

Versorgungsstrategien von Niedrigenergiehäusern

in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energienetze

Der Gebäudesektor in Deutschland hat ein enorm großes Potenzial für die Einsparung von Energie: Er ist einerseits der **größte Endenergieverbraucher der Bundesrepublik**, andererseits liegt der Anteil fossiler Energien im Gebäudebereich bei ca. 80 Prozent. Das DVGW-Projekt Roadmap Gas++ (Förder-Nr. G 201705) hat vor diesem Hintergrund Schlussfolgerungen zum **notwendigen Ausbau von Versorgungsnetzstrukturen** zukünftiger Niedrigenergiehaus-Siedlungen erarbeitet. Ziel ist es, eine effiziente und wirtschaftliche Energieversorgung im Gebäudesektor zu ermöglichen.

von: Sabine Feldpausch-Jägers, Eren Tali, Dr.-Ing. Frank Burmeister, Dr.-Ing. Rolf Albus (alle: Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.), Dr.-Ing. Mathias Wersch & Frank Erler (beide: DBI GTI gGmbH)

Im Rahmen der „Roadmap für mehr Klimaschutz, Nachhaltigkeit und Sicherheit“ hat der DVGW den weiteren Weg der Innovationsforschung zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz dargestellt. Demnach besitzt der Energieträger Gas neben den erneuerbaren Energien auch weiterhin eine zentrale Rolle im Transformationsprozess in der Energiewirtschaft; darüber hinaus ist eine hocheffiziente Nutzung

des Energieträgers Gas durch den Einsatz moderner Gasanwendungstechnologien möglich. Eine besondere Herausforderung mit Blick auf die Einbindung dezentraler Versorgungskonzepte stellen in diesem Zusammenhang Niedrigenergiegebäude dar, da sie niedrige und kontinuierliche Lastprofile, aber auch hohe Bedarfsspitzen (z. B. für die Warmwasserbereitung) aufweisen können.

In dem Projekt Roadmap Gas++ „Versorgungsstrategien von Niedrigenergiehäusern in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energienetze“ wurden deshalb mögliche Strategien für die Versorgung von Niedrigenergiehaus-Siedlungen mit Wärme und elektrischer Energie näher betrachtet. Dabei führten die Wissenschaftler 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 durch.

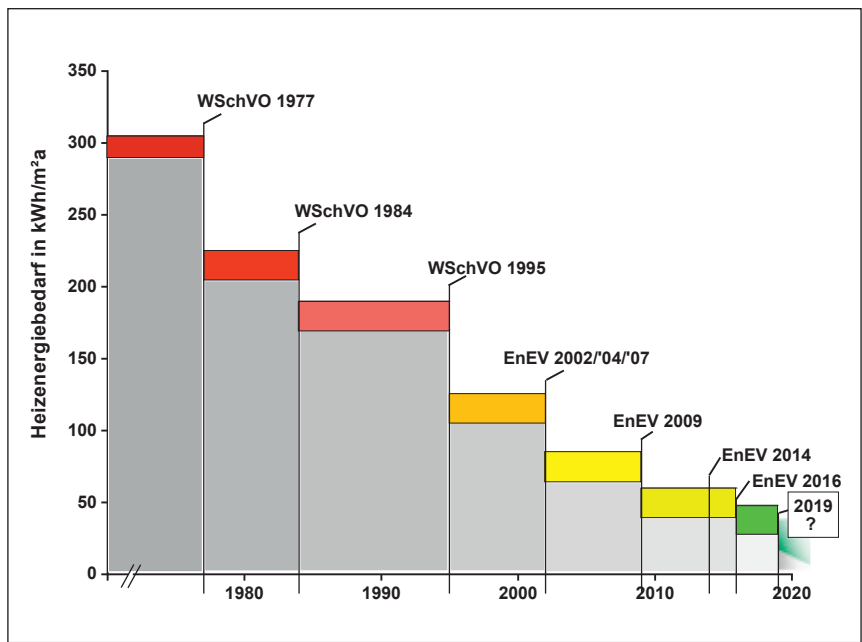


Abb. 1: Auswirkung politischer Rahmenbedingungen auf den zulässigen Heizenergiebedarf im Neubau

Die Ausgangssituation

Der Gebäudesektor ist der größte Endenergieverbraucher in Deutschland. Im Jahr 2015 betrug der Anteil fossiler Energien im Gebäudebereich ca. 80 Prozent, was ein außerordentlich hohes Potenzial für Energieeinsparungen bedeutet. Auch aus diesem Grund kann der Gebäudesektor wesentlich zum Erreichen der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung beitragen. Bereits in den 1970er-Jahren gab es Bemühungen, Energie einzusparen: Im Jahr 1977 beispielsweise stellte die Bundesrepublik mit der Verab-

scheidung der Wärmeschutzverordnung (WSchVo) bereits Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden. Seitdem wurden die ordnungsrechtlichen Maßnahmen immer weiter verschärft und der zulässige Heizenergiebedarf weiter verringert (Abb. 1). In der Energieeinsparverordnung (EnEV) aus dem Jahr 2002 findet dann zum ersten Mal der Begriff „Niedrigenergiehaus“ Erwähnung. Durch die Umsetzung bestimmter baulicher Maßnahmen (wie optimale Wärmedämmung der Gebäudehülle, Einbau von gut gedämmten Fenstern und Außentüren etc.) sowie haustechnischer Maßnahmen durch Einsatz moderner Heiztechnik kann der Primärenergieverbrauchswert immer weiter reduziert werden.

