und zum Teil gedämmte Erdbecken bezeichnet, die mit verschiedenen Speichermedien wie z. B. Wasser, Wasser-Kies-Gemisch oder Wasser-Erdreich gefüllt werden. Die Wärme wird direkt oder indirekt über Brunnen oder Rohrleitungen ein- und ausgespeist. Das Erdbecken wird mit einem meist ebenfalls gedämmten Dach abgedeckt, das nur auf der Speicherfüllung aufliegt. Eine Füllung mit festen Speichermaterialien erhöht die Tragfähigkeit für das

Dach. Kies weist gegenüber Wasser eine höhere Wärmeleitfähigkeit auf, wodurch die Temperaturschichtung im Speicher verringert wird. Es können Maximaltemperaturen von bis zu 80 °C gespeichert werden.

Abbildung 3-14 zeigt das Anlagenschema einer Solar-Siedlung mit einem 1500 m<sup>3</sup> großen Kies-Wasser-Wärmespeicher in Steinfurt-Borghorst. Die zwischen 1998 und 2000 im Rahmen des Förderprogramms „50 Solarsiedlungen in NRW“ gebaute Siedlung umfasst elf Reihenhäuser, vier Doppelhäuser und sieben Drei- bzw. Vierfamilienhäuser mit einem mittleren Heizwärmebedarf von 51 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Gesamtwärmebedarf für Heizung, Warmwasser und Netzverluste beträgt 324 MWh/a. Auf der Reihenhauszeile befinden sich 510 m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Sämtliche Gebäude werden über ein Niedrigst-Temperatur-Wärmeverteilnetz versorgt, das auch durch einen Gas-Brennwertkessel (400 kW) über einen 3 m<sup>3</sup> fassenden Pufferspeicher gespeist wird. Ein besonderes Merkmal dieses kleinen Projektes ist der Einsatz eines Kies-Wasser-Wärmespeichers. Der Wärmespeicher wird indirekt über in 6 Ebenen parallel angeordnete Wärmeübertragerrohre be- und entladen, d. h. die Wärme wird lediglich durch Wärmeleitung und freie Konvektion zwischen den Rohren und der Kies/Wasser-Schüttung übertragen. Zu diesem Zweck wurde lagenweise Kies eingebracht und in 6 Ebenen Polyethylen-Rohre mit einer Gesamtlänge von ca. 7.000 m verlegt. Der Speicher wurde nach dem vollständigen Einbringen des Kieses mit etwa 540 m<sup>3</sup> Wasser gefüllt, das wasseräquivalente Speichervolumen beträgt rd. 1000 m<sup>3</sup> [39] [41].

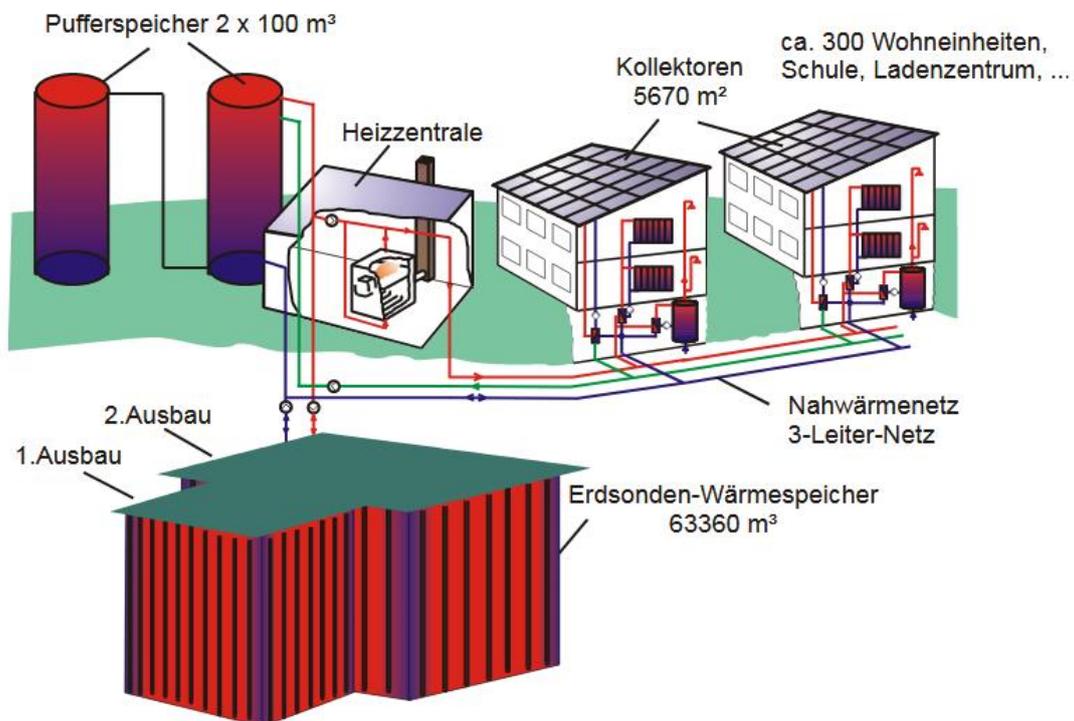


**Abbildung 3-14: Anlagenschema einer Solar-Siedlung mit Kies-Wasser-Wärmespeicher [41]**  
**Erdsonden-Wärmespeicher**

Eine weitere Möglichkeit der saisonalen Langzeitspeicherung von solarer Nahwärme bietet der Erdsonden-Wärmespeicher. Wasserdurchflossene Erdwärmesonden werden bis zu 100 m tief ins Gestein gebohrt, wodurch solar erhitztes Wasser in den Untergrund geleitet wird und dort das Gestein erwärmt. So wird die überschüssige Solarwärme im Sommer gespeichert und die bei bestehendem Wärmebedarf im Winter dem nutzenden System zugeführt. Weiterhin

kann auch die natürliche geothermische Erdwärme genutzt werden. Die Wärmespeicherkapazität hängt von dem Untergrundmaterial ab, es kann bis zu 80 °C erwärmt werden. Die Bohrungen haben einen Durchmesser von 0,1 bis 0,2 m Durchmesser und benötigen einen horizontalen Abstand von 1,5 bis 3 Metern zueinander. Die Bohrungen werden in einem Sondenfeld angeordnet, welches möglicherweise bei Bedarf, z. B. durch einen weiteren Bauabschnitt, erweitert werden kann. Bei der Bohrtiefe ist zu beachten, dass aufgrund von Wärmeverlusten kein Grundwasser durch den Bohrgrund fließen darf. Bei der Planung von Erdsondenwärmespeichern sind umfangreiche geologische Voruntersuchungen nötig. Das Erdsondenfeld kann jedoch mit nicht stark wurzelnden Pflanzen begrünt werden.

Erdsonden-Wärmespeicher können jedoch aufgrund der langsameren Wärmeleitung im Erdreich im Vergleich zu Wasser keine Leistungsspitzen der Wärmelieferanten abpuffern. Zur Wärmenutzung wird der Erdsonden-Wärmespeicher mit weniger trägen Pufferspeichern oder Wärmepumpen genutzt, siehe das Anlagenschema in Abbildung 3-15. [39]

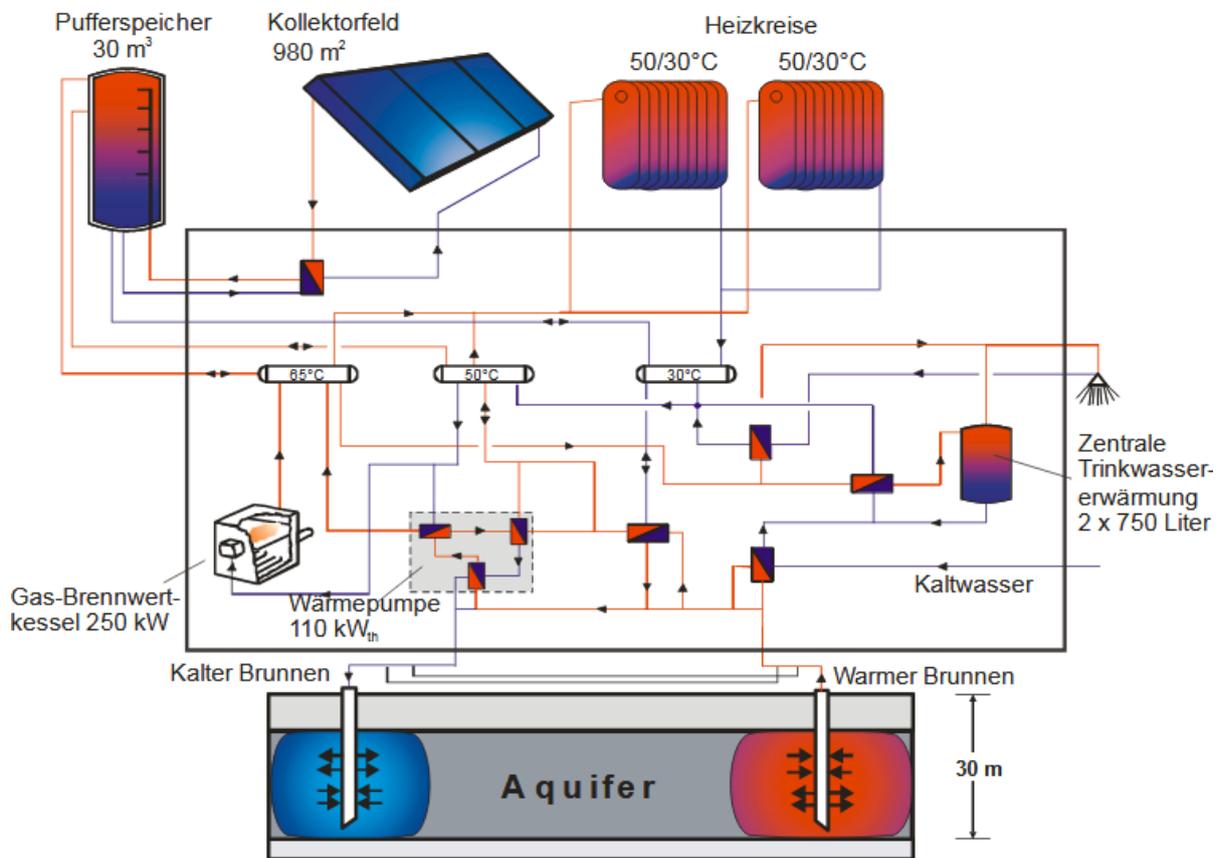


**Abbildung 3-15: Anlagenschema einer solaren Nahwärmeversorgung mit Erdsonden-Wärmespeicher [42]**

### Aquifer-Speicher

In sich abgeschlossene natürliche Grundwasserreservoirs können zur Wärmespeicherung genutzt werden, indem die wasserführende Schicht durch Brunnenbohrungen erschlossen wird. Im kalten Brunnen wird Wasser hochgepumpt und durch eine erneuerbare Energiequelle oder einen Wärmeerzeuger erwärmt, welches dann über die warme Brunnenbohrung wieder in den Untergrund geleitet wird. Hierrüber wird auch bei Bedarf das warme Wasser über einen Wärmeübertrager dem Verbraucherkreis zugeführt. Oberirdisch sind von dem Aquifer-Wärmespeicher nur die Brunnenbohrungen sichtbar. Abbildung 3-16 zeigt das Anlagenschema eines 108 Wohnungen umfassenden und mit Sonnenkollektoren ausgestatteten Gebäudekomplexes in Rostock, unter dem ein Aquifer-Speicher als saisonaler Wärmespeicher genutzt wird. Aufgrund von chemischen Veränderungen des Grundwassers ab einer Temperatur >50°C ist der

Aquifer-Speicher auf diese Temperatur begrenzt, daher wird die überschüssige Solarwärme zunächst in einen Pufferspeicher eingespeist. Da der Heizkreislauf mindestens 45°C benötigt, kann im Entladezyklus nur ein gewisser Teil der im Aquifer gespeicherten Wärme direkt genutzt werden, bei niedrigeren Temperaturen kommt eine Wärmepumpe zum Einsatz [43].



**Abbildung 3-16: Hydraulischeschema der solaren Nahwärmeversorgung in Rostock mit Aquifer-Speicher [43]**

Die ersten Technologien zur saisonalen Wärmespeicherung werden ihre Marktbereitschaft bis ca. zum Jahr 2020 erreichen. Ausführlichere Informationen bzgl. der saisonalen Langzeitwärmespeicher siehe unter [www.saisonalspeicher.de](http://www.saisonalspeicher.de).



Abbildung 3-18 zeigt ein Versorgungsbeispiel eines kalten Nahwärmenetzes mit einem Primär-Eisspeicher, der über Solar-Absorber mit Energie gespeist wird. Jedes an das Kaltnetz angeschlossene Gebäude ist neben dem Solar-Absorber mit einer Wärmepumpe ausgestattet, die sowohl die Heizwärme als auch die Warmwasserbereitung liefert. Die Vorlauftemperatur des Kaltnetzes beträgt  $9^{\circ}\text{C}$ , das Wasser fließt mit  $5^{\circ}\text{C}$  in den Eisspeicher zurück. Aufgrund dieses Temperaturniveaus treten keine Wärmeverluste an der Transportleitung auf. Im Winterbetrieb kann der Eisspeicher durch den Temperaturunterschied zwischen Erdreich und dem Speichermedium Wärme gewinnen. Das in Abbildung 3-19 aufgeführte kalte Nahwärmenetz versorgt jedes Gebäude ebenfalls mit jeweils einer Wärmepumpe mit Heizwärme und Warmwasser. Hierbei wird der Eisspeicher mit einer zentralen Wärmequelle wie z. B. einem großen Luftabsorber gespeist. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, über einen Heizstab überschüssigen Strom aus Windkraft, Photovoltaik, Wasserkraft, einem Kraftwerk etc. einzuspeisen.

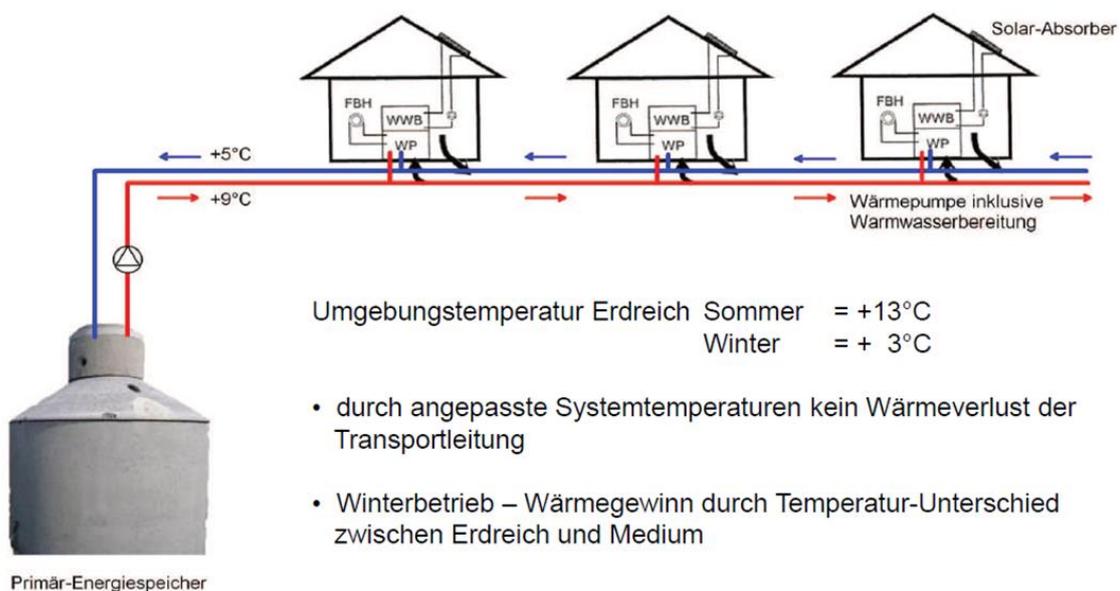


Abbildung 3-18: Kaltes Nahwärmesystem mit Eisspeicher und dezentrale Solar-Absorber [45]

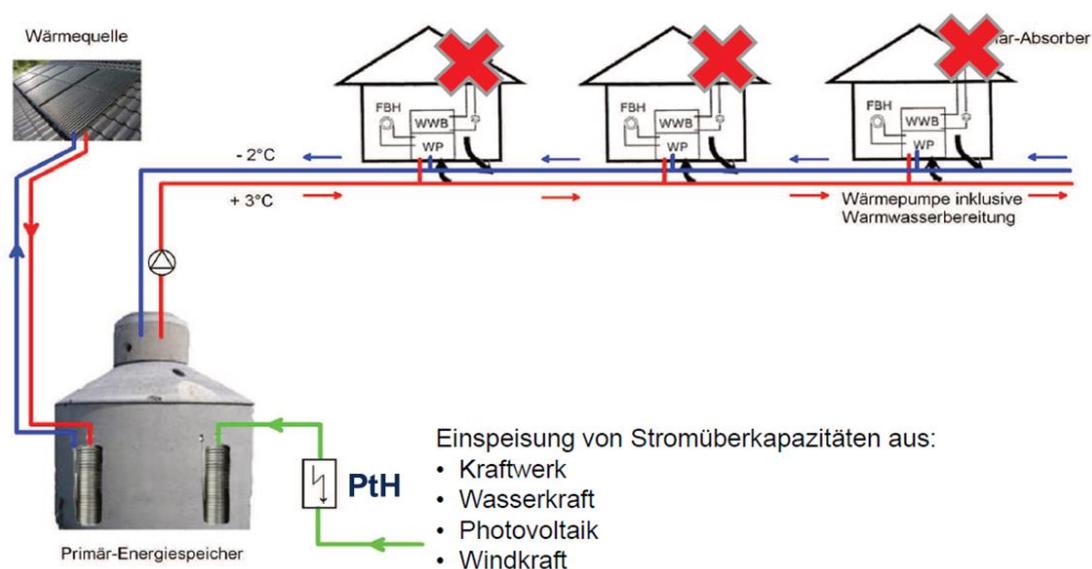


Abbildung 3-19: Kaltes Nahwärmesystem mit Eisspeicher und zentraler regenerativer Energiequelle [45]

### 3.2.2.3 Elektrochemische Energiespeicher

Elektrochemische Speicher sind kurz- und mittelfristige Energiespeicher. In Einfamilienhäusern mit Photovoltaik-Anlagen erhöhen sie den Eigenverbrauch erheblich, da der nicht verbrauchte tagsüber erzeugte Strom gespeichert wird und somit nachts verwendet werden kann. Ebenso kann auch in einem Quartier der überschüssige Strom aus PV und BHKW in einer Batterie gespeichert werden, um ihn zu einem späteren Zeitpunkt sowie auch für andere Anwendungen wie z. B. Elektromobilität einzusetzen. Je mehr Strom selbst verbraucht wird, desto rentabler sind die Investitionskosten des Stromspeichers. Elektrochemische Speicher basieren auf wieder aufladbaren elektrochemischen Zellen, in denen durch eine Redox-Reaktion elektrischer Strom gespeichert wird, indem sich der Ladungszustand des Speichermediums ändert. Die häufigsten Batteriespeicher sind Blei-Säure-Batterien und Lithium-Ionen-Batterien.

Blei-Säure-Batterien sind die Technologie mit der größten installierten Kapazität. Viele dieser Anlagen arbeiten seit bis zu zwanzig Jahren. Die größten Märkte für Blei-Säure-Batterien sind heutzutage Starterbatterien für Fahrzeuge und USV-Systeme für die Telekommunikation. Auch in Inselnetzsystemen sind sie weit verbreitet. Bei vielen verschiedenen Herstellern sind sie kommerziell verfügbar. Mit Einführung der Massenproduktion auch von größeren stationären Batterien sowie durch Optimierung des Zelldesigns für die Anforderungen stationärer Anwendungen könnten die Kosten deutlich reduziert und die Lebensdauer verlängert werden.

Lithium-Ionen-Batterien werden überwiegend als mittelfristige Speicher genutzt, finden aber auch als Kurzzeitspeicher Anwendung. Derzeitig kommen sie hauptsächlich in mobilen (Laptop, Mobiltelefone, Auto) Anwendungen zum Einsatz. Aufgrund der großen Anzahl an möglichen Elektrolytmischungen und Separatoren sowie Kombinationen von Elektrodenmaterialien und Zellenabmessungen und -bauprinzipien (gewickelt, gestapelt), die zu unterschiedlichen Eigenschaften führen, ist bisher noch keine endgültige Aussage bezüglich der effizientesten Kombination für zum Beispiel stationäre Speicher möglich. Technische Daten verschiedener elektrochemischer Speicher sind Abbildung 3-20 zu entnehmen. Weitere Detaillierte Informationen sind im Anhang in Tabelle 0-1 und Tabelle 0-2 aufgeführt.

Anforderungen	Bleibatterie	Li-Ionenbatterie	Aquion-Batterie	Hochtemperatur
Chemie	PB	Li-Ionen	Na-Ionen	NaS / Na NiCl
Wartungsfrei	ja	ja	ja	ja
Lebensdauer	10 Jahre	<b>10 Jahre +</b>	?	?
Wirkungsgrad	80 - 90 %	90 - <b>98%</b>	70 - 85 %	70 - 80%
Sicherheit	+	+ (mit BMS)	++	0
Nennergiedurchsatz	500 - 1.500	2.000- <b>8.000</b>	3.000	3.000
Verfügbarkeit am Markt	++	++	0	-
Invest. Kosten /kWh	<b>200</b> - 500	350 - 800	500 - 800	500 - 1000
Zyklus Kosten ct/kWh	13 - 35	<b>5</b> - 40	17 - 30	17 - 40

- ▶▶ Mittlerweile sind ca. 90% der Speicher im On-Grid Bereich Li-Ionen
- ▶▶ Zwischenspeicherkosten (incl. MwSt. + Verluste + Wechselrichter) von weniger als 20 ct/kWh werden heute erreicht



**Abbildung 3-20: Technische Daten verschiedener elektrochemischer Speicher [46]**

### 3.2.3 Optimale Bedarfsanpassung durch virtuelle Kopplung der Erzeugersysteme

Im Rahmen der Energiewende wird versucht, erneuerbare Energien auch in dezentralen Nahwärmenetzen zu integrieren. Durch ein intelligentes Zusammenspiel von Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien mit unterschiedlichen Heiztechnologien, Energieumwandlung sowie Kurz- und Langzeit-Speicherung können die Sektoren Wärme, Strom, Kälte und Mobilität (siehe Abbildung 3-21 und Abbildung 3-22) möglichst energiesparend aufeinander abgestimmt werden.

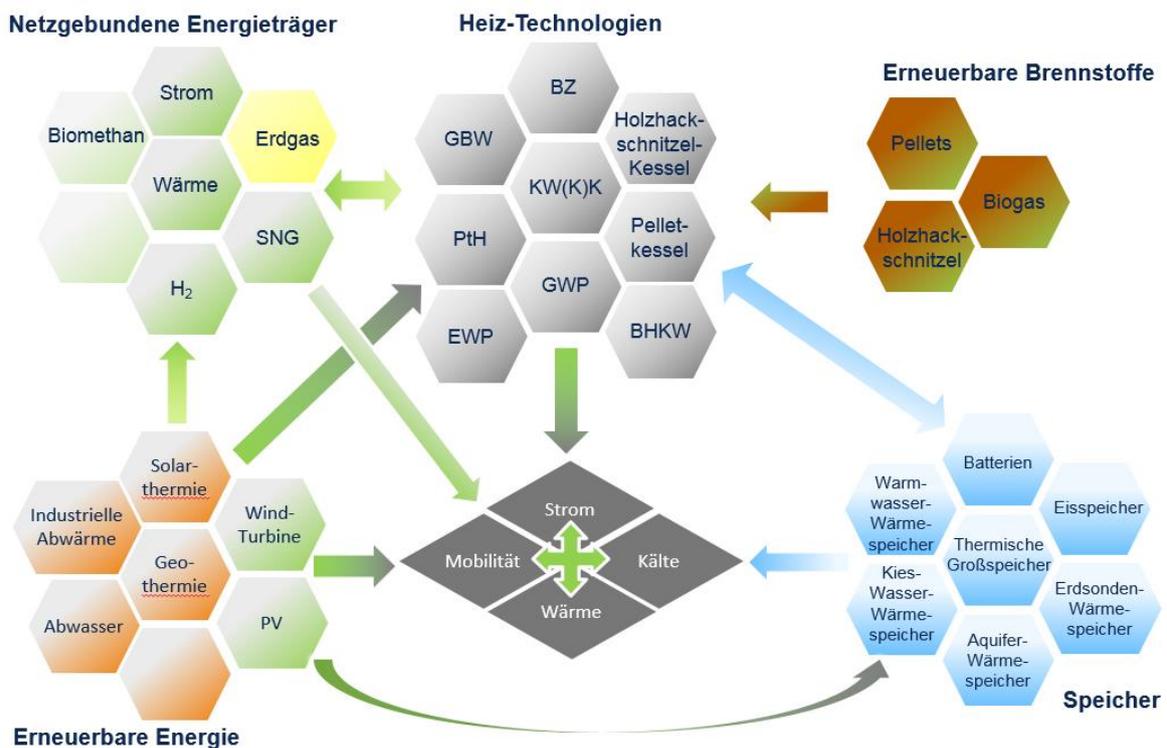


Abbildung 3-21: Kopplungsmöglichkeiten der Energiesektoren, Darstellung GWI

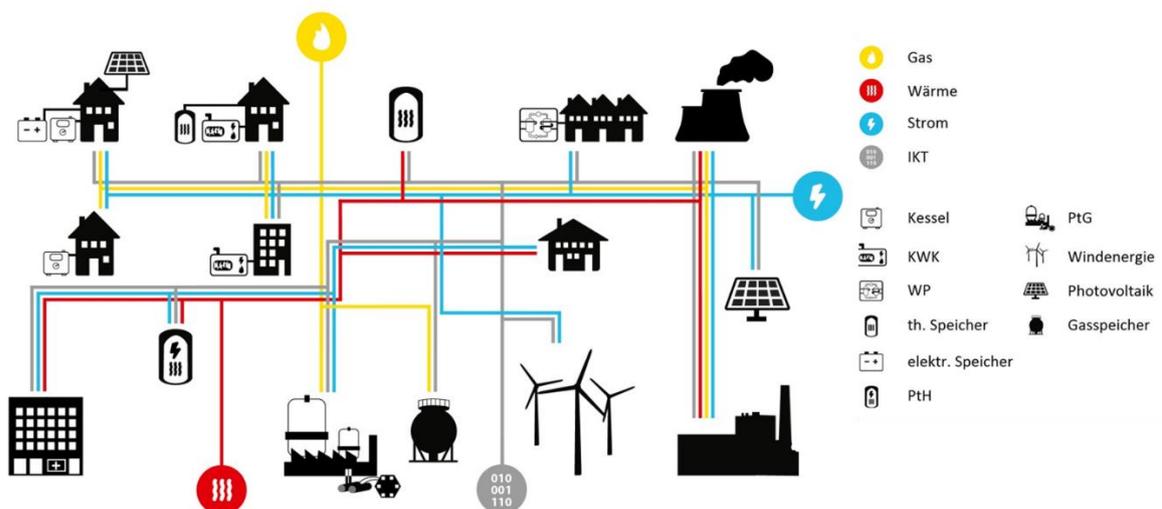


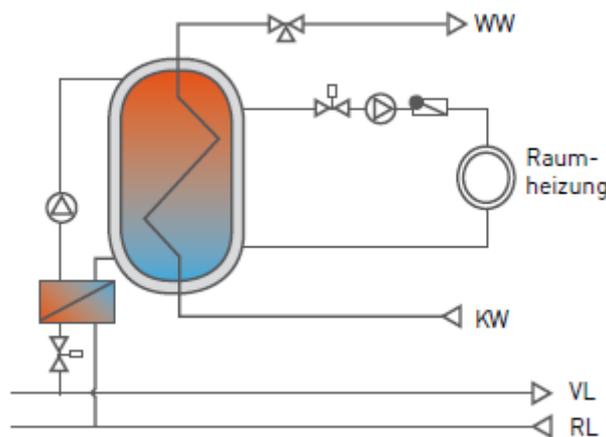
Abbildung 3-22: Kopplung der Erzeugersysteme [47]

Eine intelligente Regelung der Erzeugungsanlagen, KWK, WP, thermische und elektrische Speicher kann den Energiebedarf und die zur Verfügung stehende Energie effizient und ökologisch managen. Beispielsweise kann in Zeiten von Stromüberschuss bei sonnigem, windigen Wetter und niedrigem Energiebedarf mit Hilfe von Power to Heat Anlagen der überschüssige Strom in Wärme in einem Pufferspeicher gespeichert werden. Durch ein intensives Monitoring der Energieflüsse des Stromertrags aus PV, solarthermischer Energieeintrag, Energiegewinn der Wärmepumpe und der Verbräuche sowie elektrisch vernetzte Batteriespeicher kann die Effizienz ebenfalls optimiert werden.

### 3.2.4 Darstellung von möglichen dezentralen Verbindungen der Energienetze

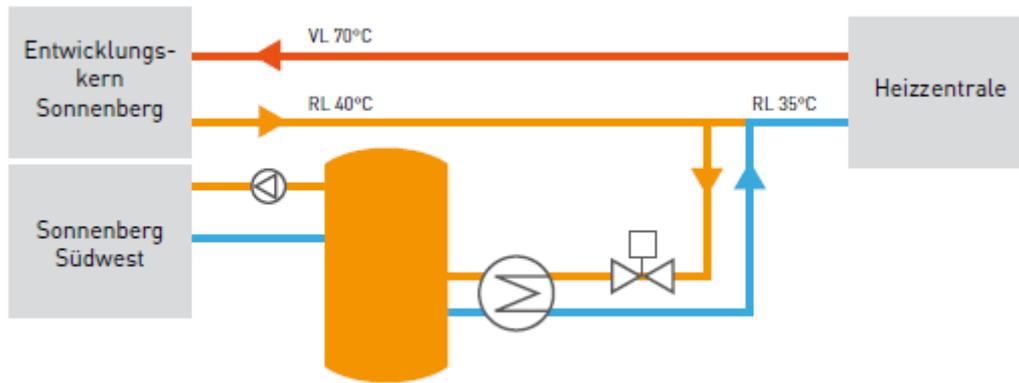
Niedrigenergiehaussiedlungen weisen aufgrund des hohen energetischen Standards der Gebäude und gleichzeitiger geringer Bebauungsdichte eine geringe Wärmeabnahme auf. Um bei solchen Randbedingungen trotzdem eine energieeffiziente und wirtschaftliche netzgebundene Wärmeversorgung zu realisieren wurden im Rahmen des Forschungsprojektes EnEff Stadt zum Thema „Energetischer Stadtumbau“ in Ludwigsburg unterschiedliche Netz-Anschlussmöglichkeiten mit verschiedenen Netztemperaturen untersucht. [48]

Der klassische Nahwärmeanschluss erfolgt mit einem Temperaturniveau von 70/40 °C. Die Gebäude sind durch eine Übergabestation, Regler und Speicher mit internem Wärmetauscher zur Warmwasserbereitstellung an das klassische Nahwärmenetz angeschlossen siehe Abbildung 3-23. Über einen Stationsregler ist es möglich, die dezentralen Speicher aller Abnehmer zentral gesteuert zu beladen, um Lastspitzen abzufedern.



**Abbildung 3-23: Klassischer Nahwärmeanschluss [48]**

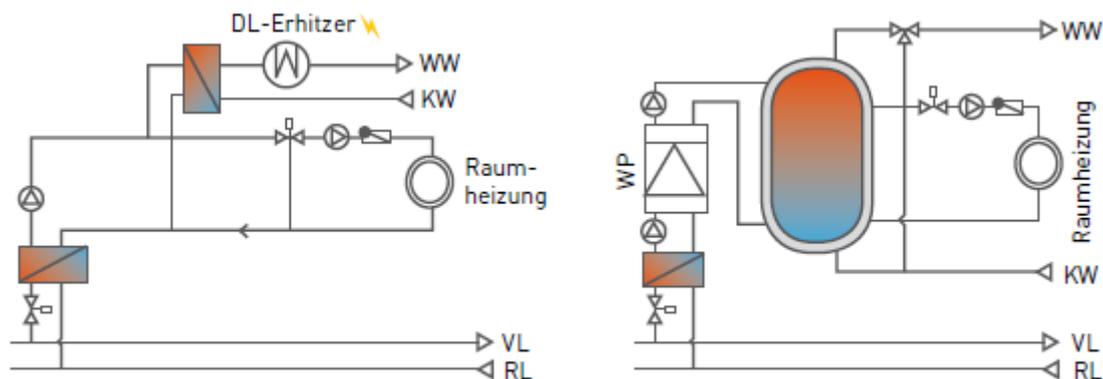
Eine weitere Möglichkeit der netzgebundenen Wärmeversorgung der Niedrigenergiehaussiedlung ist der Anschluss eines Niedertemperatur-Nahwärmenetzes an den Fernwärmerücklauf eines benachbarten Stadtteils, wie in Abbildung 3-24 dargestellt. Die Vorlauftemperatur des Mitteltemperatur-Nahwärmenetzes beträgt wie die Rücklauftemperatur des Hauptnetzes ebenfalls 40 °. Die Anbindung an das Hauptnetz erfolgt über eine Netz-Übergabestation mit Steuerventil, Wärmetauscher und Pufferspeicher. Weil der Verbrauch in beiden Versorgungsgebieten nicht immer zeitlich aufeinander abgestimmt ist, wird der vorgesehene Speicher regelmäßig aus der Hauptrücklaufleitung beladen.



**Abbildung 3-24: Mitteltemperatur-Nahwärmenetz mit Anschluss über Pufferspeicher [48]**

Eine weitere Möglichkeit bietet die kalte Nahwärmeversorgung im Sekundärnetz. Durch eine Rücklaufbeimischung wird die Vorlauftemperatur des Sekundärnetzes auf ca. 25° C abgekühlt, wodurch sich geringere Wärmeverlusten ergeben. In den angeschlossenen Niedrigenergiehäusern wird die Vorlauftemperatur über dezentrale, elektrisch betriebene Wasser-Wasser-Wärmepumpen angehoben, siehe Abbildung 3-25 rechts. Die dezentrale Wärmepumpe bringt den dezentralen Warmwasserspeicher auf die für die Warmwasser- und Heizungsversorgung nötigen Temperaturen.

Beim Mitteltemperatur-Nahwärmenetz sind die Niedrigenergiehäuser mit einer im linken Teil der Abbildung 3-25 dargestellten Hausübergabestation angeschlossen, wobei die Häuser mit Flächenheizungen ausgestattet sein müssen, da diese mit Vorlauftemperaturen von 35 °C auskommen. Die Warmwasserbereitung erfolgt hierbei über dezentrale Durchlauferhitzer.



**Abbildung 3-25: Hausübergabestation des Mitteltemperaturnetzes (links) und des kalten Nahwärmenetzes (rechts) [48]**

### 3.3 Versorgungsstrategien für Neubausiedlungen mit E-Mobility-Option

2010 ergab der Entwicklungsplan der Elektromobilität in Deutschland eine Marktvorbereitungsphase bis 2014 eine Stückzahl von 100.000 Autos, eine Hochlaufphase bis 2017 von einer halben Millionen und für 2020 einen Massenmarkt von ca. 1 Millionen E-Fahrzeuge an. Laut Statista waren Anfang 2018 53.861 Elektro-Autos zugelassen, was für die Stromversorgung bisher kein Problem darstellt. Wird sich die Anzahl der Elektrofahrzeuge deutlich erhöhen, nach dem Willen der Bundesregierung auf ca. 6 Millionen Fahrzeuge im Jahr 2030, würde sich die Stromnachfrage im Verkehrssektor verdreifachen. Dies muss bei der Entwicklung der Erzeugung von erneuerbarem Strom berücksichtigt werden. Für die Belastung der Stromnetze durch das Laden der Elektrofahrzeuge und um Lastspitzen zu vermeiden ist eine intelligente Steuerung der Ladevorgänge erforderlich [49].

#### 3.3.1 Integration der Elektromobilität in zukünftige Versorgungsstrategien für Neubausiedlungen

Für den Netzausbau zukünftiger Neubausiedlungen ist der Strombedarf für die Beladung eines E-Autos bei der Planung der Anschlussleitung eines Einfamilienhauses sowie der Ortsnetze zu berücksichtigen. Der Verbrauch eines Elektroautos der Mittelklasse beträgt durchschnittlich 15 kWh/100 km und kostet für diese Distanz ca. 4 €. Als Vergleich kosten 6 Liter Super-Kraftstoff für 100 km ca. 10 €. Für einer Fahrleistung von 15.000 km im Jahr werden 2.250 kWh/a benötigt, vergleichend dazu verbraucht ein 3-Personen-Haushalt ca. 3.500 kWh im Jahr. Der benötigte Strom von 2.250 kWh/a für die E-Mobilität kann mit einer Solarmodulfläche von 24 m<sup>2</sup>, was ca. 3 kW<sub>peak</sub> entspricht, erzeugt werden [50]. Dies kann bei Einfamilienhäusern dezentral auf dem eigenen Dach, an der Fassade oder auf dem Garagendach oder zentral in einer Siedlung beispielsweise auch auf Reihenhausdächern produziert werden.

Der zusätzliche Strombedarf entsteht weitgehend an dem Wohnort des Anwenders, da ca. 80-85 % aller Ladevorgänge zu Hause erfolgen. Die Fahrzeugstandzeiten während einer Woche finden lt. Aussage des Electric Power Research Institut 2010 zu 66 % zu Hause, je 14 % im öffentlichen Raum und am Arbeitsplatz und zu 6 % an sonstigen Orten statt. Dabei betragen die Standzeiten zu Hause ca. 12 Stunden, am Arbeitsplatz 8 Stunden und die verbleibende restliche Zeit wird für Einkaufsfahrten und Ausflüge genutzt. Wie sich an den Werktagen und an den Wochenendtagen das typische Haushaltsstromlastprofil eines Wintertages eines Einfamilienhaushalts verhält zeigt Abbildung 3-26. In den Abendstunden liegt der Stromverbrauch an allen Wochentagen am höchsten, in den Stunden ab Mitternacht bietet sich jedoch in der Schwachlastphase die Aufladung eines oder auch zwei bis drei E-Fahrzeuge hintereinander an.

In Neubausiedlungen kann für jedes Haus eine eigene Ladestation (Wallbox) installiert werden. Eine mit drei-Phasen-Wechselstrom betriebene Wallbox überträgt maximal 11 kW Leistung. In NRW wird die Wallbox für die Garage bzw. den Stellplatz für Ladeleistungen von 11 oder 22 kW mit 50 % der Kosten, maximal bis 1000 € gefördert, vorausgesetzt der private Nutzer hat einen Naturstromvertrag oder verwendet eigenerzeugten regenerativen Strom, z. B. mit einer PV-Anlage.

Um einen Ladepunkt netzdienlich zu betreiben sowie günstige Fahrstromtarife nutzen zu können, wurde bereits eine automatische Ladesteuerung, ein sogenannter Homecharger mit den in Abbildung 3-27 angegebenen Leistungsmerkmalen entwickelt.

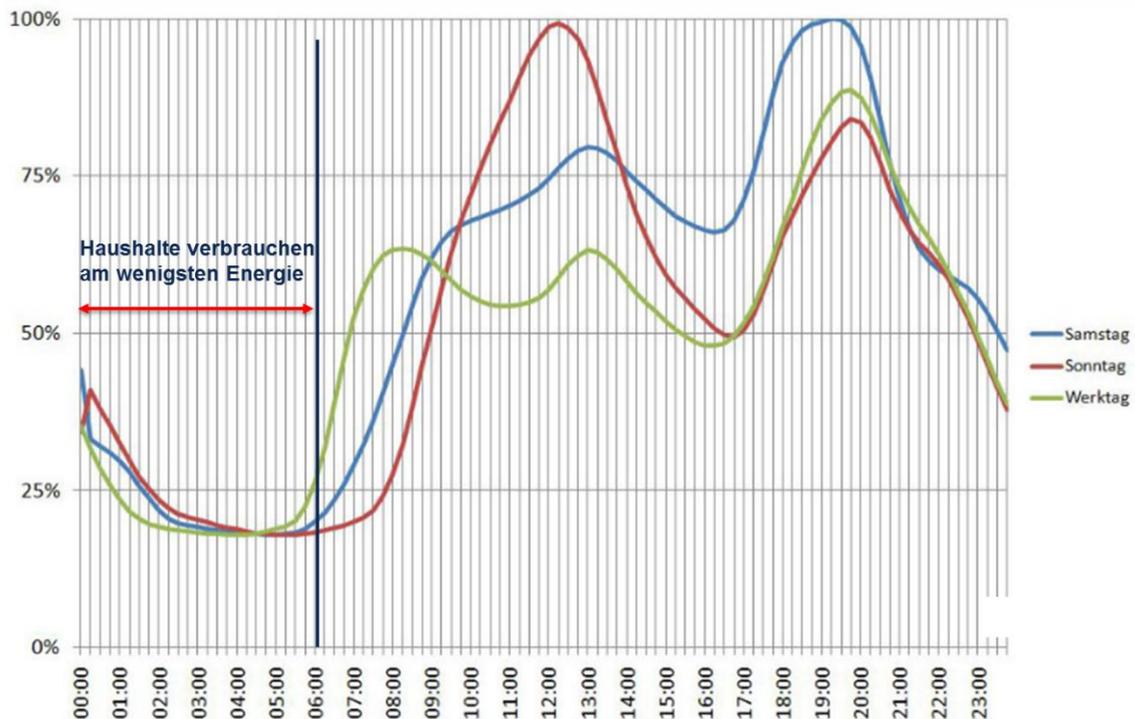


Abbildung 3-26: Typisches Haushaltsstromlastprofil eines Wintertages (VDEW)

Basisausstattung	
➤ Ladeleistung:	3,7 kW / 11 kW / 22 kW
➤ Ladeleitung:	5 m feste Leitung mit Stecker Typ 2
➤ Anschluss:	3x 230 V~ / 16 A (oder 32 A)
➤ Ladesteuerung:	IEC 61851-1 Mode 3
➤ Kommunikation:	Ethernet / Bluetooth 4.0
➤ Lademanagement:	für feste Sperr- und/oder Tarifzeiten
➤ Bedienung:	3-Knopf-Bedienung Homecharge - App
➤ Konfiguration:	Homecharge – App
➤ Garantie:	12 Monate durch Hersteller



Abbildung 3-27: Leistungsmerkmale eines Homechargers [51]

Ladepunkte mit bis zu 22 kW Ladeleistung können in das Niederspannungsnetz (NS) integriert werden. Beträgt die Ladeleistung mehr als 50 kW, wie es z. B. bei den Schnellladestationen der Fall ist, ist der Anschluss an das Mittelspannungsnetz erforderlich. Werden mehrere Ladepunkte nebeneinander angeboten, z. B. entlang der Autobahnen, so ist die signifikant erhöhte Ladeleistung dort ebenfalls zu beachten.

Ob im Niederspannungsnetz Probleme durch das Aufladen von E-Fahrzeugen auftreten, hängt vor der Anzahl der Fahrzeuge ab. Bisher sind bei weitem nicht so viele E-Autos auf dem Markt

wie vor einigen Jahren für 2020 vorhergesagt. Bis zu einer Millionen Fahrzeuge dürfte es voraussichtlich keine Probleme geben. Schwachpunkte für Leistungsüberlastungen stellen als erstes die Ortsnetztransformatoren dar. Eine Problemlösung bietet hierfür ein intelligentes Lademanagement mit passenden Tarifen, wenn genug Zeit zum intelligenten Verschieben und Steuern der Ladevorgänge zur Verfügung steht, wodurch auch ein Netzausbau verhindert werden kann.

Für Schnellladestationen trifft dies nicht zu, da eignen sich eher Pufferspeicher, die auch in ein MS-Netz integriert werden können. Diese Batteriespeicher sollten steuerbar sein, um sie im Falle einer Schiefast im Netz abschalten zu können. Dieses wiederum widerspricht jedoch der Möglichkeit der Schnellladung. Besser wäre es, durch günstige Tarifgestaltung die Nutzung von Schnellladestationen zu minimieren. Eine gute Möglichkeit wäre auch der Anschluss von Schnellladestationen an das Stromnetz der Bahn, das auf weitaus höhere Lastspitzen ausgelegt ist [52].

In zukünftigen Neubausiedlungen kann auch die Stromversorgung durch sogenannte Arealnetze in Kombination mit sektoraler Kopplung mit Wärme- und Klimatechnik erfolgen, mit einem Anschluss an das öffentliche Stromnetz. Innerhalb eines Areals ist die Anwendung eines Micro-Smart-Grids leichter umsetzbar, da im Gegensatz zum öffentlichen Raum weniger Regularien und Vorgaben im Energierrecht beachtet werden müssen.

E-Car-Sharing wird in neuen Quartieren schon häufiger angewendet. Das in Kapitel 4.1.2 beschriebene Quartier beinhaltet eine E-Mobility-Option, es stehen 2 Nissan Leaf mit jeweils einer Ladestation zur Verfügung. Der Strom wird im Quartier mit einem BHKW und einer PV-Anlage erzeugt und es besteht auch die Möglichkeit, den Strom in einer Lithium-Ionen-Batterie zu speichern. Abbildung 3-28 zeigt die Nutzeroberfläche des Energiemanagement-Systems für Elektromobilität im Aktiv-Stadthaus in Frankfurt am Main. Für die verfügbaren Fahrzeuge wird der Ladezustand und das Kilometerkontingent angezeigt. Der Nutzer kann über diese Plattform ein Fahrzeug reservieren oder buchen.

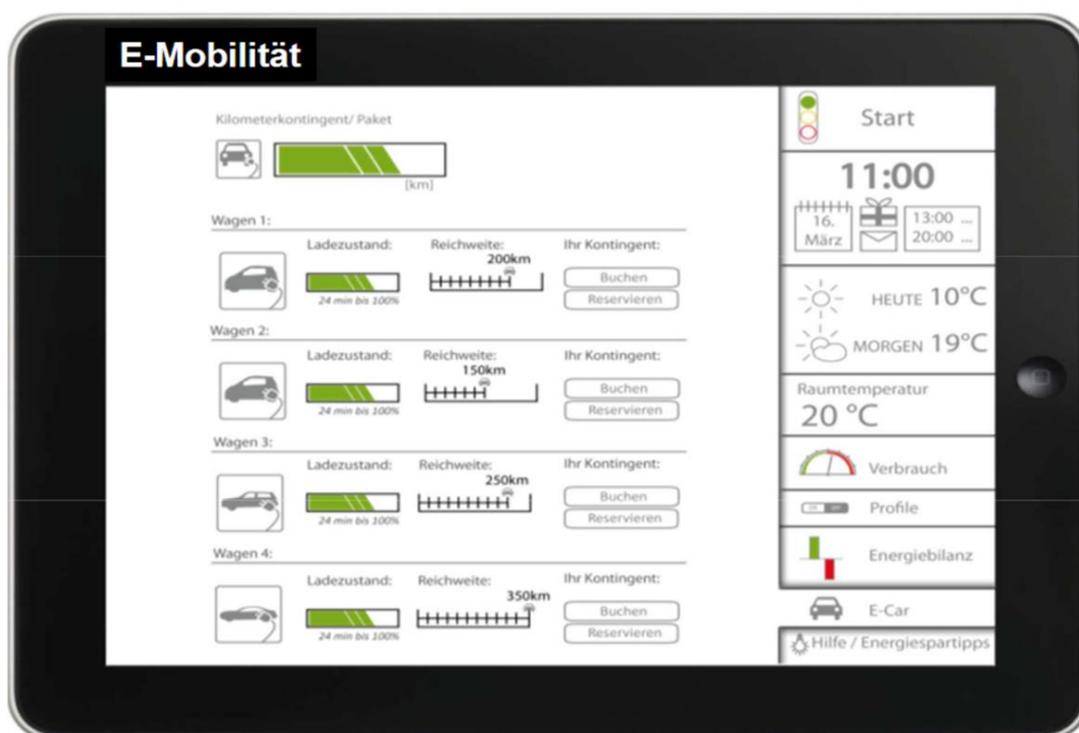


Abbildung 3-28: Energiemanagement für den Nutzer im Aktiv-Stadthaus Frankfurt [53]

### 3.3.2 Möglichkeiten der Eigenstromerzeugung mit E-Mobility-Option

Es bestehen folgende Möglichkeiten zur Eigenstromerzeugung, die vom allgemeinen Versorgungsnetz unabhängig sind:

- Photovoltaik-Anlagen
- KWK-Blockheizkraftwerke mit den Brennstoffen Biomasse, Biogas oder Erdgas
- KWK-Brennstoffzellen mit den Brennstoffen Erdgas oder Wasserstoff (Der Wasserstoff kann mittels Elektrolyse aus überschüssigem Windstrom hergestellt werden.)

Möglichkeiten der Vernetzung der verschiedenen Versorgungsnetze unter Einbeziehung der Mobilität in einem Quartier sind in Abbildung 3-29 dargestellt. Der dezentral erzeugte Strom kann für das Laden von E-Bikes und E-Autos genutzt werden. Die Einbindung der Mobilität in die Vernetzung eines Quartiers bringt für die Gebäudebetreiber folgende Vorteile:

- **Erhöhung des Eigenverbrauchs** durch Fahrzeugladen erlaubt größere EE-Anlagen (ggf. über stationären Zwischenspeicher, da Fahrzeuge tagsüber teils unterwegs)
- Eventuell **Nutzung des Batteriespeichers** im PKW für **Rückspeisung**
- Höhere **Einsparungen von Energie und Emissionen** bei gleichen oder **niedrigeren Kosten** als bei Konzepten ohne Vernetzung

Als Chancen ergeben sich:

- Wirtschaftlichere Lösungen, Kostenersparnis
- Stärkere Partizipation von Gebäudebetreibern/-nutzern am Energiemarkt
- Neue Geschäftsmodelle für verschiedene Akteure: Wohnungsbaugesellschaften, Energieversorger, Start-Ups mit neuen Dienstleistungen

Die Vernetzung birgt auch einige Herausforderungen und Hemmnisse:

- Regulatorische Anforderungen
- Aufwand für vertragliche Vereinbarungen
- Erhöhter Transaktionsaufwand für Messung und Abrechnung
- Erhöhte Fehleranfälligkeit durch technische Komplexität

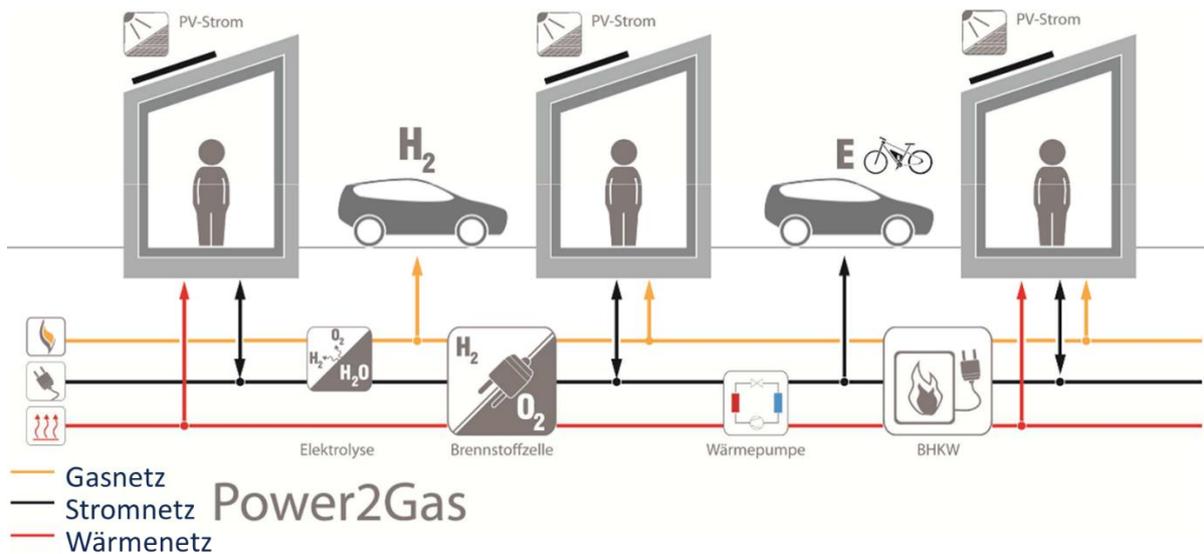


Abbildung 3-29: Vernetzung von Quartier und Mobilität [53]

### 3.3.3 Untersuchung der Kombination einer Erd- bzw. „Bioerdgas“-Versorgung mit KWKK (zentral/dezentral) zur regenerativen Eigenversorgung (Biogaszertifikate, Öko-Strom) insbesondere mit Strom (=> E-Mobility-Option)

Ein zu Bio-Erdgas (auch als Biomethan bezeichnet) aufbereitetes Biogas ist ein erneuerbarer Energieträger, der Erdgasqualität besitzt und in die vorhandene Erdgasinfrastruktur eingespeist werden kann. Da Bio-Erdgas aus nachwachsenden Roh- bzw. Reststoffen gewonnen wird, ist es nahezu klimaneutral. Eine vereinfachte Darstellung zur Erzeugung von Biogas und Bio-Erdgas zeigt die Abbildung 3-30 [54].