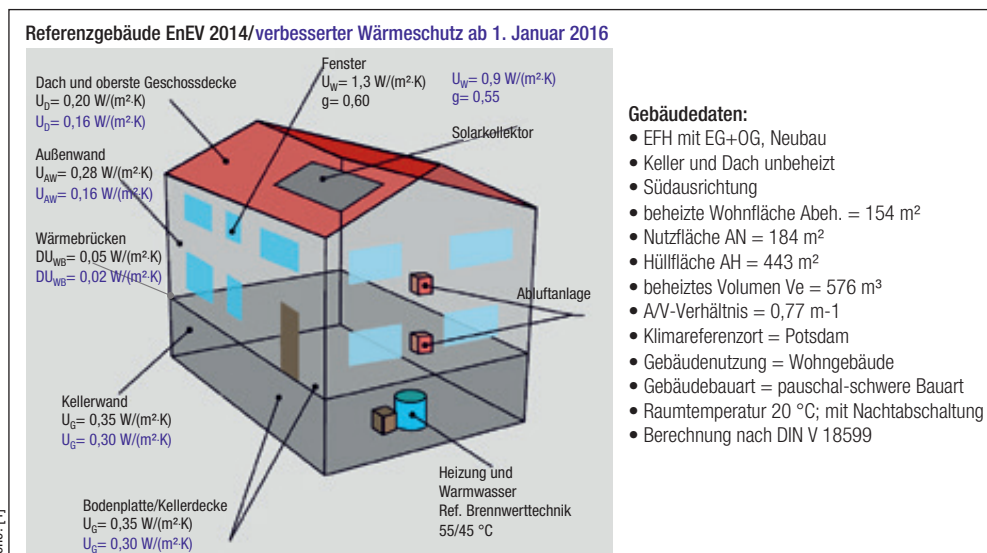


Abb. 2: Anforderungen an das Referenzgebäude der EnEV 2014 und an ein Gebäude mit verbessertem Wärmeschutz (EnEV 2016)

Die aktuell gültigen energetischen Anforderungen stellen einen Zwischenschritt zum sogenannten Niedrigst-Energiehaus dar, das ab dem Jahr 2021 zum europaweiten Neubaustandard werden soll. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium des Innern (BMI) haben am 14. November 2018 einen überarbeiteten Referentenentwurf für ein „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung in Gebäuden“ (kurz: GEG) vorgelegt. Es soll das Energieeinspargesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) zusammenführen und ersetzen.

Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Vor diesem Hintergrund lag der Fokus des DVGW-Forschungsprojektes Roadmap Gas++ auf dem Einfamilienhaus-Sektor im Neubau. Zunächst wurden der Jahresprimärenergie- und Endenergiebedarf sowie die CO₂-Emissionen für ein freistehendes Einfamilien-Referenzhaus nach EnEV sowie weitere Energiestandards mit dem Programm „Energieberater Professional 3D“ der Hottgenroth Software GmbH & Co. KG berechnet. Die Bilanzierung des Energiebedarfs erfolgte nach DIN V 18599

mit den in Abbildung 2 rechts aufgeführten Randbedingungen. Die Anforderungen an die Gebäudehülle eines typischen Einfamilienhauses als Referenzgebäude der EnEV 2014 (graue Schrift) sowie für den verbesserten

Wärmeschutz EnEV 2016 (blaue Schrift) sind im linken Teil von Abbildung 2 ersichtlich.

Der jährliche Primärenergiebedarf, berechnet nach EnEV 2014/EnEV 2016

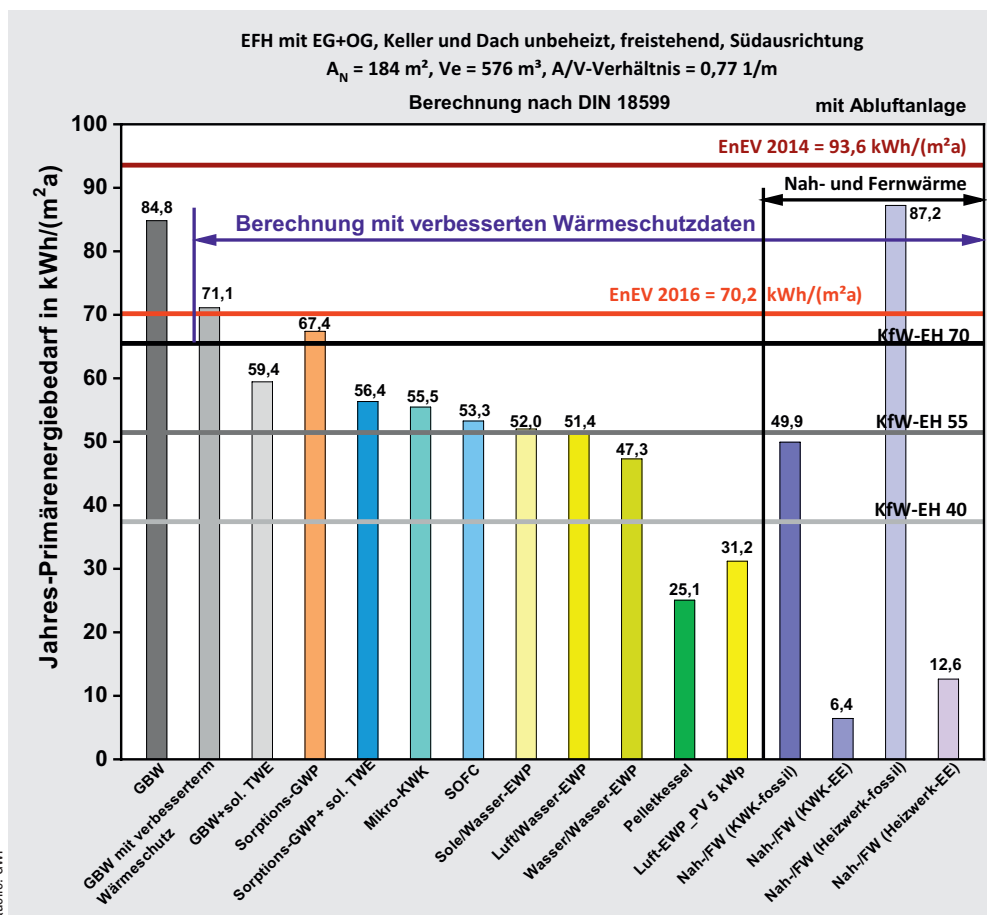


Abb. 3: Jährlicher PE-Bedarf eines Einfamilienhauses, freistehend, Neubau mit Abluftanlage und verschiedenen Technologien und EH-Standards nach DIN V 18599

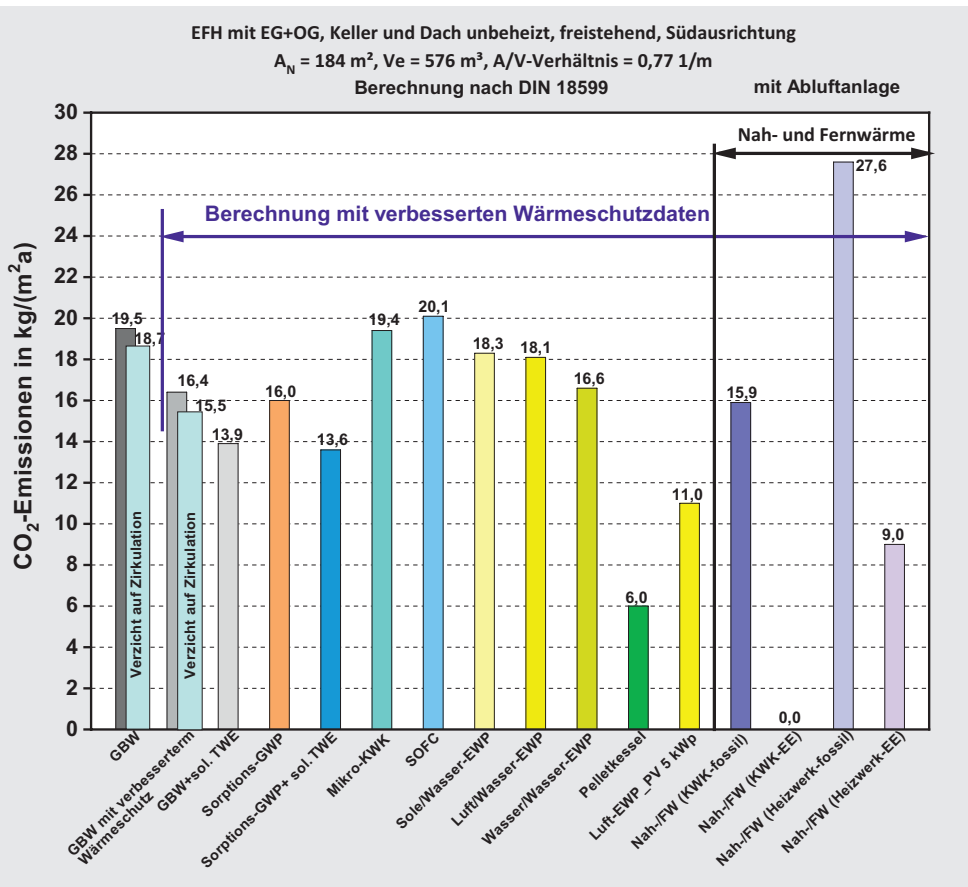
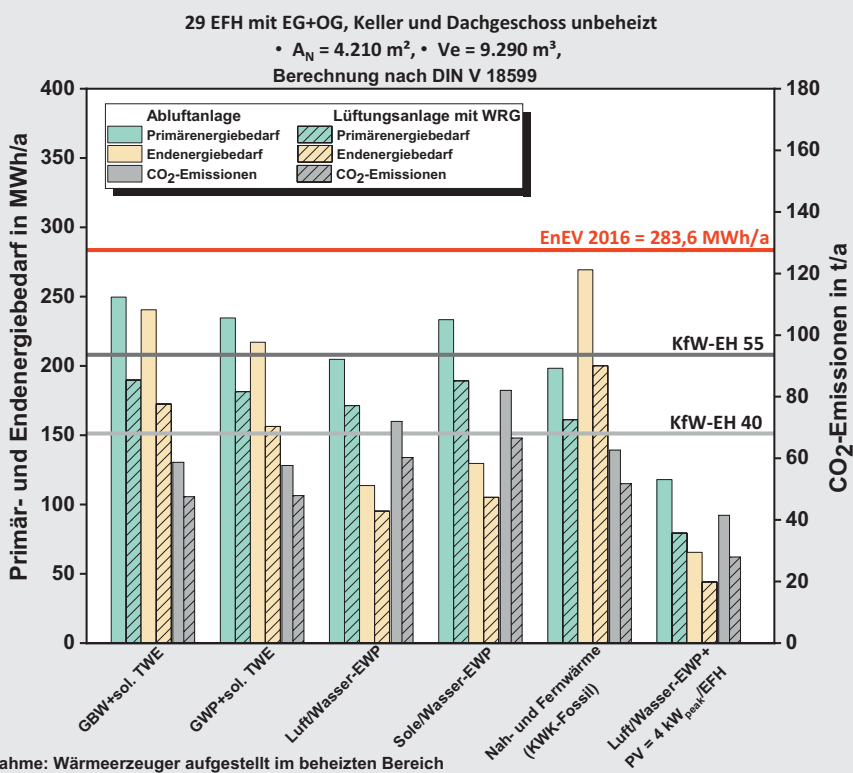