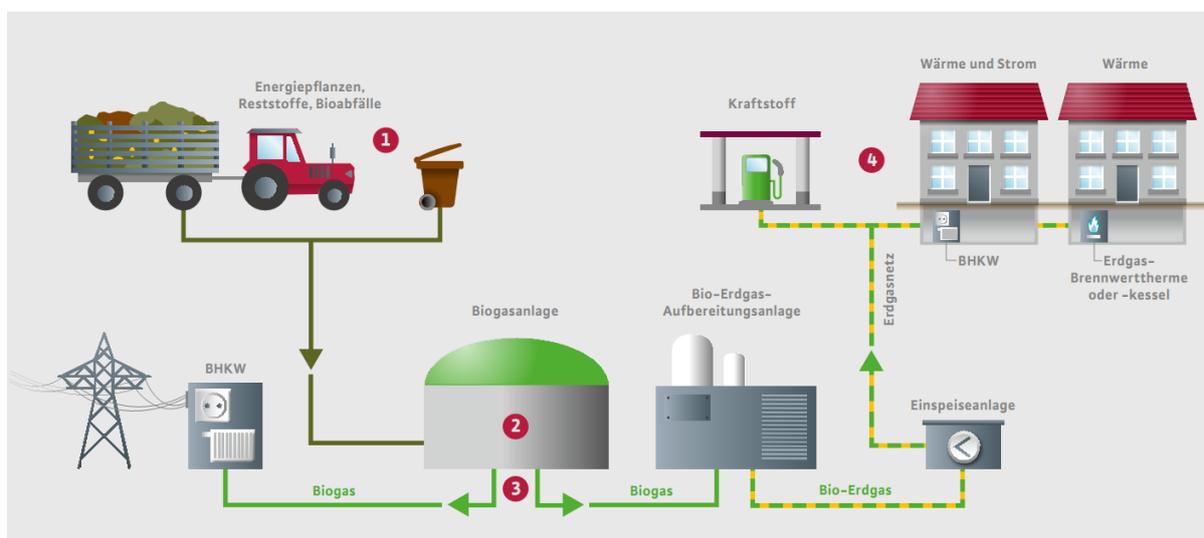
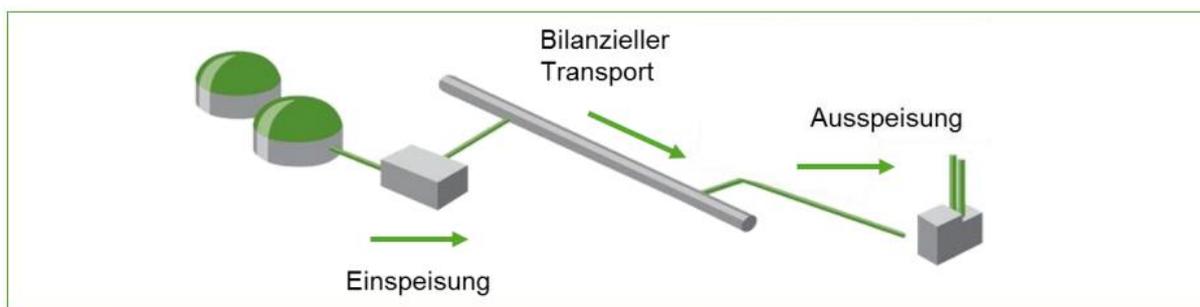


Abbildung 3-30: Erzeugung von Biogas und Bio-Erdgas, [54]

Während das von der Biogasanlage erzeugte Biogas direkt in einem dafür vorgesehenen BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden kann, sind für das Erreichen der Bio-Erdgasqualität mehrere Aufbereitungsschritte (Entschwefelung, Trocknung und Erhöhung des Methananteils) notwendig. Danach kann das Bio-Erdgas durch eine Einspeiseanlage in

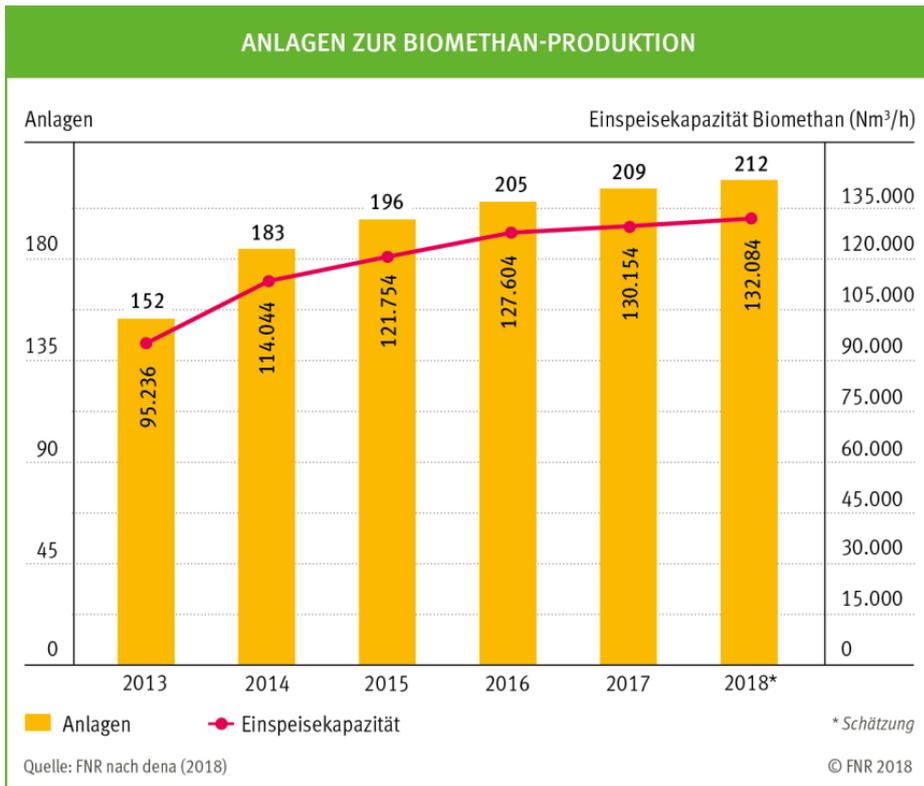
das Erdgasnetz eingespeist werden und ist physikalisch vom Erdgas nicht mehr zu unterscheiden. Damit erfolgt auch der Transport des Bio-Erdgases nach den Regeln und Vorschriften des Erdgastransports.

Dieser Schritt ist sinnvoll, wenn ausreichend große Gasmengen erzeugt werden und wenn keine Möglichkeit besteht, die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme zu nutzen. Der durch die Produktion des Bio-Erdgases entstehende ökologische Mehrwert wird in Form von Biogaszertifikaten vermarktet. Damit können Betreiber von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen Erdgas aus dem Erdgasnetz zur Wärmeerzeugung einsetzen, dieses durch den Erwerb eines Zertifikats zum Nachweis der Aufbereitung von Biogas zu Bio-Erdgas wie Bio-Erdgas klassifizieren und die erzeugte Wärme als Wärme aus erneuerbaren Energiequellen vermarkten. Zertifikate werden u.a. von TÜV NORD CERT, TÜV Rheinland und TÜV SÜD gehandelt. Mit Hilfe eines Massebilanzsystems wird nachgewiesen, dass die Stromerzeugung aus Bio-Erdgas erfolgt ist. Damit wird sichergestellt, dass nur so viel Gas aus dem Gasnetz zur EEG-Stromerzeugung entnommen wurde, wie an anderer Stelle Bio-Erdgas in das Erdgasnetz eingespeist wurde (s. Abbildung 3-31) [55].



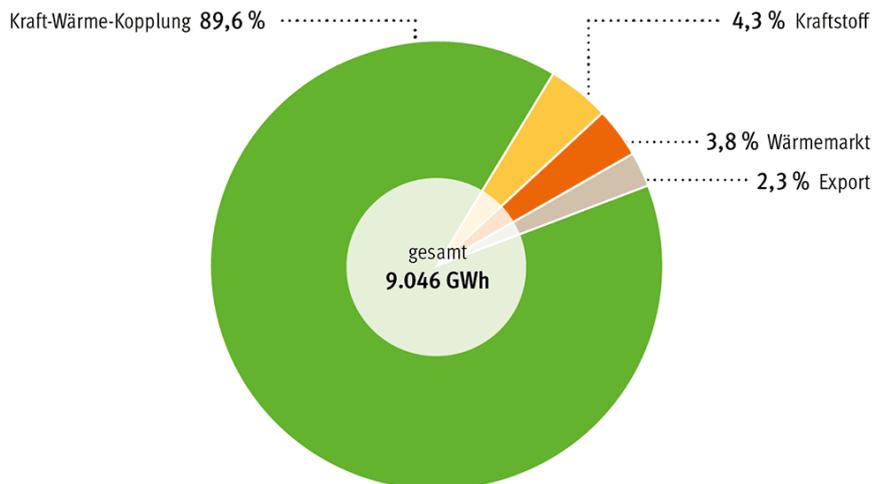
**Abbildung 3-31: Bilanzierung von Bio-Erdgas [55]**

In Deutschland stieg in den letzten Jahren die erzeugte Menge an Bio-Erdgas ständig. Im Jahr 2017 wurde laut Abbildung 3-32 in 209 Anlagen Biogas zu Bio-Erdgas aufbereitet und eingespeist, die eine Einspeisekapazität von über 130.000 Nm<sup>3</sup>/h besitzen.



**Abbildung 3-32: Anlagen zur Erzeugung von Bioerdgas in Deutschland [56]**

Die Abbildung 3-33 zeigt die im Jahr 2015 als Bio-Erdgas in das Erdgasnetz eingespeiste Energiemenge von ca. 9 TWh und deren Anteile an der Vermarktung, die zu rund 90 % durch KWK erfolgte [57].



Quelle: DBFZ Report Nr 30 (2017)

© FNR 2018

**Abbildung 3-33: Vermarktung von Bio-Erdgas 2015 [57]**

In KWK-Anlagen wird beim Betrieb mit Bio-Erdgas EEG-Strom erzeugt, der eine Abnahmeverpflichtung über 20 Jahre durch den Netzbetreiber sicherstellt. Außerdem werden 20 Jahre lang Vergütungssätze gezahlt, deren Höhe von der Stromvergütung des jeweils aktuellen EEG zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage abhängig ist.

Eine wichtige Voraussetzung für die Einspeisung von Bio-Erdgas in das Erdgasnetz ist eine Angleichung des Druckniveaus des einzuspeisenden Bio-Erdgases auf das der angeschlossenen Druckgasleitung. Außerdem ist die Anpassung der Gasqualität an die an der Einspeisungsstelle vorliegende Qualität, innerhalb definierter Grenzen (Erdgas L / H), erforderlich. Bei der Einspeisung von Biomethan wird zwischen Austauschgas und Zusatzgas unterschieden. Eine Einspeisung als Austauschgas erfordert dieselbe Gasqualität und kann das im Netz anliegende Erdgas ersetzen. Ein Zusatzgas kann eine Zusammensetzung aufweisen, die nicht dem Erdgas entspricht und kann deshalb nur zum Teil dem anliegenden Erdgas beigemischt werden.

Transport und Verkauf des eingespeisten Bio-Erdgases kann über eine Biogas- oder Erdgas-handelsgesellschaft erfolgen. Dabei sind folgende Verträge abzuschließen:

- Biogas-Bilanzkreisvertrag,
- Einspeisevertrag,
- Ausspeisevertrag.

Der Handel von Bio-Erdgas unterscheidet sich vom herkömmlichen Erdgashandel durch den erforderlichen Herkunftsnachweis des Bio-Erdgases. Damit kann vom Gaslieferanten nachgewiesen werden, dass das angebotene Erdgasprodukt einen gewissen Anteil an Bio-Erdgas enthält. Eingespeiste Bioerdgasmengen müssen mit den entsprechenden gesetzlich geforderten Eigenschaften von der Erzeugung bis zur Nutzung dokumentiert werden (z.B. „aus Na-waRo erzeugt“). Der Gashandel bietet ein Gasportfolio am, das basierend auf Herkunftsmerkmalen eine Vielzahl möglicher Bio-Erdgasprodukte bzw. -qualitäten umfasst. Damit kann der Händler, entsprechend Kundenwunsch durch Strukturierung dieser Merkmale individuelle Anforderungen bedienen, die sich aus den beabsichtigten Verwertungspfaden des Kunden ergeben. Erstellte Mengenbescheinigungen bilden für Kunden die Grundlage, um beispielsweise die Vergütungsansprüche gemäß EEG oder die Anrechenbarkeit im Rahmen des EEWärmeG nachzuweisen. Das Biogasregister Deutschland dient seit 2011 zur Vereinheitlichung dieses Herkunfts- und Eigenschaftsnachweises. Darin können Produzenten, Händler und Verbraucher von Bio-Erdgas ihre eingespeisten Mengen dokumentieren [58].

Der u.a. in KWK-Anlagen beim Betrieb mit Bio-Erdgas erzeugte EEG-Strom wird von vielen Stromversorgern als Ökostrom vermarktet. Ökostrom-Zertifikate und Gütesiegel sollen dabei den Ökostrommarkt transparenter machen und Garantien für die Produktqualität geben.

Ökostrom-Zertifikate sollen hauptsächlich einen Herkunftsnachweis beinhalten und Aussagen über die Zusammensetzung des Ökostroms geben. Sie werden gehandelt, geben aber keine Aussage über die Qualität des jeweiligen Ökostromtarifes. Bekannte Zertifikate sind neben den TÜV-Zertifizierungen das EECS-GoO-System (Guarantee of Origin), das gemäß Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments vom 23. April 2009 eingeführt wurde und einen Nachweis der Herkunft von erneuerbarer Energie ermöglichen soll. Das zuvor verwendete "Renewable Energy Certificates System" (RECS) wurde von Umweltverbänden stark kritisiert und wurde bis 2016 eingestellt und durch das EECS-GoO-System ersetzt.

Im Gegensatz zu den Zertifikaten geben Gütesiegel auch Auskunft über die Qualität des Ökostroms. Ökostrom-Gütesiegel setzen zumeist voraus, dass der jeweilige Tarif auch einen echten Beitrag zum Ausbau erneuerbarer Energien leisten muss. Der Ökostrom muss häufig auch aus neuen Anlagen stammen. Führend sind die Gütesiegel des TÜV (TÜV Nord / TÜV Süd), sowie die Siegel „Grüner Strom Label“ und „ok-power“. Bei diesen Gütesiegeln muss

der Ökostrom bei den zertifizierten Tarifen zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien gewonnen werden [59].

Im Hinblick auf eine dezentrale regenerative Eigenversorgung von Gebäuden mit Bio-Erdgas sollen zunächst mögliche Auswirkungen auf die EnEV und das EEWärmeG betrachtet werden.

Bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs eines Gebäudes im Rahmen der EnEV wird Bio-Erdgas, wie Erdgas, mit dem Primärenergiefaktor von 1,1 bewertet, unabhängig ob es in einem Heizkessel oder einer KWK-Anlage eingesetzt wird. Es hat also keinen Einfluss auf die Berechnung des Primärenergiebedarfs im Rahmen der EnEV, da Bioerdgas über das Erdgasnetz geliefert wird. Nur wenn Biogas aus einer nahegelegenen Biogasanlage direkt eingesetzt wird ist ein niedrigerer Primärenergiefaktor von 0,5 ansetzbar.

Das EEWärmeG fordert einen Mindestanteil erneuerbarer Energien im privaten Neubau und bei der grundlegenden Renovierung von öffentlichen Gebäuden. Es muss parallel zur EnEV erfüllt werden. Unter der Voraussetzung, dass die technischen Anforderungen an die Gasaufbereitung aus dem EEG eingehalten werden und dass im Kalenderjahr eine ausgeglichene Mengenbilanz erreicht wird, gilt Bio-Erdgas als gasförmige Biomasse i.S.d. EEWärmeG. Damit Bio-Erdgas im EEWärmeG anerkannt werden kann, muss es in neu errichteten Gebäuden in hocheffizienten KWK-Anlagen eingesetzt werden und dabei mindestens den Wärmebedarf zu 30 % decken um die Erfüllungsoption zu erreichen. Die Anforderungen können somit nicht durch den Betrieb eines Brennwertkessels erfüllt werden, der mit Bio-Erdgas aus dem Erdgasnetz versorgt wird. Da eine mit fossilem Erdgas betriebene KWK-Anlage aber auch lediglich 50 % des gesamten Wärmebedarfs zur Erfüllung des EEWärmeG decken muss, ist die Erfüllungsoption Biogas sehr unattraktiv. Eine weitere Möglichkeit die Forderungen des EEWärmeG zu erfüllen, kann auch ersatzweise in der Übererfüllung der EnEV-Anforderungen bestehen. Da durch den Einsatz von Bio-Erdgas der Primärenergiebedarf nicht verringert werden kann, gilt diese Maßnahme nicht als Energieeinsparung [60], [61].

Basierend auf den dargestellten Aussagen zur regenerativen Eigenversorgung mit Bio-Erdgas kann eingeschätzt werden, dass derzeit eine dezentrale Nutzung von Bio-Erdgas im Neubau unattraktiv ist, da dessen Einsatz im Sinne der EnEV der Nutzung von fossilem Erdgas gleichgestellt wird, bzw. im Sinne des EEWärmeG hohe Anforderungen an einzusetzende Mikro-KWK-Anlagen gestellt werden.

Der Einsatz von Bio-Erdgas in Energiezentralen von Nahwärmenetzen mit hocheffizienter KWK-Technik bietet einige Vorteile. So kann bedarfsorientiert Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien verbrauchernah bereitgestellt werden, was auch gegenüber effizienten fossilen Erdgas-KWK-Anlagen weitere CO<sub>2</sub>-Einsparungen ermöglicht. Neben der Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Quellen (Wind, Solar) kann durch den Einsatz von mit Bio-Erdgas betriebenen BHKW-Anlagen eine regenerative Eigenversorgung sowohl von Gebäuden, als auch der E-Mobilität ermöglicht werden.

Da beim Betrieb von BHKW-Anlagen Wärme anfällt, muss auch in Jahreszeiten mit geringem Wärmebedarf eine Wärmeabnahme gewährleistet sein. Diese kann beispielsweise durch eine zentrale Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) erfolgen. Die Kälteerzeugung erfolgt dabei in Abhängigkeit vom Temperaturniveau mit Hilfe von Ab-/Adsorptionskältemaschinen. Außerdem können Kompressionskältemaschinen eingesetzt werden, die mit Ökostrom betrieben werden. Die zentral in einer Energiezentrale erzeugte Kälte kann über Nah-/Fernkältenetze verteilt und zur Klimatisierung von Gebäuden genutzt werden. Außerdem gibt es zahlreiche innovative Systeme, die zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden eingesetzt werden.

Dazu gehören auch kalte Nahwärmenetze, die dezentral in den Gebäuden sowohl als Wärmequellen für Wärmepumpen, als auch zur Kühlung über „Freecooling“ genutzt werden können. Die Abbildung 3-5 (rechte Abbildung) zeigt ein Beispiel für ein kaltes Nahwärmenetz, in dem erneuerbarer Strom für den Betrieb von dezentral in den Gebäude installierten Wärmepumpen eingesetzt wird [62]. Weitere Beispiele für dezentrale Wärme- / Kältenetze wurden bereits in Kapitel 3.2.1 vorgestellt.

Neben der zentralen Kühlung / Klimatisierung gibt es auch Möglichkeiten, Niedrigenergiegebäude dezentral zu kühlen bzw. klimatisieren. Dafür eignen sich z. B. Wärmepumpen, die mit Ökostrom aus Bio-Erdgas-KWK bzw. eigener PV-Anlage betrieben werden können. Man unterscheidet dabei Anlagen, die mit passiver oder aktiver Kühlung arbeiten. Als Beispiel für eine Anlage mit passiver Kühlung kann eine Sole/Wasser-Wärmepumpe genannt werden, die mit Erdsonde als Wärmequelle arbeitet und Fußboden- oder Wandheizungen zur Wärmeübertragung nutzt. Diese Anlage wird im Winter als Heizung betrieben und entzieht dabei dem Erdreich Wärme. Im Sommer ist damit eine Kühlung der Gebäude möglich. Die abgeführte Wärme wird genutzt um das Erdreich zu erwärmen und damit die Erdwärmequelle zu regenerieren. Anlagen, die mit aktiver Kühlung arbeiten sind beispielsweise Luftwärmepumpen mit reversiblen Kältekreislauf, die Kälte bzw. Wärme über Heizflächen oder eine Lüftungsanlage übertragen können. Weitere Geräte, die mit aktiver Kühlung arbeiten, sind Klimaanlage (Split-Geräte) mit Außen- und Innengerät und mobile Klimageräte.

## 4 Betriebsweisen von Versorgungssystemen für Niedrigenergiehäuser

### 4.1 Betriebsweisen und Ausstattungsvarianten mit Speicherung

Ergänzend zu den Ausführungen in Kapitel 3.2 werden nachfolgend einige Beispiele von effizienten Wärmenetzen mit verschiedenen Speichermöglichkeiten erläutert.

#### 4.1.1 Bidirektionales Kalt-Warm-Netz mit Eisspeicher

Die Gemeinde Fischerbach hatte im Jahr 2013 die Vision, ein energetisch unabhängiger Ort zu werden. In einem Neubaugebiet werden 26 Gebäude mit dezentral installierten Wärmepumpen beheizt, welche ihre Energiemengen aus einem bidirektionalem Kalt-Warm-Netz (bKWN) bekommen, das aus einer Sole-Ringleitung, dem zentralen Eisspeicher, Umweltabsorbieren und einem Energie-Rückspeisungs-System besteht. Die Betriebstemperaturen in der aus PE-Rohren bestehenden Ringleitung betragen zwischen 0 und 25 °C. Um geothermische Effekte nutzbar zu machen, wurden die Rohre ohne Wärmeschutzisolierung verlegt [63].

Das bKWN-System ist ein passives Netz, es benötigt daher keine elektrische Antriebsenergie für Förderpumpen, die erforderlichen Volumenströme werden von den Wärmepumpen und den internen Sole-Umwälzpumpen übernommen. In Verbindung mit dem Eisspeicher dient das bKWN-Eis-System auch als Puffer für Lastspitzen beim Verbrauch und der Netz-Einspeisung. Die dezentralen Wärmepumpen erzeugen aus der niedrig temperierten Sole ein höheres Temperaturniveau, das als Heizenergie und zur Warmwasserbereitung in jedem Gebäude zur Verfügung steht.

Die modernen Wärmepumpen können reversibel arbeiten, was neben der Beheizung im Sommer auch eine Raumklimatisierung ermöglicht. Aufgrund der niedrigen Netz-Temperaturen kann das Netz auch überschüssige Wärme aufnehmen und entweder zur Regeneration des Eisspeichers verwendet werden oder als Notkühlfunktion als Überhitzungsschutz des Eisspeichers über die Absorber an die Umwelt abgegeben werden.

Dieses durch Informations- und Kommunikationstechnik unterstützte bKW-Netz interagiert synergetisch im Energiebezugs- und Einspeisemodus. Dieses Wechsel-Wirken des Energiesystems mit Aufnahme von bisher nicht genutzter Umweltwärme trägt zur Erreichung der Klimaschutzziele bei. Aufgrund der Innovation dieses Energieversorgungs-Systems wurde das Projekt aus dem Innovationsfond Klima- und Wasserschutz der badenova AG und Co. KG sowie vom E-Werk Mittelbaden gefördert.

#### 4.1.2 Nahwärmeversorgung im Quartier mit BHKW, Erdgaskessel, PV und Stromspeicher

In Kelsterbach, südlich von Frankfurt, errichtete die Deutsche Reihenhäuser AG in Zusammenarbeit mit der Süwag Grüne Energien und Wasser GmbH, Frankfurt am Main eine innovative Siedlung mit 180 neuen Reihenhäusern [64]. Es wurde der politische Wille, eine effiziente Energieversorgung mit weitgehender Stromautarkie durch KWK und Photovoltaik umgesetzt. Die Wärme- und Stromversorgung erfolgt aus einer Energiezentrale über ein Nahwärmekonzept mittels eines Blockheizkraftwerks, eines erdgasbasierten Spitzenlastkessels, eine auf den Reihenhäuserdächern installierte zentrale Photovoltaik-Anlage und einem Lithium-Ionen-Batteriestromspeicher. Eine E-Mobility-Option mittels Car-Sharing von 2 E-Autos wurde integriert. Die Stromversorgung erfolgt über ein kundeneigenes Stromnetz mit öffentlichem Stromnetzanschluss. Somit erhalten alle Kunden mittels Contracting einen einheitlichen Wärme- und Strompreis.

Sämtliche Gesetze und Richtlinien (EnEV, EEG, EEWärmeG) werden erfüllt. Durch die Speichermöglichkeit kann der im BHKW und in der Photovoltaik-Anlage erzeugte Strom auf Abruf verfügbar bleiben, also zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt genutzt werden und somit der Autarkiegrad auf bis zu 90 % erhöht werden. Aufgrund dessen kann ein Stromnetzausbau, der Infolge des neuen Wohngebietes erforderlich geworden wäre, vermieden werden. Kenn-daten und die technische Umsetzung ist Abbildung 4-1 zu entnehmen.

Gefördert wurde das Projekt vom hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (HMWVL) mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung. Im Rahmen des Forschungsprojektes Enervator zum Thema der Digitalisierung der Energiewende wird seit März 2017 der Energieverbrauch teilnehmender Haushalte mittels intelligenter Messsysteme (Smart Metering) und Gebäudeautomatisierung über eine Prognose- und Steuerungssoftware erforscht. Das Projekt Enervator hat zum Ziel, die Strom- und Wärmeerzeugung in der Energiezentrale intelligent mit dem Kundenverbrauch zu verknüpfen und das Wohngebiet so bezüglich des Energiebedarfes zu flexibilisieren. Zukünftig werden Geräte spontan und in Echtzeit miteinander kommunizieren und sich gegen Knappheitssignale aus Netz und Markt optimieren können.

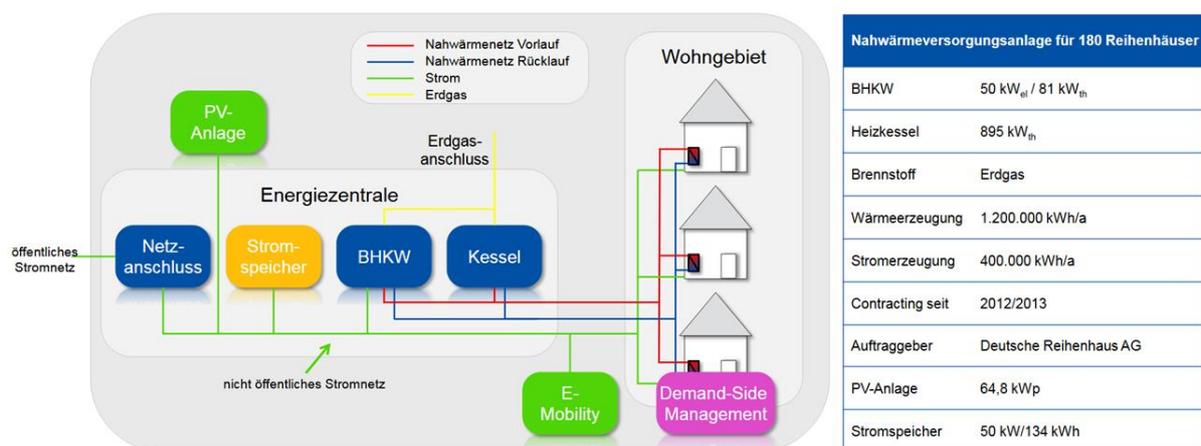


Abbildung 4-1: Technische Umsetzung und Kenndaten des Quartierkraftwerk Kelsterbach der Süwag Grüne Energien und Wasser GmbH [64]

Ein E-Carsharing-Konzept ist integriert. Den Bewohnern stehen an zwei Ladesäulen im Parkhaus zwei Nissan Leaf zum Ausleihen ohne Grundgebühr zur Verfügung. Die Elektroautos können über eine Buchungsplattform von den Bewohnern des Wohngebietes gebucht werden. Mit einem Kundenkonto von innogy erhalten Sie Zugang zu allen Ladesäulen von innogy und anderen eRoaming-Partnern. Damit stehen den Bewohnern deutschlandweit mehr als 2.000 öffentlich verfügbare Ladepunkte zur Verfügung. Teilnehmer am Projekt Enervator erhalten ein Freikontingent von 25 km pro Woche.

Eine Übersicht über Erzeugung und Verbrauch des Stroms an einem Wintertag im März 2016 sowie der Einfluss des Stromspeichers auf die Stromeinspeisung bzw. den Strombezug aus dem Netz zeigt Abbildung 4-2.

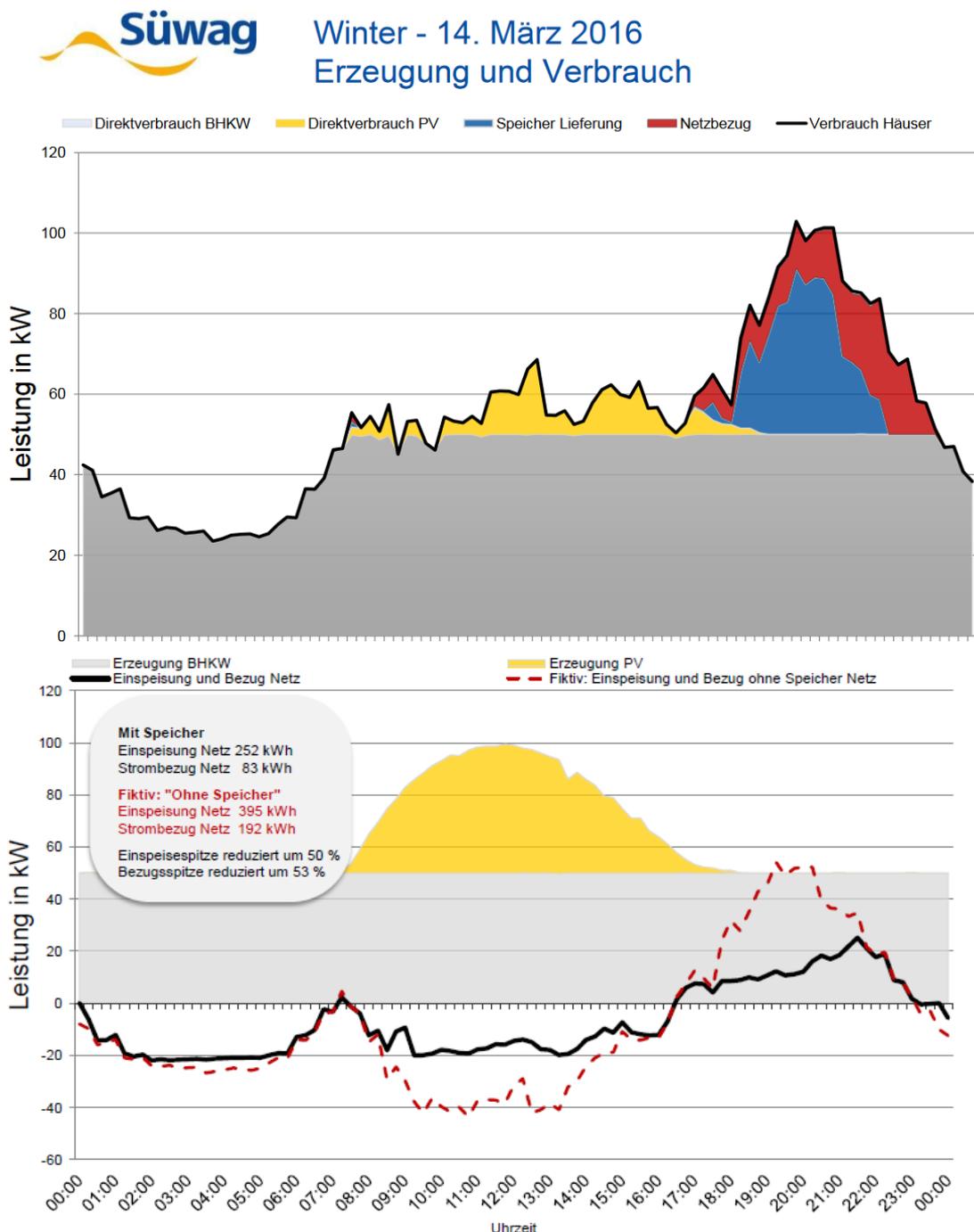
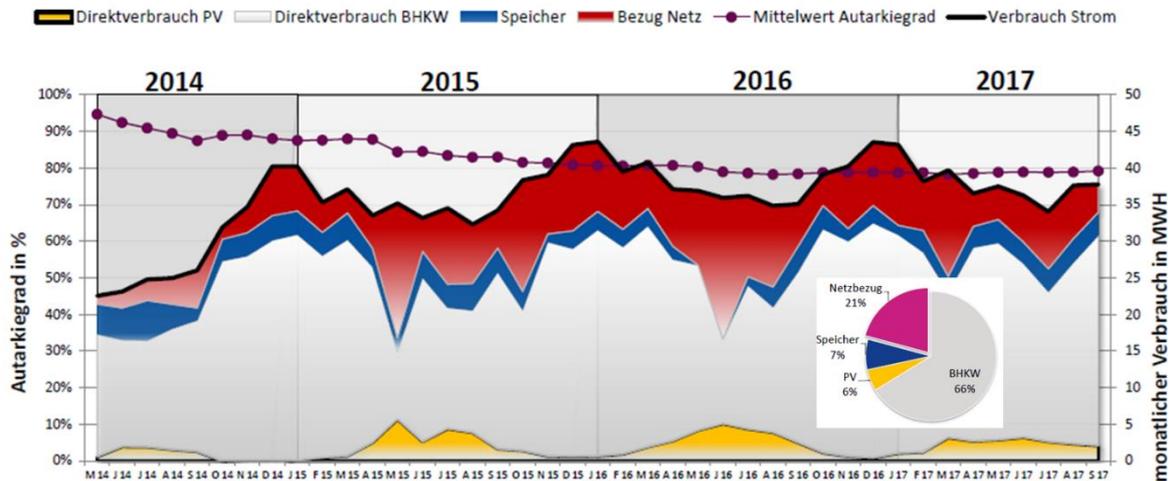


Abbildung 4-2: Erzeugung, Verbrauch, Auswirkung des Stromspeichers auf den Strombezug an einem Wintertag [64]

In dem Betrachtungszeitraum von 2014 bis 2017 wurden nur 21 % des Stroms aus dem öffentlichen Netz bezogen, 66 % wurden durch das BHKW gedeckt, 6 % durch die Photovoltaik-Anlage. Aufgrund der zeitversetzten zusätzlichen Stromnutzungsmöglichkeit der Lithium-Ionen Akku-Speicher wurden weitere 7 % des Strombedarfs vom eigenerzeugten Strom gedeckt, siehe Abbildung 4-3.



**Abbildung 4-3: Deckungsbeitrag am Stromverbrauch in Kelsterbach von 2014 – 2017 [64]**

Die Kunden im Quartier Kelsterbach können ihren Strom zu einem regionalen Stromtarif von 22,35 ct/kWh beziehen. Dieses Preis gilt als Hochtarif für die Zeiten Montags bis freitags von 17:00 bis 23:00 und an den Wochenenden von 09:00 bis 23:00 Uhr. In den anderen Zeiten gilt der Niedriglasttarif von 17,35 ct/kWh. Der Niedrigtarif dient als Anreiz, den Stromverbrauch von den Spitzenlastzeiten in den Abendstunden auf den restlichen Tag zu verschieben. Dieser regionale Strompreis beinhaltet die Mehrwertsteuer und die EEG-Umlage auch für die Komponenten BHKW-Strom, PV-Strom, den Netzbezug und den Speicher. Im Vergleich dazu würde der Grundversorger Strompreis 27,27 ct/kWh betragen, mit einem um 84 ct teureren Grundpreis. In diesen Kosten sind neben der MwSt, der EEG-Abgabe auch die Stromsteuer, KWK-Abgabe, Offshore-Umlage, § 19 Netzentgeltverordnung, Netznutzungsentgelt und Ab-LaV enthalten.

In Abbildung 4-4 sind das Stromlastprofil der Verbraucher (oben), das Stromlastprofil des BHKW's (Mitte) und das Stromlastprofil der PV-Anlage (unten) dargestellt. Das Verbraucherverhalten ist abhängig von der Tageszeit und der Jahreszeit. In den Nachtstunden, hier blau abgebildet, wird während des ganzen Jahres lediglich eine Grundlast benötigt. In den Wintermonaten wird in dem Zeitraum von 18:00 bis 20:00 die Spitzenlast verbraucht. Das Blockheizkraftwerk wird wärmegeführt betrieben, d.h. es geht nur bei Wärmeanforderung in Betrieb und produziert auch nur dann Strom, was die blauen Bereiche während der Sommermonate verdeutlichen. Der Bedarf an Warmwasser, insbesondere in den Morgenstunden im Sommer, ist ebenfalls erkennbar. Das im unteren Teil aufgeführte Stromlastprofil der Photovoltaikanlage zeigt die Ergänzung des Blockheizkraftwerks. Insbesondere im Sommer, wenn das BHKW weitgehend still steht, übernimmt die PV-Anlage die Stromproduktion. Der im Sommer in den Mittagsstunden anfallende Strom, der nicht verbraucht wird, wird in einer Batterie gespeichert, wodurch der Anteil an selbstverbrauchtem Strom erhöht wird bzw. der Strombezug aus dem Netz verringert wird.

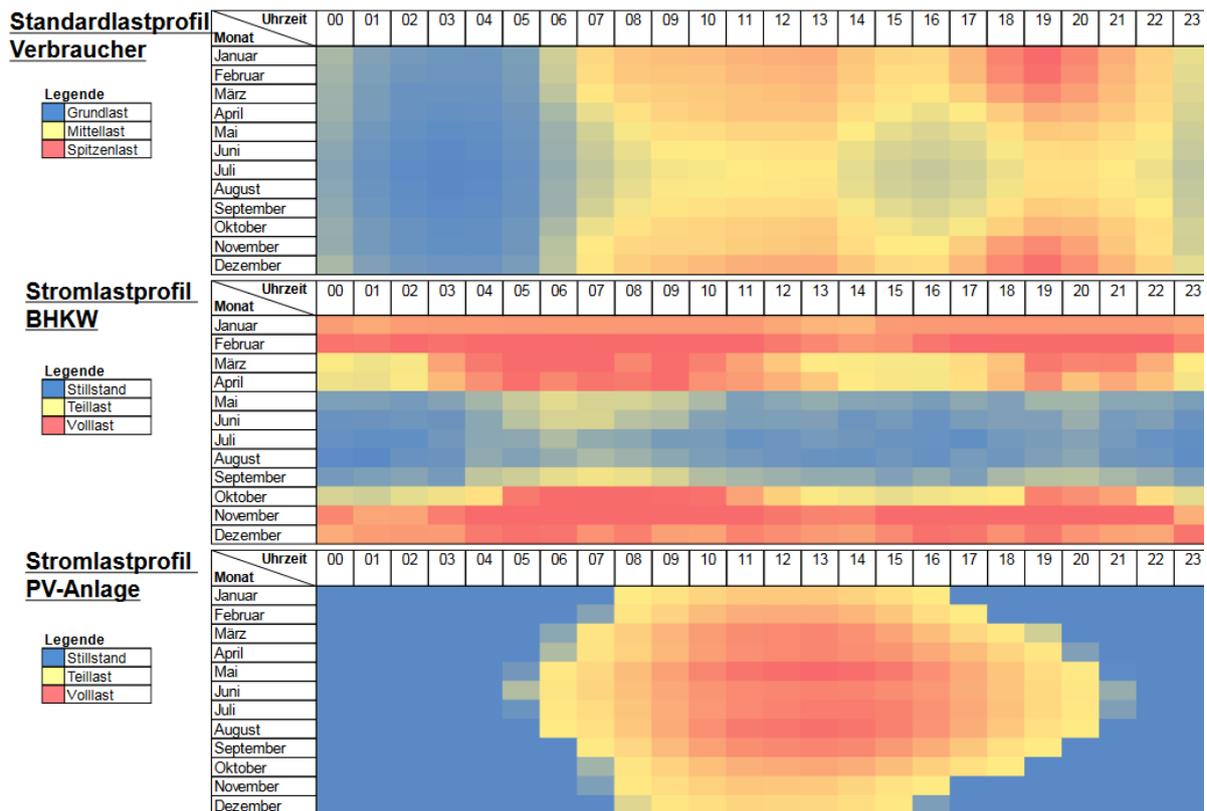


Abbildung 4-4: Stromlastprofile von Verbrauch und Erzeugung durch PV und BHKW [64]

## 4.2 Untersuchungen zum Netzausbau unter Berücksichtigung der E-Mobility-Option

### 4.2.1 Analysen zum Ausbau von Versorgungsnetzen unter Beachtung der Elektromobilität, Einsatz von Speichertechnologien in „Energiezentralen“

Die Notwendigkeit des Ausbaus der Versorgungsnetze hat mehrere Ursachen und betrifft beide Netzebenen im deutschen Stromnetz, das Übertragungsnetz und das Verteilnetz (s.a. Abbildung 3-2).

Bei den Übertragungsnetzen besteht ein erhöhter Transportbedarf für elektrischen Strom aufgrund des schnellen Ausbaus der erneuerbaren Energien und die Öffnung der grenzüberschreitenden Leitungen für den europäischen Binnenmarkt. Der vorrangig im Norden und Osten sowie Offshore erzeugte erneuerbare Strom aus Windenergie muss zu den großen Industrieabnehmern, die sich vorrangig im Süden und Westen von Deutschland befinden, transportiert werden. Da in den letzten Jahren die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien stärker als die Übertragungsnetze ausgebaut wurden, bestehen häufig Engpässe beim Stromtransport, die durch den Ausbau überregionaler Netze beseitigt werden sollen. Diese Notwendigkeit besteht auch durch die bis 2022 geplante Abschaltung von Kernkraftwerken, die sich zu einem großen Teil im Süden befinden. Um diese Herausforderung zu bewältigen, sollen sowohl die Auslastung der Bestandsnetze optimiert, als auch der Netzausbau beschleunigt werden. Da die neuen Nord-Süd-Trassen frühestens 2025 fertiggestellt werden, muss zunächst die Betriebsführung bestehender Netze optimiert und die Netzauslastung erhöht werden um Engpässe zu minimieren [65].

Das Verteilnetz, das gewöhnlich elektrischen Strom über mehrere Spannungsebenen zu den Verbrauchern transportiert, wird zunehmend auch für die Übertragung überschüssiger Energie von dezentralen erneuerbaren Erzeugern in höhere Spannungsebenen, also in umgekehrter Richtung, genutzt. Da sowohl die Mehrzahl der Verbraucher als auch der dezentralen Erzeugungsanlagen in der Mittel- und Niederspannungsebene an das Verteilnetz angeschlossen sind, werden die Verteilnetzbetreiber durch die Energiewende vor veränderte Rahmenbedingungen gestellt. Die Abbildung 4-5 zeigt schematisch die Unterschiede zwischen der heutigen Stromversorgung und dem zukünftigen, durch erneuerbare Energien geprägten dezentralen Stromsystem. Während bei traditionellen Verteilsystemen die Stromerzeugung in wenigen Großkraftwerken bzw. wenigen dezentralen Erzeugern erfolgte, die in der Höchst- bzw. Hoch- und Mittelspannungsebene einspeisen, erzeugen zukünftig Millionen von dezentralen Anlagen Strom aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung aus fossilen Energieträgern und speisen in alle Netzebenen ein. Neben einer Sektorenkopplung erfolgt eine Kopplung mit Gas- und Wärmenetzen. Teilweise wird die erzeugte Elektroenergie direkt von Ort verbraucht oder in Energiespeichern zwischengespeichert. Da die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowohl zeitlich als auch regional fluktuiert, wird das Verteilnetz zunehmend beansprucht, um Schwankungen von Erzeugung und Bedarf auszugleichen. Der Ausbau- und Investitionsbedarf in das Verteilnetz ist davon abhängig, wie hoch der Anteil erneuerbarer Energien zukünftig sein wird [66], [67].

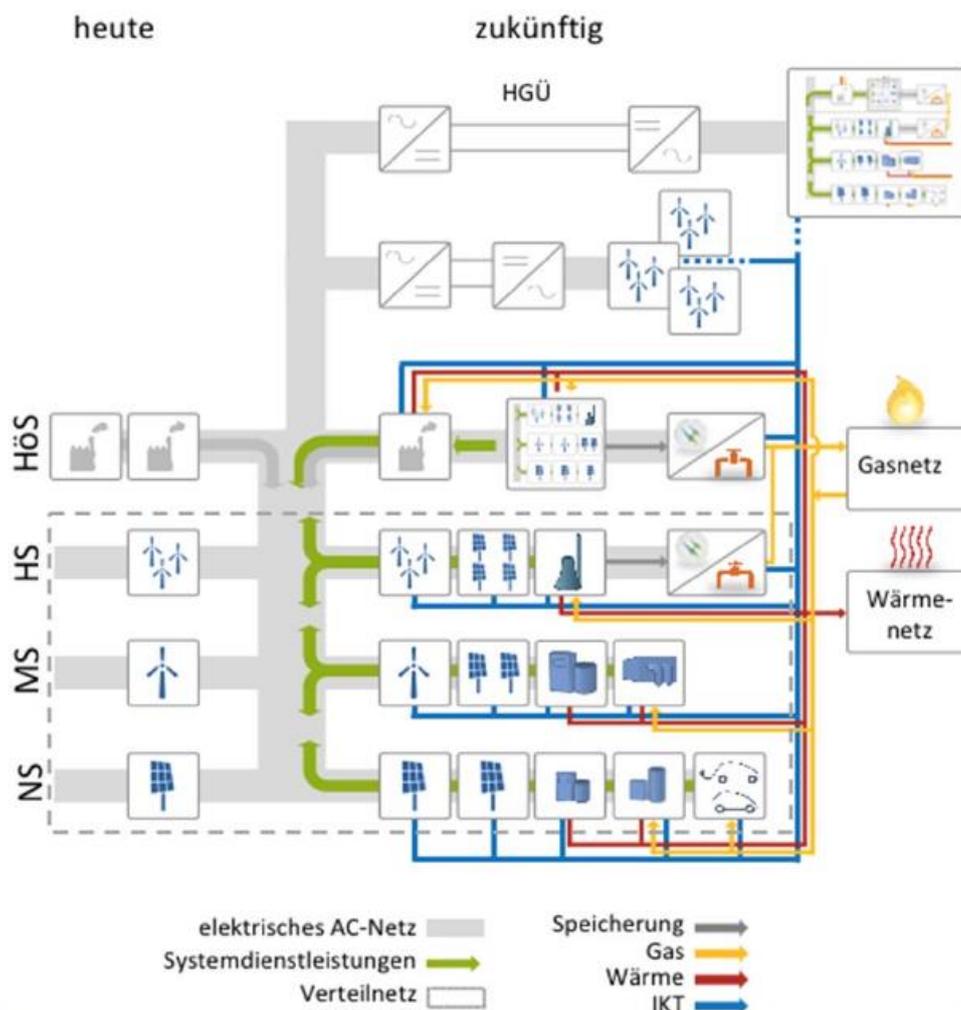
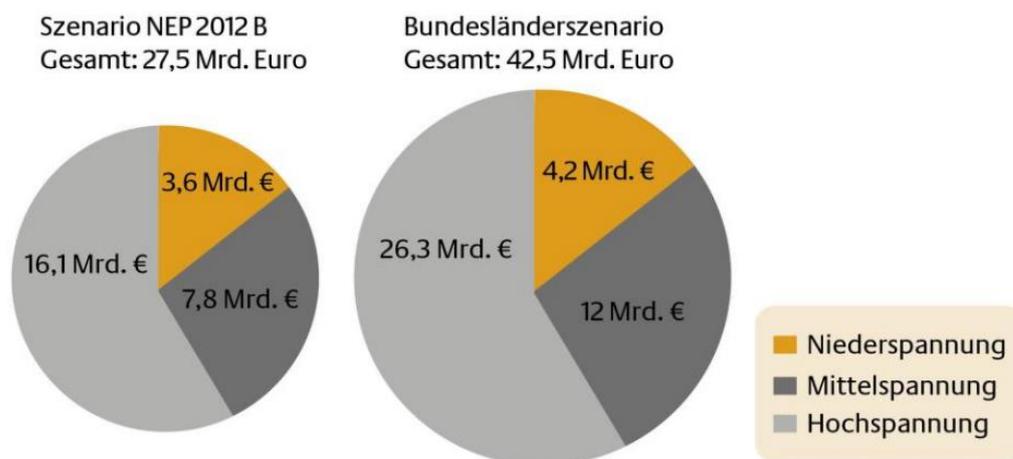


Abbildung 4-5: Flexible und dynamische Entwicklung der Energiesysteme und Märkte [68]

Der Investitionsbedarf in die deutschen Stromverteilnetze bis 2030 ist in der Abbildung 4-6 nach 2 verschiedenen Szenarien dargestellt. Darin wird von unterschiedlichen Anteilen der erneuerbaren Stromerzeugung ausgegangen und ein unterschiedlicher längenmäßiger Aus- und Umbau der Stromnetze betrachtet. Während das Szenario B des Netzentwicklungsplans Strom 2012 (NEP Strom 2012 B) von 62 % erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2030 ausgeht, wird vom Bundesländerszenario eine Anteil von 82 % erreicht. Dabei wurde in [67] vom Niveau des Jahres 2010 und von keinem maßgeblichen Rückgang der Stromnachfrage im angegebenen Zeitraum ausgegangen.



**Abbildung 4-6: Investitionsbedarf in deutsche Stromverteilnetze bis 2030 [67]**

Durch eine Vernetzung von Strom, Wärme, Verkehr, der Kopplung mit Gastechnologien (s. Abbildung 4-7) und einer Kopplung mit Energiespeichern können mögliche Bedarfs- und Erzeugungsspitzen abgebaut und damit der Bedarf des Ausbaus der Stromverteilnetze reduziert werden. Dazu sind zukünftig moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (Digitalisierung) notwendig, um die Vielzahl von Erzeugern und Verbrauchern steuern und optimieren zu können. Ein Beispiel dafür ist z. B. im Einfamilienhaus die Steuerung von Solaranlage (thermisch, PV), Heizungssystem, Stromspeicher sowie der Ladung von E-Mobilität.



**Abbildung 4-7: Synergieeffekte durch Kopplung von Gas- und Stromnetz [69]**

Sowohl in Industrie und Gewerbe, als auch in den Haushalten können die Kunden in die Netzoptimierung einbezogen werden. Das kann durch ein Lastmanagement, einer netzdienlichen Verbrauchersteuerung erfolgen. Dazu wird das Verbrauchsverhalten bzw. die Flexibilität erfasst und genutzt, um bestimmte Verbraucher zu steuern und eine Überlastung des Stromnetzes in bestimmten Tageszeiten zu vermeiden. Als Beispiel dafür kann das in der Abbildung 3-1 dargestellte Tageslastprofil einer Wärmepumpe herangezogen werden, das in Stunden mit höchster Netzlast mit dem Kunden vertraglich geregelte Sperrzeiten der Anlage aufweist.

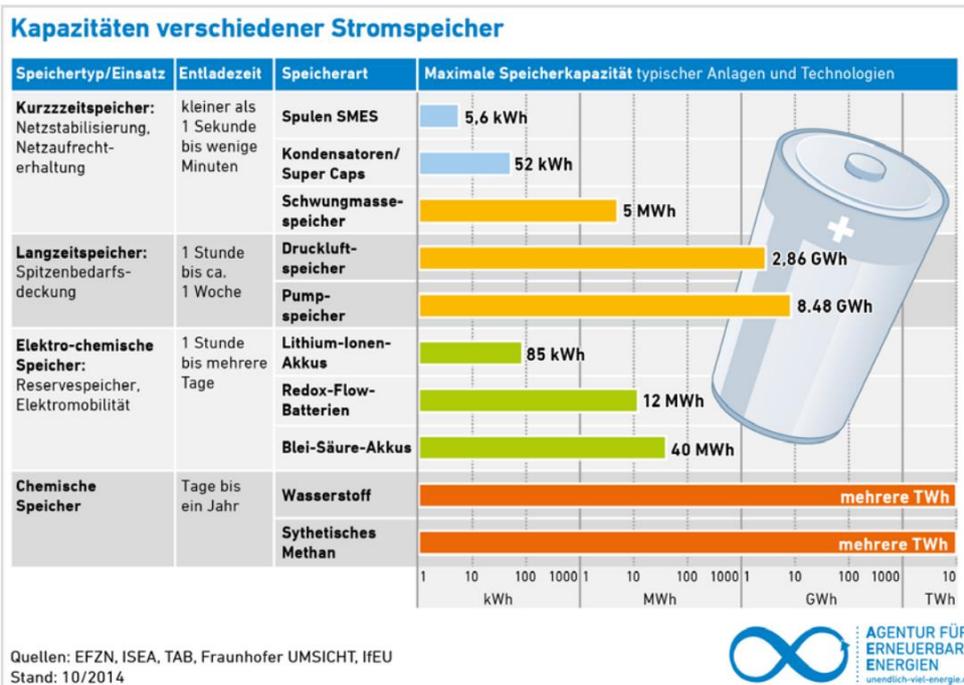
Auch seitens der Einspeisung von erneuerbaren Energien ist es möglich durch eine Abriegelung von Erzeugeranlagen Netzüberlastungen zu vermeiden, wenn die Stromnetze momentan nicht die Leistung aufnehmen können, die von den Anlagen erzeugt werden könnte. Ursachen dafür liegen in Engpässen in den Verteilungsnetzen durch die diese Energie zu möglichen Verbrauchern geleitet werden müsste. Der Netzbetreiber kann derartige, vertraglich vereinbarte Maßnahmen im Rahmen seines Einspeisemanagements vornehmen [67].

Wie bereits im Abschnitt 3.3 dargestellt wurde, besteht das Ziel der Bundesregierung darin, bis 2020 1 Mio. und bis 2030 6 Mio. Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen. Damit würde der Strombedarf im Verkehrssektor steigen und im Jahr 2030 etwa 20 TWh bzw. rund 4 Prozent des deutschen Gesamtverbrauchs von 2016 betragen. Hinsichtlich der Auswirkungen dieser Elektrifizierung des Verkehrssektors auf das Versorgungsnetz gibt es große Unsicherheiten. Diese hängen insbesondere mit der tatsächlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte, dem noch unklaren Ladeverhalten der Nutzer und dem lokalen Lastverhalten im Verteilnetz zusammen. Im Rahmen von Studien wurden bereits in den letzten Jahren sowohl technische Bewertungen des bestehenden Stromversorgungssystems, Modellierungen zukünftiger

Entwicklungsmöglichkeiten vorgenommen als auch Handlungsempfehlungen formuliert [70], [71]. Daraus können folgende Aussagen zusammengefasst werden:

- Das Laden von 1 Mio. Fahrzeuge ist ohne größere strukturelle Anpassung der Stromnetze möglich. Das ungesteuerte Laden von 6 Mio. Fahrzeugen kann dagegen zu lokalen Überlastungen der Verteilnetze zur Folge haben. Um Überlastungen zu vermeiden, ist eine Verlagerung der Ladezeiten in Phasen mit geringer Netzlast oder ein Ausbau der Verteilnetze notwendig. Die Auswirkungen auf die Stromerzeugung und das Übertragungsnetz werden als nicht bedeutsam eingeschätzt.
- Das Laden von Elektrofahrzeugen kann dazu beitragen, mehr Strom aus erneuerbaren Energien direkt zu nutzen. Das erfordert einen ausreichenden Netzausbau, um den in schwach besiedelten Gebieten und damit wenig genutzten erneuerbaren Strom, in dicht besiedelte Gebiete mit zahlreichen Abnehmern transportieren zu können. Die netzdienliche Steuerung von Ladevorgängen ist notwendig, um sowohl in Abhängigkeit vom Stromangebot der erneuerbaren Energien, als auch von der Netzlast die Ladevorgänge steuern zu können. Letztendlich ist auch die aktive Mitwirkung der Nutzer wichtig, um gesteuerte Ladevorgänge zu ermöglichen. Elektrofahrzeuge sollen demnach bei jedem längeren Parken ans Netz angeschlossen werden und nicht nur dann, wenn der Ladezustand nicht mehr für die Fahrten des nächsten Tages ausreicht.
- Das Ladeverhalten der Nutzer hat damit nicht nur Auswirkungen auf Stromerzeugung, -transport und -verteilung, sondern kann auch die Lebensdauer der Fahrzeugbatterie beeinflussen. So hat ein längeres Laden zu Schwachlastzeiten Vorteile in Bezug auf Batterielebensdauer, Netzauslastung und Nutzung von Stromüberschüssen aus erneuerbaren Energien gegenüber der Schnellladung an Ladesäulen. Ein ungesteuertes Laden kann bereits bei niedrigen Anteilen von Elektrofahrzeugen zu Problemen in einigen Verteilnetzen führen.
- Elektrofahrzeuge mit Rückspeisefähigkeit können ein stabilisierendes Element in einem intelligenten Stromnetz darstellen.

Da das Angebot an erneuerbaren Energien stark fluktuiert, ist eine Zwischenspeicherung von regional überschüssiger Elektroenergie eine Möglichkeit, die Verteilnetze zu entlasten. Durch den netzdienlichen Einsatz von dezentralen Speichern auf Verteilnetzebene kann unter Umständen ein Netzausbau in Verteilnetzen (Niederspannungsebene) vermieden werden. Dabei können verschiedene Speichertypen zum Einsatz kommen. Die Abbildung 4-8 gibt einen Überblick über mögliche Speicherkapazitäten verschiedener Typen von Stromspeichern [72]. Im Vergleich dazu können die Gasspeicher in Deutschland und das deutsche Erdgasnetz mit Kapazitäten von 230 TWh bzw. 130 TWh wesentlich größere Energiemengen als die abgebildeten Stromspeicher vorhalten [73].



**Abbildung 4-8: Kapazitäten von verschiedenen Energiespeichern, logarithmische Darstellung [72]**

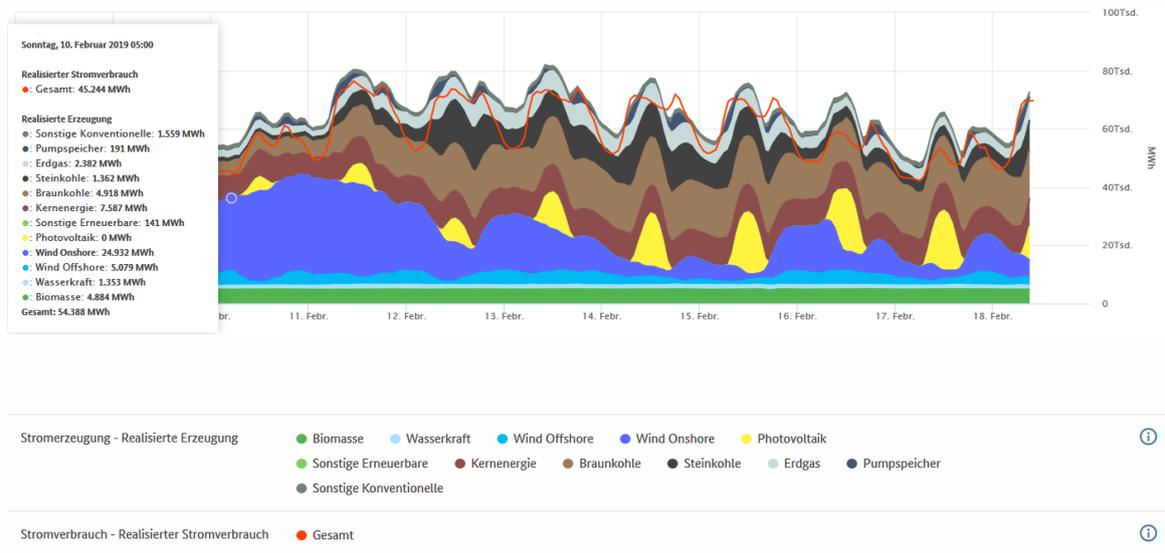
Wie bereits im Abschnitt 3.2.2.3 dargestellt wurde und auch in Abbildung 4-8 ersichtlich ist, eignen sich besonders elektrochemische Speicher als kurz- und mittelfristige Energiespeicher um überschüssige Elektroenergie aus erneuerbaren Energien und BHKW-Anlagen zu speichern und ihn zu einem späteren Zeitpunkt bzw. auch für andere Anwendungen wie z. B. Elektromobilität einzusetzen. Neben Anwendungen in Einfamilienhäusern mit Photovoltaik-Anlagen können auch Stromspeicher in „Energiezentralen“ eingesetzt werden um überschüssigen Strom aus örtlichen Erzeugungsanlagen im Quartier nutzen zu können. Umso mehr selbsterzeugter Strom genutzt werden kann, desto rentabler sind die Investitionen in einen Stromspeicher.

### 4.3 Bewertung verschiedener Versorgungssysteme, Analyse von Energieströmen

#### 4.3.1 Bewertung verschiedener Versorgungssysteme durch Analyse unterschiedlicher dynamischer Last- und Erzeugerprofile

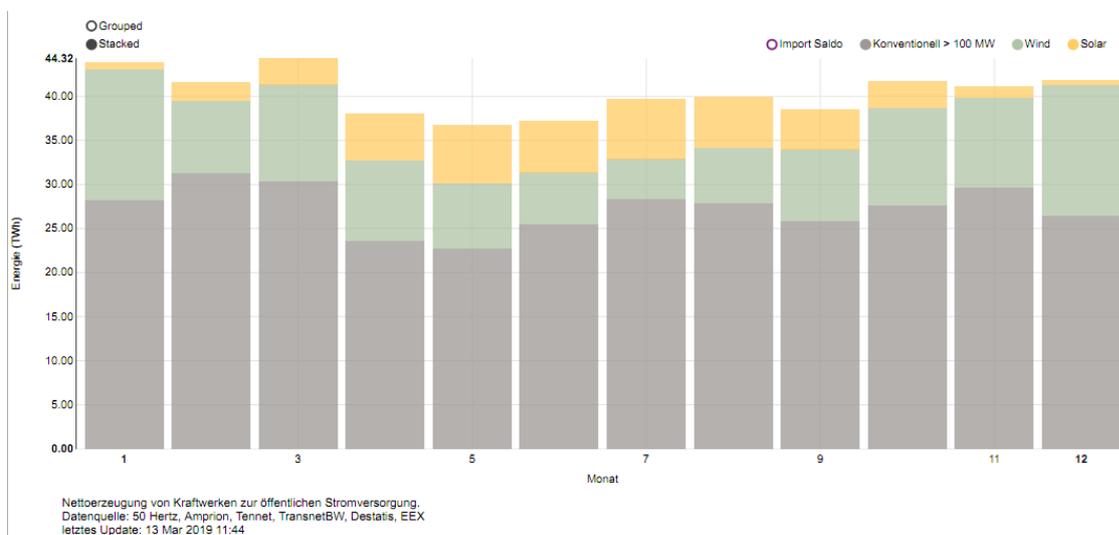
Als Ausgangspunkt zur Analyse von dynamischen Last- und Erzeugerprofilen sollen zunächst Daten von Stromerzeugung und -verbrauch in Deutschland verwendet werden [74]. Dazu eignen sich visualisierte Strommarktdaten, die anhand eines beispielhaften Zeitraumes in der Abbildung 4-9 dargestellt sind. Diese zeigen einerseits den täglichen Verlauf des Stromverbrauchs, andererseits die Verteilung der realisierten Stromerzeugung, die sich aus 12 erneuerbaren und konventionellen Quellen zusammensetzt. Im Diagramm ist vor allem die stark schwankende Stromerzeugung aus den erneuerbaren Energien Wind und Solar sichtbar. Das kann dazu führen, dass bei hoher Stromerzeugung aus Windkraft die erneuerbaren Energien zeitweilig den Stromverbrauch fast vollständig decken können, zeitweise, bei gleichzeitigem Auftreten von Dunkelheit und Windflaute (sogenannte Dunkelflaute) aber nur einen geringen Anteil an der Stromerzeugung beitragen können. Dementsprechend muss die konventionelle

Erzeugung an den Bedarf angepasst werden, was vornehmlich mit Hilfe von Gas- und Steinkohlekraftwerken realisiert wird. Insbesondere Gaskraftwerke sind als flexible Erzeuger geeignet, kurzzeitig Bedarfsspitzen decken zu können. In der Abbildung 4-9 wird auch sichtbar, dass der Stromverbrauch überwiegend niedriger ist als die realisierte Erzeugung. Diese vorgehaltene Regelernergie wird von den Netzbetreibern verwendet um unvorhergesehene Leistungsschwankungen ausgleichen zu können.



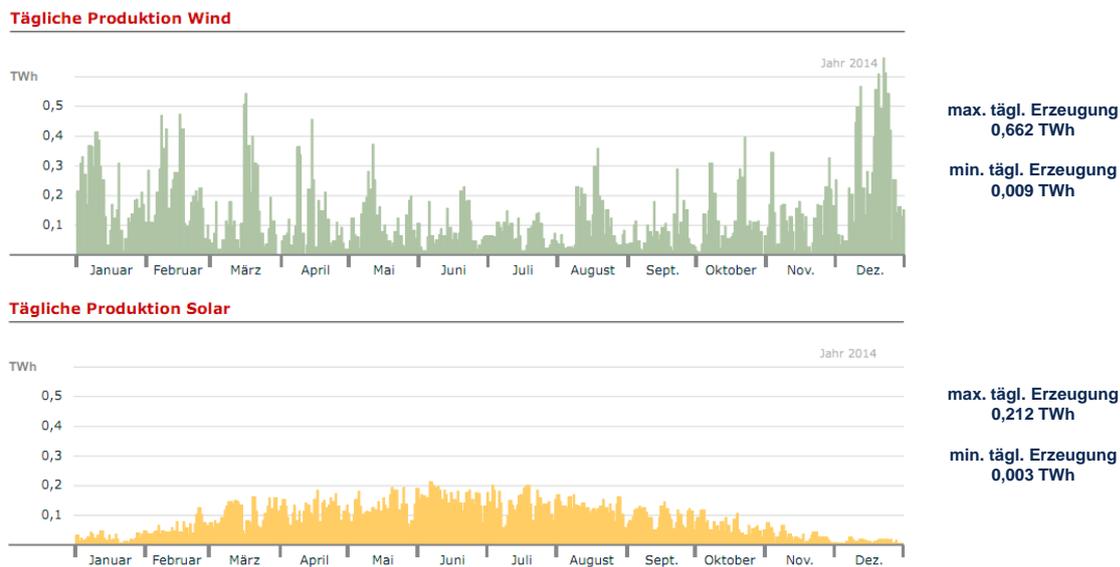
**Abbildung 4-9: Strommarktdaten im Zeitraum 10. – 19.02.2019 [74]**

Die Abbildung 4-10 zeigt ein Erzeugerprofil, in dem die monatliche Stromerzeugung aus Windkraft- und PV-Anlagen, sowie aus konventionellen Erzeugern in Deutschland anhand von Daten des Jahres 2018 dargestellt ist. Die dargestellten monatlichen Energiemengen belegen die jahreszeitlich unterschiedliche Verfügbarkeit der erneuerbaren Energiequellen Wind und Solar, sowie die Höhe der monatlichen Stromerzeugung aus konventionellen Quellen im Verlauf eines Jahres. Während die aus Solarenergie erzeugten Energiemengen in den Sommermonaten am größten sind, ist die Stromerzeugung aus Windenergie in diesen Monaten am niedrigsten.



**Abbildung 4-10: Monatliche Stromerzeugung aus Wind, PV und Konventionell (> 100 MW) in Deutschland im Jahr 2018 [75]**

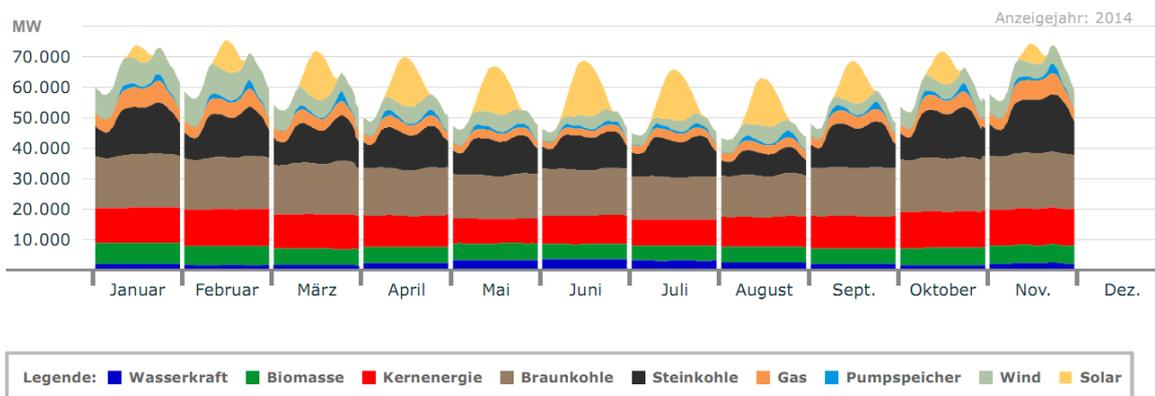
Diese Aussage kommt auch in den in Abbildung 4-11 dargestellten, täglich erzeugten Energiemengen aus Wind und Solar zum Ausdruck. Zusätzlich ist die fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Solar sichtbar. Anhand der minimalen und maximalen täglichen Energiemengen kann deren Schwankungsbreite ermittelt und beurteilt werden.



**Abbildung 4-11: Tägliche Stromerzeugung aus Wind und PV in Deutschland im Jahr 2014 [76]**

Anhand von gemittelten monatlichen Tagesgängen der Stromerzeugung aus erneuerbaren und konventionellen Quellen (Darstellung Januar bis November 2014) sind in der Abbildung 4-12 Veränderungen der Erzeugerprofile während eines Jahres erkennbar [76]. Diese resultieren insbesondere aus jahreszeitlich bedingten Änderungen der erzeugten Energiemengen aus den erneuerbaren Quellen Wind und Solar. Dabei ist insbesondere der jahreszeitabhängig Tagesgang der Stromerzeugung aus PV erkennbar. Es ist außerdem ersichtlich, dass die erzeugte Leistung aus Wasserkraft, Biomasse, Kernenergie und Braunkohle im Jahresverlauf nahezu gleichbleibend ist und diese Anlagen zur Abdeckung der Grundlast betrieben werden. Neben den flexibel betriebenen Gas- und Steinkohlekraftwerken ist in der Abbildung 4-12 auch die Betriebsweise der Pumpspeichieranlagen erkennbar, die einen Beitrag zur Abdeckung der am Tag auftretenden Bedarfsspitzen leisten können und bei nächtlichem Überangebot von elektrischer Energie wieder beladen werden.

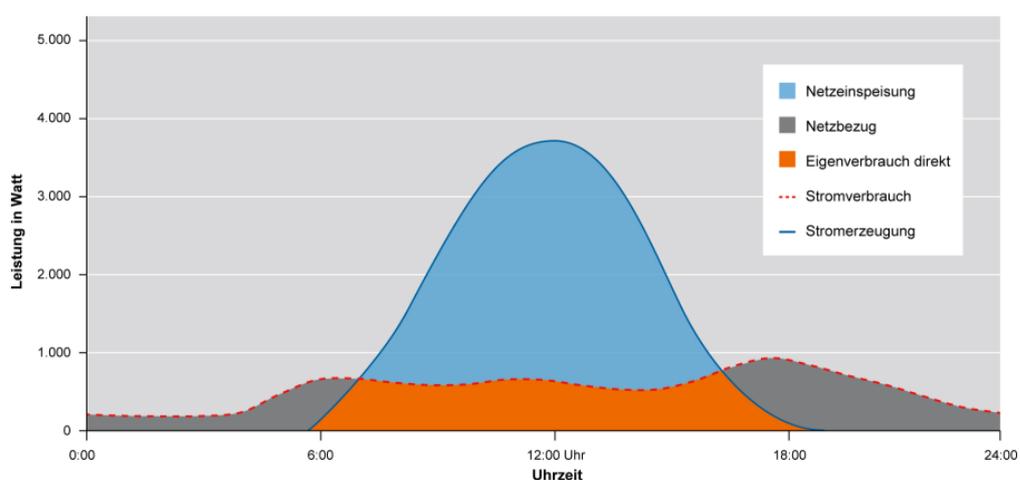
## Gemittelte Tagesgänge



**Abbildung 4-12: Monatsmittel der Tagesgänge der Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2014 [76]**

Zur anteiligen Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden werden in Deutschland zunehmend Photovoltaik- und Solarthermieanlagen eingesetzt. Aufgrund der jahreszeitlich bedingten Änderung des Sonnenstandes und unterschiedlicher Bewölkungsverhältnisse ändert sich die Strahlungsleistung im Jahresverlauf enorm. In Deutschland wird im Mittel von einer maximalen Strahlungsleistung an wolkenlosen Sommertagen von etwas mehr als  $1.000 \text{ W/m}^2$  ausgegangen. An wolkigen Wintertagen werden dagegen weniger als  $100 \text{ W/m}^2$  erreicht. Insgesamt kann je nach Standort eine jährliche Sonneneinstrahlung von  $900$  bis  $1.200 \text{ kWh/m}^2$  zur Ermittlung möglicher nutzbarer Energiemengen verwendet werden. Die tatsächlich nutzbaren Erträge sind bei PV- und solarthermischen Anlagen aufgrund unterschiedlicher Wirkungsgrade verschieden und sind auch von vielen weiteren Parametern sowie der Anlagenausrichtung abhängig [77].

Ein simuliertes Erzeugerprofil einer PV-Anlage zeigt die Abbildung 4-13. Darin ist auch die Abdeckung des Eigenverbrauchs im Objekt dargestellt. Es wird sichtbar das ein großer Teil des am Tag erzeugten elektrischen Stromes ins Netz eingespeist und nur ein geringer Anteil selbst genutzt werden kann.



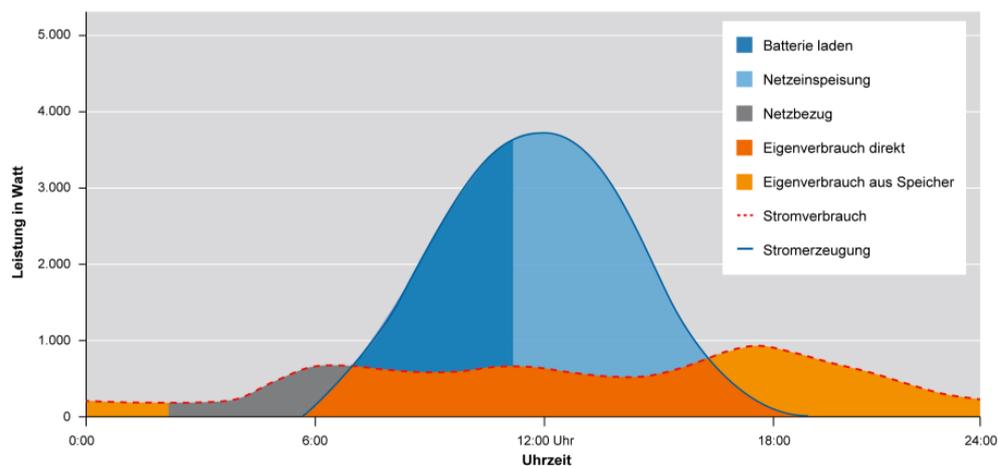
© EnergieAgentur.NRW

EnergieAgentur.NRW

**Abbildung 4-13: PV-Erzeugerprofil mit Eigenverbrauch [78]**

Durch den Einsatz von Stromspeichern kann der Eigenverbrauch des von der PV-Anlage erzeugten Stromes erhöht und die Einspeisung ins Stromnetz verringert werden. Damit ist eine Nutzung des gespeicherten elektrischen Stromes zu Zeiten ohne PV-Erzeugung möglich. Ein Erzeugerprofil einer PV-Anlage mit Stromspeicher zeigt die Abbildung 4-14. Die Beladung des Speichers beginnt demnach mit der Überschreitung der Eigenverbrauchs und endet mit der vollständigen Aufladung des Stromspeichers bereits vor dem Mittag. Danach wird der nicht selbst benötigte elektrische Strom ins Netz eingespeist und kann ggf. zur Überlastung des Stromnetzes beitragen.

### PV-Eigenverbrauch mit Stromspeicher



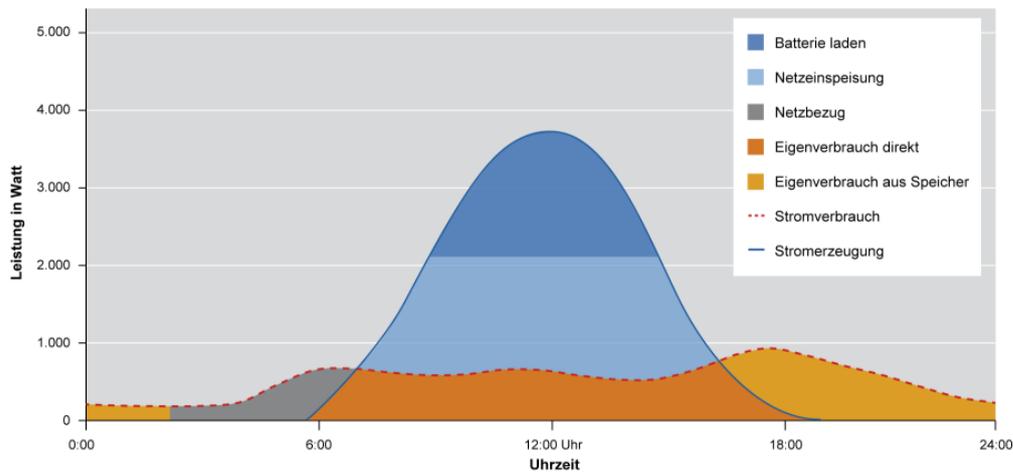
© EnergieAgentur.NRW

EnergieAgentur.NRW

**Abbildung 4-14: Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Stromspeicher [78]**

Durch ein dezentrales Energiemanagement kann eine Optimierung der Beladung des Stromspeichers ermöglicht werden. Die Beladung des Speichers erfolgt demnach langsamer, über den Tag verteilt, sodass die in das Netz eingespeiste elektrische Leistung verringert werden kann (s. Abbildung 4-15).

### PV-Eigenverbrauch mit Stromspeicher (netzoptimiert)



© EnergieAgentur.NRW

EnergieAgentur.NRW

Abbildung 4-15: Optimierung der Netzeinspeisung [78]

In den dargestellten Erzeugerprofilen (Abbildung 4-13 bis Abbildung 4-15) wurde bereits ein typisches Lastprofil von Haushalten verwendet. Dieses ist, aufgeschlüsselt nach typischen Wochentagen und Jahreszeiten, detaillierter in der Abbildung 4-16 dargestellt.

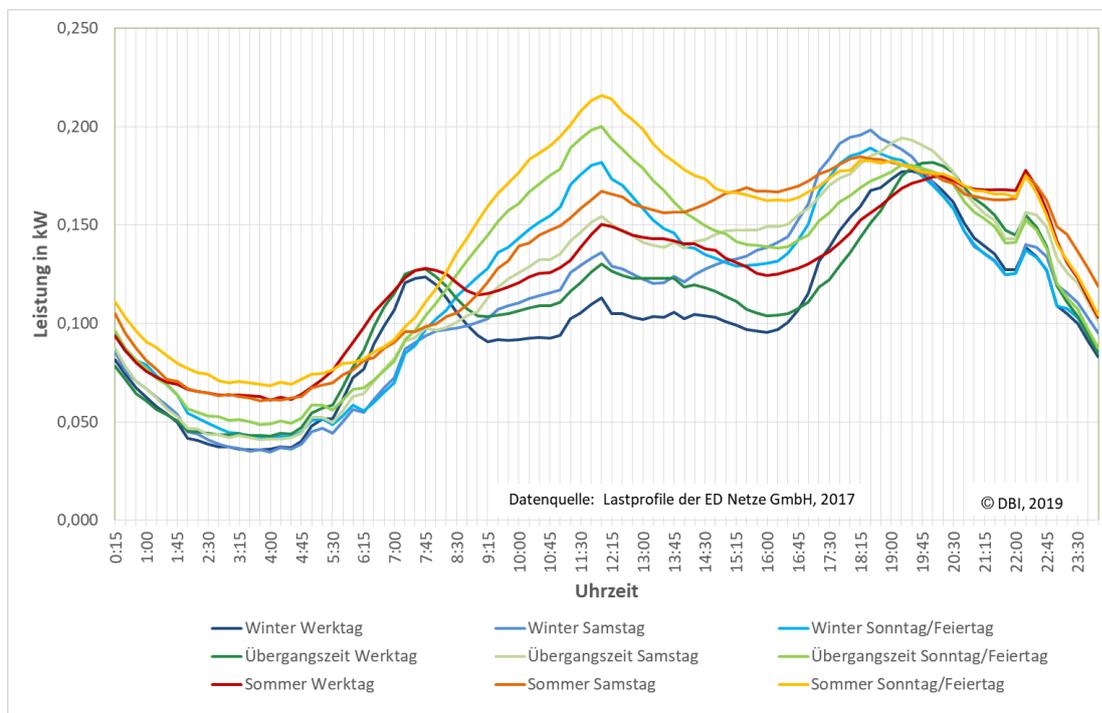


Abbildung 4-16: Typisches Lastprofil (Elektroenergie) von Haushalten

Vergleicht man die dargestellten Profile für Werktag, Samstag und Sonntag, so werden insbesondere unterschiedlich hohe Bedarfsspitzen bzw. zeitliche Verschiebungen der Bedarfsprofile sichtbar. Diese können besonders bei PV-Anlagen ohne Stromspeicher (s. Abbildung 4-13)

zur Veränderung der möglichen Eigennutzung des erzeugten Stroms und ggf. zu erhöhten Spitzen der Netzeinspeisung führen. Durch den Einsatz von Stromspeichern können derartige Einflüsse verringert werden.

Die Bedarfsprofile zeigen aber auch Abhängigkeiten des Lastverlaufs von der Jahreszeit. Demnach treten die höchsten Leistungen bezogen auf denselben Wochentag im Sommer, gefolgt von der Übergangszeit auf und können u.a. auf erhöhte Kühllasten zurückgeführt werden.

#### 4.3.2 Ermittlung und Abschätzung der benötigten und der eigenerzeugten Energieströme, sowie die Prüfung von weiteren Synergieeffekten im Passiv-/Aktiv-Plus-Energiehaus

Im Rahmen der Ermittlung von Energieströmen in Niedrigenergiegebäuden ist es notwendig, sowohl den Bedarf an Wärme als auch an elektrischer Energie zu betrachten. Bei einer Bilanzierung der auftretenden Energieströme in Gebäuden müssen Verluste und Gewinne ermittelt werden. Die Verluste ergeben sich aus der Energieeffizienz des Gebäudes und geben damit eine Aussage über die thermische Qualität der verwendeten Bauteile und die Effizienz der Anlagentechnik. Das Ergebnis der Bilanzierung der Verluste und Gewinne entspricht dem resultierende Wärmebedarf des Gebäudes. Bei Passivhäusern bzw. Häusern mit bilanziellen Energiegewinn darf der Jahresheizwärmebedarf 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) nicht übersteigen. Um vom Energiestandard Passivhaus zum Plus-Energiehaus zu gelangen, reicht es demzufolge nicht aus nur den Heizwärmebedarf weiter zu reduzieren. Es müssen weitere Effizianzorderungen erfüllt werden, um zu dem gewünschten Standard zu gelangen. Die Abbildung 4-17 gibt einen Überblick über mögliche Maßnahmen um einerseits die Effizienz und andererseits mögliche Gewinne zu erhöhen.

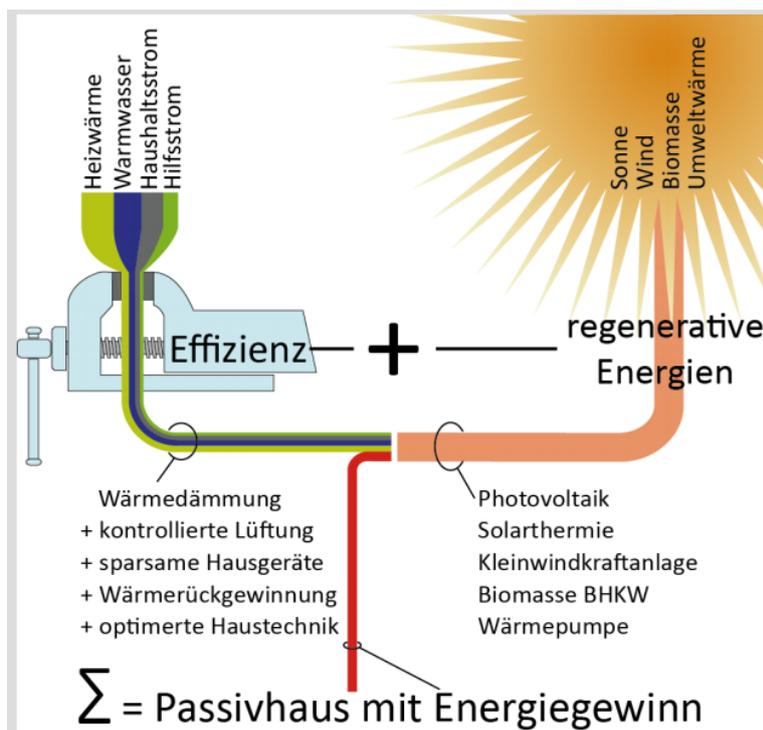
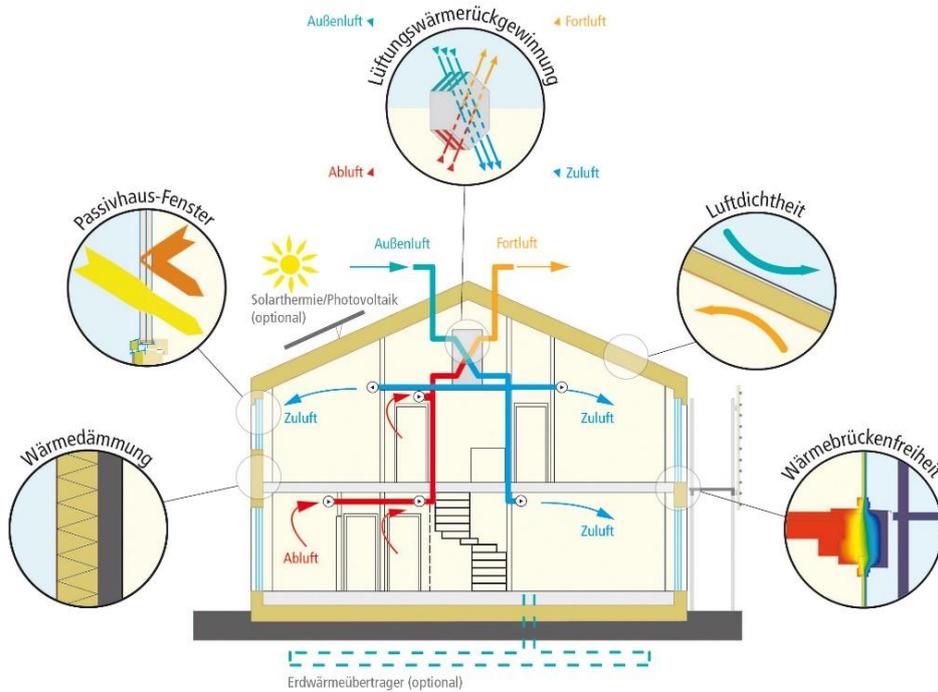


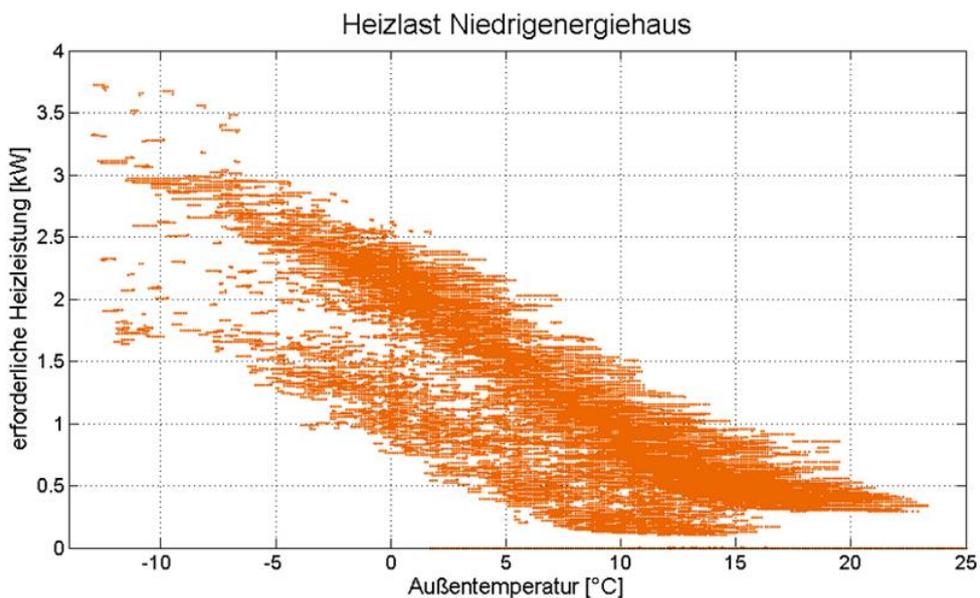
Abbildung 4-17: Ganzheitliches Effizienzkonzept und regenerative Energien führen zum Passivhaus mit Energiegewinn [79]

In der Abbildung 4-18 sind 5 wesentliche Anforderungen dargestellt, die beim Bau von Passivhäusern beachtet werden müssen um die gewünschte Energiebilanz erreichen zu können. Die wesentlichen Komponenten sind demnach eine ausreichend dimensionierte Wärmedämmung der Außenbauteile, Passivhaus-Fenster, die Vermeidung von Wärmebrücken, eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung [79].



**Abbildung 4-18: Grundprinzipien für den Bau von Passivhäusern**

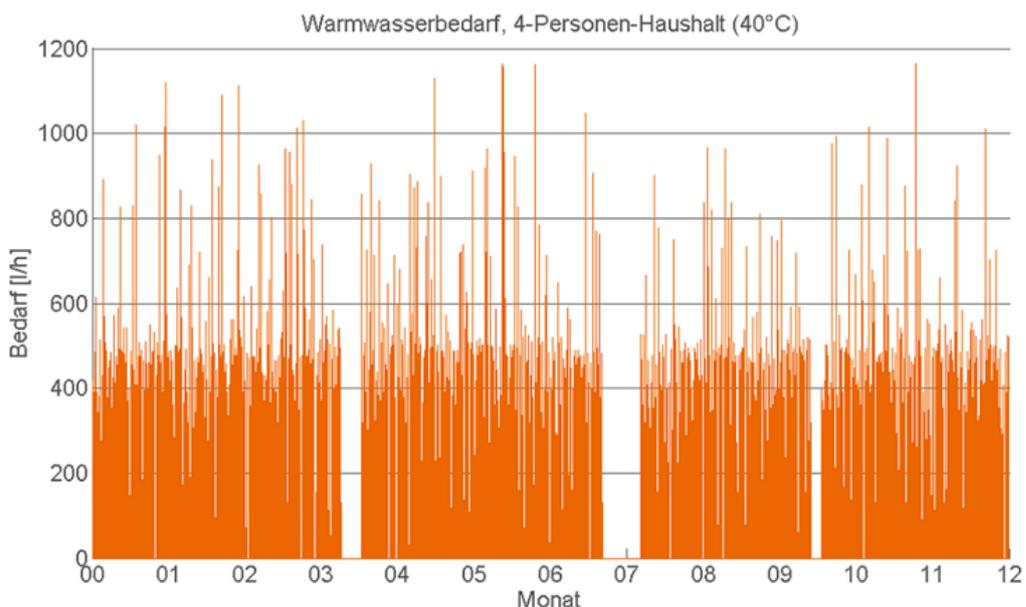
Der im Niedrigenergiehaus benötigte Heizwärmebedarf wurde in [80] anhand eines von einem 4-Personen-Haushalt bewohnten Gebäudes mit einem spezifischen Heizwärmebedarf von 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) simuliert und ist in der Abbildung 4-19 in Abhängigkeit von der Außentemperatur dargestellt.



**Abbildung 4-19: Simulierte Heizkurve im Niedrigenergiehaus [80]**

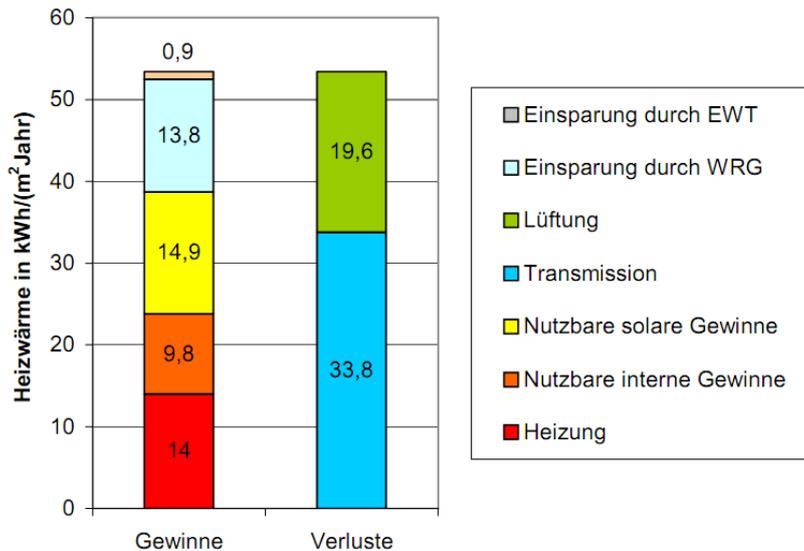
Bei Gebäuden mit niedrigerem Heizwärmebedarf sinkt die erforderliche Heizleistung, sodass von einer Verschiebung der simulierten Heizkurve nach unten, in Richtung zu einer niedrigeren Heizleistung auszugehen ist.

Bei Passivhäusern kann der Heizwärmebedarf geringer sein als der Bedarf an Warmwasser. Der Warmwasserbedarf ist insbesondere abhängig von der Anzahl der Bewohner im Gebäude, aber auch von deren Nutzerverhalten. Der Bedarf an Warmwasser eines 4-Personen-Haushaltes im Verlauf eines Jahres wurde ebenfalls in [80] simuliert und ist in der Abbildung 4-20 dargestellt. Im abgebildeten Bedarfsprofil wird sowohl ein Grundbedarf an Warmwasser sichtbar, aber auch Verbrauchsspitzen, die diesen Grundbedarf um mehr als das Doppelte übersteigen. Dementsprechend hoch ist der benötigte Energiebedarf, um diese Spitzenbedarfe abdecken zu können. Das erfordert eine entsprechende Planung und Dimensionierung der Warmwasserbereitung, die nicht wie die Heizwärme aus passiven Quellen gewonnen werden kann. Demzufolge ist der Einsatz eines Wärmeerzeugers notwendig, der Warmwasser durch den Einsatz von externer Energie erzeugen kann. Als mögliche Energiequellen sind neben erneuerbaren Energien (z.B. Solar, Pellets), elektrische Energie (Wärmepumpe) und Erdgas (Brennwertkessel) nutzbar.



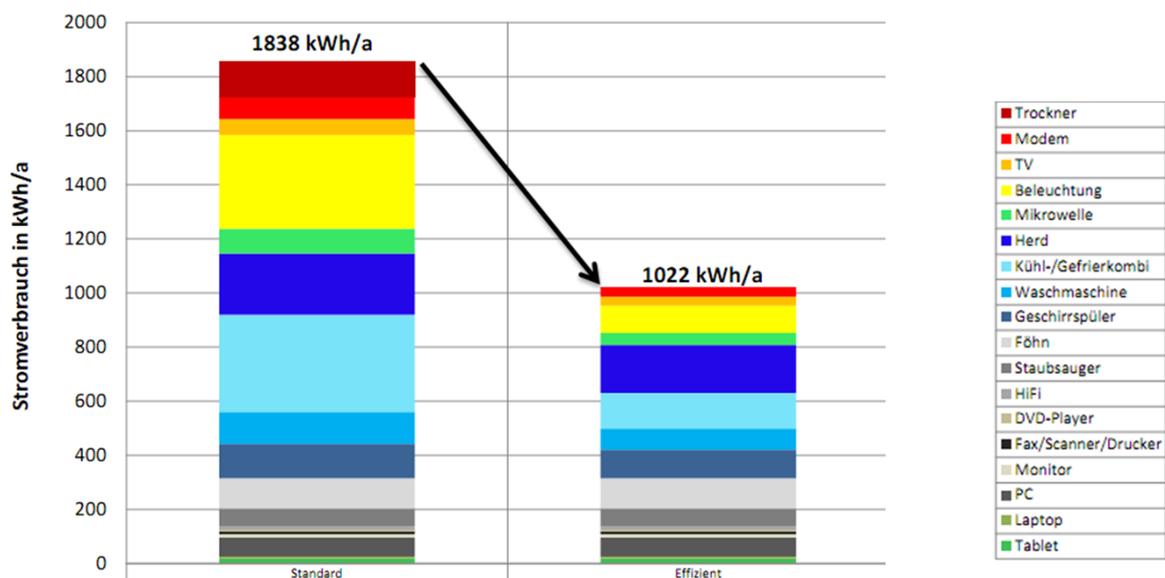
**Abbildung 4-20: Warmwasser-Bedarfsprofil mit Urlaubsunterbrechungen [80]**

Eine Bilanzierung der Energieströme mit Unterteilung in Gewinne und Verluste zeigt die Abbildung 4-21 für ein Passivhaus in Süddeutschland [81]. Neben den Transmissionswärmeverlusten durch die Gebäudehülle ist als weitere Verlustposition die Lüftung sichtbar. Die Lüftung ist notwendig, um die Raumluftqualität zu gewährleisten. Die dadurch auftretenden Verluste können aber durch eine effiziente Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage maßgeblich reduziert werden. Durch interne und solare Gewinne, bzw. durch den Einsatz eines Erdreichwärmeübertragers (EWT) wird ein ausreichend niedriger Heizwärmebedarf erreicht, der den für Passivhäuser geforderten Grenzwert von  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{a})$  unterschreitet. Damit müssen nur ca. 25 Prozent der auftretenden Wärmeverluste durch die Heizungsanlage gedeckt werden.



**Abbildung 4-21: Typische Energiebilanz eines Passivhauses in Süddeutschland**

Insbesondere beim Passivhaus mit Energiegewinn sind Energieeinsparungen beim Haushaltsstrom notwendig. Neben einem energiesparenden Nutzerverhalten ist eine Ausstattung der Wohnung mit energieeffizienten Geräten und energiesparender Beleuchtung unentbehrlich. Damit können, wie in der Abbildung 4-22 dargestellt, fast 50 Prozent des benötigten Haushaltsstromes eingespart werden. Neben dem Verzicht auf den Wäschetrockner wird ein großes Einsparpotential bei der Beleuchtung und beim Einsatz effizienter Kühl-/ Gefrierkombinationen sichtbar [79].



**Abbildung 4-22: Haushaltsstrombedarf eines 2-Personen-Haushalts bei Nutzung von Standardgeräten (links) und mit effizienten Geräten (rechts) [79]**

## 5 Darstellung und Analyse möglicher Geschäfts- und Betriebsmodelle

### 5.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen für Einfamilienhäuser verschiedener Baustandards

Die Verbesserung des energetischen Standards von EFH im Neubau erfordert einen gewissen Mehraufwand bei der Baukonstruktion und den technischen Anlagen. Ein verbesserter Wärmeschutz wirkt sich positiv auf die Energiekosten aus, so dass die Möglichkeit besteht, die Mehrkosten für den Effizienzstandard durch geringere Verbrauchskosten zu kompensieren.

Die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher energetischer Gebäudestandards im Wohnungsbau wurde in einigen Studien untersucht. Nachfolgend vorgestellt sind die Ergebnisse aus der ökonomischen Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards, durchgeführt im Rahmen der von der Stadt Freiburg in Auftrag gegebenen Studie „Energiekonzept & Empfehlung zum städtebaulichen Wettbewerb“. Durchgeführt wurde die Studie in Zusammenarbeit der EGS-Plan Ingenieurgesellschaft Energie, Gebäude und Solartechnik mbH, der Universität Stuttgart (Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung, IER) und der Fa. Joachim Eble Architektur [82].

Die Baukosten für Wohngebäude sind in die in Tabelle 5-1 aufgeführten Kostengruppen KG 100 – KG 700 eingeteilt, die alle bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt wurden.

**Tabelle 5-1: Kostengruppen nach DIN 276**

KG 100	Grundstück	KG 500	Außenanlagen
KG 200	Herrichten und Erschließen	KG 600	Ausstattung und Kunstwerke
KG 300	Bauwerk – Baukonstruktionen	KG 700	Baunebenkosten
KG 400	Bauwerk – Technische Anlagen		

Für das Typgebäude Einfamilienhaus (EFH) wurden zahlreiche Kombinationen von drei Gebäudestandards, vier Wärmeversorgungssystemen mit/ohne Lüftung bzw. Wärmerückgewinnung und mit/ohne Photovoltaik betrachtet. In Abbildung 5-1 sind die Randbedingungen für das EFH dargestellt. Eine detaillierte Übersicht zu den bauphysikalischen Qualitäten der Gebäudehülle der betrachteten Effizienzstandards ist im Anhang in Abbildung 0-33 angegeben.