Abb. 4: Jährliche CO₂-Emissionen eines Einfamilienhauses, freistehend, Neubau mit verschiedenen Technologien nach DIN V 18599

Quelle: GWI

und mit verbesserten Wärmeschutzdaten und verschiedenen KfW-Effizienzhaus-Standards, ist für diverse Anlagenkonstellationen in **Abbildung 3** veranschaulicht. Der für den Neubau des Einfamilienhauses (EFH) nach EnEV 2016 einzuhaltende Jahresprimärenergiebedarf ist mit der roten Linie markiert und beträgt 70,2 kWh/m²; die von der KfW geförderten Effizienzhaus-Standards EH 55 und EH 40 sind in dunkel- und hellgrau gekennzeichnet. Um den Grenzwert der EnEV 2016 zu erreichen, reichen Maßnahmen zum verbesserten Wärmeschutz alleine nicht aus. Stattdessen sind weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz nötig: Beispielsweise ergibt der Verzicht auf eine Zirkulation einen Jahresprimärenergiebedarf von 67,2 kWh/m². Weiterhin erzielt eine solare Trinkwassererwärmung (TWE) in Kombination mit dem Brennwertkessel einen PE-Bedarf von 59,4 kWh/m². Andere Heiztechnologien wie Mikro-KWK, verschiedene Wärmepumpen, Pelletkessel sowie Nah- und Fernwärmeversorgungen sind ebenfalls mögliche Effizienzverbesserungs-Varianten. Eine Fotovoltaik-Anlage reduziert nochmals deutlich den Jahresprimärenergiebedarf. Die mit den in **Abbildung 3** dargestellten Heiztechnologien erzeugten jährlichen CO₂-Emissionen des freistehenden Einfamilien-Referenzhauses belaufen sich auf Werte zwischen sechs und 20 kg CO₂ pro m² Nutzfläche im Jahr (**Abb. 4**).



Annahme: Wärmeerzeuger aufgestellt im beheizten Bereich

Abb. 5: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen einer NEH-Siedlung mit verschiedenen Beheizungstechnologien und mit Abluft- und Lüftungsanlagen mit WRG, Wärmeerzeuger innerhalb des beheizten Bereichs aufgestellt

Quelle: GWI

Im Rahmen des Projektes wurde die Energieversorgung einer Niedrigenergiehaus-Siedlung, bestehend aus sechs freistehenden Einfamilienhäusern, 14 Reiheneck- und neun Reihenmittelhäusern, betrachtet. Als baustrukturelle Kennwerte sind die Nettogrundfläche mit 3.750 m² und einer Nutzfläche von 4.210 m² zu nennen, hinzu kommt eine Hüllfläche von 9.290 m² und ein beheiztes Volumen von 13.120 m³. **Abbildung 5** stellt den Jahres-Primär- und Endenergiebedarf sowie die CO₂-Emissionen der mit verschiedenen Technologien beheizten Niedrigenergiehaus-Siedlung dar. Der Energiebedarf setzt sich aus dem Energiebedarf für Heizung

Tabelle 1: Übersicht über zentrale und dezentrale Heiztechnologien und deren Energiestandards								
Technologien	Gas-BW	Gas-BW	Gas-WP	L/W-EWP	S/W-EWP	Holzpellet	Nah- und Fernwärme	L/W-EWP + PV
Varianten	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Lüftung	Abluftanlage	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	[Green bar]							
KfW-EH 55	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]
KfW-EH 40	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]	[Green bar]

Quelle: GWI

und Warmwasser sowie dem Hilfsenergiebedarf (Pumpen, Zubehör und Nebenaggregate) zusammen. 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 Fotovoltaik-Anlage mit je 4 kW Peak ausgestattet, verringert sich der Primärenergiebedarf aufgrund des selbst erzeugten Stroms erheblich, sodass auch der „KfW EH-40“-Standard dadurch sehr deutlich unterschritten wird. Bei allen Heiztechnologien mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung nehmen der Primär- und Endenergieverbrauch und somit auch die CO₂-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 (Jahresarbeitszahl (JAZ) = 3,7) liegen der Primär- und Endenergiebedarf sowie die CO₂-Emissionen etwas höher als bei der Luft/Wasser-EWP (JAZ = 2,8); dieser Unterschied ist auf die zugrunde gelegte Berechnungsnorm (DIN V 18599) zurückzuführen.

Ergebnisse der Berechnung

Für einige dezentrale Heiztechnologien sowie eine Nah- und Fernwärmever-

sorgung des Einfamilien-Referenzhauses wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über die betrachteten Anlagenvarianten und die jeweiligen Energiestandards. Die Berechnungsergebnisse des Primärenergiebedarfs, des Endenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen sind in **Abbildung 6** dargestellt. Bei allen betrachteten Beheizungssystemen ist eine Abluftanlage berücksichtigt, die Variante „Gasbrennwert-