Typegebäude:	EFH				Einfamilienhaus mit 3,5 Personen	
	Dämmstandard:	EnEV 2016	KfW 55	KfW 40	Wohnfläche	140 m <sup>2</sup>
Lüftung:	Abluft		Lüftung mit WRG		Brutto-Geschossfläche (BGF)	244 m <sup>2</sup>
PV:	Ohne PV		mit PV		A <sub>N</sub>	238 m <sup>2</sup>
Wärmeversorgung:	Gas + Solar	Fernwärme	Pellets	Wärmepumpe	A/V-Verhältnis	0,55
					Grundstück	200 m <sup>2</sup>
					Fensterflächenanteil	26 %

**Abbildung 5-1: Randbedingungen der EFH-Effizienzstandards [82]**

Basierend auf der Energiebedarfsberechnung und der Qualität der Gebäudehülle wurden die EFH-Varianten in folgende Energiestandards eingestuft:

- EnEV 2016: Mindestanforderungen an Neubauten (Referenz)
- KfW 55, KfW 40 KfW 40 Plus entsprechen den „KfW-Effizienzhaus-Standards“
- KfW 40 Plus-Paket bedeutet zusätzliche Vorgaben wie der Einsatz erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen, Stromspeicher und Monitoringsysteme
- Aktiv Basic bedeutet einen Netto-Endenergiebedarf von  $<30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ , was einem geplanten nZEB-Standard von 2020 entspricht
- Aktiv Plus-Standard erfordert einen Energieüberschuss, der lokal durch erneuerbare Energien erzeugt wird

Die berechneten EFH-Varianten sind nach ihren Netto-Endenergiebedarfen in die entsprechenden Effizienzhaus-Standards eingeteilt und mit ihren mittleren Investitionskosten in Abbildung 5-2 graphisch aufbereitet. Der Warmwasserbedarf wurde für alle Betrachtungen als konstant angenommen. Der Netto-Endenergiebedarf setzt sich zusammen aus dem Heizwärmebedarf, dem Warmwasserbedarf, den Verteil- und Erzeugungsverlusten und dem Nutzerstrom. Die solare Wärme und die Umweltwärme der Wärmepumpen wurden nicht mit ausgewiesen. Es sind große Unterschiede beim Endenergiebedarf der Varianten zu erkennen. Bei den Varianten WP mit PV wird innerhalb eines Jahres mehr Endenergie lokal erzeugt als verbraucht, wodurch sich ein negativer Netto-Endenergiebedarf ergibt. Die gemittelten Investitionskosten der betrachteten Varianten liegen bei  $2300 \text{ €/m}^2$  Bruttogrundfläche und bewegen sich in einem Bereich von  $\pm 7 \%$ .

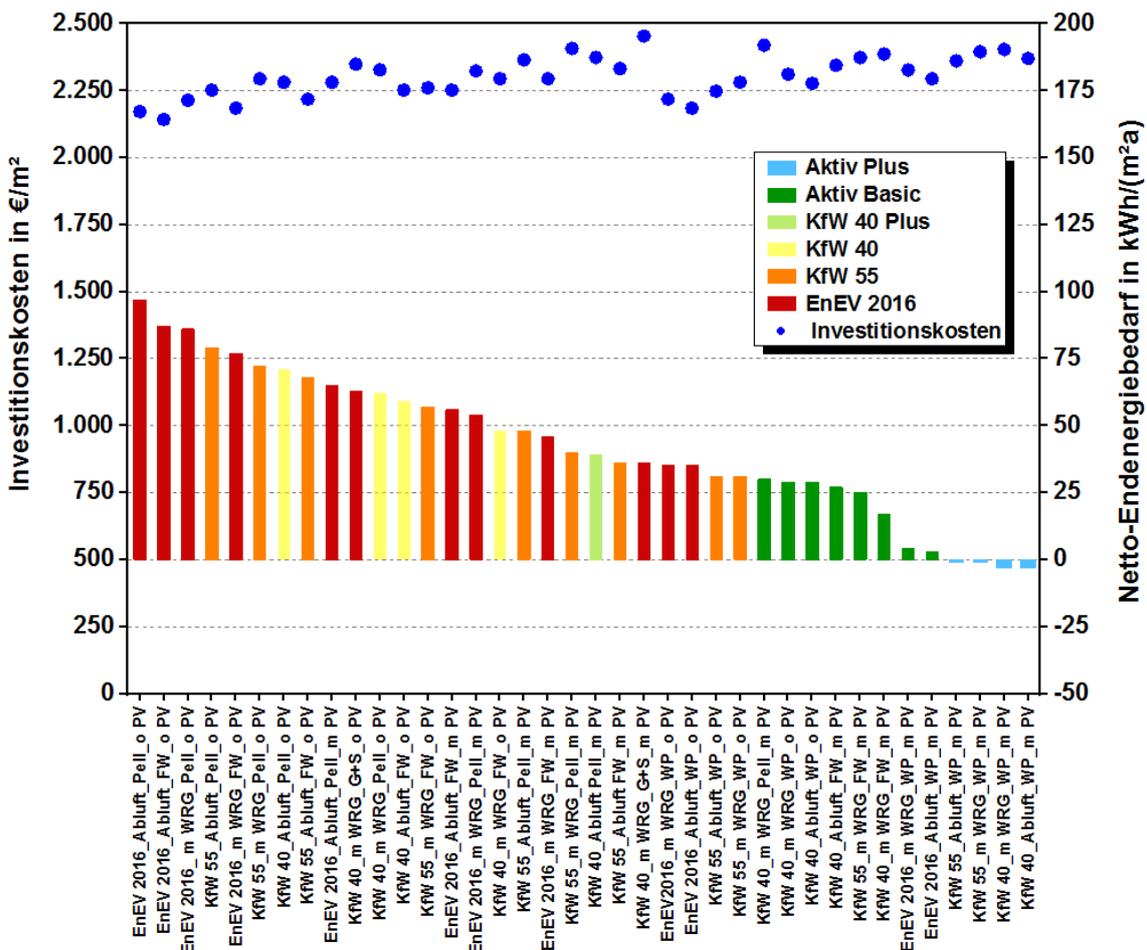


Abbildung 5-2: EFH-Varianten: Energiestandards und Investitionskosten, nach [82]

Für die EFH-Varianten wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI Richtlinie 2067 durchgeführt. In die Berechnung sind folgende Bedingungen eingeflossen:

- Betrachtungszeitraum von 50 Jahren mit einem Diskontierungssatz von 3,5 %
- keine Berücksichtigung von Preissteigerungsraten für Bauten, Anlagen, Energiepreise
- Berücksichtigung der Kostengruppen KG 100 – 700
- Berücksichtigung der Fördermittelsätze von 2015 bei der Berechnung der Investitionskosten und Jahresgesamtkosten
- die Netto-Kosten für eine Abluftanlage wurden mit ca. 1500 € und für eine Lüftungsanlage mit WRG mit 8000 € berücksichtigt

Die nach Kostengruppen KG 100 bis 700 aufgeschlüsselten Investitionskosten der unterschiedlichen EFH-Energiestandards zeigt Abbildung 5-3. Die Kosten des Standards KfW 55 liegen im Mittel um 1,7 % über den Referenzvarianten nach EnEV, die der vier KfW 40-Varianten sind 1,5 % höher. Dies beruht zum einen darauf, dass der Heizleistungsbedarf mit zunehmendem besserem Dämmstandard abnimmt, wodurch die Kosten der Wärmeerzeugungsanlagen aufgrund der kleineren Leistungsklassen sinken, so dass die höheren Kosten in der KG 300 durch niedrigere Kosten in KG 400 kompensiert werden. Außerdem wirkt sich auch

die höhere Förderung der KfW-40 Gebäude aus. Die gemittelten Investitionskosten der Varianten mit PV und Stromspeicher übersteigen aufgrund dieser zusätzlichen Anlagenkomponenten die Kosten der EnEV –Variante zwischen 3,8 und 5,6 %.

Auf die Baukonstruktionskosten (KG 300) entfällt mit 37 % der größte Anteil der Investitionen. Durch die höheren Dämmstandards resultieren in dieser Kostengruppe 8 % höhere Kosten gegenüber dem EnEV-Vergleichswert. Die Kosten der KG 300 und KG 400 machen zusammen rund 50 % der Investitionskosten aus.

Die vergleichende Darstellung der Jahresgesamtkosten in Abbildung 5-4 ermöglicht die wirtschaftliche Bewertung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Die Jahresgesamtkosten beinhalten die Bau- und Investitionskosten, die Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie die Energiekosten. Berücksichtigung fanden hierbei auch Gutschriften durch Erlöse und Fördergelder. Es wurden die Kostengruppen KG 300 – 700 einbezogen, die Flächenangaben beziehen sich auf die Nutzfläche des Hauses. Die Jahresgesamtkosten aller Gebäudeenergiestandards liegen auf einem ähnlichen Kostenniveau, sie betragen im Mittel 127 €/m<sup>2</sup> pro Jahr. Die absolute Höhe der Jahresgesamtkosten der Gebäudestandards EnEV, KfW 55 und 40 ist annähernd gleich hoch, die höheren Kosten der KG 300 werden durch niedrigere Energiepreise und Fördermittel ausgeglichen.

Die verbesserten Gebäudeenergiestandards können mit vergleichbaren Kosten wie die der Referenzvariante erstellt werden. Die Kosten hängen im Wesentlichen von den Maßnahmenkombinationen ab, weniger von den Gebäudeenergiestandards.

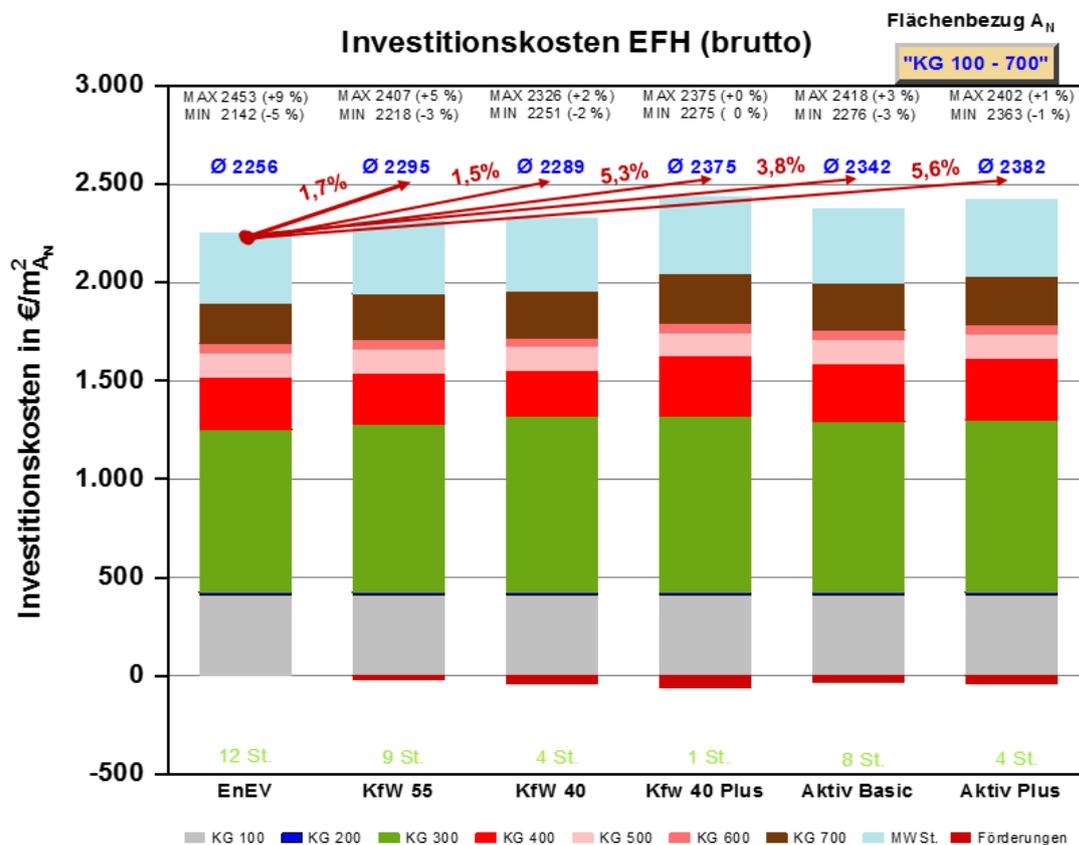


Abbildung 5-3: Investitionskosten eines EFH bei unterschiedlichen Energiestandards [82]

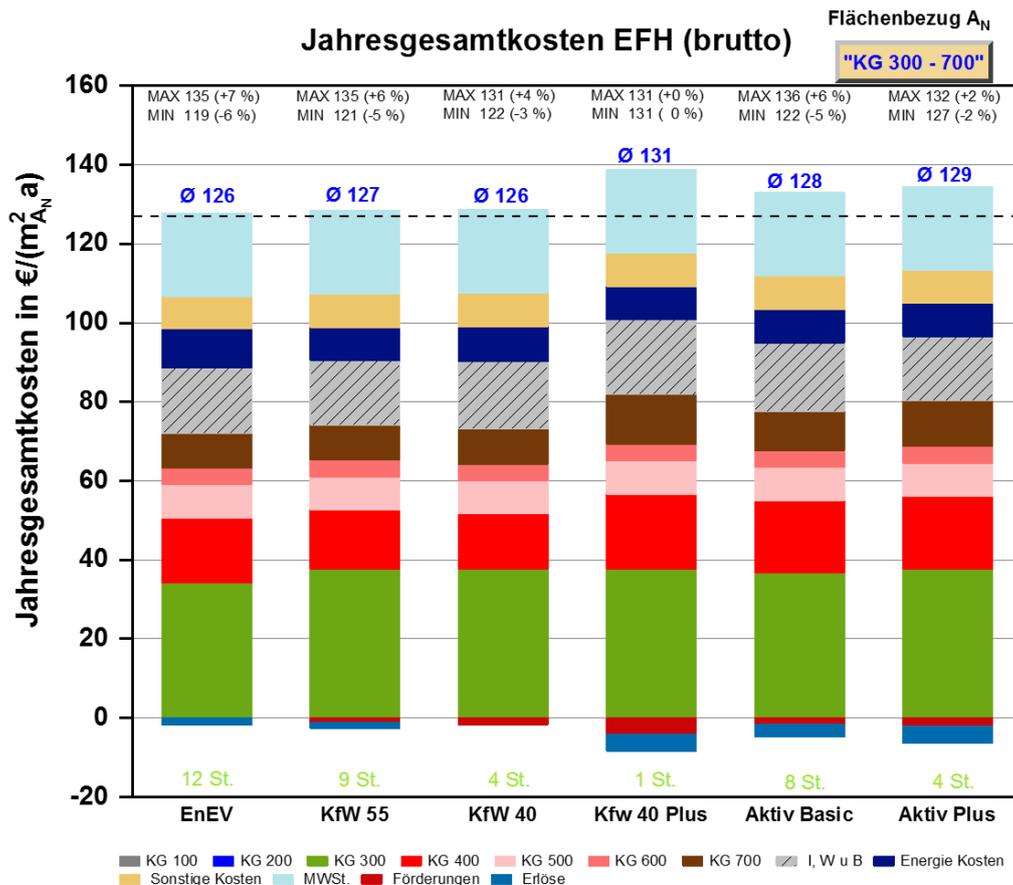


Abbildung 5-4: Jahresgesamtkosten (brutto) eines EFH [82]

## 5.2 Capex, Opex, CO<sub>2</sub>-Emissionen dezentraler Heiztechnologien im EFH-Neubau

Für einige der in Kap. 2.4.1 beschriebenen Heiztechnologien in Niedrigenergiehäusern wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Abbildung 5-5 gibt einen Überblick über die betrachteten Anlagenvarianten und die jeweiligen Energiestandards. Die Berechnungsergebnisse des Primärenergiebedarfs, des Endenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in Abbildung 5-6 sowie die Jahresgesamtkosten sind in Abbildung 5-6 zusammengestellt. Den Energiebedarfsberechnungen wurden die in Abbildung 2-17 angegebenen verbesserten Wärmeschutzdaten für das Referenzgebäude zu Grunde gelegt, um die Anforderungen der EnEV 2016 zu erfüllen. Eine Abluftanlage ist bei allen betrachteten Beheizungssystemen berücksichtigt. Der Energieverbrauch der Variante Gasbrennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung wurde außerdem auch mit einer Wärmerückgewinnungsanlage berechnet. Die Anlagenvarianten Gasbrennwertkessel mit WRG-Anlage und Solarthermie (V2), Elektrowärmepumpen (V4 und V5) und Nahwärmeversorgung (V7) erreichen den Effizienzhausstandard 55, der Pelletkessel (V6) und die Luft-Wasser-Elektrowärmepumpe mit zusätzlicher Photovoltaik-Anlage (V8) erzielen den Effizienzhausstandard EH 40.

Technologien	Gas-BW	Gas-BW	Gas-WP	LW-EWP	S/W-EWP	Holzpellet	Nah- und Fernwärme	L/W-EWP + PV
Varianten	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Lüftung	Abluft-anlage	Luftanlage mit WRG	Abluftanlage					
Heizung	Brennwert (Gas)	Brennwert (Gas)	GWP (Gas)	WP Luft-Wasser	WP Sole-Wasser	Holzpellet	Nahwärme	WP Luft-Wasser + PV-Anlage
Warmwasser	Solarthermie							
Wärmeübergabe	Heizkörper		Flächenheizung			Heizkörper		Flächenheizung
Systemtemperatur VL/RL in °C	55/45		35/28			55/45		35/28
EnEV 2016								
KfW-EH 55								
KfW-EH 40								

Abbildung 5-5: Übersicht Heiztechnologien und deren Energiestandards, Quelle GWI

Die Berechnung der Jahresgesamtkosten der Anlagenvarianten erfolgt in Anlehnung an die VDI-Richtlinie VDI 2067 Blatt 1, eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätenmethode. Die Jahresgesamtkosten beinhalten

- betriebsgebundenen Kosten (Schornsteinfeger und Wartungskosten)
- verbrauchsgebundenen Kosten (Brennstoffpreis, Grundpreis und Energiekosten für Hilfsstrom, Zinskosten der gelagerten Pellets)
- kapitalgebundenen Kosten (in jährliche Kosten umgerechnete Investitionen mit einem Zinssatz von 3 %, Betrachtungszeitraum max. 50 Jahre)
- Die Energiepreise beinhalten sämtliche Steuern.
- Förderungen wurden nicht berücksichtigt.

Für die Berechnungen wurden die im Anhang aufgeführten Datenquellen zu Grunde gelegt.

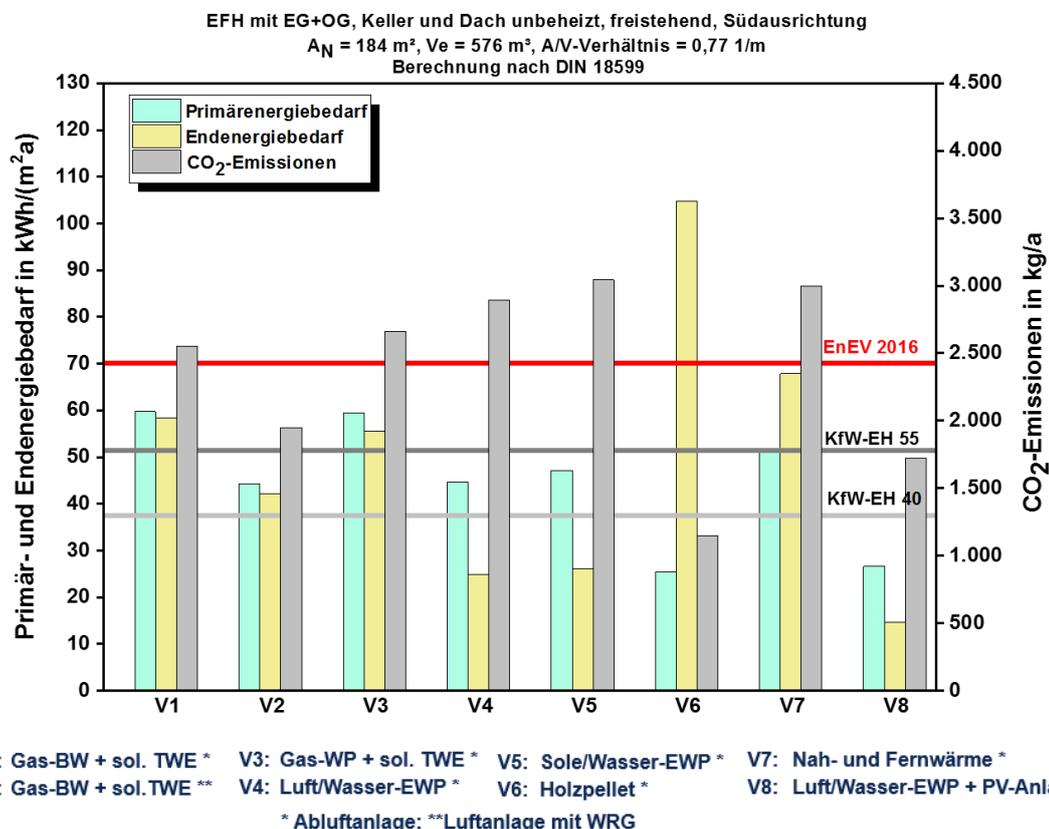
Die in Abbildung 5-6 dargestellten Primärenergie-Kennwerte zeigen, dass bis auf die Heizsysteme Brennwertkessel mit solarer Unterstützung und Abluftanlage und die Sorptions-Gaswärmepumpe alle weiteren Heizsysteme die Anforderungen für den Effizienzhausstandard EH 55 erfüllen, auch die mit fossiler KWK-Fernwärme versorgten Niedrigenergiehäuser. Den EH 40-Standard erreichen der Pelletkessel und die Elektro-Wärmepumpe mit PV-Anlage.

Die niedrigsten Endenergieverbräuche weisen die Wärmepumpensysteme (V4 und V5) und die WP mit PV-Anlage (V8) auf, bedingt durch die hohe Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen sowie die Stromgutschrift durch den PV-Strom. Der solar unterstützte Brennwertkessel mit Wärmerückgewinnungsanlage (V2) zeigt durch die WRG auch einen niedrigen Endenergieverbrauch auf.

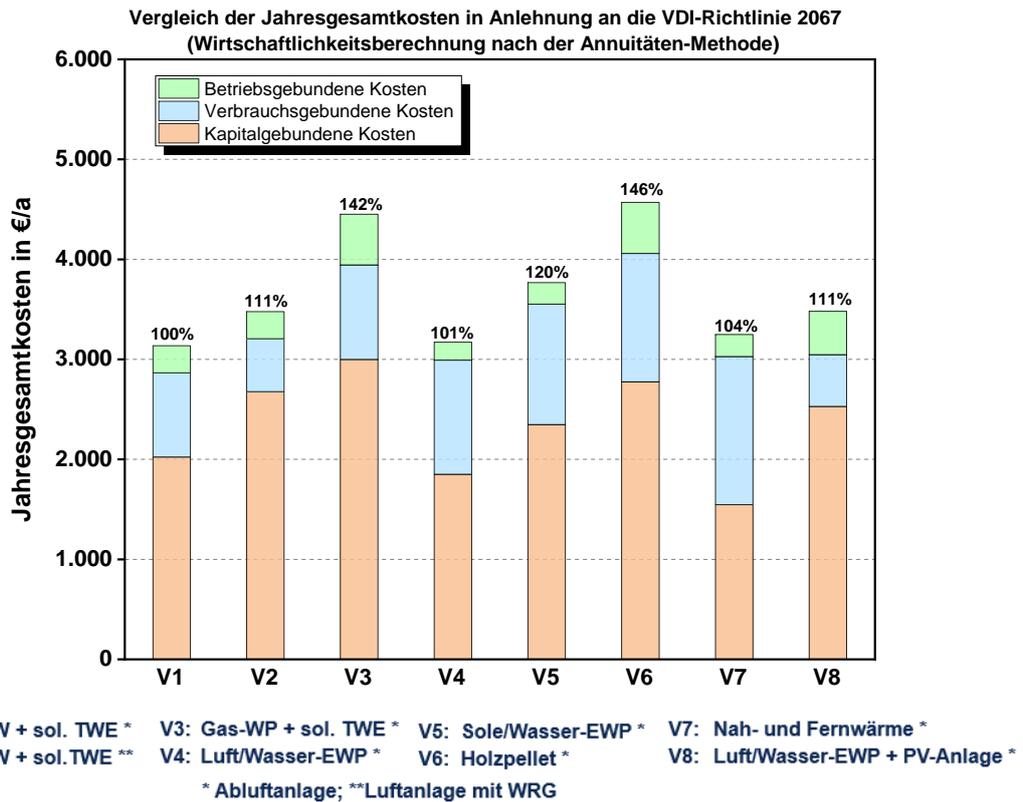
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Elektrowärmepumpen sind aufgrund des hohen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für den Strommix (633 g/kWh nach GEMIS) höher als die des Systems Brennwertkessel mit solarer Unterstützung sowohl mit Abluftanlage als auch mit WRG und dem Pelletkessel, nur die EWP in Kombination mit der PV-Anlage erzielt niedrigere CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund des selbst produzierten Stroms. Durch den fossilen Energieeinsatz der KWK-basierten Nah- und Fernwärme sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen (219 g/kWh nach GEMIS) bei dieser Variante ebenfalls hoch. Durch den Einsatz eines erneuerbaren Anteils im Wärmeversorgungsnetz könnten

die CO<sub>2</sub>-Emissionen verbessert werden. Aus ökologischer Sicht liegt der Pelletkessel aufgrund des niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von 41 g/kWh nach GEMIS) bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen am niedrigsten.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Anlagenvariante ist die Betrachtung der Jahresgesamtkosten erforderlich. Die in der Abbildung 5-7 dargestellten Jahresgesamtkosten sind aufgeteilt in die betriebs-, verbrauchs- und kapitalgebundenen Kosten. Die Jahresgesamtkosten der Heizsysteme Referenz-Brennwertkessel, Luft/Wasser-EWP (101 %) und der fossilen Nah/Fernwärmeversorgung (104 %) liegen auf dem gleichen Niveau, gefolgt von der Luft/Wasser-EWP mit PV-Anlage (111 %) und dem BWK mit Wärmerückgewinnung (111 %). Höhere Jahresgesamtkosten ergeben sich bei der Sole/Wasser-EWP (120 %) und der Gaswärmepumpe (142 %). Der Pelletkessel (146 %) ist die teuerste Anlagenvariante, die neben hohen Investitionskosten aus die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist, verursacht durch den hohen Endenergieverbrauch bei der Holzpelletsheizung. Die niedrigsten verbrauchsgebundenen Kosten ergeben sich bei der Luft/Wasser-EWP mit PV-Anlage (V8), da die dezentrale Stromerzeugung bei der Bewertung der Heizkosten berücksichtigt wurde. Die zweit-niedrigsten verbrauchsgebundenen Kosten entstehen beim Einsatz eines Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung mit Wärmerückgewinnungsanlage (V2), denn durch die Wärmerückgewinnung sinkt der Brennstoffbedarf gegenüber des BWK mit Abluftanlage deutlich. Längerfristig gesehen verbessert der Einfluss steigender Energiepreise die Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparmaßnahmen wie z. B. die WRG beim Brennwertkessel. Ebenso tragen Fördermaßnahmen für energieeffiziente Anlagenvarianten und Komponenten zur Wirtschaftlichkeit bei. Die zugrunde gelegten Brennstoffpreise zeigt Tabelle 5-2.



**Abbildung 5-6: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Heiztechnologien im EFH-Neubau, Quelle GWI**



**Abbildung 5-7: Jahresgesamtkosten von Heiztechnologien im EFH-Neubau, Quelle GWI**

**Tabelle 5-2: Kosten der Energieträger**

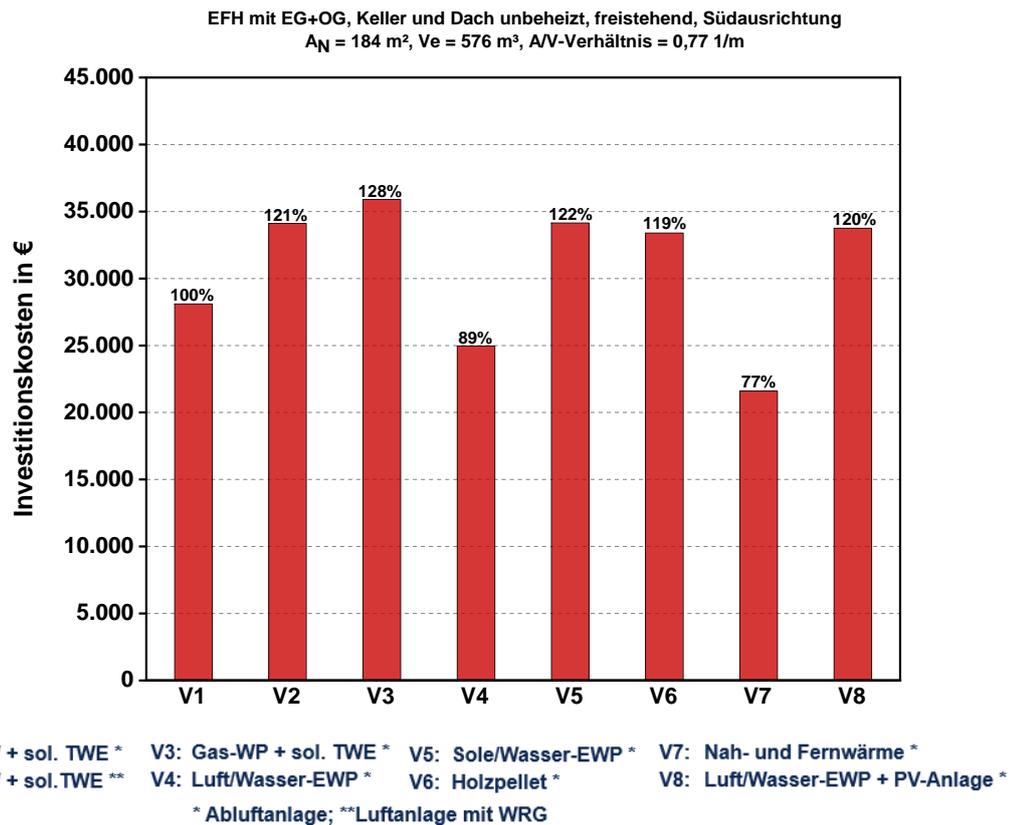
Energieträger	Grundpreis	Arbeitspreis
	in €	in €/kWh
Erdgas	124,00	0,057
Strom Haushaltstarif	-	0,294
Strom Wärmepumpentarif	81,00	0,210
Pellets	-	0,056
Nah-/Fernwärme	350	0,072

Quellenangaben für die Brennstoffpreise:

Erdgas: Durchschnittlicher Gaspreis für Haushaltskunden in Deutschland im Jahr 2018 (BDEW)  
 Strom Haushaltstarif: Durchschnittlicher Strompreis für Haushaltskunden in D im Jahr 2018 (BDEW)  
 Strom Wärmepumpentarif: Mittelwert der Wärmepumpenstromtarife von Stadtwerke Neuss und von Ver- und Entsorgungsgesellschaft mbH Sersheim  
 Holzpellets: C.A.R.M.E.N. e.V. (Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.)  
 Nah- /Fernwärme: AGFW-Der Effizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V

Die in Abbildung 5-8 dargestellten Investitionskosten für verschiedene Heiztechnologien im Einfamilienhaus-Neubau setzen sich zusammen aus den Kosten für den Wärmeerzeuger, des Warmwasserspeichers, der Wärmeverteilungs- und Übergabe und die je nach Systemvariante erforderlichen Kosten für die Schornsteinerrichtung, erforderlichen Hausanschlüsse und Brennstofflagerungskosten. Auch die Kosten für die Abluftanlage bzw. WRG und andere anlagentechnischen Maßnahmen wie die PV-Anlage etc. wurden berücksichtigt.

Als Referenzanlage für die Betrachtung der Investitionskosten der verschiedenen Heizsysteme wurde der Brennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung und Abluftanlage (V1) zugrunde gelegt. Der Nah/Fernwärmeanschluss weist mit 77 % deutlich die niedrigsten Investitionskosten auf, gefolgt von der Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 89 %, beide Systembetrachtungen beinhalten eine Abluftanlage. Die Wärmerückgewinnungsanlage des solar unterstützten Brennwertkessels verursacht 21 % höhere Investitionskosten. In dieser Größenordnung befinden sich auch die Analgenvarianten Sole-Wasser-EWP, Pelletkessel sowie die Luft/Wasser-EWP mit PV-Anlage. Die höchsten Investitionskosten der hier betrachteten Heizsysteme erfordert die Gaswärmepumpe mit solarer Trinkwassererwärmung mit 128 %.



**Abbildung 5-8: Investitionskosten für Heiztechnologien im EFH-Neubau, Quelle GWI**

Ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit bei der Einzelversorgung eines Einfamilienhauses mit unterschiedlichen Heiztechnologien und Energieträgern sowie mit einer Nah- und Fernwärmeversorgung auf fossiler KWK-Basis in Bezug auf eine Nutzungsdauer von 15 Jahren ist in Abbildung 5-9 dargestellt. Es wurde der Gesamtkostentrend der verschiedenen Technologien nach der Barwertmethode berechnet, wobei eine Preissteigerungsrate von 2 % und ein Kalkulationszinssatz von 3 % berücksichtigt wurde. Die günstigste Beheizungsort ist zu Beginn die Nah- und Fernwärmeversorgung, gefolgt von einer Elektro-Wärmepumpe und dem GBW-Kessel mit solarer Trinkwassererwärmung. Bei der Investition unterscheiden sich diese Technologien mit ca. 3000 €. Nach ungefähr 12 Jahren sind die Gesamtkosten dieser drei günstigsten Beheizungstechnologien ungefähr gleich hoch. Die Nah- und Fernwärmeversorgung entwickelt sich danach bis zu einem Zeitraum von 15 Jahren aufgrund der höheren Verbrauchskosten zu einem ca. 2000 € höheren Gesamtkostenpreis als der GBW-Kessel und auch die EWP. In der Anschaffung um ca. 8000 € teurer ist die Luft/Wasser-EWP mit PV-Anlage und der GBW-Kessel mit WRG. Diese beiden ökologisch besseren Heiztechnologien liegen nach einer 15-jährigen Nutzungsdauer in den Gesamtkosten nur ca. 4000 € höher als die preisgünstigsten Varianten. Der Pelletkessel, die Gaswärmepumpe und auch die

Sole/Wasser-Wärmepumpe sind neben den höheren Anschaffungskosten auch nach 15 Jahren noch deutlich teurer.

Bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren werden Neuanschaffungen und Reparaturen in die Gesamtkostenbetrachtung einbezogen. Die technische Nutzungsdauer nach DIN 2067 der betrachteten Heiztechnologien führen zu unterschiedlichen Abschreibungszeiten und somit zu den zeitlich versetzten Preissprüngen in den in Abbildung 5-10 dargestellten Gesamkostentrends der unterschiedlichen Heiztechnologien. Beispielsweise wird ein Gasbrennwertkessel und die Luft-Wasser-Wärmepumpe nach 18 Jahren ausgetauscht, der Pelletkessel und die Gas-Wärmepumpe werden nach 15 Jahren ersetzt. Die Sole-Wasser-Wärmepumpe und die Flachkollektoren haben eine Lebensdauer von 20 Jahren. Die Gesamtkostenentwicklung nach 30 Jahren Nutzungsdauer zeigt, dass die Nah- und Fernwärme die preisgünstigste Heiztechnologie ist, gefolgt vom GBW-Kessel mit TWE und der EWP. Auch liegen die Kosten des GBW-Kessels mit WRG nach 30 Jahren nur ca. 5000 € über der preiswertesten Variante. Durch die Energieeinsparung der WRG sind die Verbrauchskosten geringer, was sich bei der langen Nutzungsdauer positiv bemerkbar macht.

Interessant ist die gleichzeitige Betrachtung der Gesamtkosten der verschiedenen Anlagentechnologien zur Beheizung des in Abbildung 2-17 dargelegten Einfamilienhauses und den dabei jeweils entstandenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. In Abbildung 5-11 sind die nach 15 Jahren anfallenden Gesamtkosten, berechnet nach der Barwertmethode mit den dazugehörigen CO<sub>2</sub>-Emissionen nebeneinander dargestellt. Als Referenztechnologie wird das Gasbrennwertgerät mit solarer Trinkwassererwärmung und Abluftanlage zugrunde gelegt. Aus ökologischer Sicht ist die Luft/Wasser-EWP gleichwertig, emittiert nach 15 Jahren jedoch 14 % mehr CO<sub>2</sub>. Auch der GBW-Kessel mit solarer TWE und WRG sowie die Nah- und Fernwärme auf fossiler KWK-Basis liegen nur 4 % über den Referenzkosten. Die EWP mit Photovoltaikanlage liegt kostenmäßig 8 % über den Referenzkosten. Die GWP, die Sole/Wasser EWP und der Pelletkessel sind deutlich teurer (29 bis 34 %). Aus ökologischer Sicht ist der Pelletkessel mit 45 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber der Referenztechnologie am niedrigsten, gefolgt von der Luft/Wasser-EWP mit PV-Anlage. Hier macht sich der Eigenstromverbrauch positiv bemerkbar. Auch der GBW-Kessel mit WRG ist mit 77 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber der gleichen Heiztechnologie, aber mit Abluftanlage, eine gute Option zur dezentralen Beheizung. Als zentrale Beheizung ist die betrachtete Nah- und Fernwärme mit fossiler KWK kostenmäßig gleichwertig und kann in Bezug auf die Ökologie durch die Einbindung eines Anteils Erneuerbarer Energie noch verbessert werden.

In Abbildung 5-12 sind die nach 30 Jahren anfallenden Gesamtkosten mit den in diesem Zeitraum produzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeführt. Die prozentualen CO<sub>2</sub>-Emissionsanteile sind im Vergleich zu den 15 Jahren unverändert. Die Unterschiede in den Gesamtkosten der Technologien verschieben sich folgendermaßen: die Nah- und Fernwärme ist nach einem Zeitraum von 30 Jahren mit 98 % die günstigste Art der Beheizung, gefolgt von der Referenzanlage GBW mit TWE und Abluftanlage, der Luft/Wasser-EWP (104 %) und dem GBW mit solarer TWE und WRG (106 %). Die Kosten der Luft/Wasser-EWP mit PV-Anlage liegen nach 30 Jahren ca. 15 % über den Referenzkosten. Die Gesamtkosten der restlichen Technologien betragen zwischen 124 und 137 %. Auch nach 30 Jahren ist als dezentrale Heiztechnologie sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht der Gasbrennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung und Wärmerückgewinnungsanlage eine empfehlenswerte Möglichkeit.

Im Anhang in Kapitel 0 sind die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für eine Quartiersentwicklung einer Nahwärmeversorgung in dem Neubaugebiet Nordstadt-Kurzgewann in Ladenburg [83] in Abbildung 0-38 bis Abbildung 0-45 zusammengestellt.

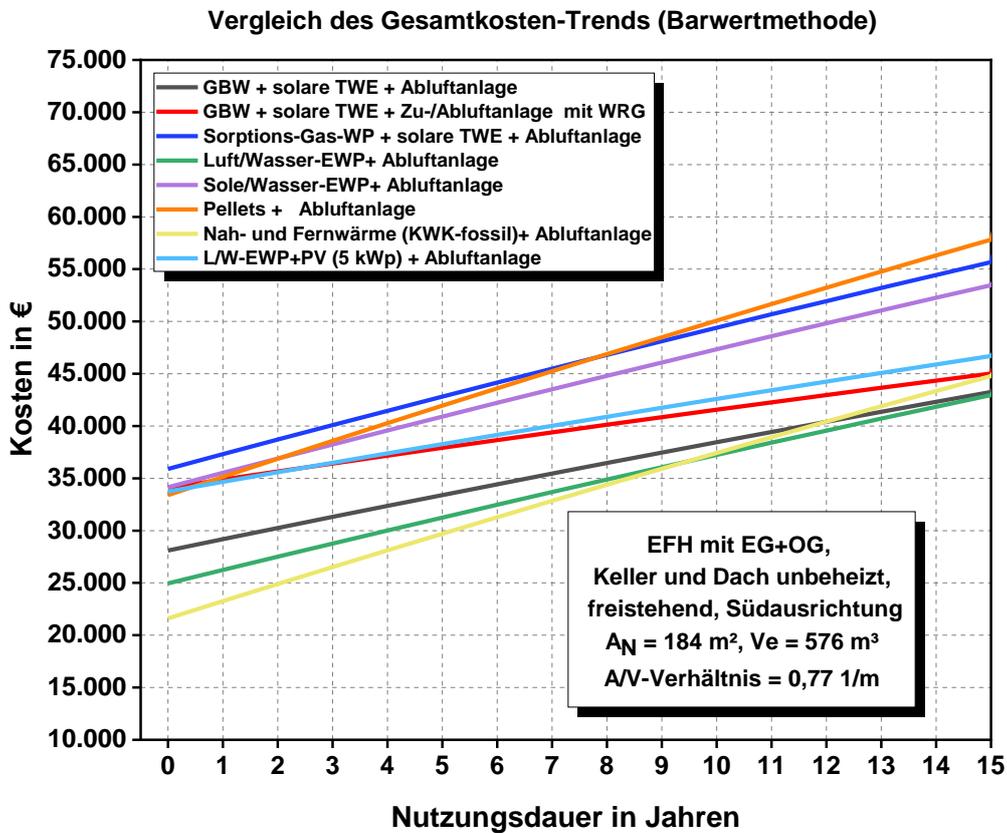


Abbildung 5-9: Vergleich des Gesamtkostentrends (Barwertmethode) für ein EFH (Neubau) bezogen auf 15 Jahre, Quelle GWI

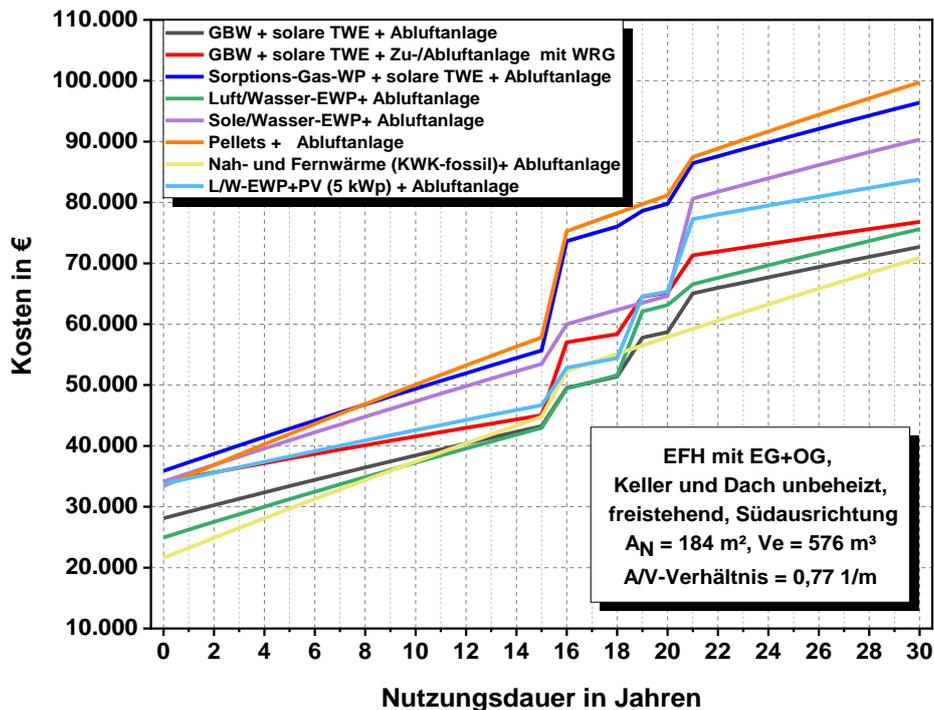
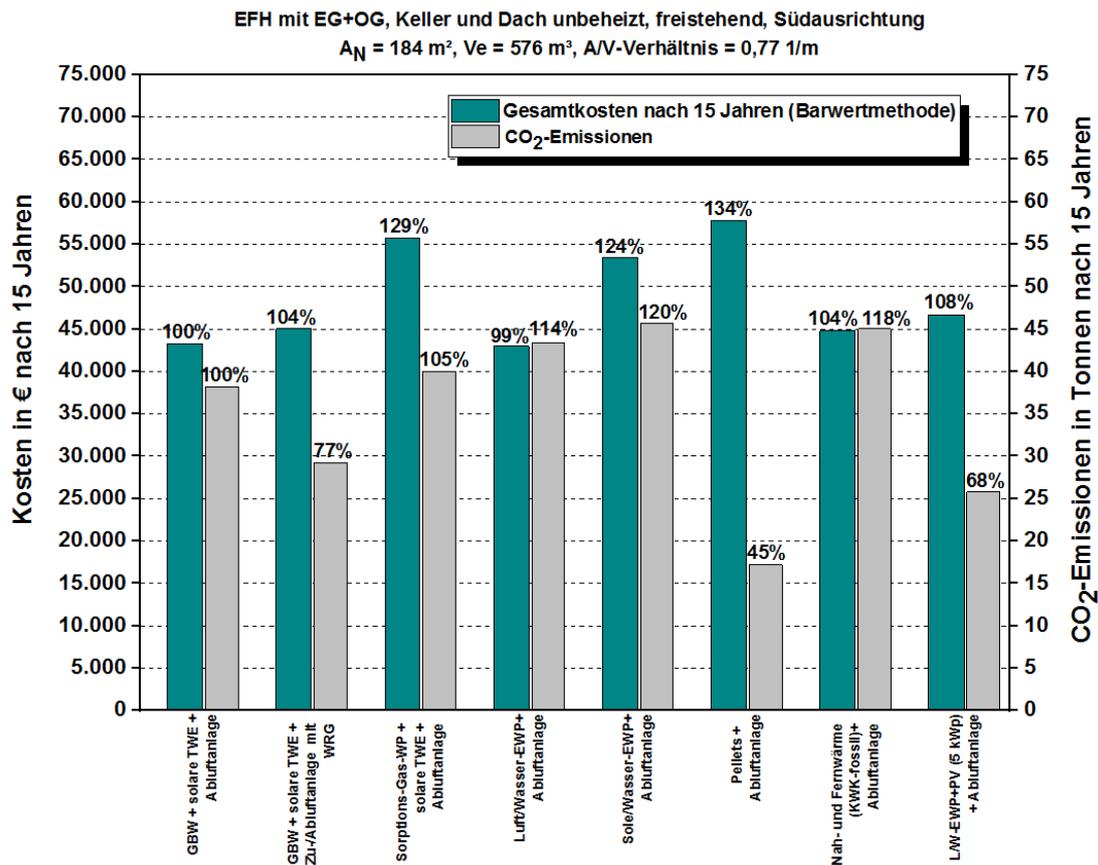
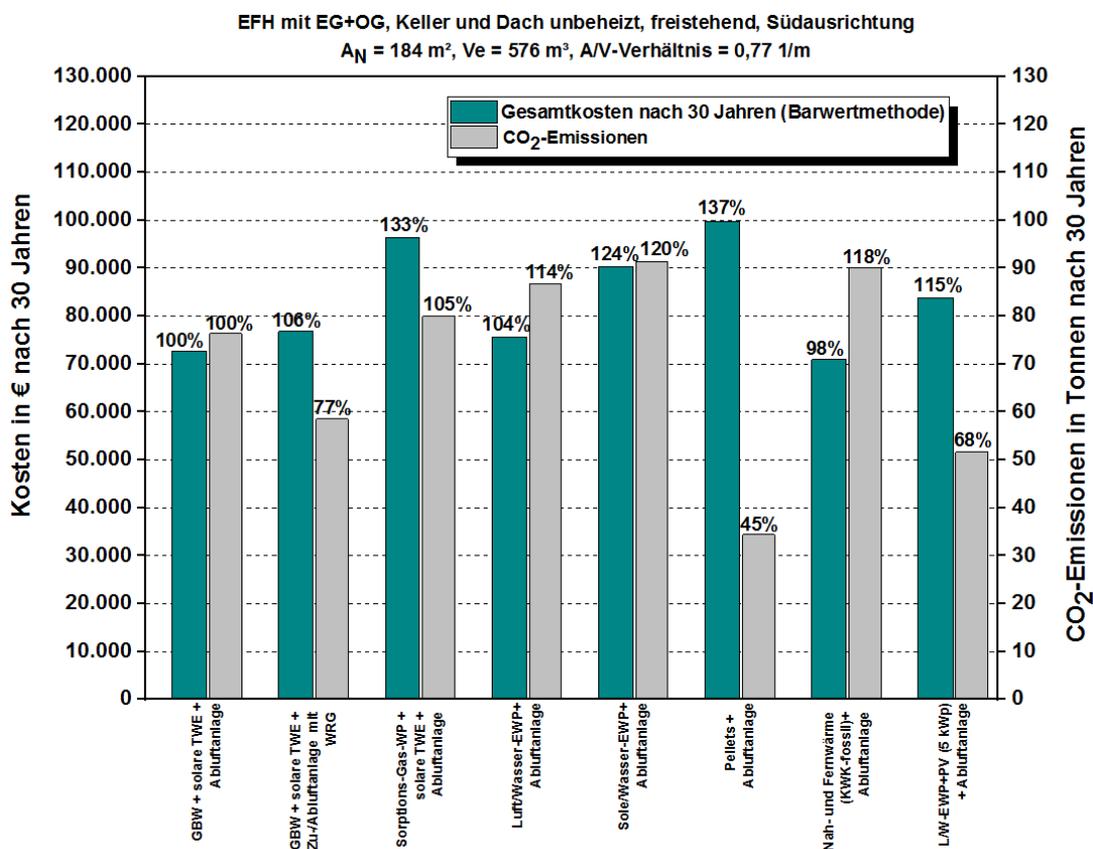


Abbildung 5-10: Vergleich des Gesamtkostentrends (Barwertmethode) für ein EFH (Neubau) bezogen auf 30 Jahre, Quelle GWI



**Abbildung 5-11: Ökonomischer und Ökologischer Vergleich verschiedener Heiztechnologien für ein EFH (Neubau) bezogen auf 15 Jahre, Quelle GWI**



**Abbildung 5-12: Ökonomischer und Ökologischer Vergleich verschiedener Heiztechnologien für ein EFH (Neubau) bezogen auf 30 Jahre, Quelle GWI**

## 5.3 Betrachtungen zur Anwendbarkeit möglicher Geschäfts- und Betriebsmodelle

Die Entwicklung der dezentralen Energieversorgung ist von der Bundesregierung im Rahmen der Energiewende im Koalitionsvertrag verankert, da der Einsatz von erneuerbaren Energien dadurch ausgebaut werden kann und CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen erzielt werden. Bei dezentraler Energieversorgung mit Strom oder Wärme von Gebäuden in Quartieren kann Energie objekt- und sektorenübergreifend erzeugt, gespeichert und in Quartieren genutzt werden, beispielsweise auch für E-Mobilität oder Power to Heat. In diesen Fällen bieten Mieterstrom- und Quartierstrommodelle neue Möglichkeiten. Wird in Niedrigenergiehäusern mit dezentraler Einzelwärmeversorgung mit PV-Anlagen der erzeugte PV-Strom selbst verbraucht, ist der Betreiber auch der Letztverbraucher.