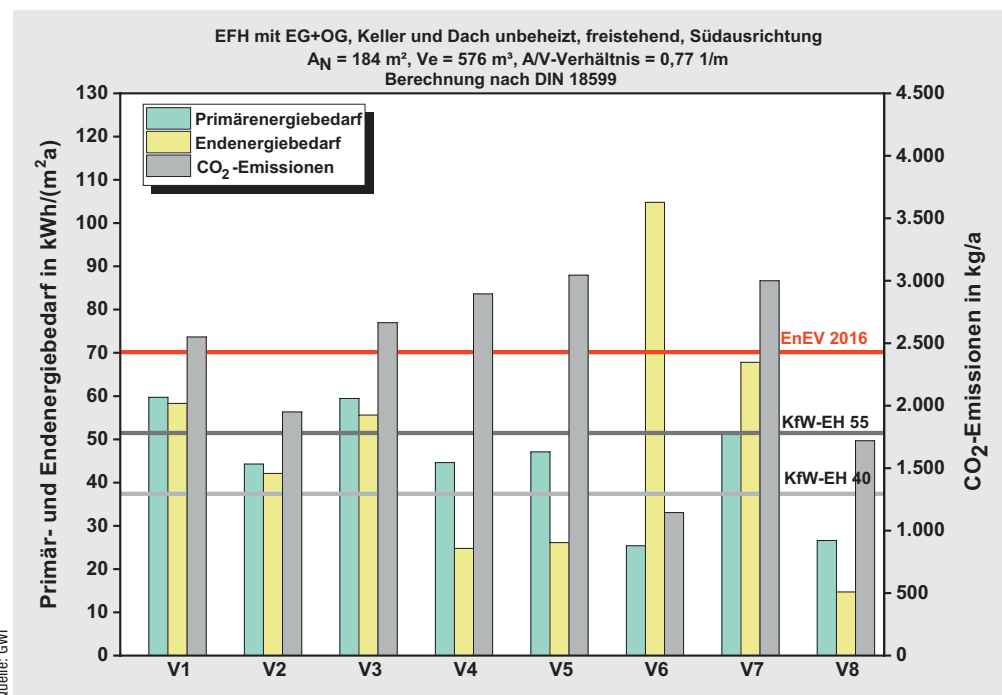
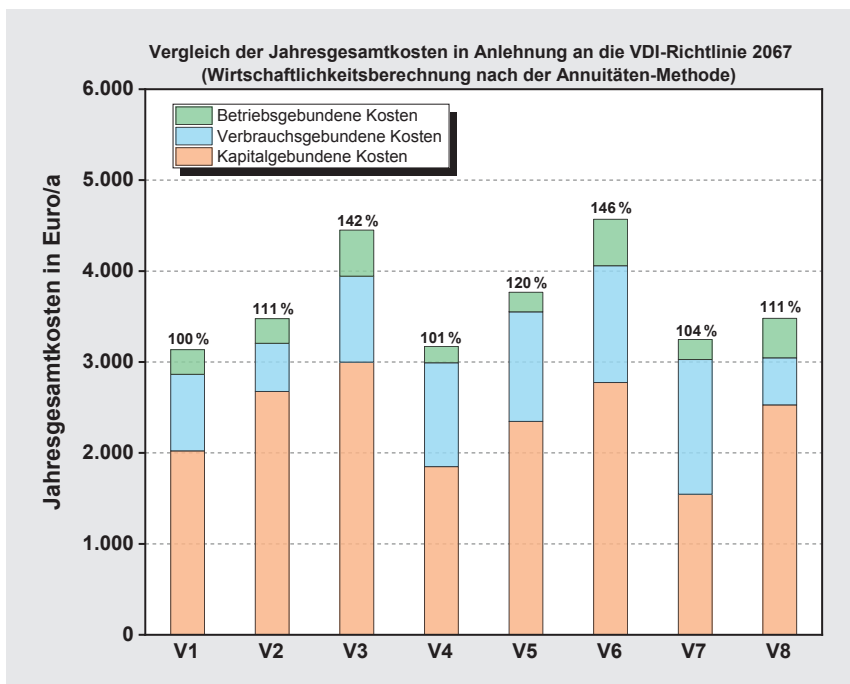


Abb. 6: Jährlicher Primär- und Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen von Heiztechnologien im EFH-Neubau



Quelle: GfV

Abb. 7: Jahresgesamtkosten von dezentralen und zentraleren Heiztechnologien im Neubau

kessel mit solarer Trinkwassererwärmung“ wurde außerdem auch mit einer Wärmerückgewinnungsanlage (V2) berechnet. Die Anlagenvarianten „Gasbrennwertkessel mit WRG-Anlage und Solarthermie“ (V2), „Elektrowärmepumpen“ (V4 und V5) und „Nahwärmeversorgung“ (V7) erreichten den Effizienzhausstandard 55, der Pelletkessel (V6) und die Luft-Wasser-Elektrowärmepumpe mit zusätzlicher Fotovoltaik-Anlage (V8) erzielten den Effizienzhausstandard EH 40. Die niedrigsten Endenergieverbräuche weisen die Wärmepumpensysteme (V4 und V5) und die Wärmepumpe mit Fotovoltaik-Anlage (V8) auf, bedingt durch die hohe Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen sowie die Stromgutschrift durch den Fotovoltaik-Strom. Der solar unterstützte Brennwertkessel mit Wärmerückgewinnungsanlage (V2) zeigt durch die Wärmerückgewinnung ebenfalls einen niedrigen Endenergieverbrauch auf.

Die CO₂-Emissionen der Elektrowärmepumpen sind aufgrund des hohen CO₂-Emissionsfaktors für den Strommix (633 g/kWh nach GEMIS) höher als die des Systems „Brennwertkessel mit solarer Unterstützung“, sowohl mit Abluftanlage als auch mit Wärmerück-

gewinnung und dem Pelletkessel. Nur die EWP in Kombination mit der Fotovoltaik-Anlage erzielte aufgrund des selbst produzierten Stroms niedrigere CO₂-Emissionen. Durch den fossilen Energieeinsatz der KWK-basierten Nah- und Fernwärme sind die CO₂-Emissionen (219 g/kWh nach GEMIS) bei dieser Variante ebenfalls hoch. Durch den Einsatz eines erneuerbaren Anteils im Wärmeversorgungsnetz könnten die CO₂-Emissionen verbessert werden.

Um die Wirtschaftlichkeit einer Anlagenvariante beurteilen zu können, ist die Betrachtung der Jahresgesamtkosten erforderlich. Die in **Abbildung 7** dargestellten Jahresgesamtkosten sind in die betriebs-, verbrauchs- und die kapitalgebundenen Kosten aufgeteilt. Die Jahresgesamtkosten der Heizsysteme Referenz-Brennwertkessel, Luft/Wasser-EWP (101 Prozent) und der fossilen Nah-/Fernwärmeversorgung (104 Prozent) liegen auf einem ähnlichen Niveau, gefolgt von der Luft/Wasser-EWP mit Fotovoltaik-Anlage (111 Prozent) und dem BWK mit Wärmerückgewinnung (111 Prozent). Höhere Jahresgesamtkosten ergeben sich bei der Sole/Wasser-EWP (120 Prozent) und der Gaswärmepumpe (142 Prozent). Der

Pelletkessel (146 Prozent) ist die teuerste Anlagenvariante, die neben hohen Investitionskosten auch die höchsten verbrauchsgebundenen Kosten aufweist; Grund dafür ist der hohe Endenergieverbrauch bei der Holzpelletsheizung. Die niedrigsten verbrauchsgebundenen Kosten ergeben sich bei der Luft/Wasser-EWP mit Fotovoltaik-Anlage (V8), da die dezentrale Stromerzeugung bei der Bewertung der Heizkosten berücksichtigt wurde. Die zweitniedrigsten verbrauchsgebundenen Kosten entstehen beim Einsatz eines Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung mit Wärmerückgewinnungsanlage (V2), denn durch die Wärmerückgewinnung sinkt der Brennstoffbedarf gegenüber dem BWK mit Abluftanlage deutlich. Längerfristig gesehen verbessert der Einfluss steigender Energiepreise die Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparmaßnahmen wie z. B. die Wärmerückgewinnung beim Brennwertkessel. Ebenso tragen Fördermaßnahmen (in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt) für energieeffiziente Anlagenvarianten und Komponenten zur Wirtschaftlichkeit bei. **Tabelle 2** gibt eine zusammenfassende ökonomische und ökologische Bewertung der betrachteten Varianten wieder, als Referenz wurde das Gas-Brennwertgerät mit Solarthermie verwendet.

In dem Projekt wurde eine Vielzahl von dezentralen Versorgungsmöglichkeiten für Raumwärme und Strom inklusive E-Mobility-Option recherchiert und analysiert. Als vierte Generation der Wärmenetze werden innovative Wärmeinfrastrukturen auf Basis von temperaturoptimierten Wärmenetzen bezeichnet. Diese werden technisch und wirtschaftlich durch eine optimale Kombination von regenerativen Niedertemperaturquellen (wie Solarenergie, Umgebungswärme, geothermische Wärme und Abfallwärme, Wärmespeichern und Wärmeerzeugern) optimiert. Ein Beispiel für mögliche Kombinationen eines klimaneutralen Wärmenetzes, bestehend aus mehreren Umweltquellen und Erzeugungsanlagen, zeigt **Abbildung 8**.

Tabelle 2: Bewertung der Wärmeversorgungs-Technologien im Einfamilienhaus (Neubau)

Technologien		Primärenergiebedarf	Investitionskosten	Verbrauch/Betriebskosten	CO ₂ -Emissionen
Gas-BW-Gerät + Solarthermie* (Referenz)		0	0	0	0
Gas-BW-Gerät + Solarthermie + Lüftungsanlage mit WRG		+	-	+	+
Sorption-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

- positiv bewertet (z. B. geringer Primärenergiebedarf)
- eher positiv bewertet (reduziert z. B. den Primärenergiebedarf)
- ohne positive oder negative Tendenz/keine Bewertung
- eher negativ bewertet
- negativ bewertet (z. B. hohe Kosten im Vergleich zu anderen Maßnahmen)

* Lüftung mit Abluftanlage
 ** Stromproduktion berücksichtigt

Quelle: GWI

Weitere Versorgungsmöglichkeiten sind kalte Nahwärmenetze. Diese werden beispielsweise mit einem Primäreispeicher versorgt, der wiederum über einen zentralen Solar-Absorber mit Energie gespeist wird. Jedes an das Kaltnetz angeschlossene Gebäude ist mit einem Solar-Absorber zur Warmwassererwärmung und mit einer Wärmepumpe ausgestattet, die sowohl die Heizwärme liefert als auch zur Warmwasserbereitung beiträgt. Die Vorlauftemperatur des Kaltnetzes beträgt 9 °C, das Wasser fließt mit 5 °C in den Eispeicher zurück.

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der Energiewende wird versucht, erneuerbare Energien auch in dezentrale Nahwärmenetze zu integrieren. Durch ein intelligentes Zusammenspiel von Energieerzeugung

aus erneuerbaren Energien mit unterschiedlichen Heiztechnologien, einer Energieumwandlung sowie Kurz- und Langzeit-Speicherung können die Sektoren Wärme, Strom, Kälte und Mobi-

lität möglichst energiesparend aufeinander abgestimmt werden (Abb. 9). Im Neubau bietet sich insbesondere der Einsatz von innovativen Effizienztechnologien zur Wärmeerzeugung an.