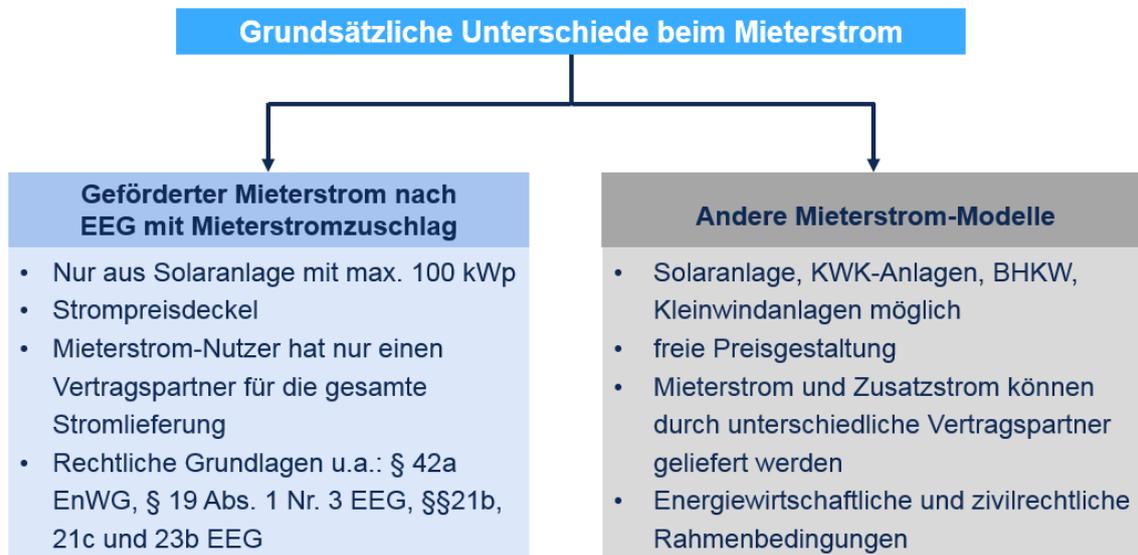
### 5.3.1 Geschäfts- und Betriebsmodelle Mieterstrom, Quartierstrom und Contracting

Mieterstrom kann sehr vielfältig umgesetzt werden. Er ist grundsätzlich sowohl im Neubau als auch im Gebäudebestand möglich, in Wohn- wie in Geschäftsgebäuden und mit unterschiedlichen neuen und bestehenden Energieerzeugungsanlagen. Auch bietet das Modell verschiedene Kombinationsmöglichkeiten mit zukunftsweisenden Wärmetechniken und Mobilitätskonzepten. Das 2017 erlassene Mieterstromgesetz soll die dezentrale Erzeugung aus Solarstrom in die Ballungsräume bringen und die Mieter an der Energiewende beteiligen, indem es für Mieterstrom eine Förderung ermöglicht. Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern wird der lokal erzeugte Strom mithilfe von Mieterstrommodellen vor Ort genutzt. Mieterstrommodelle gibt es seit geraumer Zeit. Grundsätzliche Unterschiede durch das Mieterstromgesetz sind in Abbildung 5-13 aufgeführt.

Unter Mieterstrom versteht man den Strom, der vor Ort mittels einer Solaranlage, eines BHKW, eines Stromspeichers oder einer ähnlichen Stromerzeugungsanlage erzeugt, an die Mieter ohne Nutzung des Netzes der allgemeinen Versorgung geliefert und im Gebäude verbraucht wird. Ein BHKW bekommt einen Zuschlag für KWK-Strom, wenn dieser nicht ins Netz eingespeist wird (Maßstab: Netz oder Kundenanlage). Seit dem EEG 2017 gibt es eine direkte Förderung bei Solaranlagen (Mieterstromzuschlag, siehe Abbildung 5-13). Lokal erzeugter Strom und Strom aus dem öffentlichen Netz werden dabei kombiniert. Es gelten folgende Voraussetzungen für den Mieterstromzuschlag nach EEG 2017:

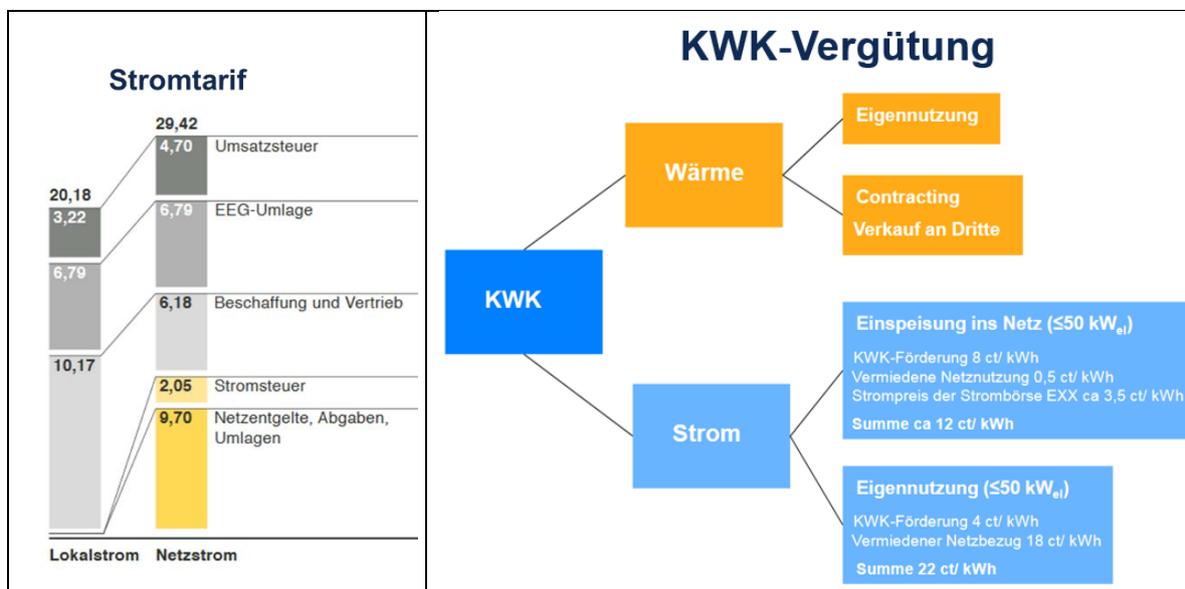
- Strom aus Solaranlagen
- installierte Leistung von max. 100 kW
- Installation auf, an oder in einem Wohngebäude
- Lieferung an einen Letztverbraucher
- Verbrauch innerhalb dieses Gebäudes oder in Wohngebäuden oder Nebenanlagen im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit diesem Gebäude
- keine Durchleitung durch ein Netz
- mindestens 40% der Fläche des Gebäudes müssen dem Wohnen dienen
- Inbetriebnahme ab 25.07.2017

- Registrierung im Marktstammdatenregister (Datum der Zuordnung und der erstmaligen Belieferung)
- jährliches Gesamtvolumen begrenzt auf 500 MW



**Abbildung 5-13: Geförderter Mieterstrom nach EEG 2017 und andere Mieterstrommodelle [84]**

Die Unterschiede beim Strompreis zwischen einem lokal erzeugten Strom und dem Strom aus dem öffentlichen Netz sowie die Vergütungen für die KWK-Förderung bei Eigennutzung und Einspeisung sind in Abbildung 5-14 gegenübergestellt.



**Abbildung 5-14: Stromtarife von Lokalstrom und Netzstrom (links), Vergütung für KWK-Strom (rechts) [85]**

Für Immobilienbesitzer ist der Verkauf von Strom aus der PV-Anlage oder dem BHKW lukrativ, denn sie erhalten vom Mieterstrom-Partner, z.B. dem Energieversorger, eine Zusatzrendite. Diese Mieterstrom-Rendite liegt höher als die der Netzeinspeisung: für PV-Strom erhalten sie rund 15 % inklusive Mieterstromzuschlag, für BHKW-Strom erhalten sie ca. 20 %. Auch der Mieter hat dabei einen monetären Vorteil von ca. 10 % Energiekosteneinsparung gegenüber der lokalen Grundstromversorgung.

Mieterstrom kann sehr vielfältig umgesetzt werden. Er ist grundsätzlich sowohl im Neubau als auch im Gebäudebestand möglich, in Wohn- wie in Geschäftsgebäuden und mit unterschiedlichen neuen und bestehenden Energieerzeugungsanlagen. Die genauen Anteile von lokal erzeugtem Strom und Strom aus dem öffentlichen Netz hängen jeweils von der Zahl an Mieterstrom-Kunden, den genutzten Energieerzeugungsanlagen und dem Energiebedarf ab. Ein weiterer Vorteil von Mieterstrom sind verschiedene Kombinationsmöglichkeiten mit zukunftsweisenden Wärmetechniken und Mobilitätskonzepten. Eine Grafik zum Mieterstrom-Konzept ist im Anhang in Abbildung 0-46 aufgeführt.

In Tabelle 5-3 sind für die vor Ort Versorgung durch Eigenverbrauch, Mieterstrom, Pachtmodelle oder Quartierstrom zusammengestellt. Bei allen Modellen mit Anlagengrößen unter 2 MW entfällt die Stromsteuer. Erfolgt keine Nutzung des öffentlichen Netzes, werden auch keine netzgebundenen Entgelte fällig.

**Tabelle 5-3: Modelle zur Stromnutzung**

Modelle für vor Ort Versorgung	Eigenverbrauch und Pachtmodelle	Mieterstrom	Kiezstrom, Quartierstrom, Regionalstrom
<b>Lieferbeziehung</b>	<b>Personenidentität</b> von Betreiber und Letztverbraucher (LV)  Sonderfall: Personenidentität wird über die Pacht oder den Verkauf der PV-Anlage an den LV hergestellt.	Lieferung an Dritte <b>Keine Personenidentität</b> von Anlagenbetreiber und LV	Lieferung an Dritte <b>Keine Personenidentität</b> von Anlagenbetreiber und LV
<b>Netznutzung und Netzentgelt</b>	Keine Nutzung des öffentlichen Netzes. Daher werden <b>keine netzgebundenen Entgelte</b> fällig	Keine Nutzung des öffentlichen Netzes. Daher werden <b>keine netzgebundenen Entgelte</b> fällig	Nutzung des öffentlichen Netzes. <b>Netzentgelte</b> werden fällig
<b>EEG-Umlage</b>	EEG-Umlage wird zu <b>40 %</b> fällig (> 10 kWp). Für kleine Anlagen gilt die „Kleinanlagenregelung“. Demnach ist Strom aus Stromerzeugungsanlagen mit einer installierten Leistung von <b>maximal 10 kWp</b> bis zu einem Eigenverbrauch von <b>10 MWh/a</b> von der EEG-Umlage zu <b>100 %</b> befreit.	EEG-Umlage wird zu <b>100 %</b> fällig.  ggf. Mieterstromzuschlag	EEG-Umlage wird zu <b>100 %</b> fällig.
<b>EEG-Vergütung</b>	Für die selbstverbrauchte Strommenge wird keine Vergütung nach EEG bezahlt.	Für die direkt verbrauchte Strommenge wird keine Vergütung nach EEG bezahlt.	Die ins Netz eingespeiste Strommenge wird für 20 Jahre mit dem gültigen EEG-Satz vergütet
<b>Stromsteuer</b>	keine Stromsteuer	keine Stromsteuer (bedingt)	keine Stromsteuer (< 2 MW)

Quartierstrom ist ein Mieterstrom-Modell in einem Stadtteil oder einer Region, in dem der Strom lokal aus erneuerbaren Energien produziert wird und in der Nähe der Verbraucher genutzt wird. Quartierstrom ist eine Einnahmequelle für Wohnungsbaugesellschaften, Stadtwerke, Start-Ups mit neuen Dienstleistungen und Eigentümer von Immobilien. Durch Vernetzung der Sektoren Gebäude, Strom und Mobilität sowie der Gebäude untereinander mittels Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) mit Smart Meter, Smart Grids, Smart Home müssen im Sinne einer Gesamtoptimierung alle Bereiche in Einklang gebracht werden. Vorteile sind keine Transportverluste, Einnahmen durch Einspeisung von überschüssigem Strom, niedrigere Stromkosten für den Verbraucher, Versorgungssicherheit des Quartiers sowie attraktive Wertsteigerungen der Immobilien mit eigener Stromerzeugungsmöglichkeit. So können alle Beteiligten an der Energiewende teilhaben und diese auch vorantreiben.

Aus systemischer Perspektive hat Quartierstrom folgende Vorteile:

- Aus Netzsicht wird ein stärker netzdienlicher Betrieb erreicht.
- Ein gutes Lastmanagement passt die Stromnutzung an die Netzbelastung an.
- Bei Bedarf kann durch Rück- bzw. Einspeisung aus Speichern bzw. Regelung des BHKWs das Netz unterstützt werden.
- Grundsätzlich sind Anlagen in Einzelgebäuden oder Quartiersanlagen möglich, wobei Anlagen auf Quartier-Ebene in der Regel effizienter sind.
- Der Ausbau von Verteilnetzen kann durch intelligentes Last- und Einspeisemanagement vermieden oder zumindest begrenzt werden.

Aus der Perspektive der Gebäudebetreiber hat die Vernetzung im Quartier folgende Vorteile:

- Vergleichmäßigung von Verbrauchsprofilen
- Erhöhung des Eigenverbrauchs bei EE-Anlagen
- Gemeinsame Nutzung von Anlagentechnik und dadurch geringere spezifische Kosten für Komponenten
- Größere Anlagenkomplexität ist möglich (z. B. BHKW + PV + Wärmepumpe + Speicher)
- Einsatz von effizienteren technische Komponenten (z. B. Wärmespeicher, Batteriespeicher, Eisspeicher)
- Wirtschaftlichere Auslegung und Nutzung als Quartierspeicher („Multi-Use“-Geschäftsmodelle)
- Mehr Freiheitsgrade für optimierte Betriebsführung

Eine Erweiterung der Vernetzung mit E-Mobilität bietet für die Gebäudebetreiber, Stadtwerke oder auch Contractoren folgende Vorteile:

- Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Fahrzeugladen erlaubt größere EE-Anlagen (ggf. über stationären Zwischenspeicher, da Fahrzeuge tagsüber teils unterwegs sind).
- Eventuelle Nutzung des Batteriespeichers im PKW zur Rückspeisung.
- Höhere Einsparungen von Energie und Emissionen bei gleichen oder niedrigeren Kosten im Vergleich zu den Konzepten ohne Vernetzung.

Als Herausforderungen und Hemmnisse von Quartierstrom sind zu nennen:

- Regulatorische Anforderungen
- Aufwand für vertragliche Vereinbarungen
- Erhöhter Transaktionsaufwand für Messung und Abrechnung
- Erhöhte Fehleranfälligkeit aufgrund technischer Komplexität

Contracting ist ein betriebswirtschaftliches Modell in Form eines Kooperationsvertrages zwischen einem Strom- und/oder Wärme-Lieferanten und Betreiber der technischen Anlagen und dem Verbraucher. Contracting wird folgendermaßen definiert: (DIN 8930-5): zeitlich und räumlich abgegrenzte Übertragung von Aufgaben der Energiebereitstellung und Energielieferung auf einen Dritten, der im eigenen Namen und auf eigene Rechnung handelt. Grundlage des Geschäftsmodells und ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Erfolg des Contractors ist der effiziente Umgang mit dezentral erzeugter Energie. Der Contractor erbringt ein festgelegtes Maßnahmenpaket (z. B. bestehend aus Planung, Bau, Betrieb, Instandsetzung, Optimierung, Finanzierung) und steht für technische und wirtschaftliche Risiken während der Vertragslaufzeit ein. Rechtliche Anknüpfungspunkte sind u.a.:

- Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G)
- europäische Energieeffizienzrichtlinie (RL 2012/27/EU)
- Energieeinsparverordnung (EnEV)
- einschlägige DIN-Normen
- mietrechtliche Vorschriften des BGB
- Wärmelieferverordnung (WärmeLV)

Contracting-Formen im Energiesektor sind das Einspar-Contracting, Energieliefer-Contracting, Finanzierungs-Contracting und das Betriebsführungs-Contracting (technisches Anlagenmanagement). Erläuterungen zu diesen verschiedenen Contracting-Formen sind im Anhang in Abbildung 0-47 angegeben. Abbildung 0-48 enthält Auszüge aus dem Energiedienstleistungsgesetz und in Abbildung 0-49 ist die Herangehensweise für ein Nahwärme-Contracting-Konzept aufgeführt.

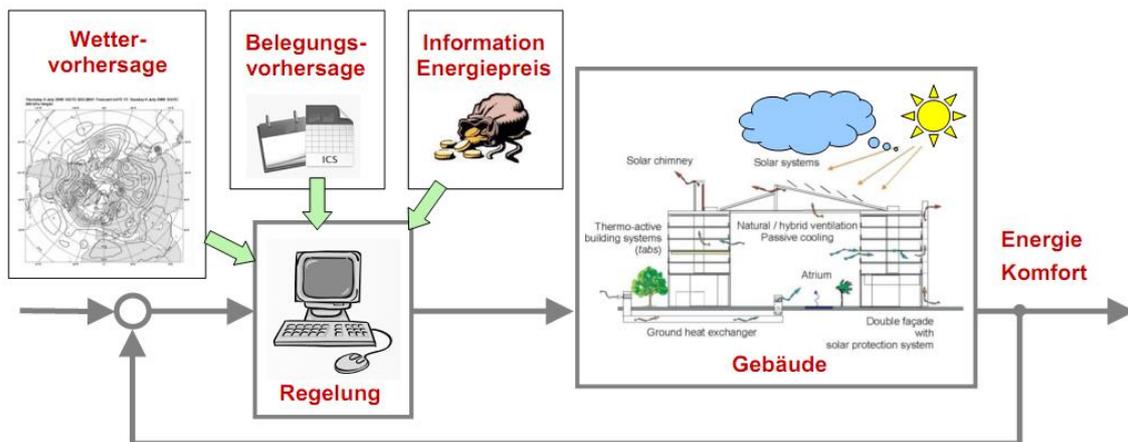
Die Anwendbarkeit der vorgestellten Mieterstrom-Modelle bei Niedrigenergiehaus-Siedlungen hängt von der Größe der Siedlung ab. Treten beispielsweise auch größere Energieverbräuche durch Mehrfamilienhäuser, Schulen, Gewerbe etc. auf, ist dies vorteilhaft gegenüber einer nur kleinen Ansammlung von Niedrigenergiehäusern mit geringem Energieverbrauch.

## 5.4 Untersuchungen zu intelligenten, prädiktiven Vernetzungen

### 5.4.1 Recherche zu intelligenten, prädiktiven Vernetzungen

Im Hinblick auf die in gesetzlichen Vorgaben (EnEV, GEG) formulierten Anforderungen an Neubauten gewinnen intelligente, prädikative Vernetzungen zunehmend an Bedeutung. Eine Ursache dafür ist nicht nur die fortschreitende Verringerung des Heizwärmebedarfs, sondern auch die Reduktion des Primärenergiebedarfs der Gebäude. Der Einsatz von erneuerbaren Energien, insbesondere Solarenergie kann dazu beitragen diese Anforderungen zu erfüllen. Durch Integration einer entsprechenden Solararchitektur, wie z.B. großflächiger Verglasung und dem Einsatz von thermischen Solaranlagen können diese solaren Gewinne gesteigert und der Heizenergieverbrauch gesenkt werden. Eine Reduzierung des elektrischen Strombedarfs und damit des Primärenergiebedarfs ist durch den Einsatz von Photovoltaik-Anlagen möglich. Der Ertrag der solaren Systeme ist stark von den klimatischen Bedingungen am Standort abhängig und muss bei der Errichtung von Gebäuden bzw. der Anlagentechnik berücksichtigt

werden. Das betrifft vor allem Wechselwirkungen zwischen dem Energieangebot aus erneuerbaren Quellen und dem Energiebedarf der Gebäude. Aufgrund der Solararchitektur besteht eine hohe Sensitivität bezüglich der solaren Strahlung und erfordert den Einsatz intelligenter Regelungssysteme, die auch durch die hohe Komplexität der Anlagentechnik notwendig werden. Außerdem erfordert die Pufferung von Energie in Wärme- und Stromspeichern ein intelligentes Energiemanagement, das auch vorausschauend den Energieeintrag über Prognosesysteme steuern kann. Derartige Vorhersagesysteme können, wie die Abbildung 5-15 zeigt, neben der Wettervorhersage auch weitere Prognoseinformationen, wie beispielsweise Informationen zu Energiepreisen oder zur Belegung des Gebäudes nutzen und gemäß Regelungsstrategie umsetzen. Das Ziel dieser prädikativen Regelung soll dabei darin bestehen, die Energiekosten bei Einhaltung des Behaglichkeitskomforts zu minimieren. Neben einer Optimierung der Gebäudebeheizung in der Heizperiode ist damit auch eine automatisierte Klimatisierung des Gebäudes im Sommer durch passive und aktive Klimatisierungsmaßnahmen, z. B. durch gesteuerte Verschattung oder prädikative nächtliche freie Kühlung möglich [86], [87].



**Abbildung 5-15: : Verwendung von Prognosen für eine optimale Gebäudeklimaregelung [87]**

Vorausschauende Regelstrategien können auch, wie in der Abbildung 4-15 dargestellt, zur Optimierung der Netzeinspeisung von kleinen PV-Anlagen zum Einsatz kommen. Dabei kann durch Prognose der Wettervorhersage und damit der Sonneneinstrahlung, die Beladung des Stromspeichers netzoptimiert erfolgen und die Einspeisung übermäßig hoher Leistungsspitzen in das Stromnetz vermieden werden.

Wie bereits in den genannten Beispielen der Gebäudeenergieversorgung ersichtlich wird, ist insbesondere durch einen Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien ein Ausbau der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) erforderlich, um zukünftige intelligente Energiesysteme betreiben zu können. Durch das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende ist dazu ein wichtiger Schritt zur Festlegung des gesetzlichen Rahmens unternommen worden. Durch IKT können die unterschiedlichen Energieerzeugungsanlagen sowohl untereinander als auch mit anderen Netzkomponenten, wie Speicher- und Verbrauchsanlagen, vernetzt und damit eine Flexibilisierung und Optimierung der künftigen Energienetze ermöglicht werden (s.a. Kapitel 0).

## 6 Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger

Auf Basis der durchgeführten Analysen und Berechnungen konnten Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, die unter Pkt. 6.1 aufgeführt sind.

### Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger

Auf Basis der umfangreichen Analysen, Berechnungen und Kostenbetrachtungen konnten Wärmeversorgungs-technologien für Niedrigenergiehäuser (Einfamilienhaus-Neubau) sowie Niedrigenergiehaussiedlungen analysiert und diese im Hinblick auf den Primärenergiebedarf, die Investitionskosten, die Verbrauchs- und Betriebskosten sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet werden. Abbildung 6-1 zeigt eine zusammenfassende Darstellung zu Wärmeversorgungs-Technologien im Einfamilienhaus (Neubau).

Technologien		Primärenergiebedarf	Investitionskosten	Verbrauch/Betriebskosten	CO <sub>2</sub> -Emissionen
Gas-BW-Gerät + Solarthermie* (Referenz)		0	0	0	0
Gas-BW-Gerät + Solarthermie + Lüftungsanlage mit WRG		+	-	+	+
Sorptions-Gas-WP + Solarthermie*		0	--	-	0
Luft/Wasser-EWP*		+	+	-	-
Sole/Wasser-EWP*		+	-	-	-
Holzpellet-Kessel*		++	-	--	++
Luft/Wasser-EWP+ PV-Anlage*		++	-	+	+
Nah- und Fernwärme*	KWK fossil	+	++	--	-
	KWK-EE	++			++
	Heizwerk fossil	--			--
	Heizwerk-EE	++			+
Brennstoffzelle**		0	--	+	+

**LEGENDE**  
 ■ sehr positiv (z. B. deutlich geringerer Primärenergiebedarf als bei Referenz)  
 ■ positiv (reduziert z. B. den Primärenergiebedarf)  
 ■ ohne positive oder negative Tendenz (erfüllt EnEV-2016)  
 ■ negativ  
 ■ sehr negativ (z. B. sehr hohe Kosten im Vergleich zur Referenz)

\* Lüftung mit Abluftanlage

\*\* Stromproduktion berücksichtigt

Abbildung 6-1: Wärmeversorgungs-Technologien im Einfamilienhaus (Neubau), Quelle GWI

Aus den fertiggestellten Analysen zu typischen Energiebedarfen und Versorgungssystemen von Niedrigenergiehäusern im Neubau sowie den Untersuchungen zu möglichen Versorgungsstrategien ergeben sich aus technischer und umweltpolitischer Sicht folgende Teilergebnisse, die bereits auf der GAT 2018 (23.-25.10.18, Berlin) veröffentlicht werden konnten:

- Hocheffiziente Regenerativ-/Strom-/Gas/Wärme-Kombinationen (Gas-plus-plus-Strategien) sind einsetzbar.
- Bei einer dezentralen Beheizung mit GBW-Technik und solarer TWE wird die EnEV 2016-Vorgabe deutlich unterschritten. Für eine Förderung müsste allerdings z. B. ein Pelletkessel oder eine Luft-EWP mit PV-Unterstützung eingesetzt werden.

- Bei einer Nah- bzw. Fernwärmeversorgung unterschreiten die Technologien KWK-fossil, KWK-EE und Heizwerk-EE die EnEV 2016 - Vorgaben weit und eine KfW-Förderung ist möglich.

Folgende Kernaussagen sind im Hinblick auf Nahwärmenetze und Kaltnetze möglich:

- Die Auslegungskriterien sind vor allem Wärmebedarf und Anschlussdichte, Netzverluste sollten beachtet werden (möglichst < 10 %).
- Eine Integration von größeren Wärmebedarfen (MFH, Schulen...) in Niedrigenergiehaus-Nahwärmenetzen sowie eine Anschlussverpflichtung der Gebäude fördern die Effektivität.
- Die Nahwärmenetze ermöglichen eine vielseitige Nutzung von erneuerbaren Energien.
- Eine Einbindung von selbst erzeugtem Strom (PV-Anlage, BHKW) auch für E-Mobilität erhöht den Autarkiegrad eines Quartiers, entlastet das öffentliche Stromnetz und verringert die Abhängigkeit von Preissteigerungen.
- Es sollten Low-Ex-Netze mit niedrigen Vorlauftemperaturen bevorzugt werden.
- Eine Versorgung einer Niedrigenergiehaus-Siedlung über den Anschluss an den Rücklauf eines bestehenden Primärnetzes führt zu einer Steigerung der Effektivität des Primärnetzes.
- Kaltnetze sind kostengünstiger, einfach zu verlegen und haben keine Netzverluste, dadurch ergibt sich ein niedrigerer Primärenergiebedarf und geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Eine Kopplung des Warm- und Kaltnetzes durch hybriden Einsatz von BHKW und EWP schafft zusätzlich im Sommer eine Kühlmöglichkeit.
- Der Wegfall der Netzverluste bei Kaltnetzen bewirkt einen niedrigeren Primärenergiebedarf und somit geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen unter der Voraussetzung, dass der Strom für EWP aus EE-Quellen stammt.

Insgesamt erlauben die durchgeführten Analysen und Berechnungen folgende Handlungsempfehlungen:

- GBW-Kessel mit erneuerbarem Gas (Biomethan, Wasserstoff...) bzw. GBW-Kessel mit PV stellen sehr gute ökologische und ökonomische Möglichkeiten dar.
- Eine dezentrale Versorgung eines Niedrigenergiehauses erreicht mit einem GBW-Kessel und Solarthermie in Verbindung mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung den EH 55-Standard und ist ökologisch.
- Eine zentrale Versorgung einer Niedrigenergiehaus-Siedlung ist ökonomischer und ökologischer als die dezentrale Versorgung, da die Einbindung von EE im größeren Maße möglich ist.

- Niedrigenergiehaus-Siedlungen können trotz ihrer niedrigen Wärmeanforderung effektiv mit Nahwärmenetzen versorgt werden, wenn:
  - größere Wärmeabnehmer integriert sind (z. B. MFH, Schule ...) zur Erhöhung der Wärmebedarfsdichte,
  - die Netzverluste möglichst < 10 % liegen,
  - möglichst niedrige Netztemperaturen angewendet werden (Low-Ex-Netz),
  - eine Anschlussverpflichtung der Gebäude besteht.
- Der Einsatz eines Brennwert-Kessels + Pelletkessel + Solarthermie in einer Nahwärmenetz-Heizzentrale ist ökonomisch und ökologisch.
- Der Einsatz einer Kombination eines BHKW's mit einer EWP im Nahwärmenetz ermöglicht neben der Wärmeproduktion auch eine Kühlungsmöglichkeit.
- Der Einsatz einer EWP in einem Kaltnetz ist ökonomisch und ökologisch, wenn der Strom mit EE-Quellen erzeugt wird.
- Kaltnetze haben keine Netzverluste, sie sind daher effizient und ökologisch.

**Weiterhin gilt der Grundsatz: Jedes Versorgungsnetz für Niedrigenergiehaus-Siedlungen muss individuell betrachtet werden**

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen des Projektes Roadmap Gas++ (Versorgungsstrategien von Niedrigenergiehäusern in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energienetze) wurden mögliche Versorgungsstrategien für Wärme und elektrische Energie von Niedrigenergiehaus-Siedlungen näher betrachtet. Dabei lag der Fokus auf dem Einfamilienhaus-Sektor im Neubau. Es wurden Analysen zur Nah- und Fernwärme, sowie zur Einzelversorgung der Gebäude, zu Einsatzmöglichkeiten von Gastechnologien und zu möglichen Betriebsweisen der Anlagenkonfigurationen aus Wärme-/ Strombereitstellung mit Speicherung durchgeführt und auch die E-Mobility-Option betrachtet.

Die im Rahmen der Energiewende angestrebte, verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien ermöglicht insbesondere in Neubauten den Einsatz vielfältiger Kombinationsmöglichkeiten von innovativen Effizienztechnologien, die auch in dezentrale Nahwärmenetze integriert werden können. Durch ein intelligentes Zusammenspiel von Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien mit unterschiedlichen Heiztechnologien, Energieumwandlung sowie Kurz- und Langzeit-Speicherung können auch die Sektoren Wärme, Strom, Kälte und Mobilität möglichst energiesparend aufeinander abgestimmt werden. Durch den Einsatz intelligenter prädikativer Regelungen sowohl der verschiedenen Erzeugungsanlagen, als auch von thermischen und elektrischen Speichern kann der Energiebedarf durch die zur Verfügung stehende Energie effizient und ökologisch gedeckt werden. Durch ein intensives Monitoring der Energieflüsse des Stromertrags aus PV, solarthermischer Energieeintrag, Energiegewinn von Wärmepumpen und der Verbräuche sowie elektrisch vernetzte Batteriespeicher kann die Effizienz ebenfalls optimiert werden.

Auf Basis umfangreicher Analysen, Berechnungen und Kostenbetrachtungen wurden im Rahmen des Projektes verschiedene Wärmeversorgungstechnologien für Niedrigenergiehäuser sowie Niedrigenergiehaussiedlungen analysiert und diese im Hinblick auf den Primärenergiebedarf, die Investitionskosten, die Verbrauchs- und Betriebskosten sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet und zusammenfassend dargestellt (s. Abbildung 6-1). Die gewonnenen FuE-Ergebnisse ermöglichten die Formulierung von Kernaussagen zu Versorgungsnetzstrukturen zukünftiger Niedrigenergiehaus-Siedlungen und bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger, die im Kapitel 6 dargestellt wurden.

Im Hinblick auf die Umsetzung des Klimaschutzplanes der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 muss der Gebäudesektor einen entscheidenden Beitrag leisten, um die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren. Auf dem Weg zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand stellen Niedrigenergiegebäude einen Zwischenschritt zum sogenannten Niedrigstenergiehaus dar, dass ab dem Jahr 2021 zum europaweiten Neubaustandard werden soll. Da Niedrigenergiegebäude nur einen geringen Anteil an gesamten Gebäudebestand einnehmen, sind weitere Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasen notwendig. Neben der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand kann auch zukünftig der Einsatz von klimaneutralen Gasen dazu beitragen, dieses Ziel zu erreichen. Im Rahmen der DVGW - Roadmap Gas 2050 soll dazu in den nächsten Jahren ein ganzheitliches, zahlenbasiertes Konzept zur Bereitstellung von klimaneutralen Gasen, zur Nutzung der Gasinfrastruktur für die Integration der Gase und zur Anpassung von Gasverwendungstechnologien entwickelt werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Der dena- Gebäudereport 2016, Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz zum Gebäudebestand,“ Berlin, 11/2016.
- [2] „[www.massive-wohnbau.de/niedrigenergiehaus.html](http://www.massive-wohnbau.de/niedrigenergiehaus.html),“ [Online]. [Zugriff am 27 10 2017].
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), „Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung,“ Berlin, 11/2016.
- [4] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „GEBÄUDESTUDIE - Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor,“ Berlin, 10/2017.
- [5] Prognos/EWI/GWS, „Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Projekt Nr. 57/12, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie,“ Basel/Köln/Osnabrück, 2014.
- [6] Sven Kersten, Energieagentur NRW, „[http://www.energiezentrum-willich.de/downloads/Praxistage/2015-09-25\\_EnEV\\_EZW.pdf](http://www.energiezentrum-willich.de/downloads/Praxistage/2015-09-25_EnEV_EZW.pdf),“ [Online]. [Zugriff am 22 11 2017].
- [7] BDEW, Ingram Täschner, „Aus zwei macht eins - Das neue GEG - Gebäude-Energie-Gesetz,“ Fachtagung "Energie-Umwelt-Zukunft", Fachforum Gas, Leipzig, 2019.
- [8] K.-O. GmbH, „EnEV 2016.,“ [Online]. Available: [www.ks-original.de/sites/default/files/downloads/2016/enev\\_2016\\_gesamt\\_ks-original.pdf](http://www.ks-original.de/sites/default/files/downloads/2016/enev_2016_gesamt_ks-original.pdf). [Zugriff am 18 12 2017].
- [9] D. Walberg, *Die neuen EnEV-Anforderungen 2016 und resultierende Kosten*, Kiel: Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., 2016.
- [10] „[www.effizienzhaus-online.de/energieeffizienzklasse](http://www.effizienzhaus-online.de/energieeffizienzklasse),“ [Online]. [Zugriff am 20 11 2017].
- [11] Passivhaus Institut, „Passipedia - Die Passivhaus-Wissensdatenbank,“ 02 03 2016. [Online]. Available: [https://passipedia.de/passipedia\\_de/zertifizierung/passivhaus-klassen](https://passipedia.de/passipedia_de/zertifizierung/passivhaus-klassen). [Zugriff am 08 05 2018].
- [12] I. W. u. U. GmbH, „Eine Geschichte der Niedrigenergiehäuser bis zum Passivhaus,“ Darmstadt, 1996.
- [13] „<https://de.wikipedia.org/wiki/Energiestandard>,“ 01 Mai 2017. [Online]. [Zugriff am 27 10 2017].

- [14] „<https://blog.paradigma.de/serie-welche-energiehaustypen-gibt-es-derzeit/>,“ [Online]. [Zugriff am 07 11 2017].
- [15] „<http://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/neubau/haustypen/niedrigenergiehaus.html>,“ 04 06 2016. [Online]. [Zugriff am 11 10 2017].
- [16] KfW, „Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2016,“ 2018. [Online]. Available: [www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Monitoringbericht\\_EBS\\_2016.pdf](http://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Monitoringbericht_EBS_2016.pdf). [Zugriff am 06 November 2018].
- [17] P. B. Oschatz, *Das neue Gebäudeenergiegesetz GEG - was der Praktiker jetzt wissen muss*, Vortrag in Stuttgart: ITG - Institut für technische Gebäudeausrüstung in Dresden, 2019.
- [18] [www.energie-experten.org](http://www.energie-experten.org), „Die wichtigsten Heizungsarten im Vergleich,“ 09 05 2015. [Online]. Available: <https://www.energie-experten.org/heizung/heizungstechnik/heizungsarten.html>. [Zugriff am 15 02 2018].
- [19] BDEW, „Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland,“ 2018. [Online]. Available: [https://www.bdew.de/media/documents/Beheizungsstruktur-Wohnungsneubau-Entw-10J\\_quartalsweise-26072018.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Beheizungsstruktur-Wohnungsneubau-Entw-10J_quartalsweise-26072018.pdf). [Zugriff am 06 November 2018].
- [20] J. S. Kukuk, *Innovative Wärmeinfrastrukturen als wichtiger Baustein der Energiewende; Berliner Energietage*, Mai 2018.
- [21] „[www.hottgenroth.de/M/SOFTWARE/EnergieNachweise/Energieberater-Professional](http://www.hottgenroth.de/M/SOFTWARE/EnergieNachweise/Energieberater-Professional),“ [Online]. [Zugriff am 09 11 2017].
- [22] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. , „Anschlusseinrichtungen für Gebäude – Allgemeine Planungsgrundlagen DIN 18012:2018-04,“ Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2018.
- [23] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., *DIN 18015-1:2013-09 Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 1: Planungsgrundlagen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2013.
- [24] Ecofys Germany GmbH, „Standardlastprofile für unterbrechbare, temperaturabhängige Verbrauchseinrichtungen (2),“ Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur, Berlin, Juni 2009.
- [25] Verband kommunaler Unternehmen, „Vom Mieterstrom zur Quartiersversorgung. (Broschüre),“ VKU Verlag GmbH, Juni 2018.
- [26] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *[Fernwärmeanlagen Teil 1: Sicherheitstechnische Ausrüstung von Unterstationen, Hausstationen und Hausanlagen zum Anschluss an Heizwasser-Fernwärmenetze. DIN 4747-1:2003-11 und DIN 4747-1 Ber 1:2009-09]*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2003.

- [27] PEWO Energietechnik GmbH, „Hausanschlussstationen für Fernwärme und Nahwärme,“ [Online]. Available: <https://www.pewo.com/produkte/uebergabestationen/eco/>. [Zugriff am 12 Juli 2018].
- [28] B. Winiewska und B. Oschatz, „EnEV-Verschärfung – Was ändert sich für die Anlagentechnik?,“ *gwf-Gas + Energie*, Nr. 6/2016, pp. 458 - 469.
- [29] ENERGIEAGENTUR Rheinland-Pfalz, „Praxisleitfaden Nahwärme. I.1 Grundlagenwissen Nahwärmenetze,“ Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH, Kaiserslautern, 10/2016.
- [30] haustec.de, „Heizung zentral oder dezentral: Was rechnet sich wann?,“ [Online]. Available: <https://www.haustec.de/heizung/waermeerzeugung/heizung-zentral-oder-dezentral-was-rechnet-sich-wann>. [Zugriff am 01 08 2018].
- [31] BDEW, „[www.bdew.de/media/documents/Stn\\_20170615\\_Strategiepapier-Zukunft-Waermenetzsysteme.pdf](http://www.bdew.de/media/documents/Stn_20170615_Strategiepapier-Zukunft-Waermenetzsysteme.pdf),“ 15 06 2017. [Online]. [Zugriff am 23 07 2018].
- [32] adelphi, „[www.adelphi.de/en/system/files/mediathek/bilder/Waermenetze 4.0 im Kontext der Waermewende - adelphi.pdf](http://www.adelphi.de/en/system/files/mediathek/bilder/Waermenetze_4.0_im_Kontext_der_Waermewende_-_adelphi.pdf),“ [Online]. [Zugriff am 23 07 2018].
- [33] P. T. Giel, *Kalte Nahwärme - ein interessanter Lösungsansatz für Neubaugebiete: Heizen und Kühlen mit oberflächennaher Geothermie*, Hochschule Mainz, August 2016.
- [34] B. W. (. e.V., *Siedlungsprojekte und Quartierslösungen mit Wärmepumpe*, Berlin: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., September 2017.
- [35] ASUE, „Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0,“ 2017. [Online]. Available: [www.asue.de/node/2417](http://www.asue.de/node/2417). [Zugriff am 25 07 2018].
- [36] M. Berteld, *Key Account Manager Wärmetechnik, Großprojekte und Anlagenbau, Fa. GC KAM, Gütersloh*.
- [37] GmbH, Energieagentur Berghamer und Penzkofer Effizienzberatung.
- [38] M. Maier, „Großwärmespeicher: Zentraler Baustein einer flexiblen Strom- und Wärmeversorgung,“ Agentur für erneuerbare Energien, Berlin, 2017.
- [39] D. Mangold, „<https://www.saisonalspeicher.de>, Solites, Steinbeis Institut, Stuttgart,“ [Online]. [Zugriff am 26 11 2018].
- [40] D. Mangold, M. Benner und T. Schmidt, „Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme,“ in *BINE-Profiinfo I/01*, Bonn, ISBN 1436-2066, 2001.
- [41] M. N. F. M. Bodmann, „Solarthermische Langzeit-Wärmespeicherung,“ Institut für Gebäudetechnik, TU Braunschweig.

- [42] M. Benner, M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab und T. Schmidt, „Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeitspeicher,“ ISBN-Nr. 3-9805274-2-5, Stuttgart, 1998-2003.
- [43] D. Bauer, W. Heidemann, R. Marx, J. Nußbicker-Lux, F. Ochs, V. Panthaloökaran und S. Raab, „Solar unterstützte Nahwärme und Langzeitspeicher,“ ITW, Universität Stuttgart, 2005-2008.
- [44] „<https://www.viessmann.com>,“ [Online]. [Zugriff am 09 11 2018].
- [45] S. K. K. Kerl, *Kalte Nahwärmesysteme am Beispiel der Stadtwerke Langenfeld GmbH*, Allendorf: Innovations-Forum, 2017.
- [46] M. Rotherth, *von PV-Speichersystemen bis zum 100 % Inselssystem*, SMA Solar Technology AG, 2016.
- [47] J. Benthin, *Strukturorientierte Netzmodellierung auf Quartiersebene „Integranet“*, Leipzig: Energieforum, 2018.
- [48] D. K. U. E. e. a. D. Pietruschka, *Energetischer Stadtumbau, Energieleitplanung und Wärmenetze für neue Nachbarschaften in Ludwigsburg Grünbühl-Sonnenberg*, Bonn: Begleitforschung EnEff: Stadt, Hochschule für Technik Stuttgart, 2016.
- [49] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, „[www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Fragen-zur-Elektromobilitaet.pdf](http://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Fragen-zur-Elektromobilitaet.pdf),“ Juli 2018. [Online]. [Zugriff am 14 Januar 2019].
- [50] „[www.innogy-emobility.com](http://www.innogy-emobility.com),“ [Online]. [Zugriff am 08 Januar 2019].
- [51] F. Schnellhardt, Innoman GmbH, *Praxisbeispiel für gesteuertes privates Laden*, Kassel, 2017.
- [52] D. S. (. D. M. W. (. Dr. Bertram Harendt (DDI), „Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW), Ergebnisrapier Nr. 30,“ Deutsches Dialog Institut GmbH, Frankfurt am Main, 2017.
- [53] P. M. N. Fisch, *Auf dem Weg zum klimaneutralen Stadtquartier, Energiewende 4.0*, Braunschweig: Institut für Gebäude und Solartechnik, TU Braunschweig, 2016.
- [54] BDEW, „Energie aus nachwachsenden Rohstoffen,“ 2015. [Online]. Available: [https://www.ewb.aov.de/files/EWB/Download\\_Bereich\\_Homepage/Energie\\_und\\_Zukunft/Infoblatt\\_BioErdgas\\_PowerToGas\\_Hybridheizung.pdf](https://www.ewb.aov.de/files/EWB/Download_Bereich_Homepage/Energie_und_Zukunft/Infoblatt_BioErdgas_PowerToGas_Hybridheizung.pdf). [Zugriff am 16 08 2017].
- [55] Deutsche Energie-Agentur (dena), „Leitfaden Biomethan BHKW - direkt,“ Berlin, 2013.
- [56] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), „FNR - Mediathek,“ 2018. [Online]. Available: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und->

- fakten/bioenergie/biogas/anlagen-zur-biomethan-produktion.html. [Zugriff am 10 01 2019].
- [57] "Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)", „Vermarktung von Biomethan,“ 2018. [Online]. Available: <https://basisdaten.fnr.de/bioenergie/biogas/>. [Zugriff am 20 12 2018].
- [58] Deutsche Energie-Agentur (dena), „biogaspartner – gemeinsam einspeisen.,“ Berlin, 08/2016.
- [59] „Ökostrom-Zertifikate und Gütesiegel: Was ist wirklich öko?,“ [Online]. Available: <https://www.strom-magazin.de/info/oekostrom-zertifikate-guetesiegel/>. [Zugriff am 17 01 2019].
- [60] Klimaköner GmbH, „Einsatz von Biogas in der EnEV, dem EEWärmeG und bei der KfW,“ [Online]. Available: <https://www.klimakoenner.de/blog/biogas-in-waermegesetzen>. [Zugriff am 24 08 2018].
- [61] top agrar online, „Bioenergiebranche fordert Klima-Abgabe auf fossile Brennstoffe,“ Landwirtschaftsverlag GmbH, [Online]. Available: <https://www.topagrar.com/energie/news/bioenergiebranche-fordert-klima-abgabe-auf-fossile-brennstoffe-9478812.html>. [Zugriff am 30 01 2019].
- [62] Stadtwerke Schifferstadt, „Kundenzeitschrift der Stadtwerke Schifferstadt 01/2016,“ [Online]. Available: <https://www.sw-schifferstadt.de/de/Ueber-uns/Kundenzeitschrift/Kundenzeitschrift/VOR.ORT-1-2016.pdf>. [Zugriff am 05 09 2018].
- [63] „www.buerger-energie-fischerbach.de/de/bKWN/Karl-May-Weg-II%2BIII,“ Bürger-Energie Fischerbach eG. [Online]. [Zugriff am 05 Dezember 2018].
- [64] Süwag Grüne Energie und Wasser GmbH, Jürgen Herkert, *Quartierkraftwerk, die Energiewende in Kelsterbach*, 2017.
- [65] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), „Ein Stromnetz für die Energiewende,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html>. [Zugriff am 25 01 2019].
- [66] Agora Energiewende, „The Big Picture,“ 2017. [Online]. Available: [https://www.agora-energiawende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Big\\_Picture/Agora\\_Big-Picture\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiawende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Big_Picture/Agora_Big-Picture_WEB.pdf).
- [67] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), „Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030.,“ Berlin, 2012.
- [68] C. Rehtanz, „Flexible und dynamische Entwicklung der Energiesysteme und Märkte,“ Oberhausen, 8. November 2018.

- [69] DVGW, „Sektorenkopplung – Synergien sinnvoll nutzen,“ [Online]. Available: <https://www.dvgw.de/themen/gas-und-energie/wende/sectorenkopplung/>. [Zugriff am 18 03 2019].
- [70] J. Linßen, „Standpunkt „Elektromobilität“,“ *et - Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Nr. 3, pp. 33-34, 2015.
- [71] FGH e.V., „Metastudie Forschungsüberblick,“ Aachen, 2018.
- [72] S. Ehlerding und H. Janßen, „Die Energiewende - Ein Baustein der Transformation,“ Netzwerk Weitblick e.V., Berlin, 2018.
- [73] V. AG, „Gasinfrastruktur,“ 2019. [Online]. Available: <https://vng.de/de/erdgas-kann-mehr-wir-auch/gasinfrastruktur>. [Zugriff am 18 03 2019].
- [74] Bundesnetzagentur 2018, „Marktdaten visualisieren,“ [Online]. Available: Quelle: <https://www.smard.de/home>. [Zugriff am 20 2 2019].
- [75] B. Burger, „Energy Charts,“ [Online]. Available: <https://www.energy-charts.de>. [Zugriff am 19 03 2019].
- [76] B. Burger, „Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014,“ Freiburg, 2015.
- [77] Christian Münch GmbH, „Globalstrahlung in Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.solarthermie.net/wissen/globalstrahlung-deutschland>. [Zugriff am 19 02 2019].
- [78] EnergieAgentur.NRW GmbH, [Online]. Available: <https://www.energieagentur.nrw/mediathek/Grafik>. [Zugriff am 19 02 2019].
- [79] M. Schaede und M. Großklos, „Mehrfamilienhäuser als Passivhäuser mit Energiegewinn (PH+E),“ Darmstadt, 2014.
- [80] W. E. v. B. J. W. A. H. B. Gährs S., „Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems,“ Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin, 2015.
- [81] H. Krause, „Passivhaus-Haustechnik, Heizung und Lüftung,“ Hochschule Rosenheim - Ingenieurbüro B.Tec, Rosenheim, 2008.
- [82] Mahler, B., Nusser, T., Idler, S.: EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH, „*Ökonomische Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards*“, April 2016.
- [83] U. Schäfer, „Machbarkeitsstudie Nahwärme Baugebiet Nordstadt-Kurzgewann in Ladenburg,“ ibs Energie, Stromberg/Hunsrück, 2018.

- [84] F. Zuber und D. M. A. G. A. Jens Vollprecht, Vom Mieterstrom zur Quartiersversorgung, Berlin : Verband kommunaler Unternehmen e.V., (VKU), Juni 2018.
- [85] P. GmbH, „[https://www.polarstern-energie.de/fileadmin/files/mieterstrom/PDF\\_Mieterstrom\\_2018.pdf](https://www.polarstern-energie.de/fileadmin/files/mieterstrom/PDF_Mieterstrom_2018.pdf),“ [Online]. [Zugriff am 23 01 2019].
- [86] W. Hube, „Prädikative Wärmeflußregelung solaroptimierter Gebäude mit neuartigen Verschattungs- und Speichersystemen,“ Freiburg, 2004.
- [87] M. Morari, „Prädiktive Regelung für Gebäude Simulation und Praxis. Das OptiControl Projekt,“ Institut für Automatik, ETH Zürich, Zürich, 2012.
- [88] D. E.-A. GmbH, dena-GEBÄUDEREPORT - Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2016.
- [89] S. E. S. GmbH, „[www.saena.de/download/Broschueren/BB\\_Bauen\\_und\\_Sanieren\\_nach\\_der\\_EnEV2014.pdf](http://www.saena.de/download/Broschueren/BB_Bauen_und_Sanieren_nach_der_EnEV2014.pdf),“ 03 2016. [Online]. [Zugriff am 23 01 2018].
- [90] Bundesinstitut für Bau Stadt- und Raumforschung, „[bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Archiv/EnEG/eneg\\_node.html](http://bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Archiv/EnEG/eneg_node.html),“ 2013. [Online]. [Zugriff am 08 11 2017].
- [91] „Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG),“ Bundesregierung, Berlin, 1976.
- [92] Zukunft ERDGAS e.V., „Ihr Weg zum Hausanschluss,“ [Online]. Available: <https://www.erdgas.info/energie/erdgas-im-haushalt/gas-hausanschluss>. [Zugriff am 12 Juli 2017].
- [93] ASUE - ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., „Ratgeber Wärmeversorgung,“ [www.energiedruck.de](http://www.energiedruck.de), Berlin, 2011.
- [94] R. Mnich, *Quartiersversorgung in Verbindung mit kalten Nahwärmenetzen*, BWP Wärmetagung, September 2017.
- [95] T. & Becker, *Wärmegewinnung aus Abwasser - Wärmeangebote*, 2012.
- [96] T. Krause, *Multivalente Quartiersversorgung*, Viessmann.com, Kassel, November 2017.
- [97] D. S. P. Elsner, *Energiespeicher*, Schriftenreihe: Energiesysteme der Zukunft, 2015.

- [98] ABB, „Smart Grid – Das Netz wird intelligent,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/77a7e74be1ea8904c12577050030ab14.aspx>. [Zugriff am 25 03 2019].

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Endenergieverbrauch privater Haushalte nach Anwendungsbereichen, 2011 – 2050 [5] .....	3
Abbildung 2-2: Auswirkung politischer Rahmenbedingungen auf den zulässigen Heizenergiebedarf im Neubau [6] .....	4
Abbildung 2-3: Anforderungen an den Primärenergiebedarf und die spezifischen Transmissionswärmeverluste für verschiedene Gebäudestandards .....	5
Abbildung 2-4: Schematische Darstellung von Einflussgrößen auf die Bilanzierung des Primärenergiebedarfs [8] .....	6
Abbildung 2-5: Bilanzierung des Primärenergiebedarfs eines Wohngebäudes .....	8
Abbildung 2-6: Primärenergiefaktoren verschiedener Energieträger .....	8
Abbildung 2-7: Anforderungen an den Primärenergiebedarf und den Transmissionswärmeverlust für verschiedene Gebäudestandards [9] .....	10
Abbildung 2-8: Energieeffizienzklassen in Energieausweisen für Wohngebäude ab Mai 2014 [10] .....	10
Abbildung 2-9: Durchschnittlicher Energieverbrauch von verschiedenen EnEV-Anforderungen und Effizienzhaus-Standards [9] .....	11
Abbildung 2-10: Flächenbezogener Endenergiebedarf in Wohngebäuden [1] .....	11
Abbildung 2-11: Primärenergiebedarfskennwerte verschiedener Gebäudestandards [11] ....	12
Abbildung 2-12: Neue Differenzierung der Passivhausklassen [11] .....	12
Abbildung 2-13: Heizwärmebedarf verschiedener Niedrigenergiehaustypen im Neubau [15] .....	14
Abbildung 2-14: Prozentualer Anteil der im Neubau eingesetzten Beheizungssysteme, [19]	19
Abbildung 2-15: Wirksamkeit von Primärenergieeinsparmaßnahmen [20] .....	22
Abbildung 2-16: Gebäudetypen in Deutschland und ihr Anteil am Endenergieverbrauch in Gebäuden, [1] .....	23
Abbildung 2-17: Anforderungen an das Referenzgebäude der EnEV 2014 und an ein Gebäude mit verbessertem Wärmeschutz, [8] und GWI .....	25
Abbildung 2-18: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit Abluftanlage und verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI .....	26
Abbildung 2-19: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH, mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI .....	27
Abbildung 2-20: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI .....	28
Abbildung 2-21: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH, mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI	29
Abbildung 2-22: Jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI .....	30
Abbildung 2-23: Jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen eines EFH, mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599, Quelle GWI	30
Abbildung 2-24: Modell einer Niedrigenergiehaussiedlung, Quelle GWI .....	31
Abbildung 2-25: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO <sub>2</sub> -Emissionen einer NEH-Siedlung mit BWK mit verschiedenen Lüftungs- und Kühlanlagen, Wärmeerzeuger innerhalb/außerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt, Quelle GWI .....	32
Abbildung 2-26: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO <sub>2</sub> -Emissionen einer NEH-Siedlung mit verschiedenen Beheizungstechnologien und mit Abluft- und	

Lüftungsanlagen mit WRG, Wärmeerzeuger innerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt, Quelle GWI .....	33
Abbildung 2-27: Jahres-Energiebedarf einer mit Abluftanlagen ausgestatteten NEH-Siedlung Gegenüberstellung mit und ohne Kühlung, Wärmeerzeuger innerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt, Quelle GWI.....	34
Abbildung 3-1: Tageslastprofil für Wärmepumpen (Beispiel eines Verteilnetzbetreibers) [24] .....	37
Abbildung 3-2: Beispielhafte Darstellung für das deutsche Stromnetz [25] .....	37
Abbildung 3-3: Innenansicht (links) und beispielhaftes Anschlussschema (rechts) einer Hausanschlussstation [27].....	38
Abbildung 3-4: Energieträgerverteilung heutiger Wärmenetze [31] .....	42
Abbildung 3-5: Beispiel für ein warmes (links) und ein kaltes (rechts) Nahwärmenetz [33] ...	43
Abbildung 3-6: Energieträger und Technologien für Nahwärmenetze .....	45
Abbildung 3-7: Wärmenetzsystem 4.0 [35] .....	46
Abbildung 3-8: Wärmeversorgung einer EFH-Siedlung durch ein dezentrales klassisches Nahwärmenetz [36] .....	47
Abbildung 3-9: Funktionsschema einer Wärmeübergabe im Gebäude [37] .....	47
Abbildung 3-10: Warmes Nahwärmenetz mit BHKW, Absorptionswärmepumpe, Wärmespeicher und Abwasserabwärmenutzung [20] .....	48
Abbildung 3-11: Kaltes Nahwärmenetz mit BHKW, Gaswärmepumpen, Eisspeicher und Abwasserabwärmenutzung [20] .....	49
Abbildung 3-12: Bauarten von saisonalen Wärmespeichern [39].....	51
Abbildung 3-13: Heißwasser-Wärmespeicher [39].....	52
Abbildung 3-14: Anlagenschema einer Solar-Siedlung mit Kies-Wasser-Wärmespeicher [41] .....	53
Abbildung 3-15: Anlagenschema einer solaren Nahwärmeversorgung mit Erdsonden- Wärmespeicher [42] .....	54
Abbildung 3-16: Hydraulikschema der solaren Nahwärmeversorgung in Rostock mit Aquifer- Speicher [43] .....	55
Abbildung 3-17: Eisspeicher –Viessmann Vitofriocal für EFH – 12 m <sup>3</sup> [44] .....	56
Abbildung 3-18: Kaltes Nahwärmesystem mit Eisspeicher und dezentrale Solar-Absorber [45].....	57
Abbildung 3-19: Kaltes Nahwärmesystem mit Eisspeicher und zentraler regenerativer Energiequelle [45] .....	57
Abbildung 3-20: Technische Daten verschiedener elektrochemischer Speicher [46] .....	58
Abbildung 3-21: Kopplungsmöglichkeiten der Energiesektoren, Darstellung GWI .....	59
Abbildung 3-22: Kopplung der Erzeugersysteme [47].....	59
Abbildung 3-23: Klassischer Nahwärmehausanschluss [48].....	60
Abbildung 3-24: Mitteltemperatur-Nahwärmenetz mit Anschluss über Pufferspeicher [48] ...	61
Abbildung 3-25: Hausübergabestation des Mitteltemperaturnetzes (links) und des kalten Nahwärmenetzes (rechts) [48].....	61
Abbildung 3-26: Typisches Haushaltsstromlastprofil eines Wintertages (VDEW).....	63
Abbildung 3-27: Leistungsmerkmale eines Homechargers [51] .....	63
Abbildung 3-28: Energiemanagement für den Nutzer im Aktiv-Stadthaus Frankfurt [53].....	64
Abbildung 3-29: Vernetzung von Quartier und Mobilität [53].....	66
Abbildung 3-30: Erzeugung von Biogas und Bio-Erdgas, [54].....	66
Abbildung 3-31: Bilanzierung von Bio-Erdgas [55].....	67
Abbildung 3-32: Anlagen zur Erzeugung von Bioerdgas in Deutschland [56].....	68
Abbildung 3-33: Vermarktung von Bio-Erdgas 2015 [57] .....	68

Abbildung 4-1: Technische Umsetzung und Kenndaten des Quartierkraftwerk Kelsterbach der Süwag Grüne Energien und Wasser GmbH [64] .....	73
Abbildung 4-2: Erzeugung, Verbrauch, Auswirkung des Stromspeichers auf den Strombezug an einem Wintertag [64] .....	74
Abbildung 4-3: Deckungsbeitrag am Stromverbrauch in Kelsterbach von 2014 – 2017 [64] .....	75
Abbildung 4-4: Stromlastprofile von Verbrauch und Erzeugung durch PV und BHKW [64] .....	76
Abbildung 4-5: Flexible und dynamische Entwicklung der Energiesysteme und Märkte [68] .....	77
Abbildung 4-6: Investitionsbedarf in deutsche Stromverteilnetze bis 2030 [67] .....	78
Abbildung 4-7: Synergieeffekte durch Kopplung von Gas- und Stromnetz [69] .....	79
Abbildung 4-8: Kapazitäten von verschiedenen Energiespeichern, logarithmische Darstellung [72] .....	81
Abbildung 4-9: Strommarktdaten im Zeitraum 10. – 19.02.2019 [74] .....	82
Abbildung 4-10: Monatliche Stromerzeugung aus Wind, PV und Konventionell (> 100 MW) in Deutschland im Jahr 2018 [75] .....	82
Abbildung 4-11: Tägliche Stromerzeugung aus Wind und PV in Deutschland im Jahr 2014 [76] .....	83
Abbildung 4-12: Monatsmittel der Tagesgänge der Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2014 [76] .....	84
Abbildung 4-13: PV-Erzeugerprofil mit Eigenverbrauch [78] .....	84
Abbildung 4-14: Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Stromspeicher [78] .....	85
Abbildung 4-15: Optimierung der Netzeinspeisung [78] .....	86
Abbildung 4-16: Typisches Lastprofil (Elektroenergie) von Haushalten .....	86
Abbildung 4-17: Ganzheitliches Effizienzkonzept und regenerative Energien führen zum Passivhaus mit Energiegewinn [79] .....	87
Abbildung 4-18: Grundprinzipien für den Bau von Passivhäusern .....	88
Abbildung 4-19: Simulierte Heizkurve im Niedrigenergiehaus [80] .....	88
Abbildung 4-20: Warmwasser-Bedarfsprofil mit Urlaubsunterbrechungen [80] .....	89
Abbildung 4-21: Typische Energiebilanz eines Passivhauses in Süddeutschland .....	90
Abbildung 4-22: Haushaltsstrombedarf eines 2-Personen-Haushalts bei Nutzung von Standardgeräten (links) und mit effizienten Geräten (rechts) [79] .....	90
Abbildung 5-1: Randbedingungen der EFH-Effizienzstandards [82] .....	91
Abbildung 5-2: EFH-Varianten: Energiestandards und Investitionskosten, nach [82] .....	93
Abbildung 5-3: Investitionskosten eines EFH bei unterschiedlichen Energiestandards [82] .....	94
Abbildung 5-4: Jahresgesamtkosten (brutto) eines EFH [82] .....	95
Abbildung 5-5: Übersicht Heiztechnologien und deren Energiestandards, Quelle GWI .....	96
Abbildung 5-6: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO <sub>2</sub> -Emissionen von Heiztechnologien im EFH-Neubau, Quelle GWI .....	97
Abbildung 5-7: Jahresgesamtkosten von Heiztechnologien im EFH-Neubau, Quelle GWI .....	98
Abbildung 5-8: Investitionskosten für Heiztechnologien im EFH-Neubau, Quelle GWI .....	99
Abbildung 5-9: Vergleich des Gesamtkostentrends (Barwertmethode) für ein EFH (Neubau) bezogen auf 15 Jahre, Quelle GWI .....	101
Abbildung 5-10: Vergleich des Gesamtkostentrends (Barwertmethode) für ein EFH (Neubau) bezogen auf 30 Jahre, Quelle GWI .....	101
Abbildung 5-11: Ökonomischer und Ökologischer Vergleich verschiedener Heiztechnologien für ein EFH (Neubau) bezogen auf 15 Jahre, Quelle GWI .....	102
Abbildung 5-12: Ökonomischer und Ökologischer Vergleich verschiedener Heiztechnologien für ein EFH (Neubau) bezogen auf 30 Jahre, Quelle GWI .....	102
Abbildung 5-13: Geförderter Mieterstrom nach EEG 2017 und andere Mieterstrommodelle [84] .....	104

Abbildung 5-14: Stromtarife von Lokalstrom und Netzstrom (links), Vergütung für KWK-Strom (rechts) [85].....	104
Abbildung 5-15: : Verwendung von Prognosen für eine optimale Gebäudeklimaregelung [87] .....	108
Abbildung 6-1: Wärmeversorgungs-Technologien im Einfamilienhaus (Neubau), Quelle GWI .....	109
Abbildung 8-1: Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2016, Quelle: AG Energiebilanzen (AGEB) [25] .....	128
Abbildung 8-2: Endenergiebezogener Gebäudeenergieverbrauch nach Anwendungsbereich im Jahr 2015 [88].....	129
Abbildung 8-3: Endenergieverbrauch privater Haushalte nach Energieträgern 2011 – 2050 [5].....	130
Abbildung 8-4: Entwicklung der Energieeinsparungs-Gesetzgebung in Deutschland [89]... 130	
Abbildung 8-5: KfW-Förderbedingungen für Energieeffizientes Bauen (Programm 153).....	135
Abbildung 8-6: Änderungen der KfW-Förderbedingungen für Energieeffizientes Bauen (153) seit dem 01.04.2016.....	136
Abbildung 8-7: Höchstwerte des Transmissionswärmeverlusts, Tabelle 2 der EnEV 2016 .136	
Abbildung 8-8: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10, Quelle GWI.....	137
Abbildung 8-9: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI.....	138
Abbildung 8-10: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI .....	138
Abbildung 8-11: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI.....	139
Abbildung 8-12: Jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI .....	139
Abbildung 8-13: Jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen eines EFH mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI.....	140
Abbildung 8-14: Jährlicher PE-Bedarf eines Reiheneckhauses, Neubau, mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI .....	141
Abbildung 8-15: Jährlicher PE-Bedarf eines Reihenmittelhauses, Neubau, mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI .....	141
Abbildung 8-16: Jährlicher Primärenergiebedarf eines EFH, Reiheneckhaus, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI.....	142
Abbildung 8-17: Jährlicher Primärenergiebedarf eines EFH, Reihenmittelhaus, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI.....	143
Abbildung 8-18: Erforderliche Vertragsabschlüsse zur Anbindung eines Gebäudes an die Gasversorgung [92].....	143
Abbildung 8-19: Bemessungsgrundlage für Hauptleitungen in Wohngebäuden ohne Elektroheizung [23].....	144
Abbildung 8-20: Dezentrale Wärmeversorgungssysteme [93] .....	145
Abbildung 8-21: Zentrale Wärmeversorgungssysteme (Anbindung an Nah- / Fernwärmenetz) [93].....	146
Abbildung 8-22: Wärmebedarfsdichte als Funktion der spez. Verlustleistung von Nahwärmeleitungen .....	147

Abbildung 8-23: Kaltes Nahwärmenetz mit BHKW, Elektrowärmepumpen, Eisspeicher und Geothermie [20] .....	148
Abbildung 8-24: Anschluss an ein kaltes Nahwärmenetz mit dezentraler Elektrowärmepumpe und PV [94] .....	148
Abbildung 8-25: Anschluss an ein kaltes Nahwärmenetz mit zentraler Elektrowärmepumpe, Pufferspeicher und PV [94].....	149
Abbildung 8-26: Schema einer Kaltnetz-Wärmeversorgung, Neubau – TWE über Solarthermie.....	149
Abbildung 8-27: Schema einer Kaltnetz-Wärmeversorgung, Neubau – TWE über WP.....	150
Abbildung 8-28: Schema einer Kaltnetz-Wärmeversorgung, Neubau – TWE über Frischwasserstation mit Durchlauferhitzer .....	150
Abbildung 8-29: Funktionsprinzip der Abwassernutzung [95] .....	151
Abbildung 8-30: Beispiele und Daten von Langzeit-Wärmespeichern [40].....	152
Abbildung 8-31: Bewertung unterschiedlicher Speichertechnologien.....	152
Abbildung 8-32: Kaltes Nahwärmenetz mit zentralem Eisspeicher und dezentralen WP und PV [96] .....	153
Abbildung 8-33: Qualität der Gebäudehülle in Abhängigkeit von Energieeffizienzstandards, [82].....	155
Abbildung 8-34: links: Zusammensetzung des Gaspreises 2018, rechts: Strompreiszusammensetzung 2018 [BDEW 2018].....	155
Abbildung 8-35: Kosten für Photovoltaikanlagen verschiedener Anlagengrößen .....	156
Abbildung 8-36: Investitionskosten von Anlagenvarianten inklusive Kosten für zusätzliche bauliche oder anlagentechnische Maßnahmen im Neubau von EFH [28].....	157
Abbildung 8-37: Jahresgesamtkosten von Anlagenvarianten unter Berücksichtigung der baulichen Zusatzmaßnahmen zur Einhaltung der EnEV 2016 [28].....	157
Abbildung 8-38: Betriebs- und Randbedingungen für die Heizung- und Warmwasser-Versorgung des Quartiers in Ladenburg, [83].....	158
Abbildung 8-39: Jahreslastgang des Quartiers in Ladenburg, [83].....	158
Abbildung 8-40: Technische Daten der Technologien des Quartiers in Ladenburg, [83].....	159
Abbildung 8-41: Kosten der angewendeten Technologien des Quartiers in Ladenburg, [83] .....	159
Abbildung 8-42: Investitionskosten der Technologien im Quartier in Ladenburg, [83].....	160
Abbildung 8-43: Jahresgesamtkosten der Technologien im Quartier in Ladenburg, [83].....	160
Abbildung 8-44: Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Technologien im Quartier in Ladenburg [83] .....	161
Abbildung 8-45: Spez. Wärmekosten nach Anschlussdichten im Quartier in Ladenburg [83] .....	161
Abbildung 8-46: Mieterstrom-Konzept .....	162
Abbildung 8-47: Erläuterungen verschiedener Contracting-Formen .....	163
Abbildung 8-48: Auszüge aus dem Energiedienstleistungsgesetz .....	164
Abbildung 8-49: Contracting-Konzept für ein Nahwärmenetz.....	164
Abbildung 8-50: Smart Grid – Das Netz wird intelligent. [98].....	165

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht der in die Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder .....	3
Tabelle 2-2: Typische Energiebedarfe (Wärme, Elektroenergie) von Effizienzhäusern [18] ..	16
Tabelle 2-3: Wärmeschutzmaßnahmen der Gebäudehülle für verschiedene Neubaustandards [16] .....	18
Tabelle 2-4: Vergleich der Wärmeversorgungsstruktur verschiedener EH-Standards [16] .....	20
Tabelle 2-5: Gebräuchlichste Heizsysteme im Neubau [18] .....	20
Tabelle 2-6: Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren, [8] .....	24
Tabelle 3-1: Technische Daten von saisonalen Wärmespeichern [40] .....	52
Tabelle 5-1: Kostengruppen nach DIN 276 .....	91
Tabelle 5-2: Kosten der Energieträger .....	98
Tabelle 5-3: Modelle zur Stromnutzung .....	105
Tabelle 8-1: Stärken und Schwächen von Blei-Säure-Batterien [97] .....	153
Tabelle 8-2: Stärken und Schwächen von Lithium-Ionen-Batterien [97] .....	154

# Anhang

## Ergänzungen zu AP 1: Analysen zu Energiebedarfen von NEH

Aktueller Bezug zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung, Erläuterungen der Szenarien und Energieverbräuche

- Szenario I: „Referenz“ (RF)

Dieses Szenario schreibt aktuelle Entwicklungen im Gebäudesektor bis zum Jahr 2050 fort. Die Entwicklung der Beheizungsstruktur erfolgt weitestgehend wie in den letzten Jahren, d.h. der Austausch alter und ineffizienter Heizungen im Gebäudebestand durch effiziente Systeme wird nicht beschleunigt und die Nutzung von erneuerbaren Energien steigt nur geringfügig. Sanierungsrate und -tiefe verbleiben auf einem niedrigen Niveau. In der Modellierung wird kein Ziel zur THG-Minderung vorgegeben. Das Szenario dient als Vergleichswert für die Szenarios EL und TM. Die Klimaziele werden nicht erreicht.

- Szenario II: „Elektrifizierung“ (EL)

Die Zielstellung soll durch weitgehende Elektrifizierung der Gebäudebeheizung und Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere im Strombereich erreicht werden. Es werden 2 Teilszenarien betrachtet, die eine Zielerreichung von 80 % („EL80“) bzw. 95 % („EL95“) Treibhausgasreduktion untersuchen. Im Szenario wird von der überwiegenden Verwendung von Elektrowärmepumpen zur Gebäudebeheizung ausgegangen, die eine sehr starke Zunahme der Stromnachfrage im Gebäudesektor und einen damit verbundenen deutlich höheren Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung gegenüber dem Referenz-Szenario zur Folge hätte. Die Klimaziele 80 % und 95 % („EL80“ und „EL95“) werden erreicht.

- Szenario III: „Technologiemix“ (TM)

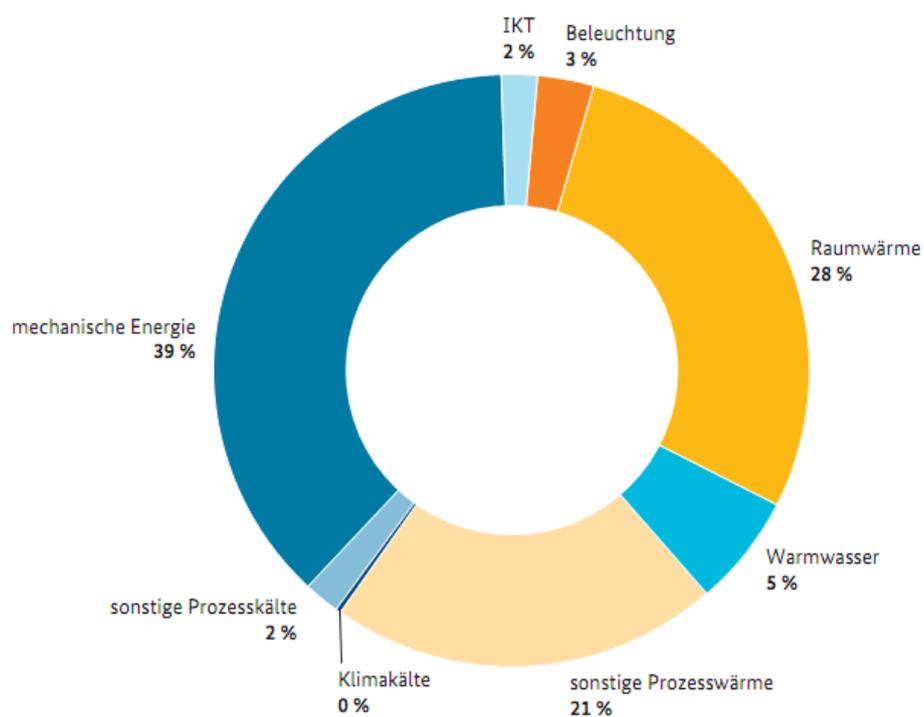
Die Treibhausgasreduktion soll durch den Einsatz verschiedenster Technologien realisiert werden. Es werden ebenfalls in 2 Teilszenarien mit einer Zielerreichung von 80 % („TM80“) bzw. 95 % („TM95“) Treibhausgasreduktion formuliert. Diese soll durch die Nutzung von erneuerbarem Strom und den Einsatz synthetischer Brennstoffe auf Basis erneuerbarer Energien in bestehenden Verbrennungstechnologien erfolgen, wodurch diese klimaneutral betrieben werden können. Die Klimaziele 80 % und 95 % werden erreicht („TM80“ und „TM95“).

Im Rahmen der Gebäudestudie wurde eine ökonomische Analyse des Gebäudesektors durchgeführt. Diese basiert auf dem Zusammenwirken von Gebäudehülle, Anlagentechnik und der Umstellung der Energieerzeugung. Um den bis zum Jahr 2050 angestrebten klimaneutralen Gebäudebestand erreichen zu können, sind auch nach 2030 vielfältige Maßnahmen erforderlich. Das betrifft einerseits die Umsetzung anspruchsvoller Neubaustandards, für die ab 2021 der geltende Niedrigstenergie-Gebäudestandard schrittweise weiterentwickelt wird. Des Weiteren sind langfristige Sanierungsstrategien, wie Energieeffizienzmaßnahmen und eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudebestand notwendig, um dem Anspruch eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands zu genügen. Die energetischen Anforderun-

gen an Bestandsgebäude sollen schrittweise bis 2030 in wirtschaftlicher Weise weiterentwickelt werden. Ein dritter Ansatzpunkt wird die schrittweise Ablösung der fossilen Heizungssysteme sein, um mittelfristig einen nahezu klimaneutralen Neubaustandard erreichen zu können.

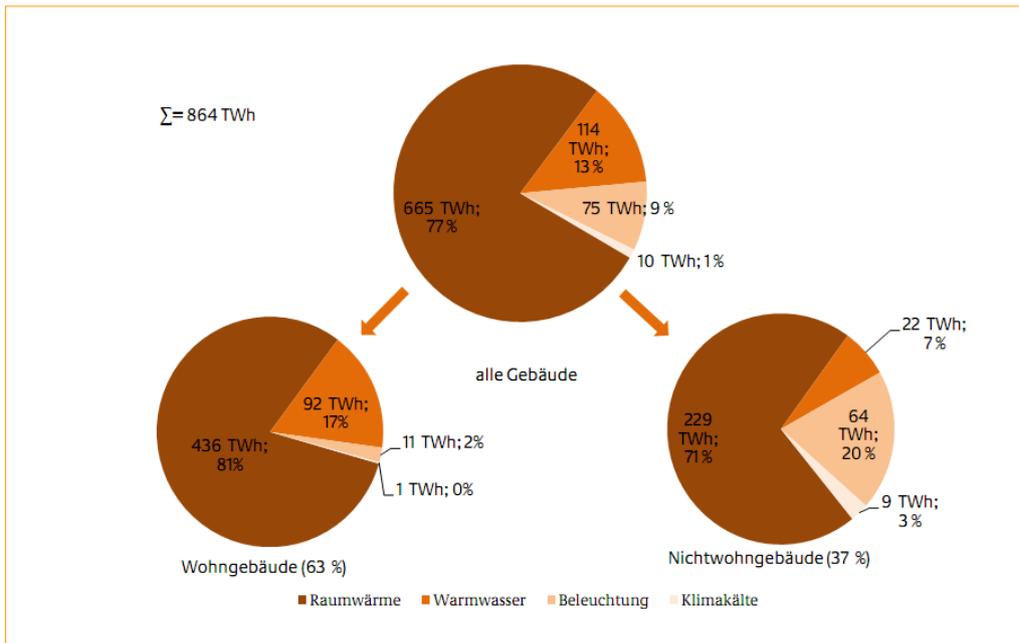
Der Analyse typischer Energiebedarfe von Niedrigenergiegebäuden werden zunächst derzeitige Energieverbräuche des gesamten Gebäudesektors vorangestellt und das gemäß dargestellter Szenarien prognostizierte Minderungspotential aufgezeigt.

Betrachtet man den gesamten Energieverbrauch in Deutschland (2.542 TWh) nach Anwendungsbereichen (s. Abbildung 0-1), so wird sichtbar, dass etwa ein Drittel (Stand 2016) für Raumwärme und Warmwasserbereitung, also insbesondere im Gebäudesektor benötigt wird. Dazu kommen weitere sehr geringe Anteile am Energieverbrauch in anderen Anwendungsbereichen wie. z.B. Beleuchtung und Klimakälte.



**Abbildung 0-1: Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2016, Quelle: AG Energiebilanzen (AGEB) [25]**

Eine Unterteilung des Gebäudeenergieverbrauchs nach Anwendungen in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden zeigt die Abbildung 0-2. Demnach entfallen 63 % des Gebäudeenergiebedarfs auf Wohngebäude und 37 % auf Nichtwohngebäude. In Wohngebäuden stellen die Endenergiebedarfe für Raumwärme mit 436 TWh (81 %) und für Warmwasserbereitung mit 92 TWh (19 %) die wesentlichen Anwendungsbereiche dar.



**Abbildung 0-2: Endenergiebezogener Gebäudeenergieverbrauch nach Anwendungsbereich im Jahr 2015**

Im dena-Gebäudereport wird für den Endenergieverbrauch privater Haushalte, also in Wohngebäudebereich, eine mögliche Entwicklung gemäß Referenzszenario bis ins Jahr 2030 und danach als Trendszenario bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben. Für dieses prognostizierte Entwicklungsszenario wird in der Abbildung 0-3 der Endenergieverbrauch privater Haushalte nach Energieträgern unterteilt beginnend im Jahr 2011 bis zum Jahr 2050 dargestellt. Als wesentliche Aussage wird sichtbar, dass der Endenergieverbrauch privater Haushalte kontinuierlich zurückgeht. Bis zum Jahr 2030 wird ein Rückgang um 19 % und bis zum Jahr 2050 um 37 % gegenüber 2011 prognostiziert.

Das Diagramm in der Abbildung 0-3 zeigt die Prognose des Endenergieverbrauchs unterteilt nach dem Einsatz von Energieträgern. Es zeigt, dass der Anteil fossiler Energieträger von 60 % im Jahr 2011, auf 46 % im Jahr 2030 bzw. auf 36 % im Jahr 2050 sinken soll. Gleichzeitig steigt der Anteil von erneuerbaren Energien von 12 % im Jahr 2011, auf 23 % im Jahr 2030 bzw. auf 32 % im Jahr 2050. In der Abbildung 0-3 wird außerdem die Verminderung des elektrischen Stromverbrauchs sichtbar, der um 17 % im Jahr 2030 bzw. um 28 % im Jahr 2050 gegenüber 2011 zurückgeht.

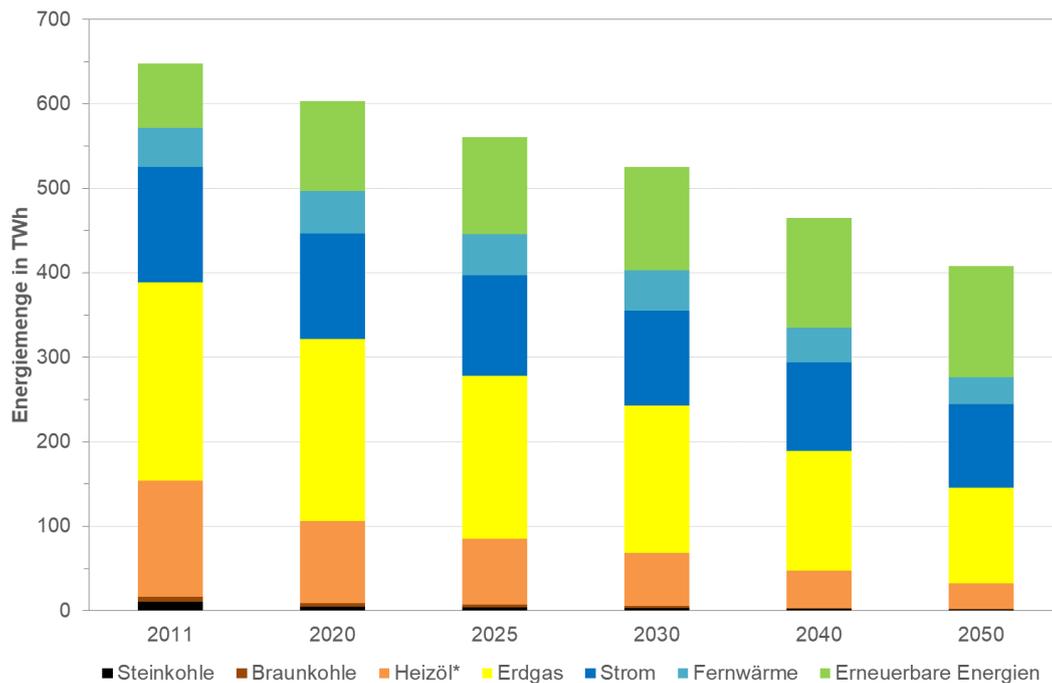


Abbildung 0-3: Endenergieverbrauch privater Haushalte nach Energieträgern 2011 – 2050 [5]

Detaillierte Erläuterungen der Verordnungen und Gesetze zur Energieeinsparung in Deutschland

Die historische Entwicklung der Gesetzgebung zur Energieeinsparung zeigt Abbildung 0-4.

Energieeinsparungsgesetz (EnEG) 1976	
<b>Bautechnische Anforderungen</b> <b>WSchV 1977, 1984 und 1995</b> k-Wert-Vorgaben Bilanzverfahren Kennzahlen Heizwärmebedarf	<b>Haustechnische Anforderungen</b> <b>HeizAnIV 1978, 1989, 1994, 1998</b> Regelung und Wartung Anforderung an Kessel Dämmung Rohre
<b>EnEV 2002 - EnEV 2007</b>	Stufenweise Verschärfung der Anforderungen und kontinuierliche Anpassung der Berechnungsgrundlagen; Einführung des Energieausweises für Bestandsgebäude
<b>EnEV 2009</b>	Absenkung der Grenzwerte um ca. 30%; Einführung von Kontrollen; Verschärfung der Nachrüstpflichten
<b>EnEV 2014</b>	Umsetzung novellierte EU- Gebäuderichtlinie, Ergänzung der Regelungen des Energieausweises
<b>EnEV 2016</b>	Absenkung des Primärenergiebedarf-Grenzwerts um 25% ab 2016; Verschärfung der Hüllenanforderungen um ca. 20% ab 2016

Abbildung 0-4: Entwicklung der Energieeinsparungs-Gesetzgebung in Deutschland [88]

**Das Energieeinsparungsgesetz (EnEG)** wurde 1976 zur Reduzierung der Abhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland von importierten Energieträgern, d.h. als energiesparender Wärmeschutz bei zu errichtenden Gebäuden, erlassen. Das Gesetz enthält keinerlei unmittelbar für den Bürger wirksame Regelungen, sondern ermächtigt die Bundesregierung zum Erlass von Verordnungen. Die Zustimmung des Bundesrates ist dabei erforderlich. Seither dürfen auf der Grundlage des EnEG Verordnungen erlassen werden, die energetische Anforderungen an Gebäude und ihre Anlagentechnik stellen. Die daraus resultierende erste Wärmeschutzverordnung trat am 01.11.1977 als erste öffentlich-rechtliche Vorschrift für den energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden in Kraft. Bis dahin gab es lediglich ein diesbezügliches technisches Regelwerk (DIN 4108). Die WSchVO 77 wurde 1982 in ihren Anforderungen verschärft (2. WSchVO), danach trat aufgrund niedriger Energiepreise erst im Jahr 1995 mit der 3. WSchVO eine novellierte Fassung in Kraft, um den Heizenergiebedarf weiter abzusenken. Die Wärmeschutzverordnungen beinhalten beispielsweise Wärmedurchgangs- und Fugendurchlasskoeffizienten, Begrenzung des Heizwärmebedarfs, Vorschriften zur Doppelverglasung etc. Das EnEG wurde 2005 neu gefasst und es wurde zuletzt geändert im Juli 2013. Es dient der Umsetzung der Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamteffizienz von Gebäuden. Im EnEG 2013 ist in § 2a über zu errichtende Niedrigstenergiegebäude folgendes geschrieben (Zitat): „Wer nach dem 31. Dezember 2020 ein Gebäude errichtet, das nach seiner Zweckbestimmung beheizt oder gekühlt werden muss, hat das Gebäude, um Energie zu sparen, als Niedrigstenergiegebäude nach Maßgabe der nach Absatz 2 zu erlassende Rechtsverordnung zu errichten. Ein Niedrigstenergiegebäude ist ein Gebäude, das eine sehr gute Gesamtenergieeffizienz aufweist, der Energiebedarf des Gebäudes muss sehr gering sein und soll, so weit wie möglich, aus einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden.“ Das Niedrigstenergiesparhaus ist das europäische Energiesparhaus der Zukunft.

### **EnEV - Energieeinsparverordnung**

Die Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung) kurz EnEV ist ein Teil des deutschen Baurechts. Sie formuliert für Gebäude und Bauprojekte Mindestanforderungen an die gesamte Effizienz der Energienutzung. Die erste Fassung löste die nebeneinander geltende Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung am 1. Februar 2002 ab und fasste die genannten Verordnungen zusammen. Die EnEV bildet im Verbund mit anderen Gesetzen und Verordnungen eine wichtige rechtliche Grundlage, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen.

Die EnEV bezieht sich auf sämtliche Neubauten und Bestandsgebäude im Sanierungsfall, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden und für Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl-, Raumluft- und Beleuchtungstechnik sowie der Warmwasserversorgung von Gebäuden. Ausgenommen von dieser Verordnung ist der Energieeinsatz für Produktionsprozesse. [EnEV § 1]

Innerhalb der EnEV wird das Zusammenspiel von Anlagentechnik und Gebäudehülle gekoppelt, sodass nicht wie in den vorherigen Verordnungen der Nutzenergiebedarf betrachtet und bewertet wird, sondern der benötigte Endenergiebedarf bzw. über Umrechnungsfaktoren der Primärenergiebedarf. Diese Vorgehensweise ist im Sinne einer ganzheitlichen Effizienzbeurteilung angebracht und sinnvoll, weil Verluste innerhalb des Energietransports und die Effizienz der Vorketten berücksichtigt werden. Zusammengefasst bedeutet dies, dass die gesamte

Nutzung der Energie beurteilt wird und dass zur Einhaltung des maximalen Primärenergiebedarfes (Grenzwertes) unterschiedlichste Möglichkeiten bestehen. Dabei korrelieren Maßnahmen zur Verbesserung der Anlagentechnik und der Gebäudehülle.

### **EEWärmeG - Erneuerbare- Energien- Wärmegegesetz**

Das EEWärmeG (Erneuerbare- Energien- Wärmegegesetz) ist ein deutsches Bundesgesetz, das den Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältesektor beschleunigen soll. Das EEWärmeG schreibt vor, dass Bauherren seit dem 1. Januar 2009 in Neubauten einen Teil des Wärme- bzw. Kältebedarfes aus erneuerbaren Energien decken müssen. Das EEWärmeG griff dem Europäischen Parlament und dem Rat vor, welches erst im April 2009 mit der Richtlinie 2009/28/EG unter anderem eine Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien bei der Wärme- bzw. Kälteerzeugung den Mitgliedsstaaten auferlegt hat.

Das EEWärmeG verpflichtet Bauherren von neu zu errichtenden Gebäuden mit einer Nutzfläche größer 50 m<sup>2</sup>, einen bestimmten Anteil des Wärmeenergiebedarfes durch die Nutzung erneuerbarer Energien zu decken. Ausgenommen von dieser Nutzungspflicht sind im Sinne des EEWärmeG Gebäude wie Ställe, fliegende Bauten, offene Hallen und Kirchen. Ebenfalls werden sämtliche Gebäude von der Nutzungspflicht befreit, welche nach dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz zum Emissionshandel verpflichtet sind. Zur Deckung des Anteils aus erneuerbaren Energien gibt es einige Möglichkeiten. Im Sinne des EEWärmeG gelten Geothermie, Umweltwärme, solare Strahlungsenergie und Biomasse als erneuerbare Energien und führen mit den entsprechenden Nutzungsanteilen zur Erfüllung der Nutzungspflicht. Sofern solare Strahlungsenergie zur Nutzung vorgesehen ist, versteht sich die Nutzungspflicht des EEWärmeG als erfüllt, wenn der Wärmeenergiebedarf zu 15 % aus solarer Strahlungsenergie gedeckt wird. Laut Anlage 1 des EEWärmeG führt zum einen ein bestimmtes Flächenverhältnis zwischen Nutzfläche des Gebäudes und Kollektorfläche zur Einhaltung der Forderung und zum anderen die Zertifizierung der Kollektoren mit dem europäischen Prüfzertifikat „Solar-Keymark“. Im Mai 2011 wurde das EEWärmeG insbesondere hinsichtlich der Anwendung von erneuerbaren Energien in öffentlichen Gebäuden geändert, im EEG 2012 wurde eine außerordentlich starke Kürzung der Einspeisevergütung für die Photovoltaik beschlossen.

### **EEG 2014 - Erneuerbare-Energien-Gesetz**

Die Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 24.07.2014 ersetzt das EEG 2012. Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien soll künftig innerhalb eines gesetzlich festgelegten Ausbaukorridors erfolgen, um 40 bis 45 Prozent erneuerbare Energien an der Stromerzeugung im Jahr 2025 und 55 bis 60 Prozent im Jahr 2035 zu erreichen. Wesentliche Änderungen bestehen aus Maßnahmen zur Senkung der Einspeisevergütungen. Das Gesetz für den Ausbau Erneuerbare Energien wurde bis zum 29.08.2016 sechs Mal aktualisiert.

### **EEG 2017 - Erneuerbare-Energien-Gesetz**

Das EEG 2017 ändert das EEG 2014 zum 01.01.2017, es bezweckt einen grundsätzlichen Systemwechsel vom Modell der Einspeisevergütungen hin zum Ausschreibungsverfahren. Es enthält u.a. Änderungen zu den Förderbestimmungen, die aus der Einführung eines Mieterstromzuschlags resultieren.

### **Europäische Gebäuderichtlinie**

Auf europäischer Ebene wurde zum 16. Dezember 2002 durch Rat und Parlament der Europäischen Union die Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erlassen und war bis zum am 4. Januar 2006 von den Mitgliedsländern in nationales Recht umzusetzen. Deutschland hatte die Vorschriften der Richtlinie im Vorgriff zum großen Teil bereits mit der Energieeinsparverordnung 2002 umgesetzt; nach Erlass der Energieeinsparverordnung 2007 waren alle Aufträge aus dieser Richtlinie in Deutschland vollständig umgesetzt. Die europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wurde als European Directive Energy Performance of Buildings EPBD, Richtlinie 2010/31EU im Jahre 2010 neu gefasst und musste bis zum 9. Juli 2012 in nationale Rechtsvorschriften umgesetzt werden.

## Detaillierte Erläuterungen der Energiehaus-Konzepte

### **Niedrigenergiehaus nach EnEV (EnEV-Haus)**

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) regelt den Wärmeschutz, den ein Gebäude besitzen muss, und definiert einen Maximalwert für den Primärenergiebedarf. Die energetischen Mindestanforderungen wurden in den letzten Jahren immer weiter erhöht. Der aktuelle Primärenergiebedarf eines Neubaus muss nach EnEV 2016 den Wert von EnEV 2014 um mindestens 25 % unterschreiten.

### **KfW-Effizienzhaus**

Der Begriff Effizienzhaus ist ein Qualitätszeichen, das von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) zusammen mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der KfW entwickelt wurde. Effizienzhäuser zeichnen sich durch eine besonders energieeffiziente Bauweise und Gebäudetechnik aus und erreichen eine höhere Energieeffizienz als vom Gesetzgeber vorgeschrieben. Die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) nutzt dieses Qualitätszeichen im Rahmen ihrer Förderprogramme Energieeffizient Bauen und Energieeffizient Sanieren (Programm 153). Die EnEV definiert die Berechnung der Referenzwerte für die Referenzgrößen Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust. Für die Höhe der Förderung eines KfW-Effizienzhauses sind die verschiedenen Energie-Standards entscheidend (aktuell bei Neubauten KfW 55, KfW 40, KfW 40 plus sowie bei **Sanierungen** die Kategorien Denkmal, 115, 100, 85, 70 und 55). Das KfW-Effizienzhaus 70 wird nicht mehr gefördert und entspricht jetzt dem Referenzhaus. Die ab dem 01.04.2016 geltenden Förderbedingungen für die KfW-Förderprogramme Energieeffizient Bauen und Energieeffizient Sanieren sind in Abbildung 0-5 und Abbildung 0-6 zusammengestellt.

KfW-Effizienzhaus 40 steht für ein Haus, das in einem Jahr nur 40 Prozent der Primärenergie eines vergleichbaren Referenzhauses benötigt, vor allem dank optimierter Dämmung, Wärme- und Stromgewinnung mit regenerativen Energien sowie energiesparender Lüftungsanlage.

### **KfW-Effizienzhaus 40 Plus**

Beim neuen Standard KfW Effizienzhaus 40 Plus kommt hinzu, dass ein wesentlicher Teil des Energiebedarfs am Gebäude aus erneuerbaren Energien erzeugt wird und im Haus für den späteren Verbrauch mit Hilfe von folgenden Komponenten gespeichert werden kann:

- eine stromerzeugende Anlage auf Basis erneuerbarer Energien auf dem Grundstück, z. B. Photovoltaik oder eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, selten Windkraft,

- ein stationäres Batteriespeichersystem als Stromspeicher,
- eine Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von mehr als 80 %,
- eine digitale Benutzeroberfläche, die Stromerzeugung und Stromverbrauch visualisiert.

### **Liter-Häuser**

Ein Drei-Liter-Haus benötigt für seine Heizung (ohne Warmwasser) 3 l Heizöl pro m<sup>2</sup> und Jahr, was umgerechnet einem Endenergieeinsatz von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. einem jährlichen Volumen von 3 m<sup>3</sup> Erdgas pro m<sup>2</sup> Gebäudefläche entspricht. Berücksichtigt man bei einem 3-Liter-Niedrigenergiehaus Zuschläge für die Warmwasserbereitung und den Hilfsstrom, so ist dieses Haus-Konzept mit ca. 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) mit einem Effizienzhaus 70 vergleichbar. Es ist allerdings zu beachten, dass die Definition des Liter-Hauses etwas unscharf ist, da sich die Flächen-Angaben teilweise auf die Wohnfläche und teilweise auf die Gebäudenutzfläche beziehen und manchmal auch der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung mit eingerechnet wird. Insgesamt unterscheidet man das 3-, 5-, 7- und 10-Liter-Haus voneinander. Das 5-Liter- und das 3-Liter-Haus werden allgemein auch als Niedrigenergiehaus bezeichnet.

### **Passiv-Haus**

Das Passivhaus ist ein Gebäudestandard, der energieeffizient, komfortabel, wirtschaftlich und umweltfreundlich zugleich ist. Ein Passivhaus kommt dank seiner ausgeklügelten Wärmedämmung sowie Wärmebedarfsdeckung aus „passiven“ Quellen wie Sonne oder Abwärme ohne eine klassische Gebäudeheizung aus, der Heizwärmebedarf darf maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) betragen. Überdies darf die maximal zulässige Heizlast 10 W/m<sup>2</sup> nicht übersteigen. Der Jahres-Primärenergiebedarf darf 120 kWh/(m<sup>2</sup> a) nicht übersteigen, er wird nach dem PHPP-Standard berechnet und enthält die Bedarfe für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und Haushaltsstrom (Haushaltsgeräte, Beleuchtung etc.). Zur Erreichung dieses Standards ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung  $\triangleq$  zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung und Photovoltaikanlagen zum Betrieb von Lüftungsanlagen und Wärmepumpen. Das Plus-Energiehaus erzeugt insbesondere Überschüsse von Solarstrom. ,

Voraussetzungen:

- Verschattungsfreies Grundstück mit Südausrichtung
- Solarkollektoren und Photovoltaik-Anlage
- Leistungsfähige Solarspeicher
- Installation eines gut gedämmten Wärmespeichers im Kern des Hauses für die Warmwasserbereitung und Beheizung
- Stückholz- oder Pelletofen für sonnenarme Perioden für die CO<sub>2</sub>-neutrale Beheizung
- Verwendung von Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels (A++) sowie intelligenten Zählern

### **Niedrig-Energiehaus-Standard Schleswig-Holstein**

Anforderungen an den „Niedrig-Energiehaus-Standard Schleswig-Holstein“ sind beim Primärenergiebedarf eine Unterschreitung des nach EnEV für das Gebäude maximal zulässigen Wertes [ $Q_p$  in kWh/(m<sup>2</sup>·a)] um mindestens 20 % sowie die Unterschreitung des maximal zulässigen spezifischen (auf die Hüllfläche als wärmeübertragende Gebäude-Umfassungsfläche bezogene) Transmissionswärmeverlust [ $H'_T$  in W/(m<sup>2</sup>·K)] um mindestens 30 %.

### Freiburger Effizienzhausstandard

Seit 1992 hat die Stadt Freiburg Energiestandards in ihrem Wirkungsbereich verankert, die über dem gesetzlichen Mindeststandard lagen. Der aktuell in Freiburg für Wohngebäude geltende „Freiburger Effizienzhausstandard 55“ entspricht weitestgehend dem vom Bund definierten erhöhten Standard KfW55 mit dem Unterschied, dass beim Freiburger Standard eine Wärmerückgewinnung bei der Lüftungsanlage obligatorisch ist.

Das Fr-EH 55 entspricht einem KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014) mit einer nachgewiesenen Luftdichtigkeit  $n_{50} \leq 0,60/h$  und einer kontrollierten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Effizienz > 75%). Der Primärenergiebedarf von 55 % und der spezifische Transmissionswärmeverlust von 70 % der jeweiligen Anforderungswerte nach EnEV2014 dürfen nicht überschritten werden. Für Gewerbegebäude mit überwiegender Büro- und büroähnlicher Nutzung gilt der Standard Fr-EH 70 (Büro). Dieser Niedrigenergiehausstandard geht um 30 % über die von der EnEV2014 vorgegebenen Mindestanforderung hinaus.

KfW-Förderbedingungen, Programm 153 Neubau

Die KfW-Förderbedingungen für energieeffizientes Bauen aus dem Programm 153 zeigt Abbildung 0-5 und die Änderungen der KfW-Förderbedingungen seit dem 01.04.2016 sind in Abbildung 0-6 angegeben.

### Energieeffizient Bauen (153) seit 01.04.2016

Förderstufen nach EnEV	Jahres-Primärenergiebedarf ( $Q_p$ )	Transmissions-Wärmeverlust ( $H'_T$ )	Tilgungszuschuss
KfW-Effizienzhaus 40 Plus	40 %	55 %	15 %
KfW-Effizienzhaus 40	40 %	55 %	10 %
KfW-Effizienzhaus 55	55 %	70 %	5 %
KfW-Effizienzhaus 70	70 %	85 %	-
Referenzgebäude EnEV	100 %	100 %	

(in % des Referenzgebäudes nach EnEV)

#### KfW-Effizienzhaus 55 und 40

- Max. 5.000 EUR
- Reduzierte Darlehensschuld
- Verkürzte Laufzeit

Abbildung 0-5: KfW-Förderbedingungen für Energieeffizientes Bauen (Programm 153)

## Energieeffizient Bauen (153) seit 01.04.2016:

- Wegfall des „Bestsellers“ Effizienzhaus 70 (bisher ca. 75% Anteil)
- Einführung des „**KfW Effizienzhaus 40 Plus**“ mit „Plus Paket“ aus erneuerbarer Stromerzeugung, Stromspeicher und Visualisierung
- Verdoppelung des Kreditbetrages auf 100.000 € je WE
- Einführung von Krediten mit 20-jähriger Zinsbindung
- Flexibilisierung der Höhe der Tilgungszuschüsse
- Effektivzins pro Jahr aktuell 0,75 %



Abbildung 0-6: Änderungen der KfW-Förderbedingungen für Energieeffizientes Bauen (153) seit dem 01.04.2016

## EnEV 2016: Transmissionswärmeverlust

Abbildung 0-7 gibt die Transmissionswärmeverlustwerte aus Tabelle 2 der EnEV 2016 an.

**Tabelle 2**

Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts

Zeile	Gebäudetyp		Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts
1	Freistehendes Wohngebäude	mit $A_N \leq 350\text{m}^2$	$H'_T = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
		mit $A_N > 350\text{m}^2$	$H'_T = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2	Einseitig angebautes Wohngebäude *		$H'_T = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3	Alle anderen Wohngebäude		$H'_T = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4	Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß § 9 Absatz 5		$H'_T = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

\* Einseitig angebaut ist ein Wohngebäude, wenn von den vertikalen Flächen dieses Gebäudes, die nach einer Himmelsrichtung weisen, ein Anteil von 80 Prozent oder mehr an ein anderes Wohngebäude oder an ein Nichtwohngebäude mit einer Raum-Solltemperatur von mindestens 19 Grad Celsius angrenzt.

Abbildung 0-7: Höchstwerte des Transmissionswärmeverlusts, Tabelle 2 der EnEV 2016

## Analyse-Ergebnisse der Energiestandards eines freistehenden EFH, Neubau nach DIN 4108-6 und 4701-10

Die mit der Software Energieberater Professional der Firma Hottgenroth berechneten Ergebnisse zum Jahresprimärenergiebedarf, Endenergiebedarf sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines mit verschiedenen Technologien ausgestatteten neugebauten Einfamilienhauses sind in Abbildung 0-8 bis Abbildung 0-13 aufgeführt. Die Berechnungen wurden zum einen mit einer Abluftanlage und zum anderen mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung nach DIN 4108-6 und 4701-10 durchgeführt.