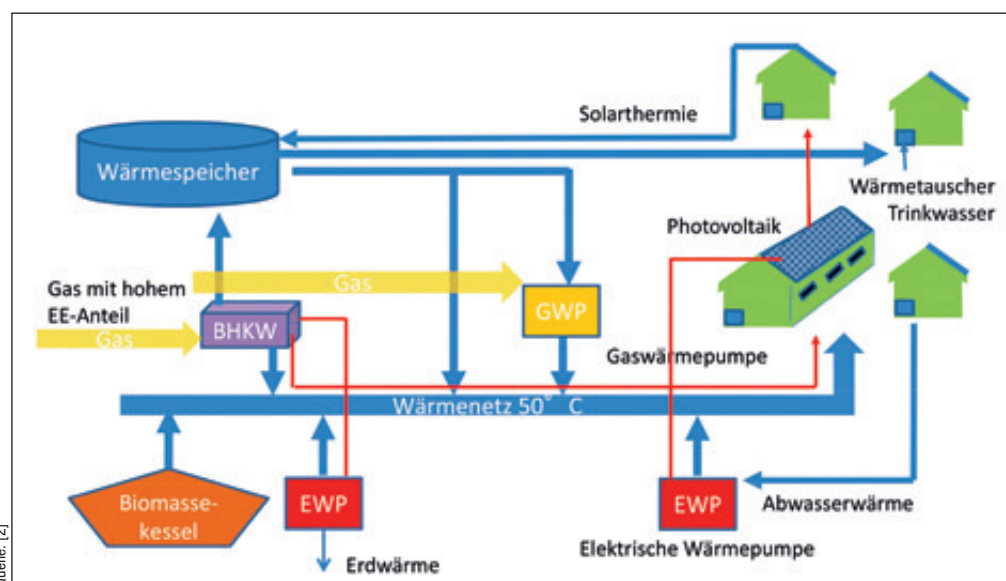
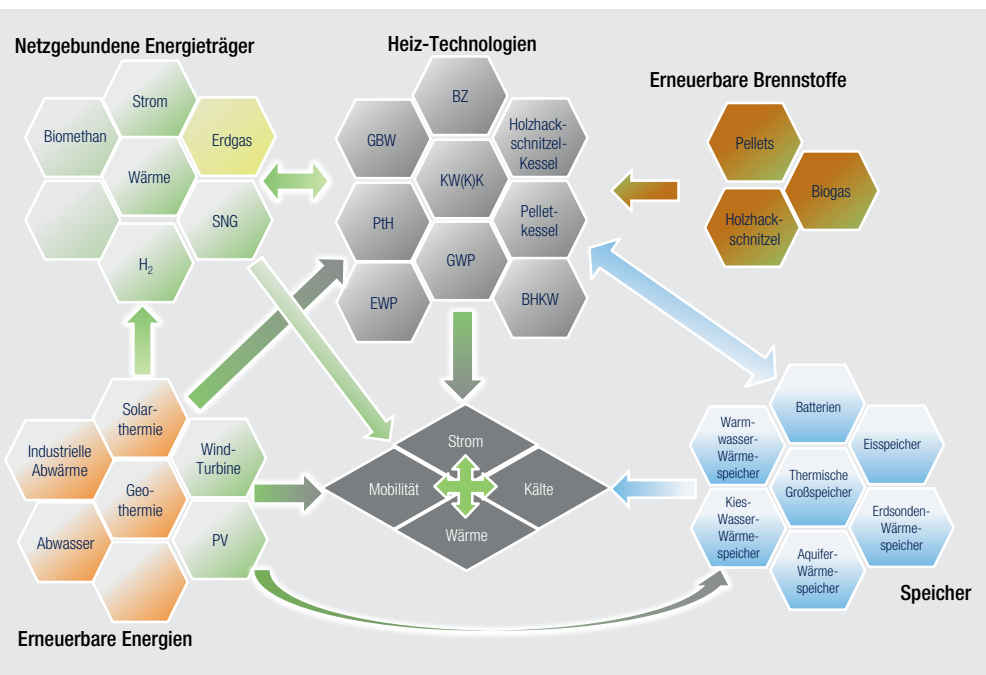


Abb. 8: Wärmenetzsystem 4.0



Quelle: GWI

Abb. 9: Kopplungsmöglichkeiten der Energiesektoren

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

Insgesamt erlauben die durchgeführten Analysen und Berechnungen folgende Handlungsempfehlungen:

- Gasbrennwert-Kessel mit erneuerbarem Gas (Biomethan, Wasserstoff etc.) bzw. Gasbrennwert-Kessel mit Fotovoltaik stellen sehr gute ökologische und ökonomische Möglichkeiten dar.
- Eine dezentrale Versorgung eines Niedrigenergiehauses erreicht mit

einem Gasbrennwert-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 erneuerbaren Energien im größeren Maße möglich ist.
- Niedrigenergiehaus-Siedlungen können trotz ihrer niedrigen Wärmeanforderung effektiv mit Nahwärmenetzen versorgt werden, wenn größere Wärmeabnehmer (z. B. Schulen, Mehrfamilienhäuser) zur Erhöhung der Wärmebedarfsdichte integriert sind. Auch sollten die Netzverluste möglichst unter 10 Prozent liegen, möglichst niedrige Netztemperaturen angewendet werden (Low-Ex-Netz) und eine Anschlussverpflichtung der Gebäude bestehen.
- Der Einsatz eines Brennwert-Kessels, eines Pelletkessels und der Solarthermie in einer Nahwärmenetz-Heizzentrale ist ökonomisch und ökologisch.
- Der Einsatz einer Kombination eines BHKW mit einer elektrischen Wärmepumpe im Nahwärmenetz er

möglicht neben der Wärmeproduktion auch eine Kühlungsmöglichkeit.