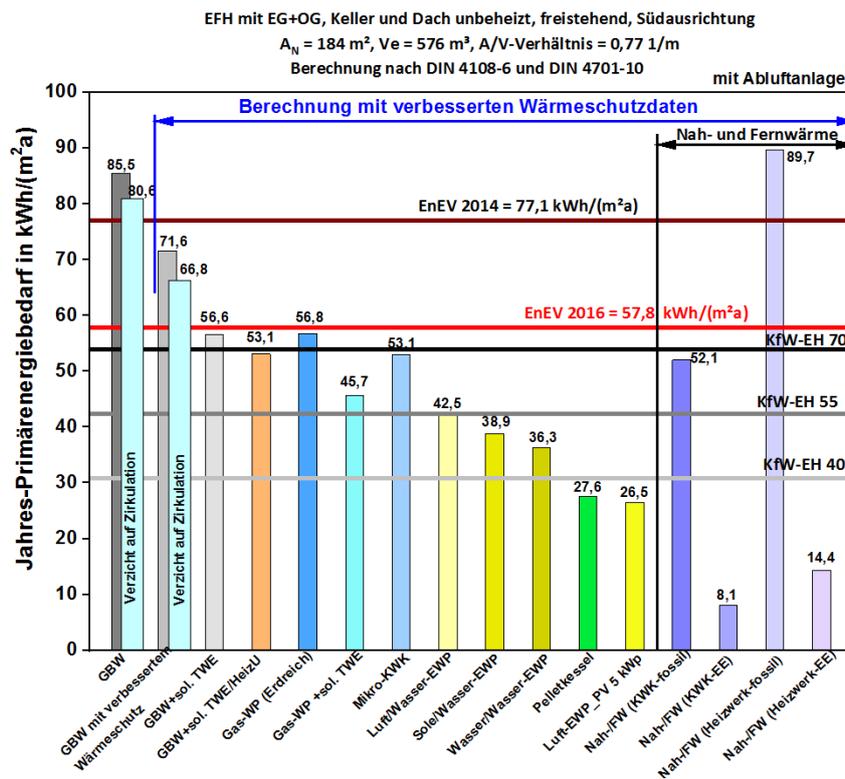


Abbildung 0-8: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10, Quelle GWI

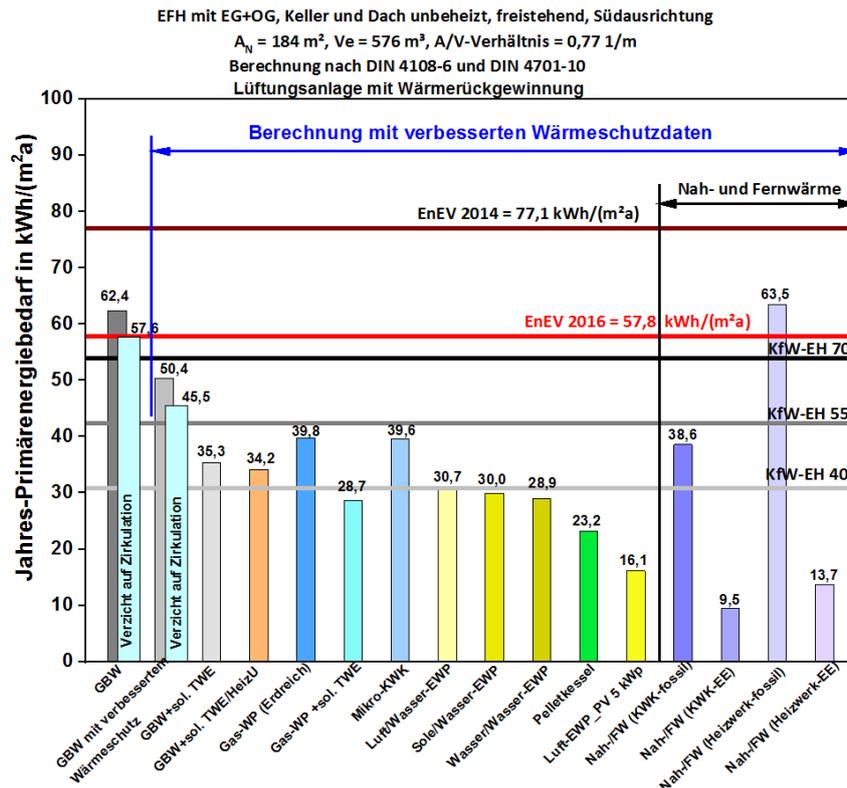


Abbildung 0-9: Jährlicher PE-Bedarf eines EFH mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

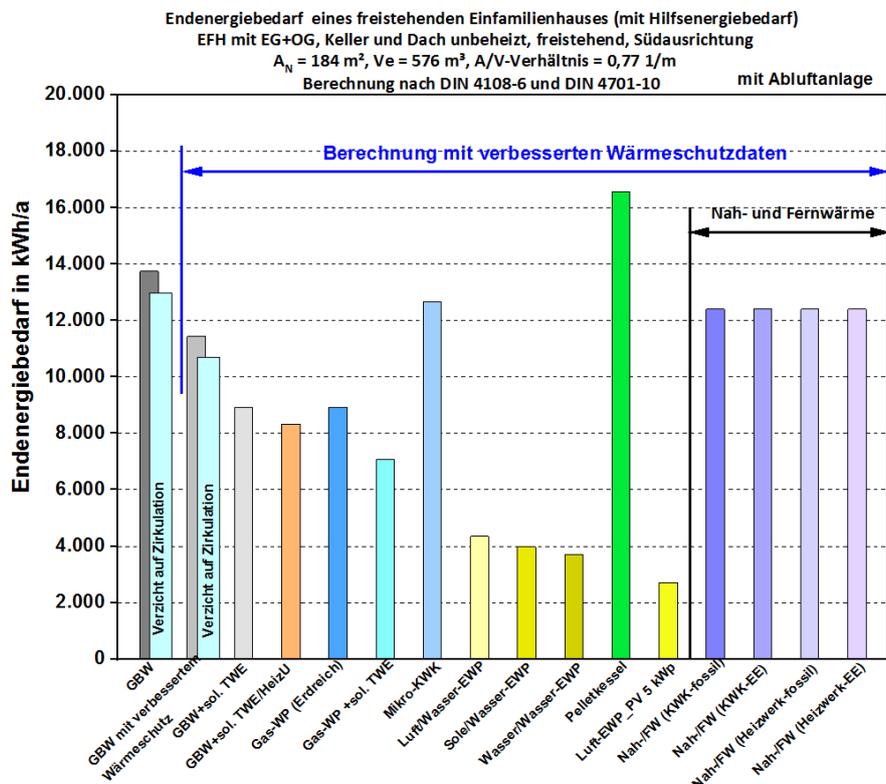


Abbildung 0-10: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

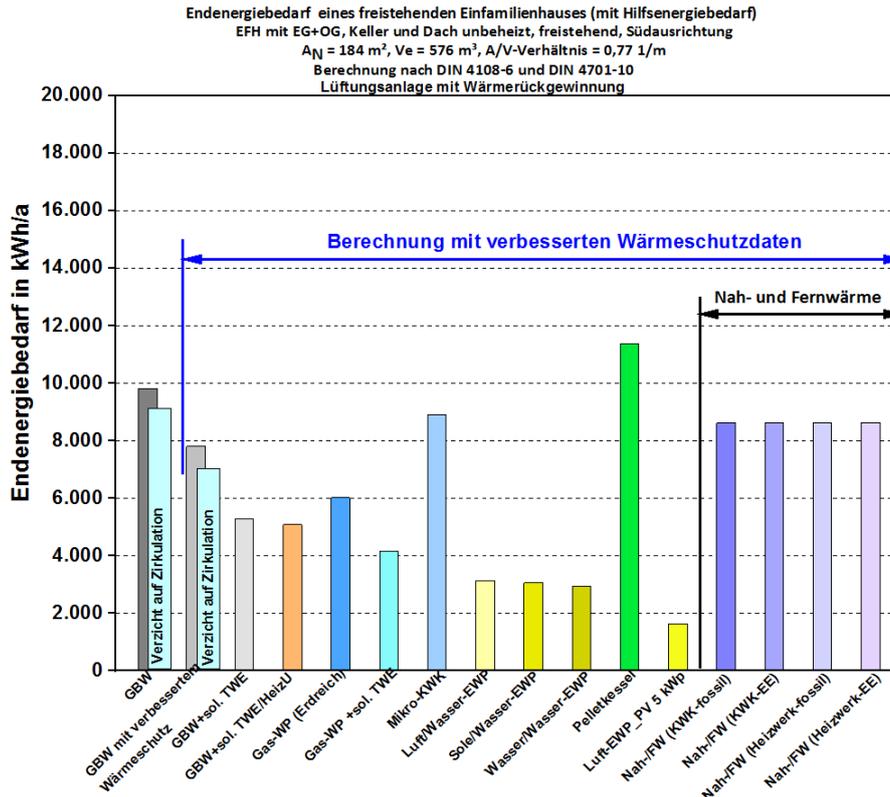


Abbildung 0-11: Jährlicher Endenergiebedarf eines EFH mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

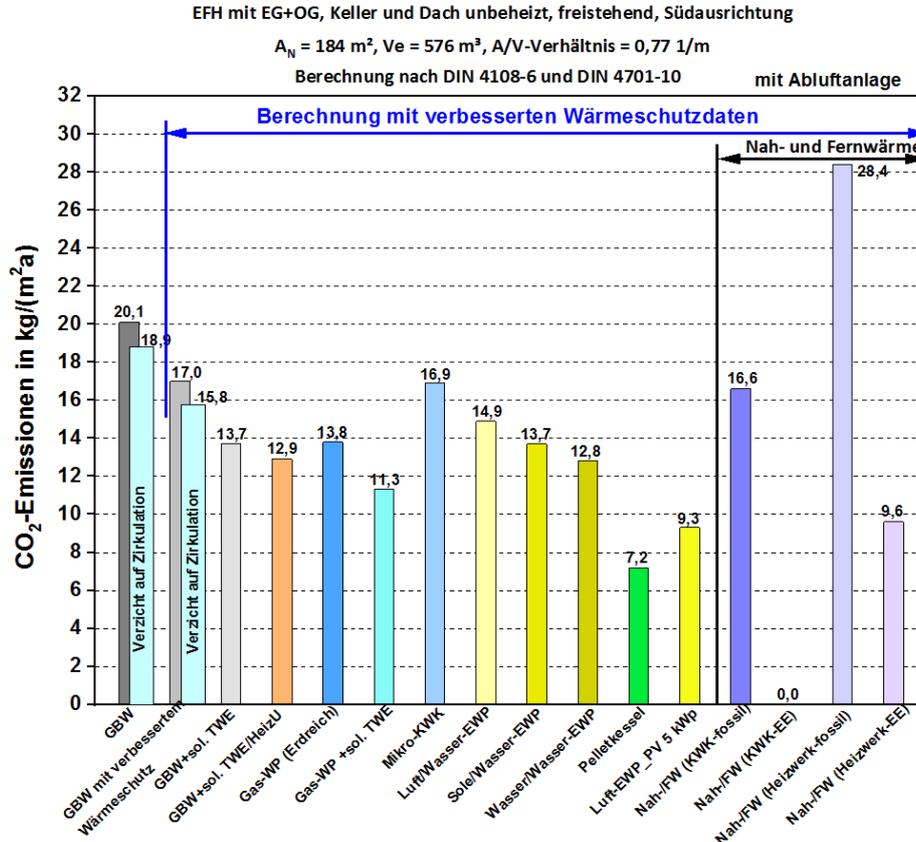


Abbildung 0-12: Jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen eines EFH, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

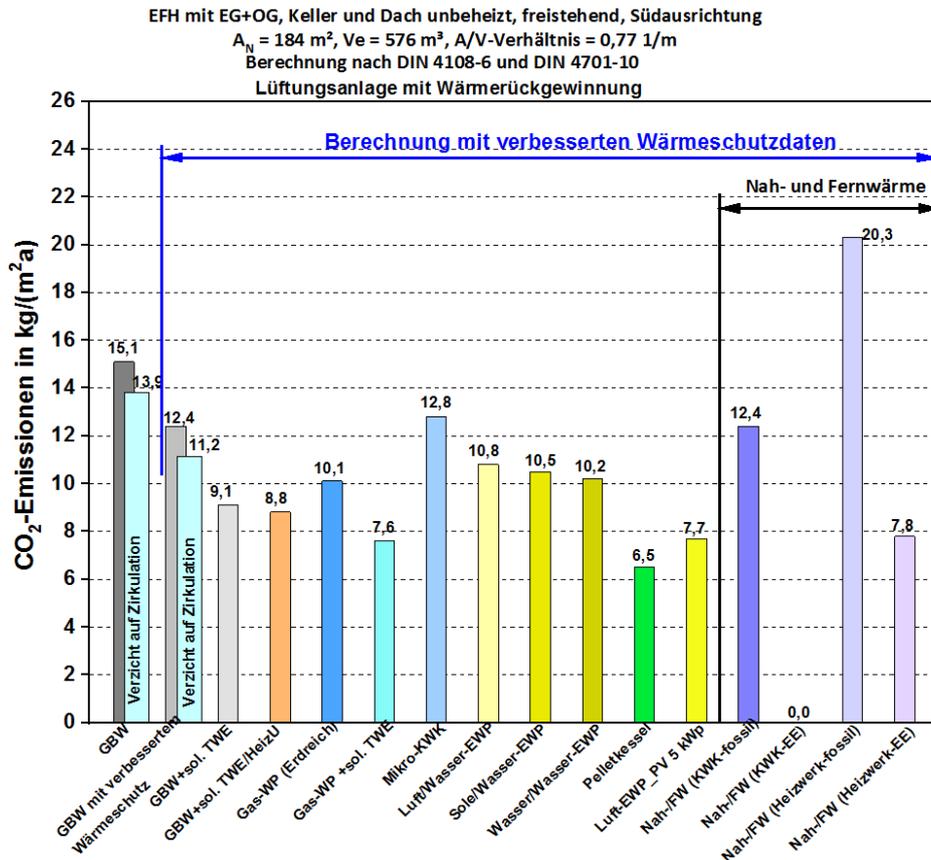


Abbildung 0-13: Jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen eines EFH mit Lüftungsanlage mit WRG, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

## Analyse-Ergebnisse der Energiestandards von Reiheneck- und Mittelhaus-EFH, Neubau nach DIN 4108-6 und 4701-10

Abbildung 0-14 und Abbildung 0-15 stellen den mit verschiedenen Heiztechnologien mit Abluftanlage nach DIN 4108-6 und 4701-10 berechneten Jahresprimärenergiebedarf eines Reiheneck- und eines Reihenmittelhauses dar.

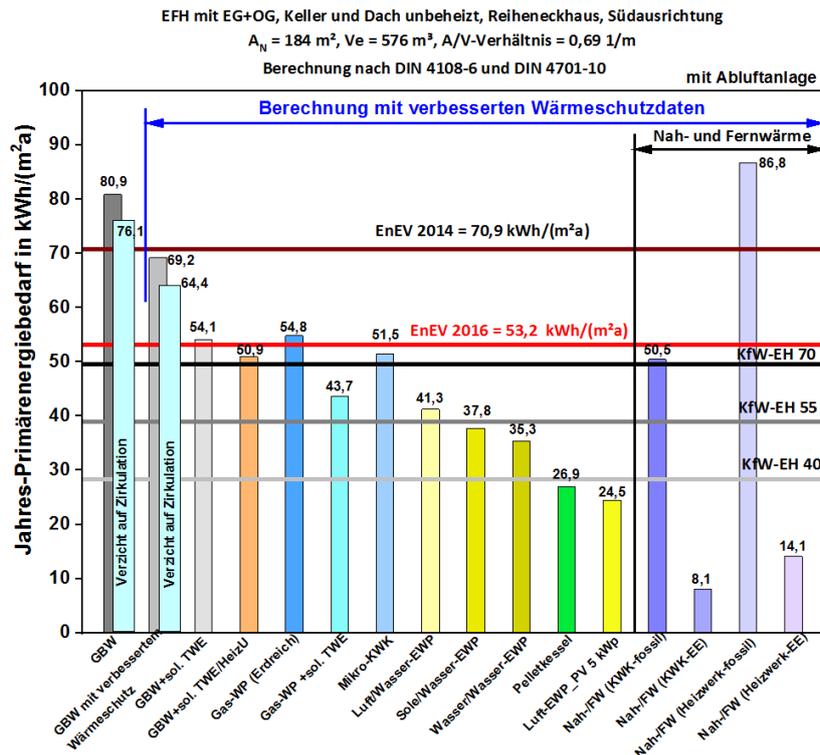


Abbildung 0-14: Jährlicher PE-Bedarf eines Reiheneckhauses, Neubau, mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

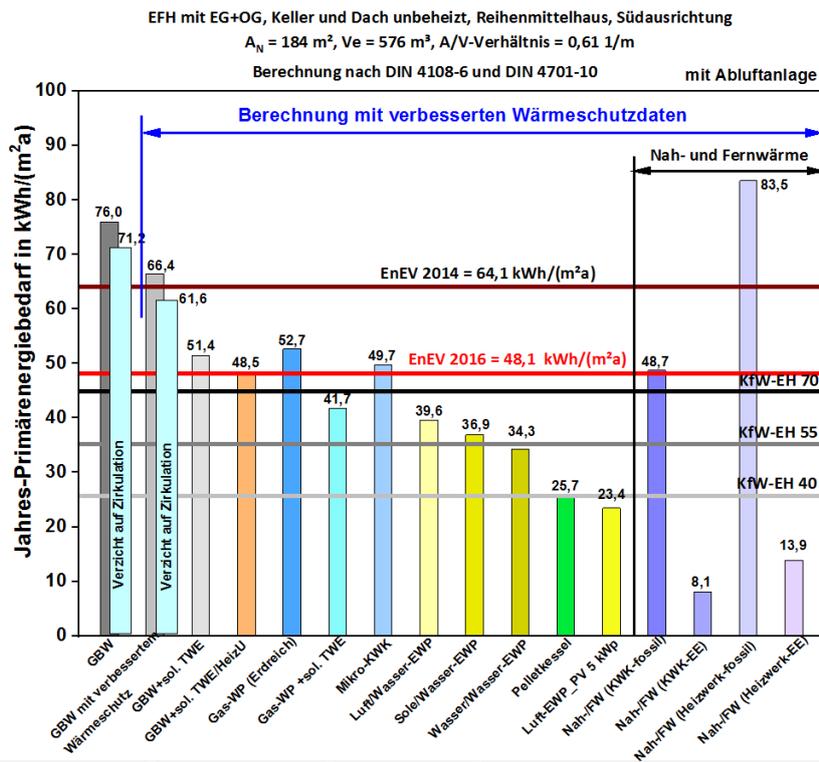


Abbildung 0-15: Jährlicher PE-Bedarf eines Reihemittelhauses, Neubau, mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN 4108 und DIN 4701, Quelle GWI

# Analyse-Ergebnisse der Energiestandards von Reiheneck- und Mittelhaus-EFH, Neubau nach DIN V 18599

In Abbildung 0-16 und Abbildung 0-17 ist der jährliche Primärenergiebedarf eines Reiheneck- und Reihenmittelhauses dargestellt. Die Berechnungen wurden mit verschiedenen Heiztechnologien und Abluftanlage nach DIN V 18599 durchgeführt.

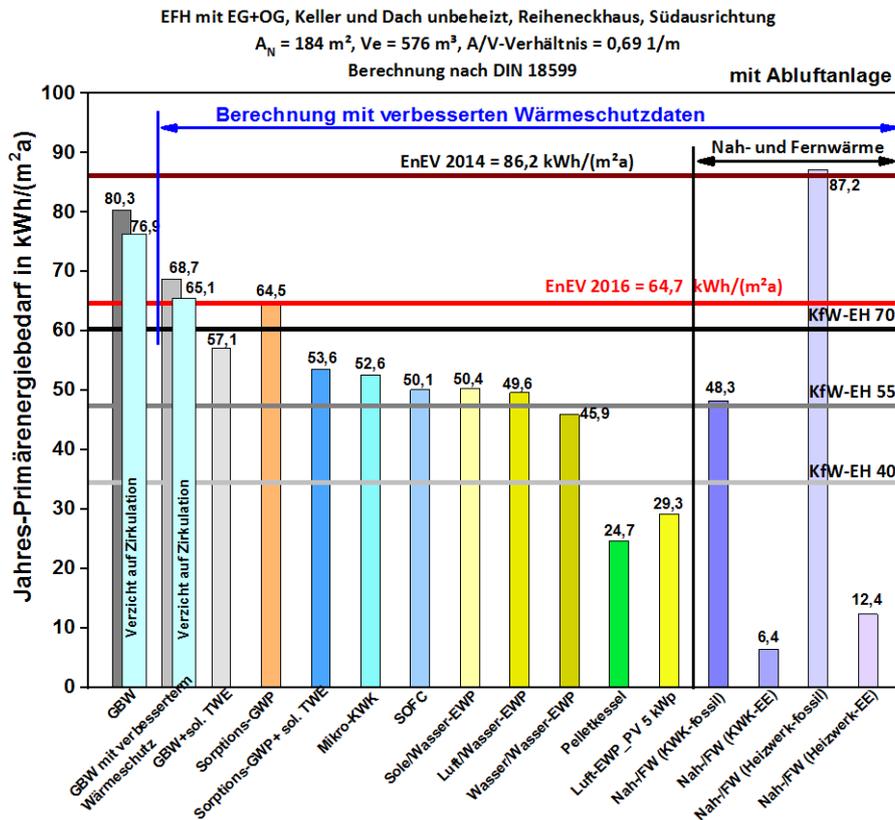


Abbildung 0-16: Jährlicher Primärenergiebedarf eines EFH, Reiheneckhaus, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI

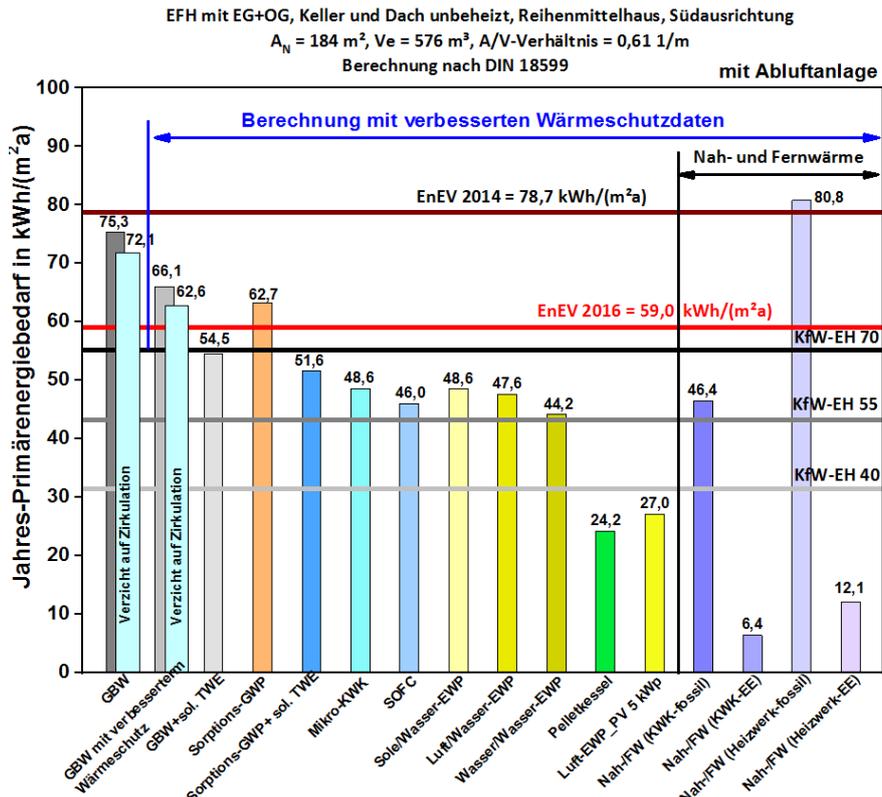


Abbildung 0-17: Jährlicher Primärenergiebedarf eines EFH, Reihemittelhaus, Neubau mit verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599, Quelle GWI

## Informationen zur Anbindung an Versorgungsnetze

### Anbindung an Gasversorgung

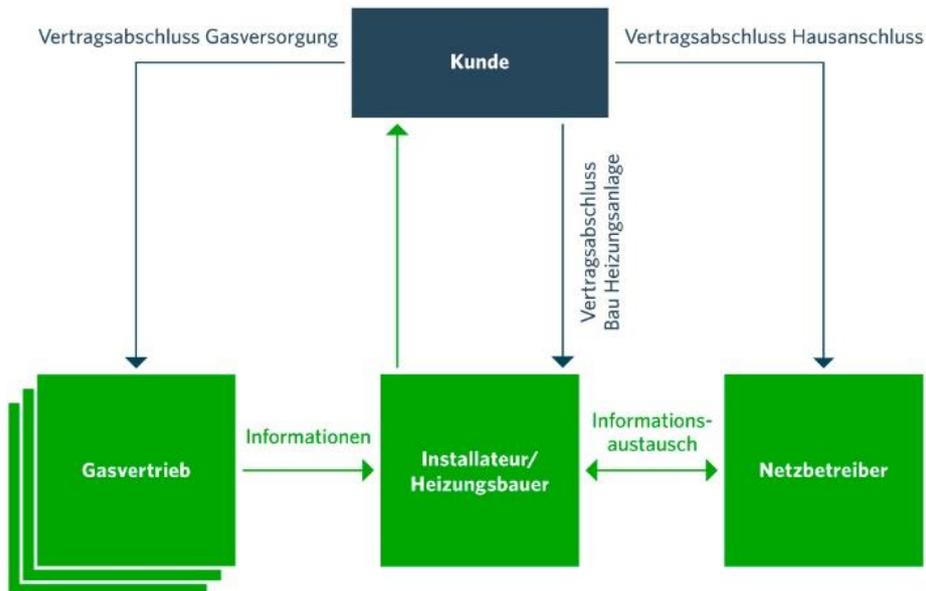


Abbildung 0-18: Erforderliche Vertragsabschlüsse zur Anbindung eines Gebäudes an die Gasversorgung [89]

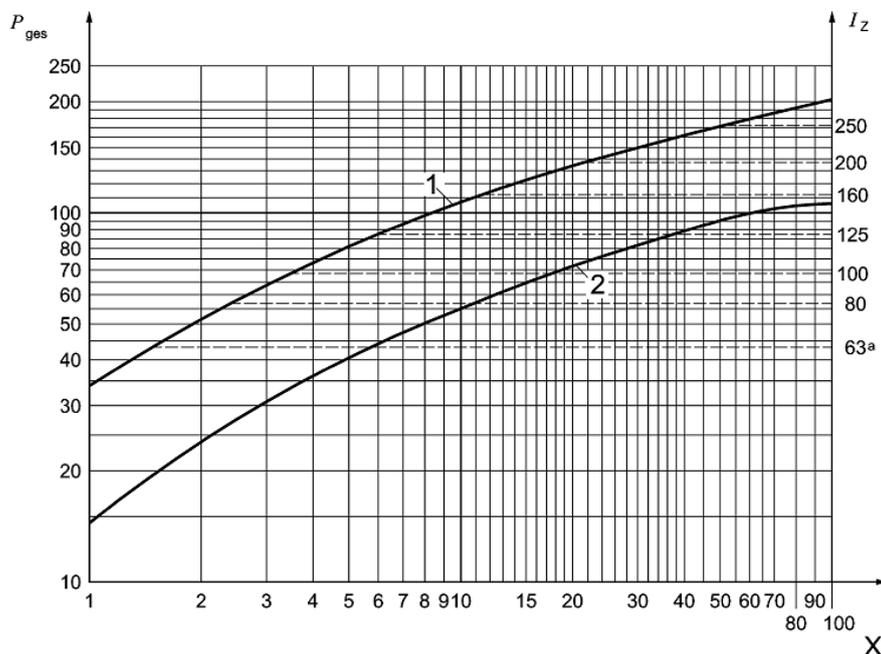
Für die Herstellung eines Erdgas-Netzanschlusses sind die in der Abbildung 0-18 dargestellten Vertragsabschlüsse erforderlich. Dafür sind folgende Abstimmungen bzw. Unterlagen notwendig:

- auch online beim Netzbetreiber beantragen
- maßstabsgerechter Lageplan des Grundstücks (Katasterplan, Bebauungsplan) und Grundrissplan, in dem das Gebäude und die Lage des Anschlussraumes eingezeichnet ist, sind erforderlich
- Abstimmung der Anschlussvariante mit Netzbetreiber
- Anschluss außerhalb des Hauses (Hausanschlusskasten) oder im Hausanschlussraum, bzw. in sogenannter Hausanschlussnische im Ein- oder Zweifamilienhaus gemäß DIN 18012:2018-04

### Anbindung an Elektroenergieversorgung

Das Diagramm in der Abbildung 0-19 zeigt die Bemessungsgrundlage zur Dimensionierung der Hauptstromversorgung in Wohngebäuden ohne Elektroheizung. Dabei muss gemäß DIN 18015-1 beachtet werden:

- Hauptleitungen sind für eine Versorgung mit 3 Außenleitern auszuführen. Die Leitungsquerschnitte sind auf der Grundlage des Diagramms (Abbildung 0-19), jedoch mindestens für eine Belastung von 63 A zu bemessen.
- Der Leitungsquerschnitt muss dementsprechend mindestens 10 mm<sup>2</sup> Cu betragen.



#### Legende

- 1 mit elektrischer Warmwasserbereitung für Bade- oder Duschw Zwecke
- 2 ohne elektrischer Warmwasserbereitung für Bade- oder Duschw Zwecke
- $I_z$  in A mindestens erforderliche Strombelastbarkeit, geeignete Bemessungsströme von zugeordneten Überstromschutzeinrichtungen
- $P_{ges}$  in kVA Leistung, die sich aus der erforderlichen Strombelastbarkeit und der Nennspannung ergibt
- X Anzahl der Wohnungen
- a Mindestabsicherung zur Sicherstellung der Selektivität bei Schmelzsicherungen

**Abbildung 0-19: Bemessungsgrundlage für Hauptleitungen in Wohngebäuden ohne Elektroheizung [23]**

## Zentrale oder dezentrale Wärmeversorgung?

Anhand von beispielhaften schematischen Darstellungen sollen typische zentrale und dezentrale Varianten der Wärmeversorgung dargestellt werden, die gemäß dem EEWärmeG für den Neubau zugelassen sind. Die Abbildung 0-20 (linke Grafik) zeigt zunächst ein mit Erdgas versorgtes Gebäude, das mit Erdgas-Brennwerttechnik beheizt wird. Die Warmwassererzeugung erfolgt bivalent mit einer thermischen Solaranlage oder über das Erdgas-Brennwertgerät. Zur Verteilung der Heizwärme im Gebäude werden konventionelle Plattenheizkörper eingesetzt. In der rechten Grafik erfolgt die Beheizung des Gebäudes mit einer elektrisch betriebenen Sole-Wasser-Wärmepumpe, die mit einer Erdwärmesonde als erneuerbare Wärmequelle arbeitet. Zur Übertragung der Heizwärme kommen Fußbodenheizungen zum Einsatz. Die Warmwassererzeugung erfolgt über einen Wärmespeicher, der indirekt von der Wärmepumpe beladen wird.

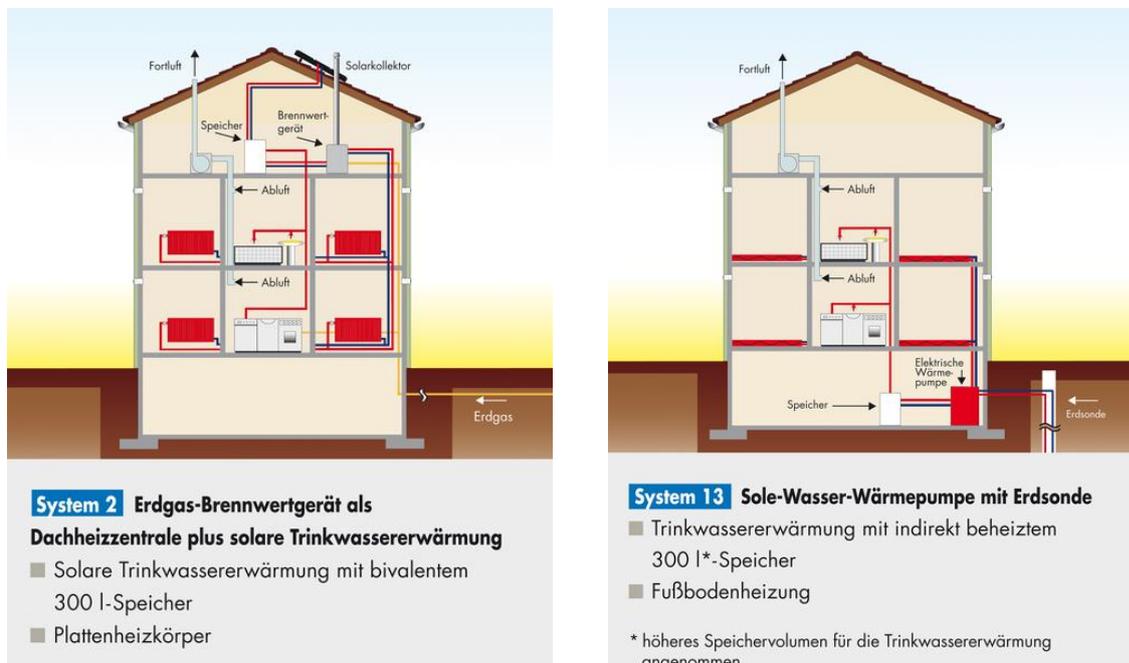
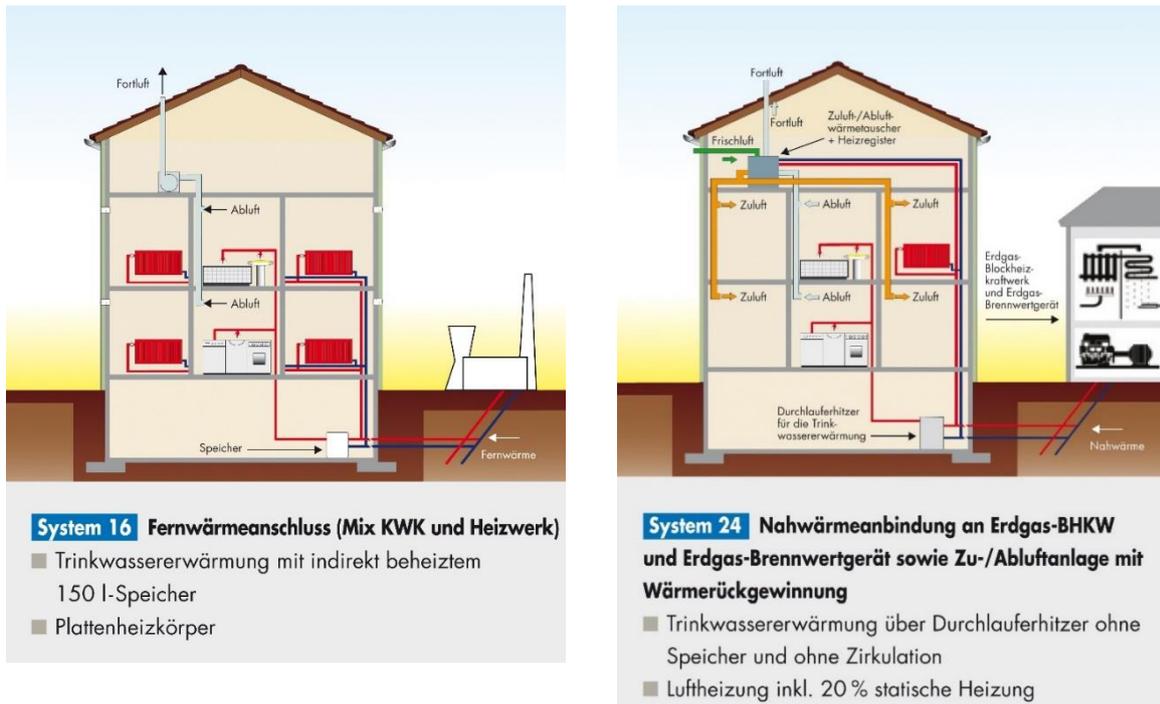


Abbildung 0-20: Dezentrale Wärmeversorgungssysteme [90]



**Abbildung 0-21: Zentrale Wärmeversorgungssysteme (Anbindung an Nah- / Fernwärmenetz) [90]**

In der Abbildung 0-21 sind 2 Wärmeversorgungssysteme schematisch dargestellt, bei denen Wärme aus dem Nah- / Fernwärmenetz zur Beheizung und Warmwassererzeugung eingesetzt wird. Die Wärmeerzeugung erfolgt jeweils mit Hilfe von KWK-Systemen und Spitzenlastkesseln in einer lokalen Heizzentrale (Nahwärme) oder im Heizkraftwerk (Fernwärme). In der linken Grafik ist ein mit Fernwärme betriebener Durchlauferhitzer im Gebäude installiert, der das benötigte Warmwasser bereitstellt. Die Heizwärme wird zu 80 % über eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage im Haus verteilt. Zusätzliche, im Wohnbereich benötigte Wärme kann über Plattenheizkörper bereitgestellt werden, die direkt mit Nahwärme versorgt werden. Bei dem in der rechten Grafik abgebildeten System erfolgt die Warmwassererzeugung mit Hilfe eines Wärmespeichers, der indirekt mit Fernwärme beladen wird. Das Heizungssystem, das aus konventionellen Plattenheizkörpern besteht, wird direkt mit Fernwärme versorgt.

## Nahwärmenetze – Netzverluste und Wärmebedarfsdichte

### Effizienz von Wärmenetzen:

- Effizienz ist entscheidend für Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit
- Zielwert für Verluste <10%
- Zielwert Anschlussdichte 0,8 - 1,8 MWh/(m a)

Abbildung 0-22 stellt die Wärmebedarfsdichte als Funktion der spezifischen Verlustleistung von Nahwärmeleitungen dar.

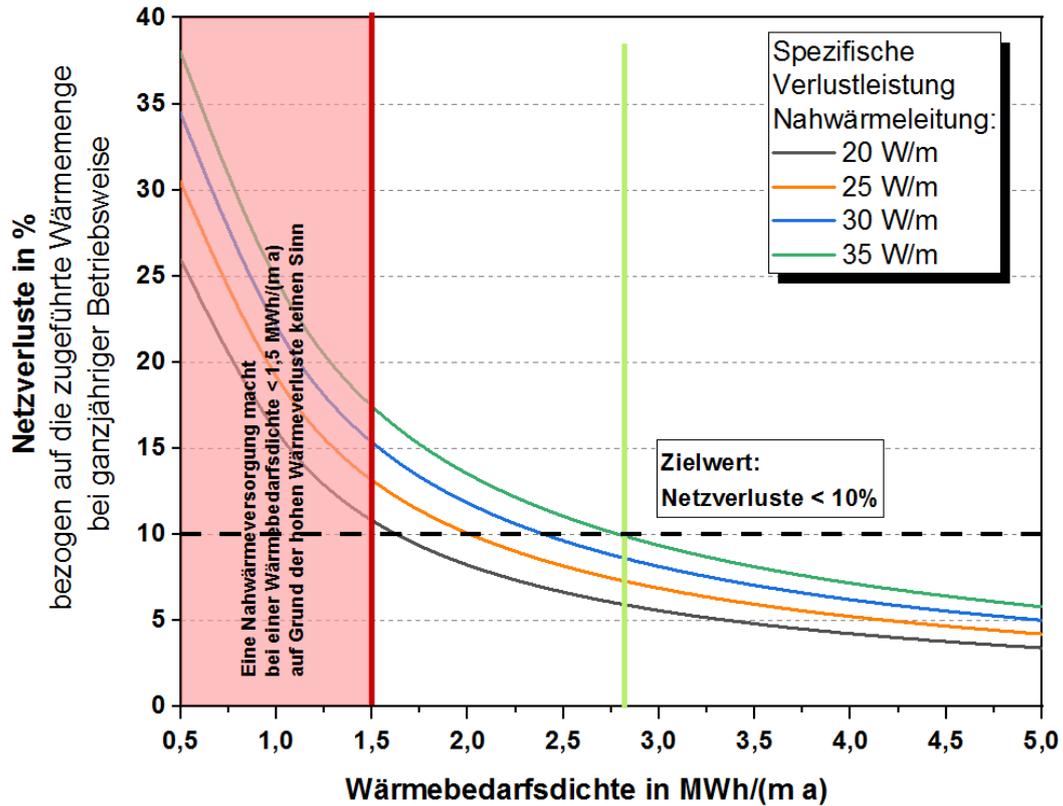


Abbildung 0-22: Wärmebedarfsdichte als Funktion der spez. Verlustleistung von Nahwärmeleitungen

## Versorgungsbeispiele mit kalten Nahwärmenetzen

Versorgungsbeispiele von kalten Nahwärmenetzen mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern, Speichern und eingebundene Erneuerbare Energien zeigen Abbildung 0-23 bis Abbildung 0-28. Dabei sind auch unterschiedliche Möglichkeiten der Trinkwarmwassererwärmung dargestellt.

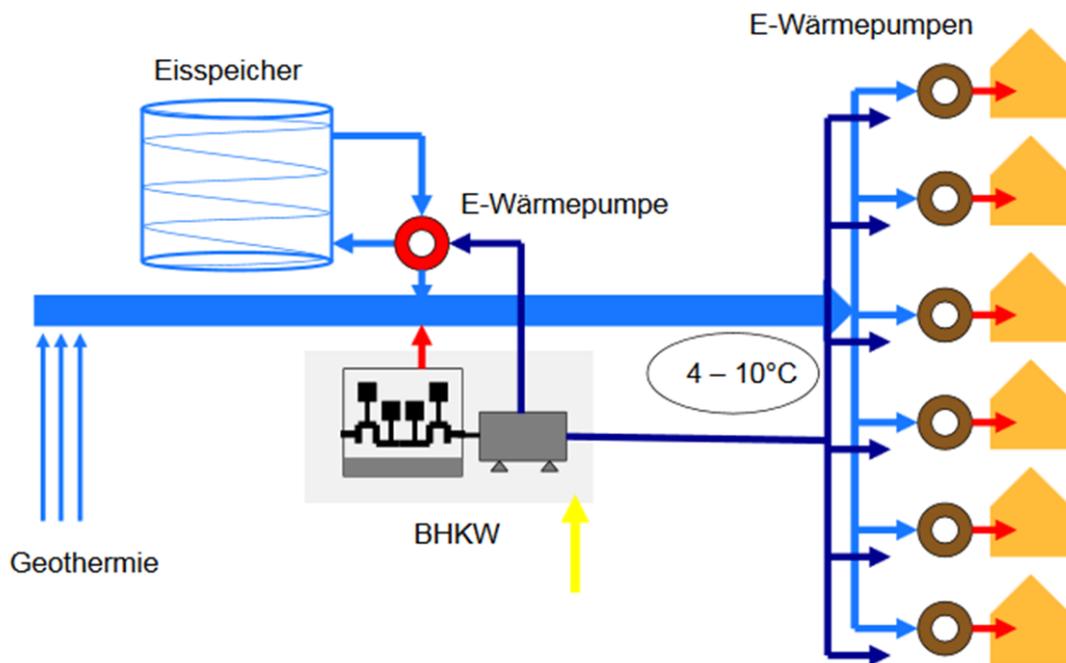


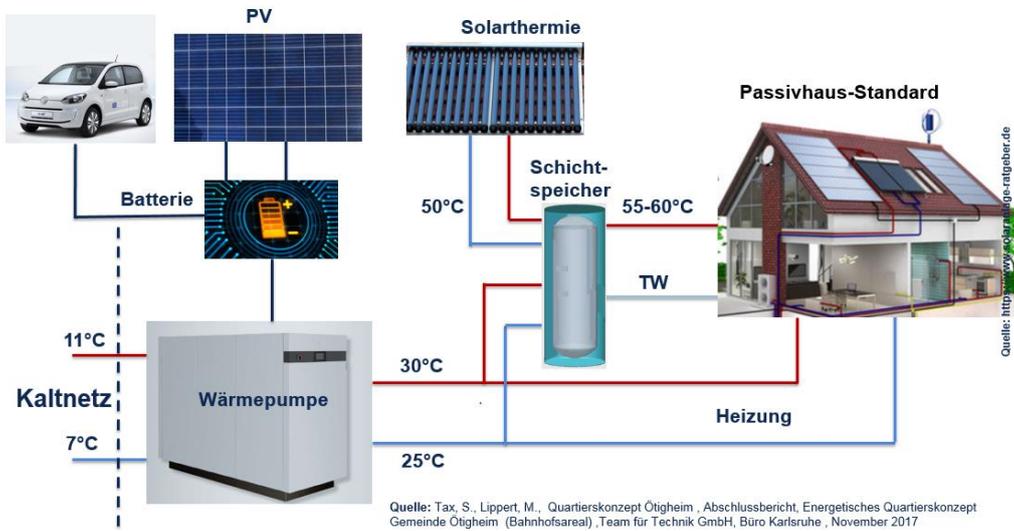
Abbildung 0-23: Kaltes Nahwärmenetz mit BHKW, Elektrowärmepumpen, Eisspeicher und Geothermie [20]



Abbildung 0-24: Anschluss an ein kaltes Nahwärmenetz mit dezentraler Elektrowärmepumpe und PV [91]



**Abbildung 0-25: Anschluss an ein kaltes Nahwärmenetz mit zentraler Elektrowärmepumpe, Pufferspeicher und PV [91]**



**Abbildung 0-26: Schema einer Kaltnetz-Wärmeversorgung, Neubau – TWE über Solarthermie**

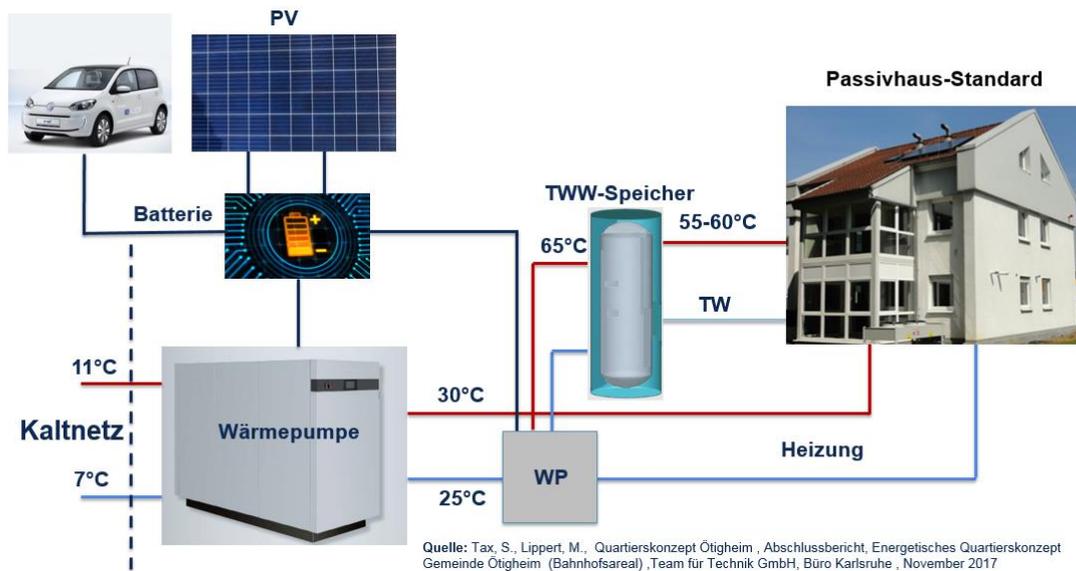


Abbildung 0-27: Schema einer Kaltnetz-Wärmeversorgung, Neubau – TWE über WP

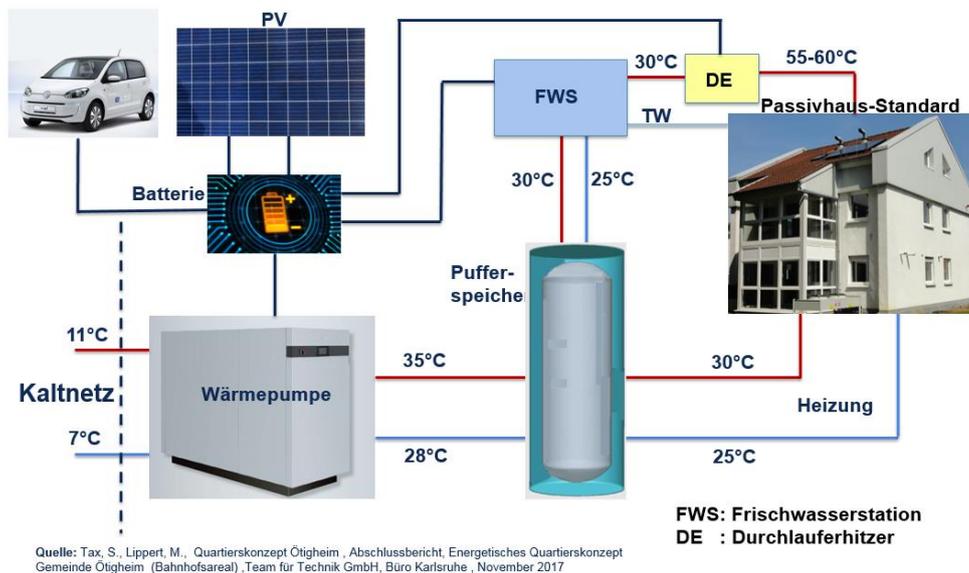


Abbildung 0-28: Schema einer Kaltnetz-Wärmeversorgung, Neubau – TWE über Frischwasserstation mit Durchlauferhitzer

## Technologien von Umweltwärmequellen

Für eine sinnvolle Abwassernutzung sollten folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Mischwasser- oder Schmutzwasserkanalisation mit Durchmessern > 800 mm
- mittlerer Trockenwetterabfluss > 15 l/s
- keine hydraulische Beeinträchtigung des Abflusses
- ausreichendes Gefälle
- Abwassertemperaturen im Kläranlagenzulauf > 10 °C

Das Funktionsprinzip der Abwassernutzung zeigt Abbildung 0-29.

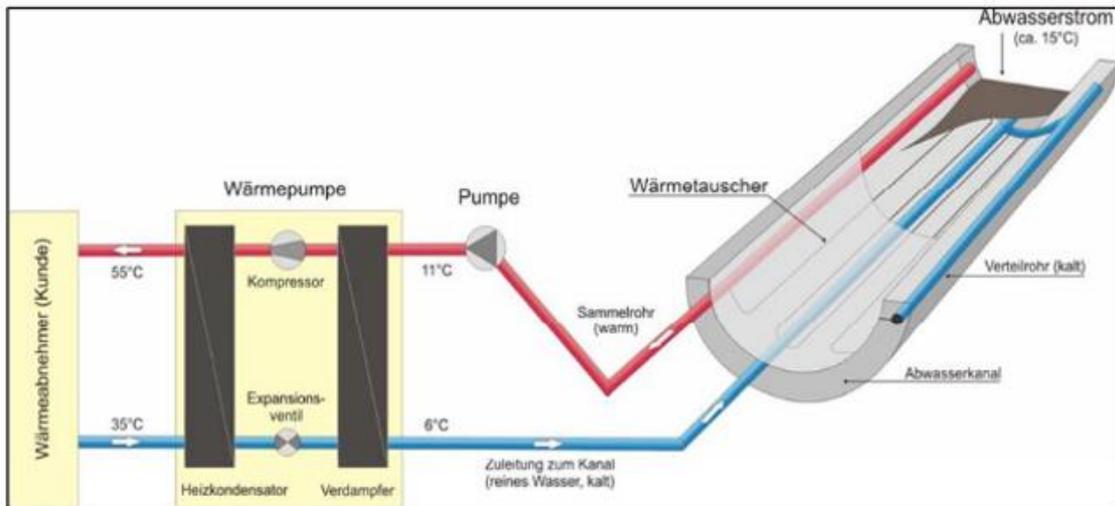


Abbildung 0-29: Funktionsprinzip der Abwassernutzung [92]

## Speichertechnologien

Abbildung 0-30 und Abbildung 0-31 enthalten detaillierte Informationen über unterschiedliche Langzeit-Speichertechnologien. Ein Versorgungsbeispiel eines zentralen Eisspeichers, der in ein kaltes Nahwärmenetz eingebunden ist, zeigt Abbildung 0-32.

Die

Tabelle 0-1 informiert über Stärken und Schwächen von Blei-Säure-Batterien. Tabelle 0-2 gibt einen Überblick über Stärken und Schwächen von Lithium-Ionen-Batterien.

Heißwasser-Wärmespeicher	Kies-Wasser-Wärmespeicher	Erdsonden-Wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher
<b>Speicheraufbau</b>			
Wärmegeämmter, wassergefüllter, meist ins Erdreich eingegrabener Behälter mit Tragwerk aus Stahlbeton	Wärmegeämmtes, zum Erdreich hin mit Kunststoffolie abgedichtetes, mit Kies (Erdreich)-Wasser-Gemisch gefülltes Becken	Vertikale Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden in wasser-gesättigtem Erdreich	Verfilterte Brunnen in natürlich vorkommenden, möglichst nach oben und unten abgeschlossenen Grundwasserschichten
<b>Speichermedium</b>			
Wasser	Kies-Wasser-Gemisch	Erdreich	Erdreich
<b>Speicherkapazität</b>			
60 bis 80 kWh/m <sup>3</sup>	30 bis 50 kWh/m <sup>3</sup>	15 bis 30 kWh/m <sup>3</sup>	30 bis 40 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Speichervolumen für 1 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent</b>			
1 m <sup>3</sup>	1,3 bis 2 m <sup>3</sup>	3 bis 5 m <sup>3</sup>	2 bis 3 m <sup>3</sup>
<b>Auswahl realisierter Projekte</b>			
Hamburg, 4500 m <sup>3</sup> , 1996 Friedrichshafen, 12000 m <sup>3</sup> , 1996 Hannover, 2750 m <sup>3</sup> , 2000 München 6000 m <sup>3</sup> , 2007	Steinfurt, 1500 m <sup>3</sup> , 1999 Chemnitz, 8000 m <sup>3</sup> , 2000 Eggenstein 4500 m <sup>3</sup> , 2008	Neckarsulm, 63360 m <sup>3</sup> (gesamt), 1997, 1998, 2001 Crailsheim 39000 m <sup>3</sup> , 2008	Rostock, 20000 m <sup>3</sup> , 2000

Abbildung 0-30: Beispiele und Daten von Langzeit-Wärmespeichern [40]

Wärmespeicher-Typ	Kapazität [kWh/t]	Effizienz [%]	Speicher-dauer	Wärmekosten [€/MWh]
Heißwasser-Speicher	20 - 80	50 - 90	Tag - Jahr	8 - 10
Kaltwasser-Speicher	10 - 20	70 - 90	Stunde - Woche	8 - 10
Aquifer-Wärmespeicher	5 - 10	50 - 90	Monate	5 - 60
Erdsonden-Wärmespeicher	5 - 30	50 - 90	Monate	10 - 140
Phasenwechsel-Materialien	50 - 150	75 - 90	Stunde - Woche	1.000 - 5.000
Eis-Speicher	100	80 - 90	Stunde - Woche	500 - 1.500
Thermo-chemischer Wärmespeicher	120 - 150	75 - 100	Stunde - Tag	800 - 1.400

Quelle: IEA/ OECD Expertengruppe „Thermal Energy Storage“ (2008) mit Ergänzungen durch Solites (2012)

Abbildung 0-31: Bewertung unterschiedlicher Speichertechnologien

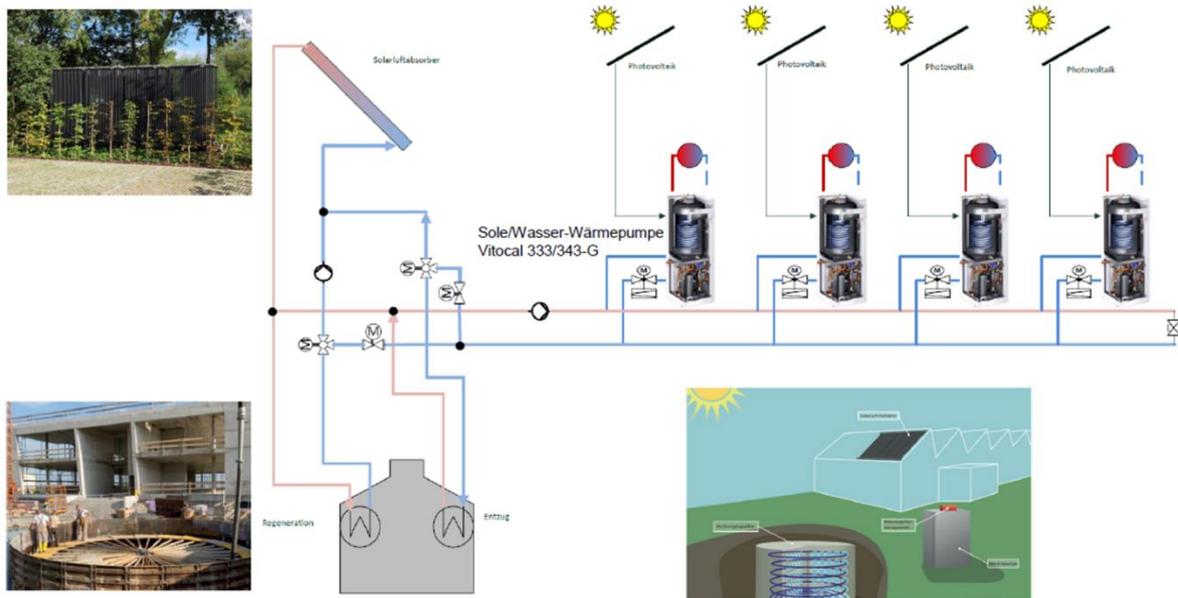


Abbildung 0-32: Kaltes Nahwärmenetz mit zentralem Eisspeicher und dezentralen WP und PV [93]

Tabelle 0-1: Stärken und Schwächen von Blei-Säure-Batterien

		Blei-Säure-Batterien	
		Stärken	Schwächen
Intern		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bereits heute große Stückzahlen</li> <li>Akzeptable Energie- und Leistungsdichte für stationäre Anwendungen</li> <li>Inhärente Sicherheit durch kontrollierte Überladereaktion</li> <li>Kein komplexes Zellmanagement erforderlich</li> <li>Erfahrungen mit großen Speichern</li> <li>Kurze Amortisationsperioden und relativ geringe Anfangsinvestition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lade- und Entladefähigkeit sind nicht symmetrisch</li> <li>Batterieraumlüftung erforderlich</li> <li>Begrenzte Zyklenlebensdauer</li> <li>Industriebatterien werden noch nicht in vollautomatischer Fertigung gebaut</li> </ul>
	☰ × ↴	<b>Möglichkeiten/Chancen</b>	<b>Risiken</b>

	Durch vollautomatisierte Massenproduktion ist eine deutliche Kostensenkung möglich Unabhängig von Standortbedingungen Weltweit große Zahl an Herstellern	Verbot der Verwendung des Schwermetalls Blei Extreme Kostensenkung bei Lithium-Ionen-Batterien (betrifft dasselbe Anwendungssegment) Begrenzte Bleilagerstätten, unzureichende F+E-Kapazitäten; kein erfahrenes Personal verfügbar
--	--	--

**Tabelle 0-2: Stärken und Schwächen von Lithium-Ionen-Batterien**

Lithium-Ionen-Batterie		
	Stärken	Schwächen
<b>Intern</b>	Hohe Effizienz Geringe Selbstentladung Lange Lebensdauer bei geeigneter Auslegung Hohe Leistungsfähigkeit Hohe Energiedichte	Je nach Li-Zellchemie keine inhärente Sicherheit (thermisches Durchgehen, Thermal Runaway) Aufwendiges Batteriemanagementsystem erforderlich (Einzelzellspannungsüberwachung) Packaging und Kühlung aufwendig, abhängig vom Zelltyp Derzeit noch hohe Kosten
	Möglichkeiten/Chancen	Risiken
<b>Extern</b>	Kostensenkung durch hohe Stückzahlen (Standard-Zellen) Sehr flexible Einsetzbarkeit Hohe Stückzahlen in der Automobilindustrie führen zu schneller Kostensenkung Keine speziellen Anforderungen an Speicherstandorte (keine Gasentwicklung) Eine sehr flexible Einbindung ins Netz ist möglich	Steigende Rohstoffpreise, zum Beispiel Lithium, Kobalt Akzeptanzproblem aufgrund Gefährdungspotenzial Probleme bei der sozialen Akzeptanz aufgrund des Lithiumabbaus in einigen Ländern möglich Lithiumvorkommen sind auf nur wenige Länder begrenzt

## Detaillierte Informationen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Abbildung 0-33 gibt eine Übersicht über die Qualität der Gebäudehülle eines EFH in Abhängigkeit von Energieeffizienzstandards, Quelle der Daten aus:

„Ökonomische Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards“, April 2016, [www.egs-plan.de](http://www.egs-plan.de), Mahler, B., Nusser, T., Idler, S.; EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH

	Dach			Außenwand			Fenster			Gebäudehülle	
	WD	WLG	U <sub>D</sub>	WD	WLG	U <sub>AW</sub>	U <sub>w</sub>	g-Wert	Verglasung	n <sub>50</sub>	U <sub>WB</sub>
	in cm	[-]	in W/(m²K)	in cm	[-]	in W/(m²K)	in W/(m²K)	[-]	[-]	in 1/h	in W/(m²K)
EnEV 2016	18	035	0,186	16	035	0,207	1,200	0,60	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	1,0	0,10
KfW 55	28	032	0,122	22	032	0,140	0,900	0,55	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	0,7	0,05
KfW 40	36	032	0,087	30	032	0,104	0,700	0,55	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	0,7	0,05

WD : Wanddämmung

WB : Wärmebrücken

WLG : Wärmeleitgruppe

n<sub>50</sub> : Luftwechsel bei 50 Pa

Abbildung 0-33: Qualität der Gebäudehülle in Abhängigkeit von Energieeffizienzstandards, [82]

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der GWI-Berechnungen wurden die Daten aus Abbildung 0-34 und Abbildung 0-35 verwendet und beruhen weiterhin auf folgende Datenquellen:

- [1] VDI 2067 Blatt1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, September 2012.
- [2] Andreas Holm, A., Kagerer, F., Maderspacher, C., Sprengard, C.; Walberg, D., Gniechwitz, T.; Wirtschaftlichkeit von Einfamilienhäusern in Niedrigstenergie-Gebäudestandard; Forschungsbericht FO-2015/08 ISBN 978-3-939268-41-3
- [3] Firma BAUER WÄRMEPUMPENSYSTEME; Technische Daten und Preise 2017/2018
- [4] Bettina Mailach, B., Oschatz, B.; ITG Institut für Technischen Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; BDEW-Heizkostenvergleich Neubau 2016; Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung im Neubau
- [5] Mahler, B., Nusser, T., Idler, S.; EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH „Ökonomische Analyse und Bewertung baulich-energetischer Standards“, April 2016, [www.egs-plan.de](http://www.egs-plan.de)
- [6] Wärmenetzsysteme 4.0, Endbericht, Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen, April 2017

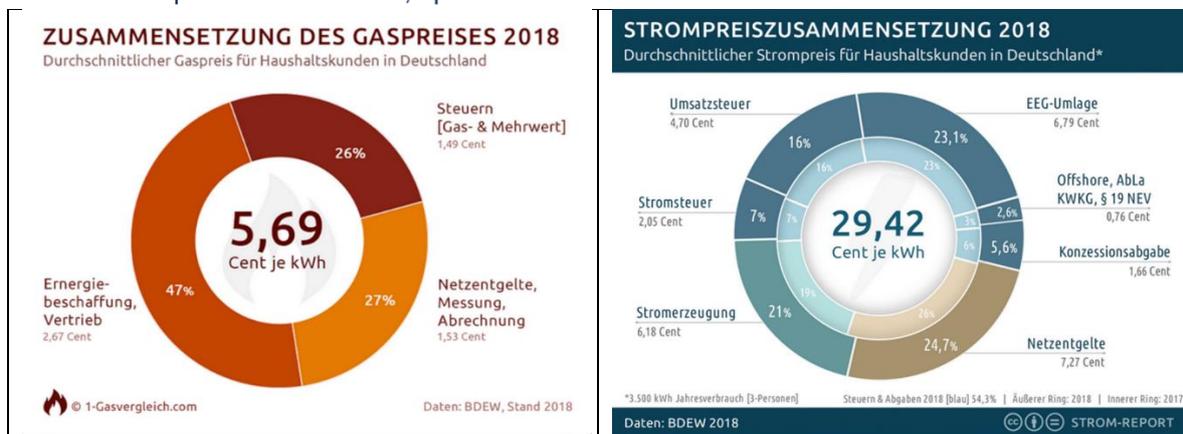


Abbildung 0-34: links: Zusammensetzung des Gaspreises 2018, rechts: Strompreiszusammensetzung 2018 [BDEW 2018]

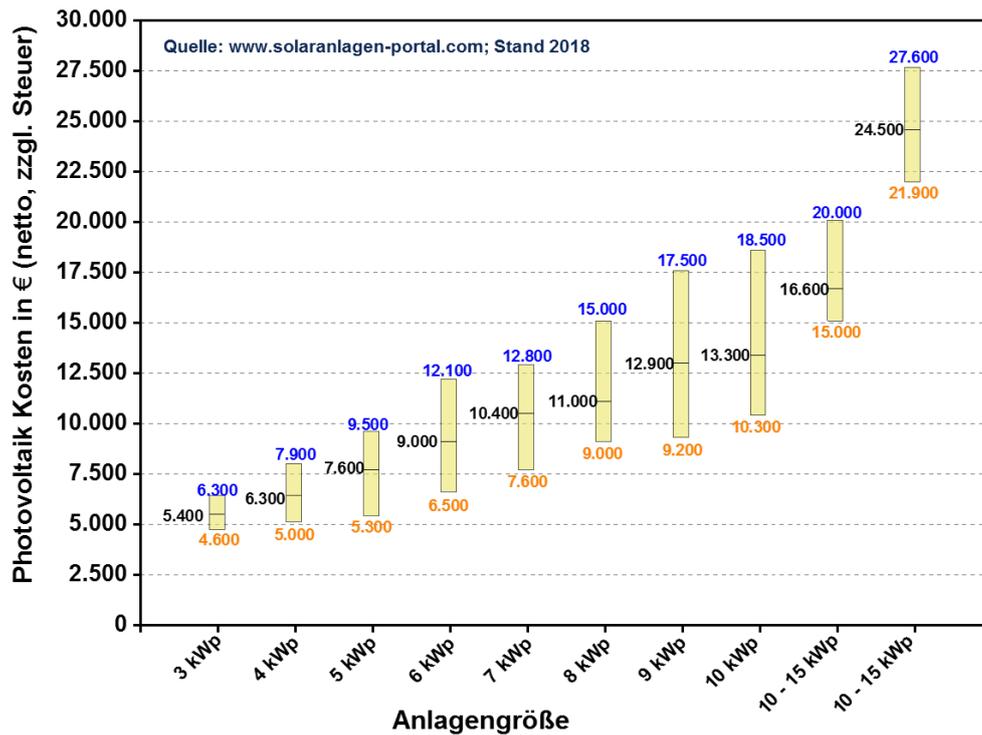
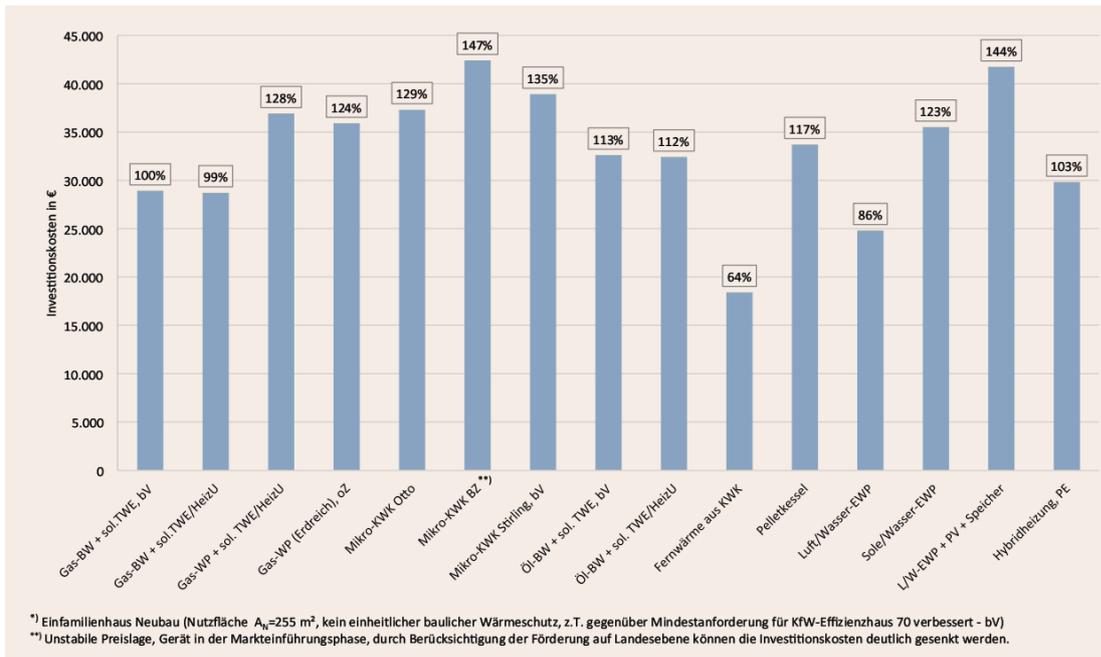


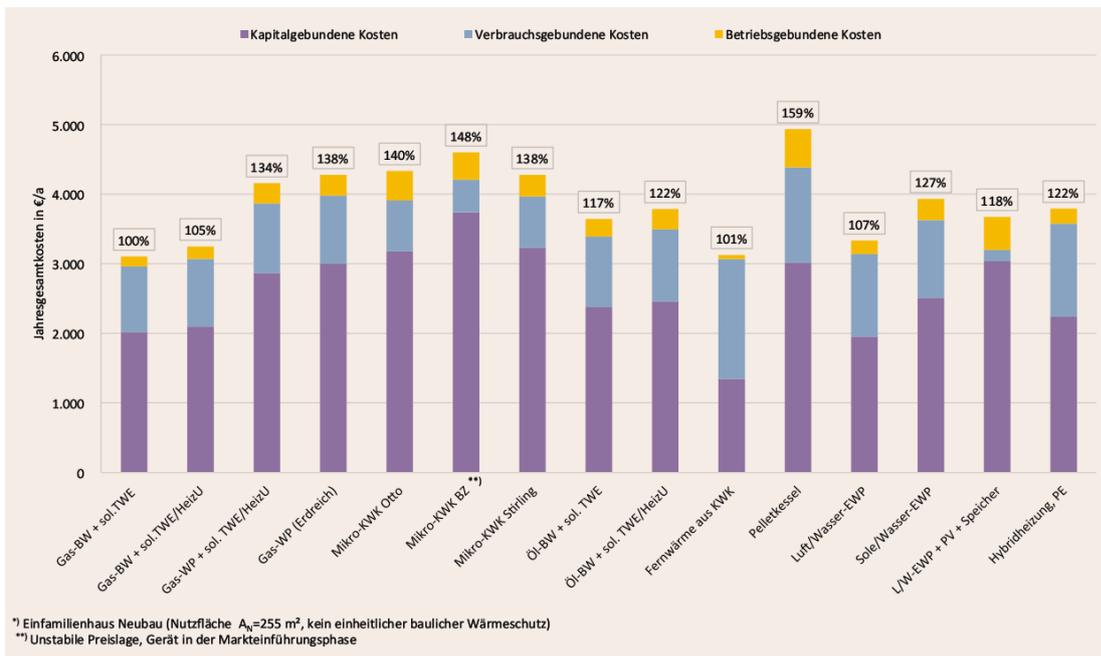
Abbildung 0-35: Kosten für Photovoltaikanlagen verschiedener Anlagengrößen

## Darstellung weiterer Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen verschiedener Versorgungssysteme

Wie bereits in Abschnitt 3.1.2 dargestellt wurde, wurden in ähnliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchgeführt. Darin wurden sowohl Investitionskosten, als auch Jahresgesamtkosten verschiedener, auf dem Markt verfügbarer Heiztechnologien bzw. Anlagenvarianten betrachtet. Diese sind in der Abbildung 0-36 und Abbildung 0-37 dargestellt und zeigen sehr ähnliche Ergebnisse, wie die im Projekt durchgeführten Berechnungen und Simulationen.



**Abbildung 0-36: Investitionskosten von Anlagenvarianten inklusive Kosten für zusätzliche bauliche oder anlagentechnische Maßnahmen im Neubau von EFH [28]**



**Abbildung 0-37: Jahresgesamtkosten von Anlagenvarianten unter Berücksichtigung der baulichen Zusatzmaßnahmen zur Einhaltung der EnEV 2016 [28]**

## Beispiel einer Quartiersversorgung mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In Abbildung 0-38 bis Abbildung 0-45 ist eine Quartiersversorgung im Baugebiet Nordstadt-Kurzweg in Ladenburg vorgestellt. Die Daten stammen aus folgender Quelle:

**Quelle: Schäfer, U., ibs Energie, Machbarkeitsstudie, Nahwärme Baugebiet Nordstadt-Kurzweg in Ladenburg, Januar 2018**



Abbildung 0-38: Betriebs- und Randbedingungen für die Heizung- und Warmwasser-Versorgung des Quartiers in Ladenburg, [83]

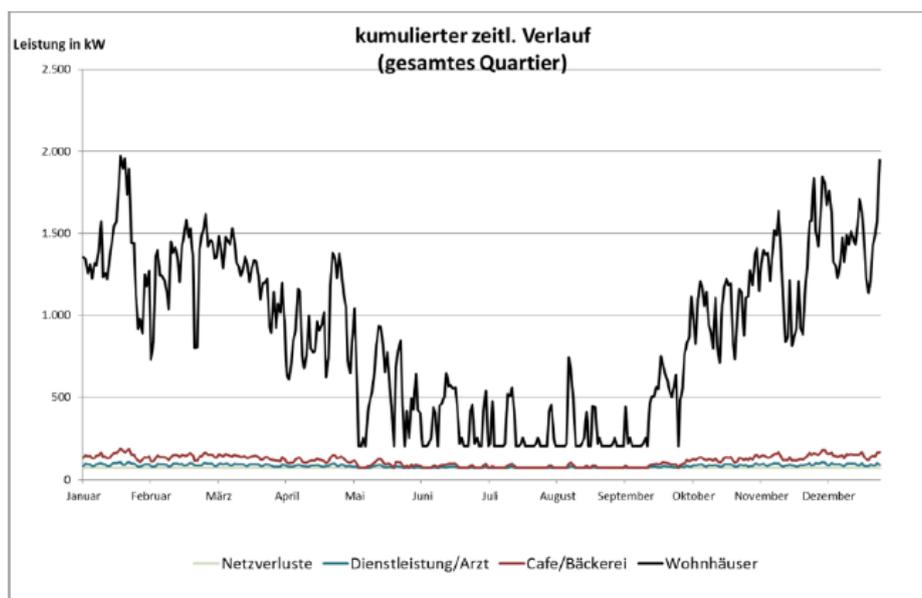


Abbildung 0-39: Jahreslastgang des Quartiers in Ladenburg, [83]

<b>Holz und Gas (Zentral)</b>		
Bezeichnung	Größe	Einheit
<b>Dimensionierung</b>		
Hackschnitzelkessel	1060	kW
Spitzenlastkessel Gas	870	kW
Pufferspeicher	30	m <sup>3</sup>
<b>Energiemengen</b>		
Hackschnitzelkessel	3.959.595	kWh/a
Spitzenlastkessel Gas	691.612	kWh/a

<b>Wärmepumpe mit Eisspeicher (Zentral)</b>		
Bezeichnung	Größe	Einheit
<b>Dimensionierung</b>		
Wärmepumpe	2000	kW
Eisspeicher	300	m <sup>3</sup>
Solarabsorber	7000	m <sup>2</sup>
<b>Energiemengen</b>		
Wärmepumpe	3.458.078	kWh/a
Durchlauferhitzer dezentral	771.144	kWh/a

<b>BHKW, Holz und Gas (Zentral)</b>		
Bezeichnung	Größe	Einheit
<b>Dimensionierung</b>		
Hackschnitzelkessel	960	kW
Spitzenlastkessel Gas	960	kW
Pufferspeicher	100	m <sup>3</sup>
BHKW	250	kW
<b>Energiemengen</b>		
Hackschnitzelkessel	2.234.096	kWh/a
Spitzenlastkessel Gas	753.874	kWh/a
BHKW (Wärme)	1.663.237	kWh/a
BHKW (Strom)	917.648	kWh/a

<b>Holz, Solarthermie und Gas (Zentral)</b>		
Bezeichnung	Größe	Einheit
<b>Dimensionierung</b>		
Hackschnitzelkessel	1060	kW
Spitzenlastkessel Gas	870	kW
Pufferspeicher	100	m <sup>3</sup>
Solarthermieanlage	1230	m <sup>2</sup>
<b>Energiemengen</b>		
Hackschnitzelkessel	3.898.129	kWh/a
Spitzenlastkessel Gas	138.415	kWh/a
Solarthermieanlage	614.663	kWh/a

Abbildung 0-40: Technische Daten der Technologien des Quartiers in Ladenburg, [83]

<b>Gas und Solarthermie (Dezentral)</b>	
Bezeichnung	Betrag
156 Erdgas Brennwert-Anlagen	1.092.000 €
Solarthermieanlage	514.800 €
Rohrleitungen Solarthermie	62.400 €
Pufferspeicher Solarthermie	468.000 €
Kamine	234.000 €
Fördermittel	-312.000 €
Planung BNK	474.240 €
<b>Summe</b>	<b>2.533.440 €</b>

<b>Holz und Gas (Zentral)</b>	
Bezeichnung	Betrag
Spitzenlastkessel Heizkessel mit Zubehör	15.700 €
Brenner	5.400 €
Pumpen (Netz, Kesselkreise)	16.000 €
Wärmeübergabestationen	468.000 €
Rohrleitungen Heizzentrale	30.000 €
GLT / Elektrische Anlagen HZ	75.000 €
Wärmenetz Haupttrasse	890.800 €
Wärmenetz Hausanschlussleitung	468.000 €
Kamine	24.000 €
Wärmeerzeugung Holz hackschnitzel-Anlage	343.500 €
Druckhaltung	12.000 €
Bauliche Anlagen (Silo, Heizhaus)	400.000 €
Pufferspeicher	30.000 €
Wärmemengenzähler	31.200 €
Fördermittel	-529.140 €
Planung BNK	393.344 €
<b>Summe</b>	<b>2.673.804 €</b>

<b>Wärmepumpe mit Eisspeicher (Zentral)</b>	
Bezeichnung	Betrag
Pumpen (Netz, Kesselkreise)	16.000 €
Wärmeübergabestationen	468.000 €
Wärmenetz Haupttrasse	890.800 €
Wärmenetz Hausanschlussleitung	468.000 €
Wärmeerzeugung WP, Eisspeicher, Absorber etc.	5.178.600 €
Durchlauferhitzer Warmwasser	476.000 €
Bauliche Anlagen (Silo, Heizhaus)	100.000 €
Wärmemengenzähler	31.200 €
Fördermittel	-4.310.159 €
Planung BNK	991.718 €
<b>Summe</b>	<b>4.310.159 €</b>

<b>Luftwärmepumpen (Dezentral)</b>	
Bezeichnung	Betrag
156 Luftwärmepumpen	2.145.000 €
Fördermittel	-234.000 €
Planung BNK	429.000 €
<b>Summe</b>	<b>2.340.000 €</b>

Abbildung 0-41: Kosten der angewendeten Technologien des Quartiers in Ladenburg, [83]

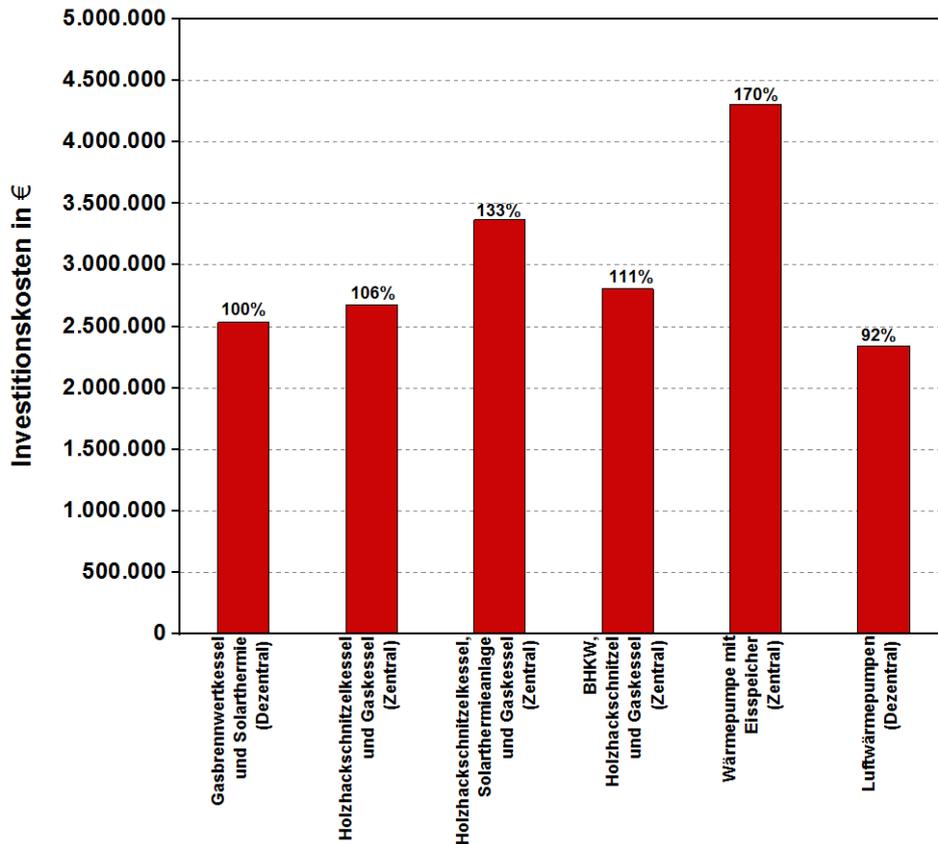


Abbildung 0-42: Investitionskosten der Technologien im Quartier in Ladenburg, [83]

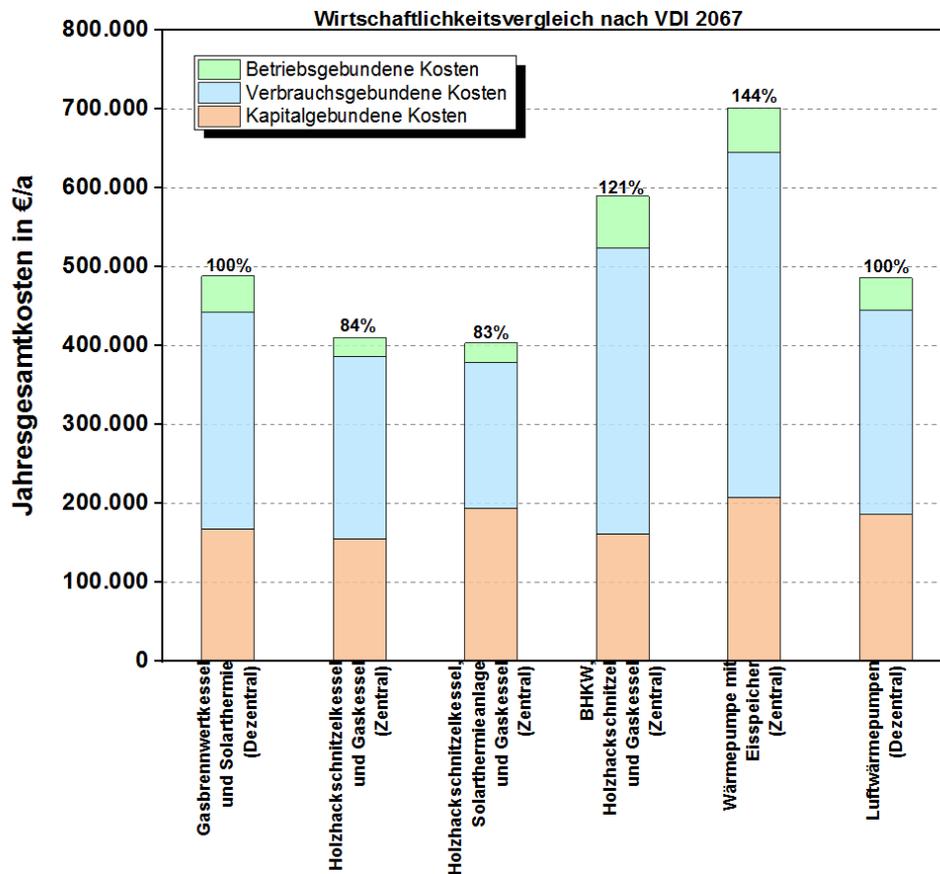


Abbildung 0-43: Jahresgesamtkosten der Technologien im Quartier in Ladenburg, [83]

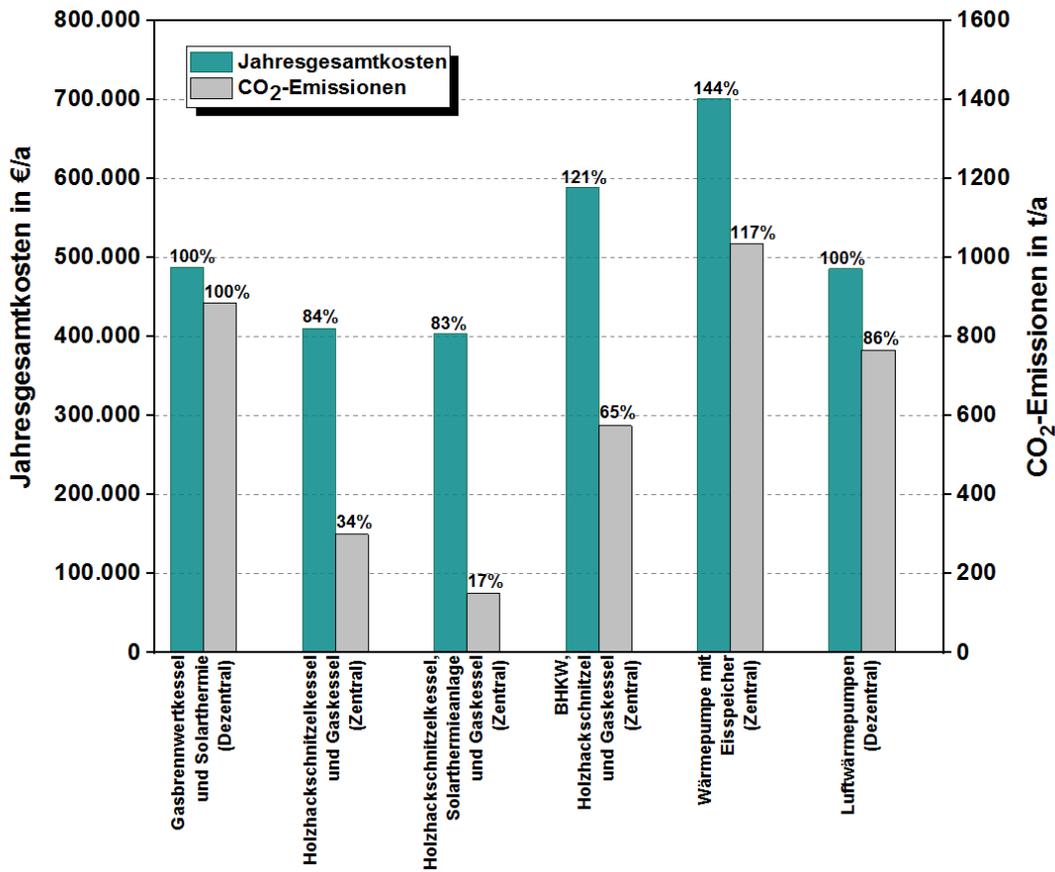


Abbildung 0-44: Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Technologien im Quartier in Ladenburg [83]

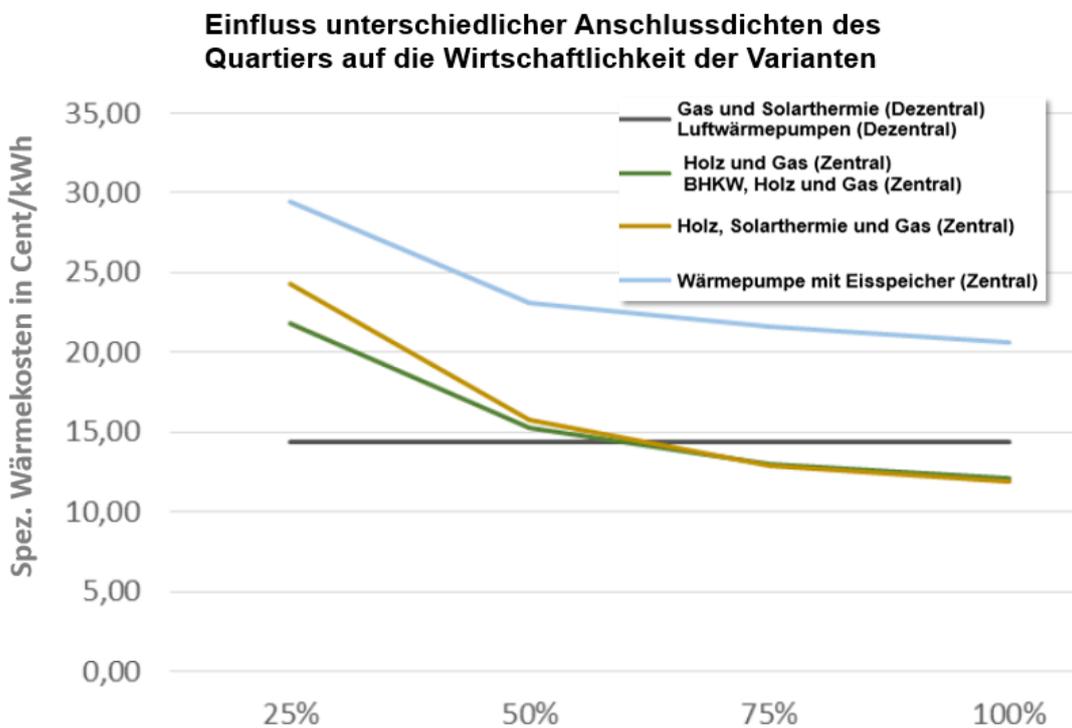


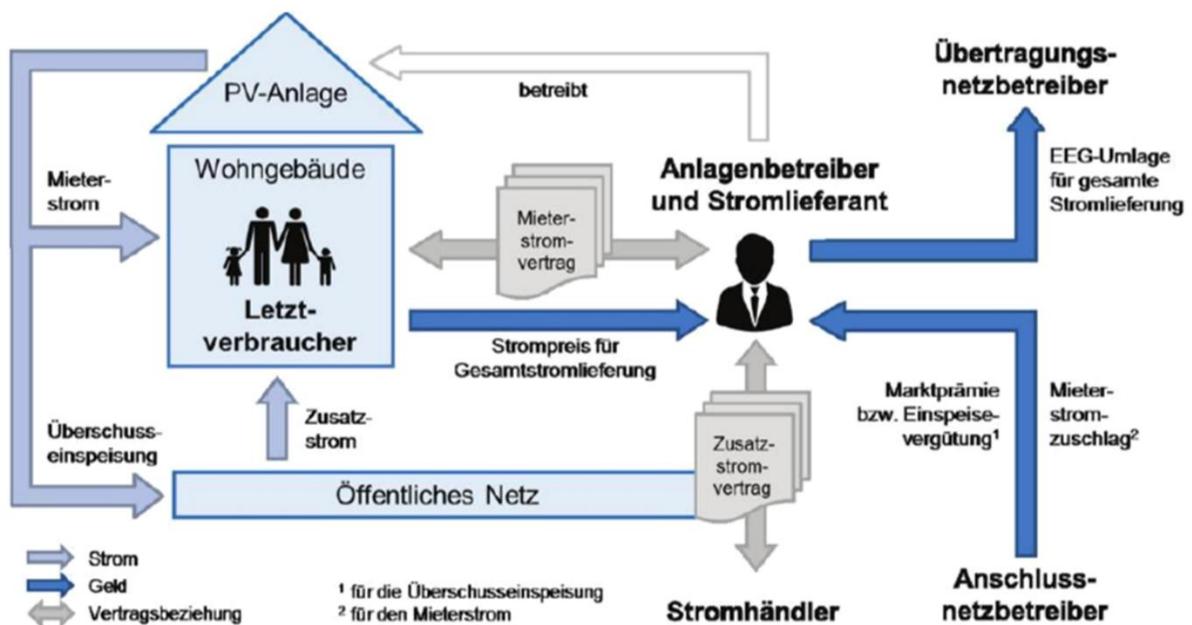
Abbildung 0-45: Spez. Wärmekosten nach Anschlussdichten im Quartier in Ladenburg [83]

## Mieterstrom, Quartierstrom, Contracting

Die Zusammenhänge der verschiedenen Beteiligten an einem Mieterstrom-Konzept stellt Abbildung 0-46 dar. Einzelheiten über verschiedene Contracting-Formen werden in Abbildung 0-47 erläutert.

Abbildung 0-48 enthält Festlegungen im Energiedienstleistungsgesetz, die das Energie-Contracting betreffen.

Abbildung 0-49 veranschaulicht die Herangehensweise an ein Nahwärme-Contracting-Konzept.



Quelle: Bundesnetzagentur 2017 (BNetzA)

Abbildung 0-46: Mieterstrom-Konzept

### **Einspar-Contracting**

- Contractor erstellt für seinen Kunden (z.B. Gebäudeeigentümer) ein Gesamtkonzept zur Energieeinsparung
- Vergütung des Contractors bemisst sich regelmäßig an den Ersparnissen, welche der Kunde durch das umgesetzte Konzept verwirklichen konnte
- Ersparnisse werden vom Contractor in einer vorab festgelegten Höhe garantiert, was das Risiko für den Kunden minimiert
- geringere Ersparnis geht zulasten des Contractors
- von höherer Ersparnis dagegen kann der Contractor, je nach konkreter Ausgestaltung, u.U. profitieren, wenn dieser über den festgelegten Wert hinaus ausschließlich oder überwiegend zu seinen eigenen Gunsten wirtschaftet
- Einspar-Garantievertrag: selbstständiges Garantieverprechen (begründet eigene Hauptleistungspflicht des Contractors zur Energieeinsparung)

### **Energieliefer-Contracting**

- Anlage wird vom Contractor regelmäßig geplant, finanziert und errichtet
- Eigentum bzw. Besitz (abgesichert über beschränkte persönliche Dienstbarkeit o.ä.) beim Contractor
- Contractor trägt die gesamte Verantwortung für den Betrieb und die Wartung (trotzdem kann vertraglich Personal des Auftraggebers involviert werden)
- Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells kann der Contractor vorliegend insbesondere durch eine ständige Optimierung der von ihm betriebenen Anlage steigern

### **Finanzierungs-Contracting**

- Contractor plant, finanziert und errichtet die Anlage
- Verantwortung für den Betrieb und die Wartung liegt allein beim Vertragspartner (Anlagennutzer)
- keine weitergehende Übernahme von Risiken durch den Contractor

### **Betriebsführungs-Contracting**

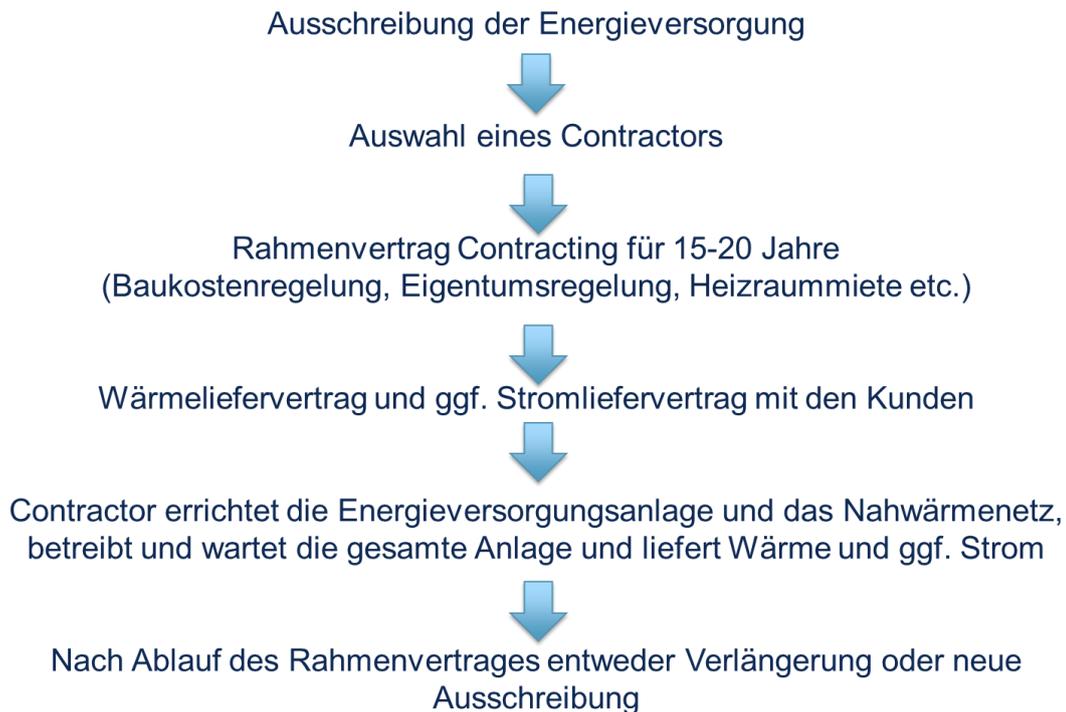
- Auslagerung ausschließlich des technischen Anlagenmanagements
- Leistungsumfang des Contractors beschränkt sich auf den Betrieb und die Instandhaltung/Instandsetzung der jeweiligen Anlage gegen eine pauschale Vergütung oder eine Vergütung nach Aufwand
- Energie-Effizienz-Management (in Abgrenzung zum klassischen Contracting)
- Optimierung bereits betriebener unwirtschaftlicher Anlagen
- Anlage bleibt im Eigentum des Vermieters/Gebäudeeigentümers, der als Betreiber auftritt und die entsprechenden Anlagen weiterhin als Eigenversorger betreibt

**Abbildung 0-47: Erläuterungen verschiedener Contracting-Formen**

### Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G)

- Definition der Energiedienstleistung umfasst das Energie-Contracting, wobei der Begriff Contracting nicht ausdrücklich verwendet wird (**§ 2 Nr. 6 EDL-G**)
- Ziel der nach EDL-G getroffenen Maßnahmen ist die kostenwirksame Steigerung der Effizienz der Energienutzung durch Endkunden in Deutschland (**§ 3 Abs.1 S. 1 EDL-G**)
- Informationspflichten für Energielieferanten ggü. Endkunden (**§ 4 Abs. 1 S. 1 EDL-G**)
- Contracting-Anbieter können sich in eine bei der Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) öffentlich geführte Anbieterliste eintragen lassen (**§ 7 Abs. 1 S. 1 EDL-G**)

**Abbildung 0-48: Auszüge aus dem Energiedienstleistungsgesetz**



**Abbildung 0-49: Contracting-Konzept für ein Nahwärmenetz**

## Intelligente Vernetzungen (Smart Grids)

Energienetze der Zukunft benötigen intelligente Vernetzungen um eine hohe Netzstabilität zu gewährleisten. Die Abbildung 0-50 zeigt eine schematische Darstellung.

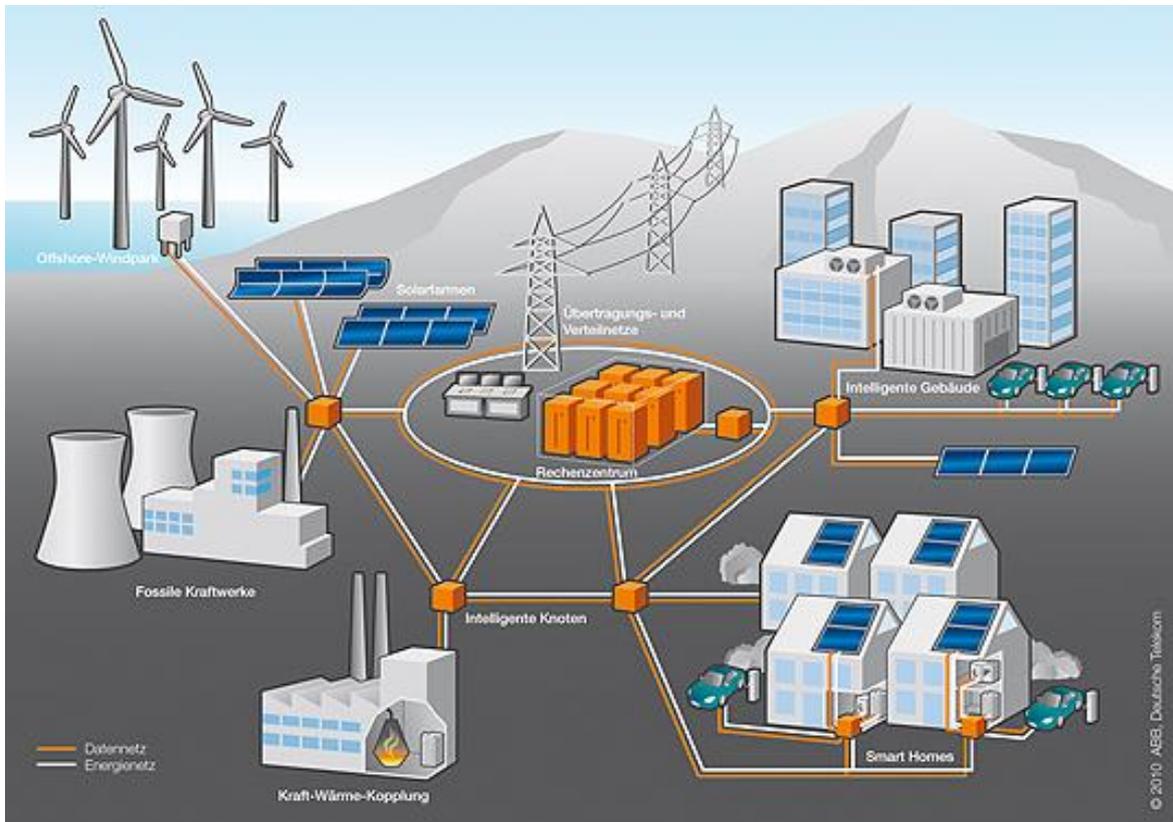


Abbildung 0-50: Smart Grid – Das Netz wird intelligent. [94]