- Der Einsatz einer elektrischen Wärmepumpe 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!

Literatur

[1] Maas, A.: Kalksandstein Energieeinsparverordnung 2016, online unter www.ksooriginal.de/sites/default/files/downloads/2016/enev_2016_gesamt_ks-original.pdf, abgerufen am 5. August 2019.
 [2] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (ASUE): Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0, online unter www.asue.de/node/2417, abgerufen am 23. Juli 2019.

Die Autoren

Sabine Feldpausch-Jägers ist

Projektleiterin in der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik am Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Eren Tali ist Projektleiter CFD in der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik am Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Dr.-Ing. Frank Burmeister ist Leiter der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik am Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Dr.-Ing. Rolf Albus ist geschäftsführender Vorstand des Gas- und Wärme-Instituts Essen e. V.

Dr.-Ing. Matthias Werschy ist Fachgebietsleiter Gasanwendung und Prokurist DBI-Gruppe bei der DBI GTI gGmbH in Freiberg.

Frank Erler ist Projektleiter Gasanwendung bei der DBI GTI gGmbH in Freiberg.

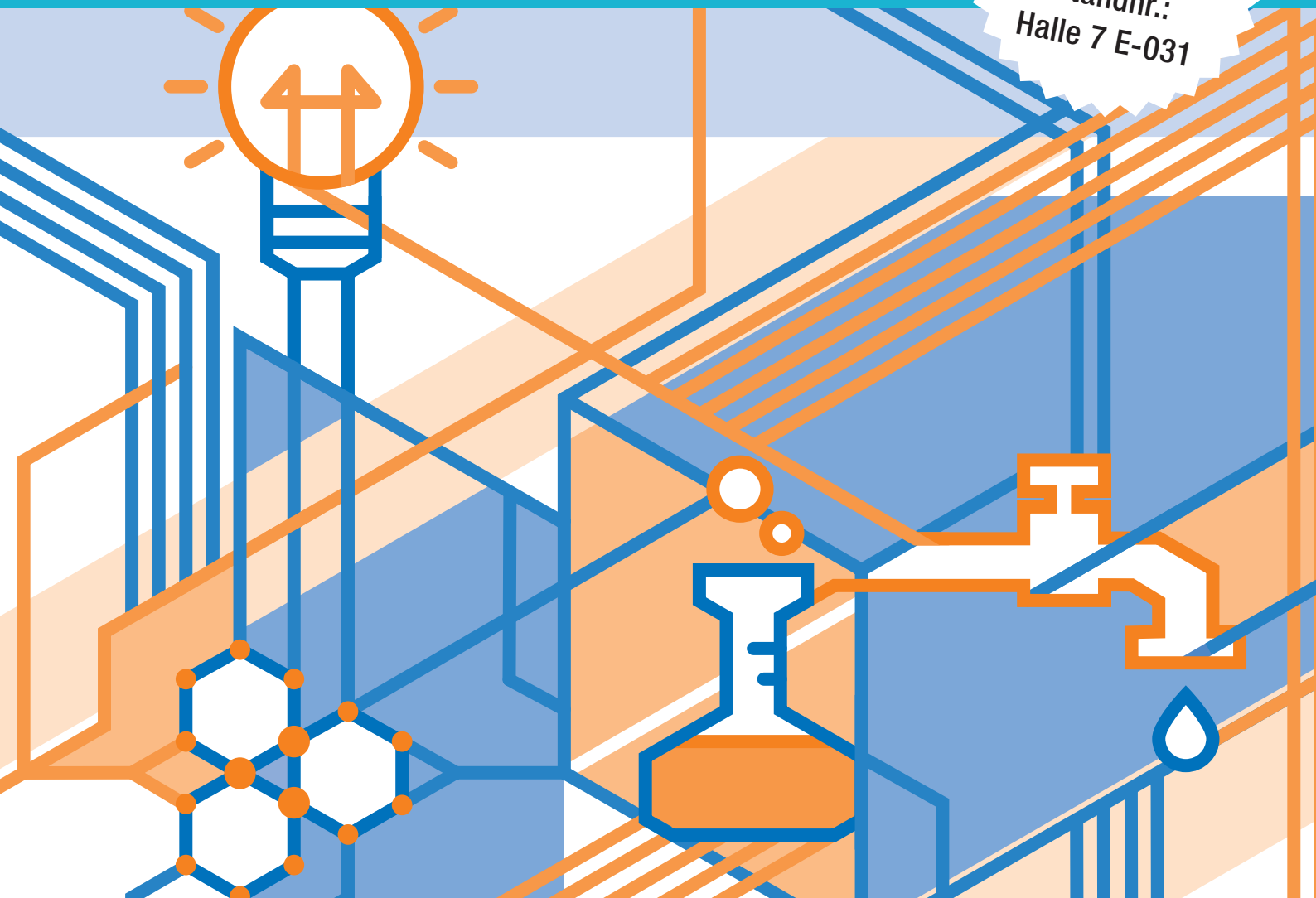
Kontakt:

Dr.-Ing. Frank Burmeister
 Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.
 Hafenstr. 101, 45356 Essen
 Tel.: 0201 3618-245
 E-Mail: burmeister@gwi-essen.de
 Internet: www.gwi-essen.de

DVGW Forschungswelt

Freuen Sie sich auch in diesem Jahr auf ein virtuelles Erlebnis.

gat | wat Köln
26. – 28.11.2019
Standnr.:
Halle 7 E-031



Unsere Partner in der DVGW Forschungswelt: