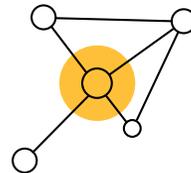
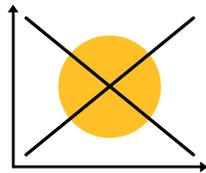
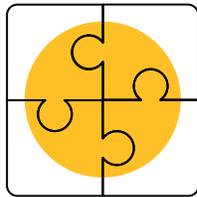
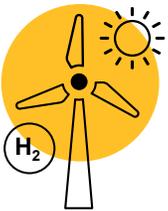


Wärmegestehungskosten für verbrauchsnahe Wärmeerzeugung in Wohngebäuden

Dokumentation der Annahmen und Datengrundlage des Excel
Tools für die Levelized Cost of Heating (LCOH)

Das Team bedankt sich für die finanzielle Unterstützung dieser Forschung durch
die „Förderinitiative Wärmewende“ der Gesellschaft zur Förderung des
Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln e.V.



Energiewirtschaftliches Institut an der
Universität zu Köln gGmbH (EWI)

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

 +49 (0)221 650 853-60

 <https://www.ewi.uni-koeln.de>

Verfasst von:

Dr. Johanna Bocklet (Projektleitung)

Lena Pickert

Nicole Niesler

Leon M. Langerhans

Bitte zitieren als:

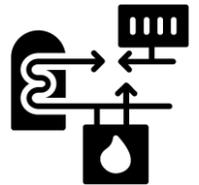
EWI (2023). Wärmegestehungskosten für verbrauchsnahe Wärmeerzeugung in Wohngebäuden. Dokumentation der Annahmen und Datengrundlage des Excel Tools für die Levelized Cost of Heating (LCOH)

Inhaltsverzeichnis

1. Das EWI LCOH Tool
2. Methodik und Annahmen
3. Beispielhafte Ergebnisse
4. Datenquellen und Literaturverzeichnis

Ein öffentlich verfügbares Tool für die Wärmegestehungskosten in Deutschland

- Um die Herausforderungen der Heterogenität in der Wärmeversorgung zu adressieren ist das Wärmegestehungskosten **Simulationstool als Hilfe für Kommunen und Entscheidungsträger der kommunalen Wärmeplanung** entwickelt worden. Ziel ist es durch Analyse der Wärmegestehungskosten (engl. Levelized Cost of Heating (LOCH)) die Attraktivität verschiedener Technologien ökonomisch zu vergleichen und die Ergebnisse auf einfache Weise zu visualisieren.
- Das LOCH Simulationstool berechnet dazu die Wärmegestehungskosten für Wohngebäude in Deutschland und deren Kostenentwicklung in der Zukunft.
- Das Simulationstool beinhaltet die LCOH für **Gas-Brennwertkessel, Erdwärmepumpen, Luftwärmepumpen, Pelletheizungen, Gas-Solarthermie Hybride, Pellet-Solarthermie Hybride** in Abhängigkeit des gewählten Energiepreisszenarios, der Gebäudeklassen für alle **16 Bundesländer** und verschiedener Raumtypen.
- Mit Hilfe des **USER-COCKPITs** können Nutzer*innen verschiedene Variablen, wie den Zins, technologiebedingte Subventionen, Verbesserungen im Wirkungsgrad einzelner Technologien oder Kostenreduktionen dieser über die Zeit abzubilden und eigenständig variieren.
- Im Simulationstool findet eine Unterscheidung der LCOH im Rahmen von **standardisierten Typgebäuden** für **Einfamilienhäuser und kleinen und großen Mehrfamilienhäuser** statt, die sich wiederum in **drei Energieverbrauchsklassen** aufgliedern.
- Die Basis der **Typgebäude** und der entsprechenden Energiebedarfe stellt dabei das EWI-eigene Gebäudemodell und die bundeslandspezifischen Verteilungen des deutschen Gebäudebestands, inkl. entsprechender Sanierungsniveaus dar (destatis 2022a, destatis 2022b, UBA 2019). Der Sanierungsstatus als exogene Größe kann in Version 1 noch nicht über das USER-COCKPIT verändert werden. Des Weiteren berücksichtigt das Tool keine sozioökonomischen Verhaltensweisen (z.B. Investitionsaversion bei hohen Vorlaufkosten).



Das Konzept der Levelized Cost of Heating (LCOH)

- Die **Grundlage** für die Berechnung der LCOH ist das **Konzept der Levelized Cost of Energy (LCOE)**.
- LCOE ermöglichen einen **Kostenvergleich verschiedener Technologien zur Energieversorgung unter Berücksichtigung der gesamten Lebenszeitkostenkomponenten** für die Energiebereitstellung der gewählten Technologien, d.h. **Investitionskosten, Betrieb und Wartung sowie Brennstoffkosten**.
- Alle **Kostenkomponenten** werden auf die während der Lebensdauer der Technologie erzeugte Energiemenge umgelegt und auf den Gegenwartswert abgezinst.
- LCOH fokussiert sich auf die **Kostenwettbewerbsfähigkeit** verschiedener Heiztechnologien für Wohngebäude.
- Verschiedene Parameter wie Gebäudegröße, spezifischer Heiz- und Kühlbedarf, Investitionskosten, Lernraten, Energieeffizienz, Energiepreisentwicklung und externe Umwelteffekte werden berücksichtigt, um die LCOH für jede Heiztechnologie zu bestimmen.* Diese Parameter variieren je nach Technologie, Gebäudetyp und Standort.

$$LCOH_{i,b,t,y} = \sum_t \frac{\frac{IC_{i,b,y}}{CF_{i,b}} + \frac{MC_{i,b,t,y}}{CF_{i,b}} + \frac{FC_{i,b,t,y}}{CE_{i,y}}}{(1+r)^t} / \sum_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

$IC_{i,b,y}$	Investitionskosten [EUR/kW _{th}]	r - Zins
$MC_{i,b,t,y}$	Instandhaltungskosten [EUR/kW _{th}]	i - Heiztechnologie
$FC_{i,b,t}$	Brennstoffpreis [EUR/kWh]	b - Gebäudeart & Standort
$CF_{i,b,y}$	Kapazitätsfaktor [h]	y - Jahr der Investition
CE_i	Wirkungsgrad	t - Lebensdauer

* Subventionen können im bereitgestellten Berechnungstool entsprechend berücksichtigt werden.

Berücksichtigte Technologien, Gebiete und ökonomische Faktoren

- Die LCOH Analyse erfordert die Parametrisierung der Heiztechnologien hinsichtlich ihrer Investitionskosten [EUR], der fixen Betriebs- und Wartungskosten [EUR/a], des Energieumwandlungsfaktors [kWh/kWh_{th}] und der wirtschaftlichen Lebensdauer [a].
- Diese Parameter werden durch die Merkmale des Gebäudebestands der Märkte/ Bundesländer beeinflusst. Für jeden Markt werden verschiedene Gebäudetypen hinsichtlich ihrer Größe (Anzahl der Wohnungen), der Gebäudegröße [m²] und des spezifischen Heiz- und Kühlbedarfs auf Basis unterschiedlicher Sanierungsanteile der Typgebäude [kWh/m²] analysiert.
- Um ein Verständnis für wirtschaftlich tragfähige Investitionsentscheidungen für verschiedene Standorte innerhalb des Marktes zu erhalten, werden durchschnittliche Sanierungsstände und Gebäudetypen pro Bundesland dargestellt.

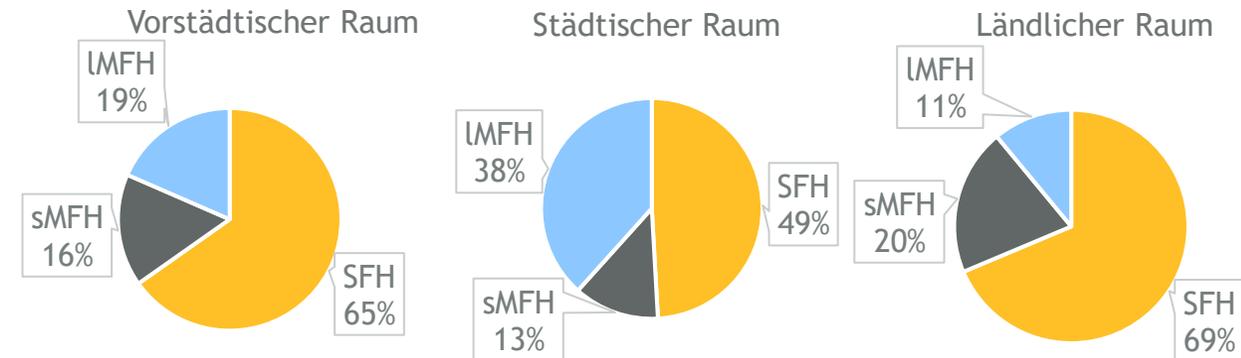
Technologien	Gebäudetyp	Energiepreisniveau	Energiebedarf*	Region	Standort	Optional anpassbare Parameter
Gas-Brennwertkessel	Einfamilienhaus (SFH)	Niedrig	Niedrig	Städtischer Raum	Alle 16 Bundesländer	Zins
Erdwärmepumpen	Kleines Mehrfamilienhaus (sMFH)	Mittel	Mittel	Vorstädtischer Raum		Verbesserungen im Wirkungsgrad
Luftwärmepumpen	Großes Mehrfamilienhaus (LMFH)	Hoch	Hoch	Ländlicher Raum		Kostenreduktion der Technologien
Pelletheizung						Subventionen
Hybridheizung: Gas + Solarthermie						
Hybridheizung: Pellet + Solarthermie						

* Entspricht Neubauten, sanierten Altbauten bzw. Gebäude mit maximal KfW-85 Standard und unsanierten Häusern.

Annahmen zu Gebäudespezifika und Raumtypen

- Annahmen zur Raumwärme und Warmwasser Nachfrage basieren auf Arnold et al. (2020) und dem EWI eigenen Gebäudemodell.
- Das EWI Gebäudemodell ist ein Bottom-Up Modell des deutschen Gebäudesektors zur konsistenten Auslegung zukünftiger Transformationspfade für jährliche Endenergieverbräuche, Absatzzahlen verschiedener Heiztechnologien und THG-Emissionen im Gebäudesektor.
- Annahmen bezüglich der Verteilung der Typgebäude (Einfamilienhaus sowie kleines und großes Mehrfamilienhaus) auf die 16 Bundesländer sowie in die verschiedenen Raumtypen (städtischer, vorstädtischer und ländlicher Raum) basieren auf Destatis (2022a,b) und BBSR (2017).
- Informationen zu den unterschiedlichen Sanierungsständen der Typgebäude in den einzelnen Bundesländern sind der UBA Publikation „Wohnen und Sanieren“ (2019) und Destatis (2022a,b) entnommen.

Beispielhafte Darstellung der Gebäudespezifika und Gebäudeverteilung am Beispiel von NRW



Gebäudetyp	Energiebedarf	Größe [m ²]	Wohnungen [#]	Nachfrage Raumwärme [kWh/m ²]	Nachfrage Warmwasser [kWh/m ²]	Nachfrage Raumkälte [kWh/m ²]
SFM	Hoch	130	1	185,35	22,95	0,4
	Mittel			126,52	23,56	
	Niedrig			76,37	23,26	
sMFH	Hoch	75	6	111,64	13,95	0,4
	Mittel			59,85	14,48	
	Niedrig			42,32	14,30	
lMFH	Hoch	43	32	117,19	19,67	0,4
	Mittel			79,75	20,56	
	Niedrig			56,73	20,54	

Annahmen zu Energiepreisen und externen Kosten

Die LCOH Analyse berücksichtigt bei der Investitionsentscheidung die erwartete Entwicklung der Brennstoffkosten während der Lebensdauer der Technologie. Daher beinhalten die Wärmegegostehungskosten für jedes Jahr der Investition die Entwicklung der Brennstoffkosten im Zeitverlauf*. Die Brennstoffkosten enthalten die Rohstoffpreiskomponente der Energieträger und die Kosten für externe Umweltbelastungen. Aufgrund der aktuellen Marktunsicherheiten werden drei verschiedene CO₂-Preisszenarien betrachtet (EWI, 2022a): Im niedrigen Preisszenario wird die bisherigen Steigerungsrate, die im BEHG bis 2026 festgelegt ist, langfristig fortgeschrieben. Das mittlere Preisszenario basiert auf EWI & FiFo (2019) und das hohe Preisszenario basiert auf Prognos (2020).

- **Gas:** Die Entwicklung der Brennstoffkosten für (Erd-)Gas erfolgt bis 2030 auf Basis des EWI-Gasmarktmodells COLUMBUS. Dieses simuliert den globalen Gasmarkt unter Berücksichtigung der Gasinfrastruktur, der Gasnachfrage und des Gasangebotes (EWI, 2022b). Die Preise ab 2030 beruhen auf einer Interpolation basierend auf IEA (2021).

- **Strom:** Die Strompreisentwicklung ist mit dem europäischen Energiemarktmodell EWI DIMENSION endogen modelliert. In dem partiellen Gleichgewichtsmodell werden optimale Investitions- und Dispatch-Entscheidungen auf dem Strommarkt in Abhängigkeit von politischen Rahmenbedingungen und Kostenentwicklungen im europäischen Maßstab simuliert. Bis 2030 beruhen die Preise auf EWI(2022b) und die Preise ab 2030 beruhen auf einer Interpolation basierend auf EWI (2021).

- **Pellets:** Die Entwicklung der Brennstoffkosten basiert auf Carmen (2022) und die Entwicklung der Rohstoffpreise ergibt sich aus den aktuellen Pelletpreisen sowie den Biomasse-Nachfrageprognosen aus EWI DIMENSION. Saisonale und räumliche Preisunterschiede von Pellets sind im Rahmen dieser Analyse nicht betrachtet worden.

* Die Entwicklung von Beimischungsquoten von grünen Gasen, die zukünftige Rolle und Verfügbarkeit von blauem oder grünem Wasserstoff im Gebäudesektor sowie zukünftige Nah- und Fernwärmepotenziale sind aus Komplexitätsgründen in dieser Analyse nicht betrachtet worden.

** Die ausgewiesenen Preise für Gas, Elektrizität sind inkl. des CO₂-Preis ausgewiesen. Ab dem Jahr 2042 werden die Preise der Energieträger und der CO₂-Preis zum Ende des Beobachtungszeitraums (2060) fortgeschrieben.

Energiepreis-szenarien*	(Erd-) Gaspreis [EUR/kWh]		Strompreis [EUR/kWh]		Pellet Preis [EUR/kWh]	
	2023	2060	2023	2060	2023	2060
Hoch	0.27176	0.173165	0.7520	0.3349	0.2	0.09218
Mittel	0.1596	0.0988	0.4122	0.2677	0.11553	0.04813
Niedrig	0.10676	0.086	0.3702	0.2076	0.07556	0.04775
Quellen	EWI (2022a,b), IEA (2021)		EWI (2022a,b), EWI (2021)		CARMEN (2022), EA Energy Analyses (2013), Annahmen EWI.	

Energiepreis-szenarien**	CO ₂ -Preis			
	[EUR _{nom} /t CO ₂]		[EUR/kWh]	
	2023	2060	2023	2060
Hoch	35	386	0.0068	0.0512
Mittel	35	265	0.0068	0.0351
Niedrig	35	172	0.0068	0.0228
Quellen	EWI (2022a), EWI & FiFo (2019), Prognos (2020)			

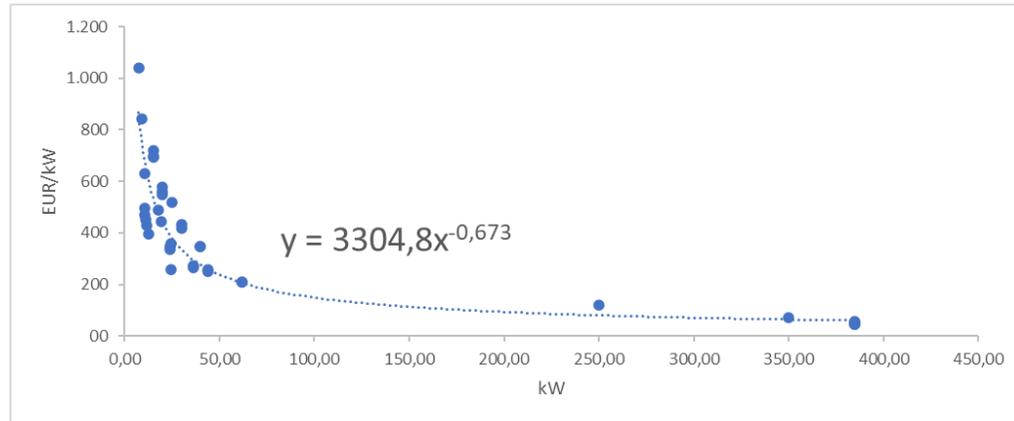
Annahmen zu Investitionskosten für Heiztechnologien (1/4)

Die Investitionskosten von Heizungsanlagen unterscheiden sich je nach **Technologie, installierter Nettokapazität, zusätzlicher Ausrüstung und Lernraten**. Die Betriebs- und Wartungskosten (O&M) werden ebenfalls unter Berücksichtigung der **technologischen Eingangsparameter** inkludiert.

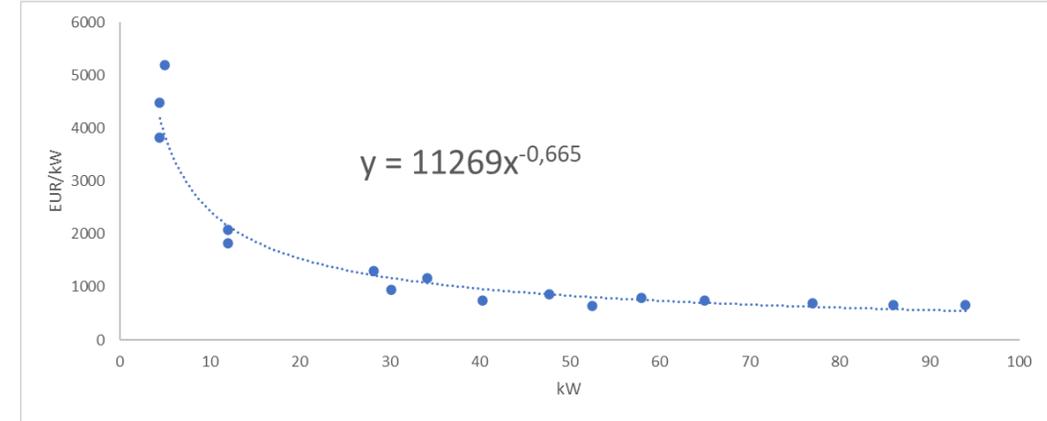
- Die **Investitionskosten von Heizungsanlagen** (Wärmepumpen, Gasbrennwert- und Pelletkessel sowie Hybridgeräten) hängen von der **installierten Nettoleistung** ab. Mit **zunehmender Leistung** einer Heizungsanlage **sinken die Kosten pro Leistungseinheit**.
- Um diesen Effekt in der Analyse zu berücksichtigen, wurde eine **Regressionsanalyse der Katalogpreise von Heizgerätetechnologien und Kapazitäten** durchgeführt. Als Ergebnis wurden **Heizgerätekostenfunktionen** abgeleitet (Frings und Helgeson, 2022). Diese können den Kapazitätsanforderungen der einzelnen Gebäude und Technologien zugeordnet werden.
- Die Investitionskosten für Gas-Brennwertkessel und Luft-Wasser-Wärmepumpen werden hauptsächlich durch die Kosten für die Heizgeräte bestimmt, während bei Sole-Wasser-Wärmepumpen, Pelletkesseln und den Hybridgeräten ein großer Anteil an zusätzlichen Kosten anfällt. Diese werden bei Wärmepumpen durch die Heizquelle (z. B. Erdsonde), bei Pelletkesseln durch den Speicherbedarf und bei den Hybriden durch die Installation der Solarthermieanlagen bestimmt. Die Kosten der Zusatzausstattungen je Technologie basieren auf BDEW 2021a,b.
- Es wird davon ausgegangen, dass die zusätzlichen Kosten zum größten Teil unabhängig von der Leistung der Heizungsanlage sind. Die Kosten für die Heizeinheit und die Kosten für die Zusatzgeräte summieren sich entsprechend der installierten Leistung zur Gesamtinvestitionskostenfunktion pro Heiztechnologie.

Annahmen zu Investitionskosten für Heiztechnologien (2/4)

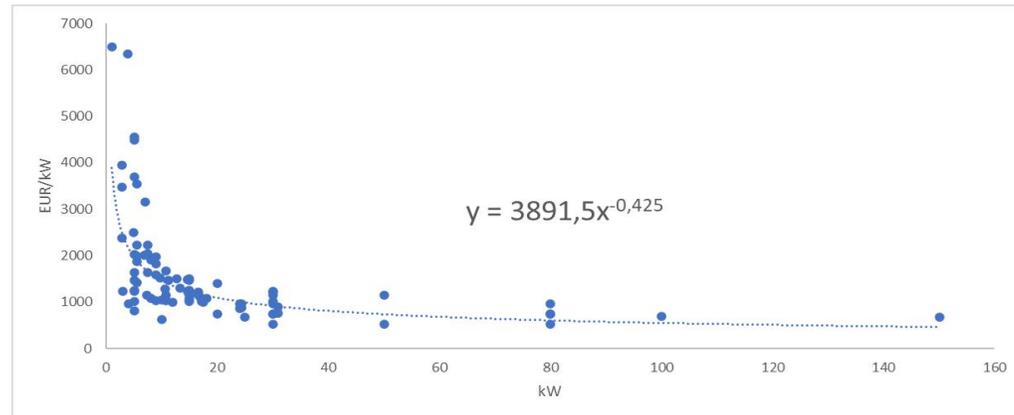
Gas-Brennwertkessel



Sole-Wasser Wärmepumpe inkl. Bohrung (Erdwärmepumpe)



Luft-Wasser Wärmepumpe



Quelle: Frings und Helgeson (2022)

■ catalogue price — cost-function

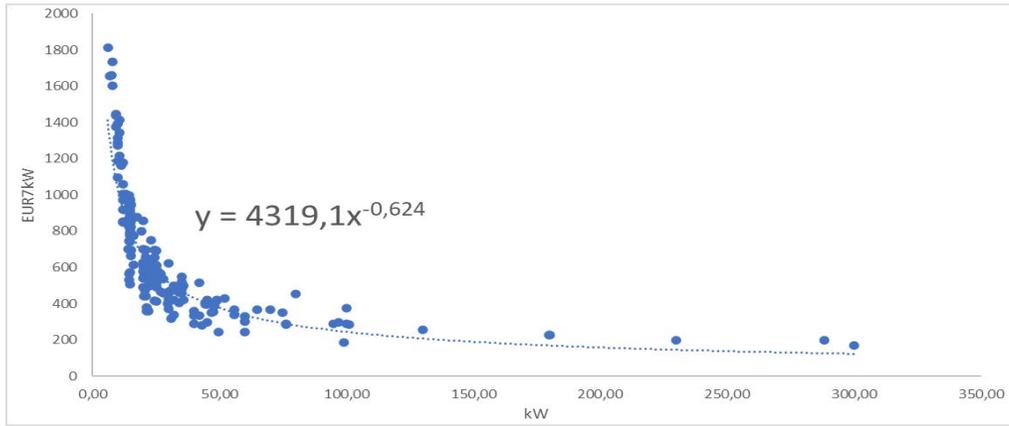
Die Investitionskosten müssen an die installierte Kapazität gekoppelt werden, um die sinkenden Kosten pro Kapazitätseinheit widerzuspiegeln.

- Die Analyse der Katalogpreise zeigt eine funktionale Kohärenz zwischen Kapazität und Stückkosten.
- Die Kostenfunktionen für Heizeinheiten weisen für jede Heiztechnologie (Gasbrennwertkessel, Wärmepumpen, Pelletkessel) unterschiedliche Niveaus und Steigungen auf.
- Für jede Gerätegröße gilt:

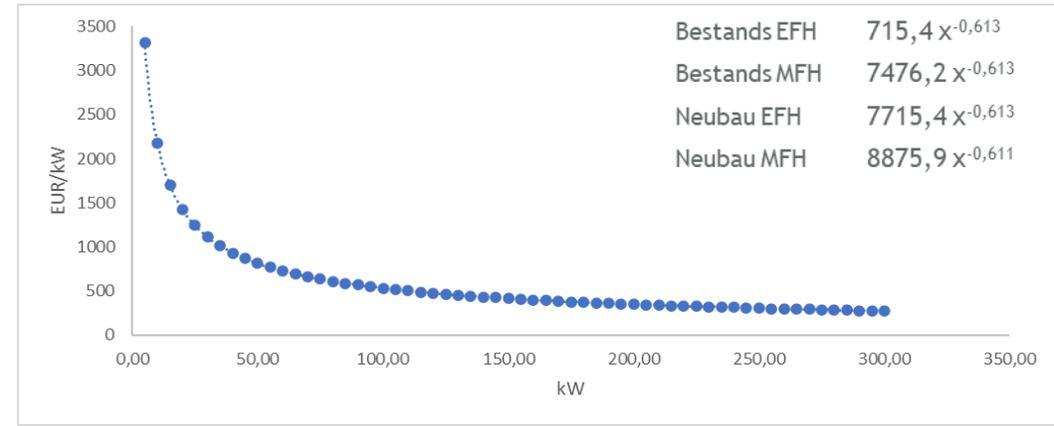
$$c_{\text{gas}}(x) < c_{\text{pellet}}(x) < c_{\text{heatpumpair}}(x) < c_{\text{hybrid}}(x) < c_{\text{heatpumpbrine}}(x)$$

Annahmen zu Investitionskosten für Heiztechnologien (3/4)

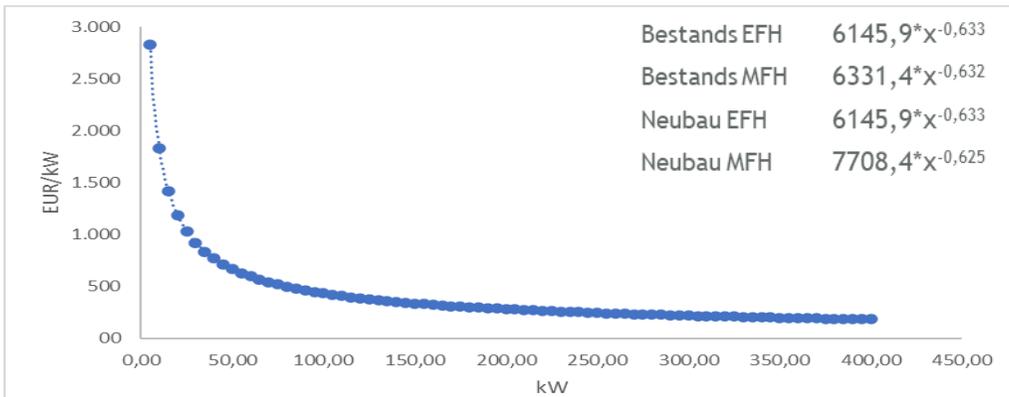
Pelletkessel



Pellet-Solarthermie Hybrid (abgebildet: Neubau MFH)



Gas-Solarthermie Hybrid (abgebildet: Neubau MFH)



Quelle: Frings und Helgeson (2022)

■ catalogue price — cost-function

Für Hybridtechnologien unterschieden sich die Kostenfunktionen aufgrund der zur Verfügung stehenden Dachpotenziale und der installierten Heizungskapazitäten zwischen:

- a) Neubau und Bestandsgebäuden
- b) Ein- und Mehrfamilienhäusern
 - Annahmen bzgl. des Solarthermie-Potenzials erfolgen Bundesland unabhängig
 - Kosten für zusätzliche Ausrüstung werden in den Kostenfunktionen nicht abgebildet sondern gesondert berücksichtigt

Annahmen zu Investitionskosten für Heiztechnologien (4/4)

- Zusätzliche Ausrüstung:**

Die Investitionskosten der verschiedenen Heiztechnologien variieren je nach der für die Inbetriebnahme erforderlichen Ausrüstung. Es wird davon ausgegangen, dass die Gebäude für jede Technologie bereits über den erforderlichen Hausanschluss verfügen. Zusätzliche Kostenfaktoren sind u.a. Demontage, Installation der Heizungsregelung, Speicher, geringinvestive Maßnahmen und Heizflächen aber bei Bedarf auch Arbeiten am Schornstein und sonstige Baukosten. Es wird angenommen, dass sie Zusatzkosten in keinem oder nur sehr begrenzten Zusammenhang mit der installierten Leistung stehen.

- Lernraten:**

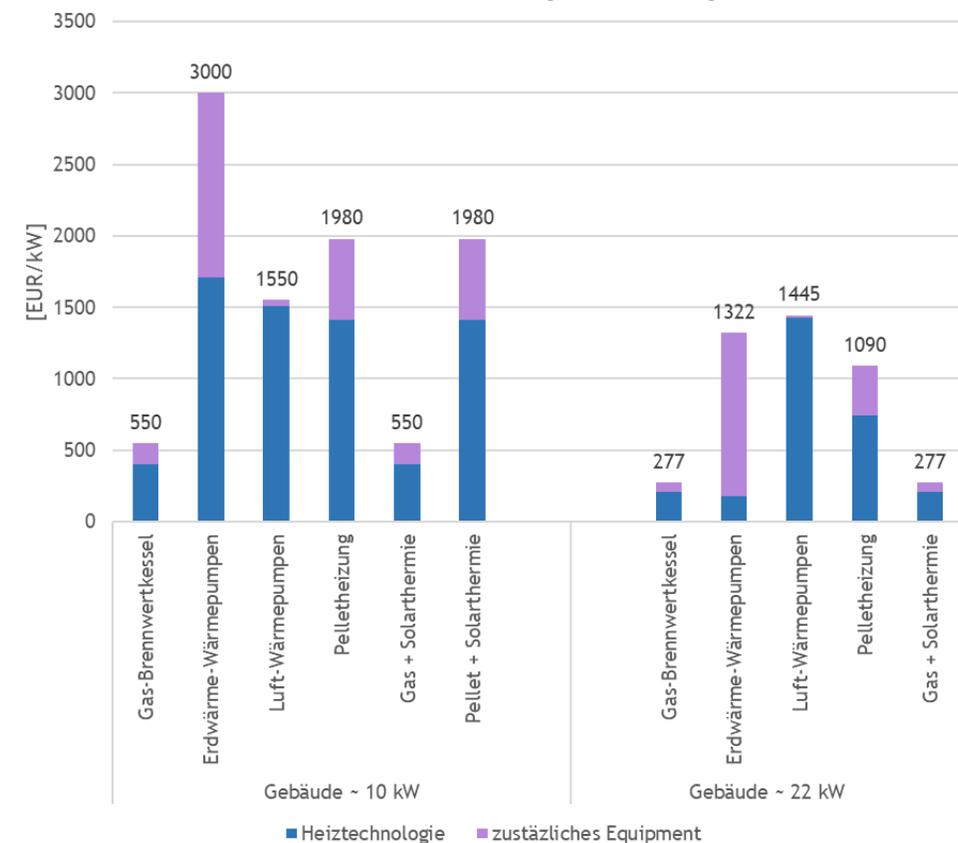
Es wird erwartet, dass die Investitionskosten einer Technologie mit zunehmender kumulierter Produktionskapazität sinken. Die Lernraten, d.h. die relative Verringerung der Vorabinvestition, hängen vom Stand der technologischen Entwicklung der jeweiligen Technologie ab.

Gut etablierte Technologien, wie Gasbrennwert- und Pelletkessel haben niedrigere Lernraten als neu eingeführte Technologien wie Wärmepumpen. Für diese Analyse werden die Lernraten nach Knobloch et al. (2017) und Öko-Institut und Fraunhofer ISE (2022) mit Marktanalysen der DENA-Gebäudestudie nach EWI, ITG und FIW (2017) kombiniert.

- Betrieb- und Wartungskosten:**

Die Betriebs- und Wartungskosten umfassen alle Kostenbestandteile beim Betrieb einer Heizungsanlage mit Ausnahme der Brennstoffkosten. Sie werden als **Anteil der Investitionskosten pro installierter Leistungseinheit** ermittelt. Die Parameterannahmen sind eigene Annahmen und aus Knobloch et al. (2017) entnommen.

Gesamtkosten für den Austausch eines Gaskessels und den Einbau Heizungstechnologien



Quelle: eigene Darstellung nach BDEW (2021a,b).

Übersicht zu den Technologie Parametern im LCOH-Tool

	Wirkungsgrad	Jährliche Effizienzgewinne	Investitionskosten je Heiztechnologie (EUR ₂₀₁₈ /kW) und zusätzl. Equipment (EUR ₂₀₁₈)	Jährliche Reduktion der Investitionskosten	Instandhaltungskosten (Anteil der Investitionskosten, pro Jahr)	Lebensdauer (Jahre)
Gas-Brennwertkessel zusätzl. Equipment	1,0193	+ 0,0 %	3304,8 * x ^{-0,673} 748,01 * x ^{0,5733}	- 0,3 % - 0,0 %	2 % 1 %	18 20
Erdwärmepumpen inkl. Bohrung zusätzl. Equipment	3,6223	+ 0,36 %	11269 * x ^{-0,665} 581,42 * x ^{0,9775}	- 2,27 % - 0,3 %	1 % 1 %	20 20
Luftwärmepumpen zusätzl. Equipment	2,7912	+ 0,36 %	3891,5 * x ^{-0,425} 581,42 * x ^{0,9775}	- 2,27 % - 0,0 %	1 % 1 %	18 20
Pelletheizung zusätzl. Equipment	0,9248	+ 0,3 %	4319,1 * x ^{-0,624} 2202,8 * x ^{0,5083}	- 0,3 % - 0,1 %	4 % 1 %	15 20
Gas + Solarthermie zusätzl. Equipment	1,1301	+ 0,9 %	Bestands EFH 6145,9 * x ^{-0,633} Bestands MFH 6331,4 * x ^{-0,632} Neubau EFH 6145,9 * x ^{-0,633} Neubau MFH 7708,4 * x ^{-0,625} 748,01 * x ^{0,5733}	- 0,3 % - 0,0 %	2 % 1 %	18 20
Pellet + Solarthermie zusätzl. Equipment	0,9935	+ 0,36 %	Bestands EFH 715,4 * x ^{-0,613} Bestands MFH 7476,2 * x ^{-0,613} Neubau EFH 7715,4 * x ^{-0,613} Neubau MFH 8875,9 * x ^{-0,611} 2202,8 * x ^{0,5083}	- 0,1 % - 0,3 %	4 % 1 %	15 20
Quellen	BDEW (2021a, b)	EWI, ITG, FIW (2017)	BDEW(2021a, b); Frings und Helgeson (2022)	EWI, ITG, FIW (2017); BDEW (2021a, b)	Knobloch et al. (2017); Annahmen EWI.	BDEW (2021a, b)

Annahmen zur Entwicklung der Energieeffizienz in Gebäuden

- Die **Beschleunigung der Sanierung bestehender Gebäude** und die **Erhöhung der Energiestandards für neue Gebäude** sind zentrale Ziele der EU, um die Energieeffizienzziele zu erreichen und wirtschaftliche und ökologische Vorteile im Gebäudesektor zu erzielen (EC 2018).
- Die **Steigerung der Energieeffizienz** in Gebäuden führt zu einer **Verringerung des Wärmebedarfs**, infolgedessen die erforderliche Kapazität der Heizungstechnologien zurückgeht.
- Die Stromgestehungskosten werden dadurch beeinflusst, dass die **Investitionsausgaben (CAPEX)** auf eine **geringere bereitgestellte Energiemenge umgelegt** werden müssen. Folglich steigen die LCOH mit der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden.
- Der **Heiz- und Kühlbedarf variiert je nach Gebäudetyp und Bundesland** aufgrund der **klimatischen Bedingungen**, des Gebäudealters, des Isolierungsniveaus und der Gebäudegröße. Den höchsten spezifischen Energiebedarf haben **Einfamilienhäuser (185-76 kWh/m²)** gefolgt von **großen Mehrfamilienhäusern (117-57 kWh/m²)** und **kleinen Mehrfamilienhäusern (112-42 kWh/m²)**, wobei der **Sanierungsstand** des Gebäudes erheblichen Einfluss auf den spezifischen Energiebedarf hat.
- Aufgrund der klimatischen Bedingungen in Deutschland trägt der **Kühlbedarf** nur **marginal** zum Energiebedarf der Haushalte bei und wird in dieser LCOH Analyse **nur im Fall von reversiblen Wärmepumpen** berücksichtigt. Der Heiz- und Kühlbedarf der Beispielgebäude wird berücksichtigt, um die erforderliche Leistung der Heizungsanlage in diesen Gebäuden zu berechnen. Dies ist wichtig, da die installierte Leistung mit den Investitionskosten verbunden ist.

Annahmen zum Kapazitätsfaktor - Berücksichtigung des Kühlungsbedarfs

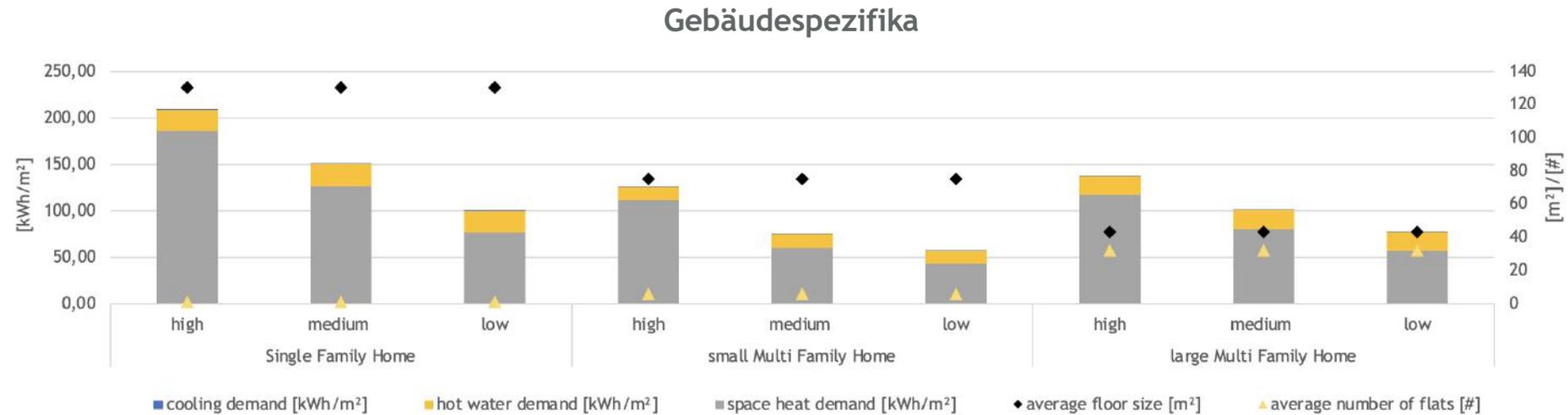
- Die von Knobloch et al. (2017) bereitgestellten Kapazitätsfaktoren werden als Bindeglied zwischen Energiebedarf und benötigter Kapazität verwendet.
- Um nicht nur die Heizung, sondern im Falle von Wärmepumpen auch die Kühlung zu berücksichtigen, wurden die Kapazitätsfaktoren auf der Grundlage des Verhältnisses der Heiz- und Kühlgradtage innerhalb der Bundesländer skaliert (Eurostat 2022).
- Basis der Skalierung sind die „[...] jährlich äquivalenten Vollast-Betriebsstunden H_{HE} [, welche für reversible Wärmepumpen] 2066, 2465 und 1336 für durchschnittliche, kalte und warme Klimabedingungen“ betragen (Europäische Kommission, 2013).
- Um die von Knobloch et al. 2017 ausgewiesene Kapazitätsfaktoren um die die jährlichen äquivalenten Vollbenutzungsstunden für Kühlzwecke zu erweitern wird der Kapazitätsfaktor von Wärmepumpen relativ zum Anteil der bundeslandspezifischen Kühlgradtage [CDD] erhöht.

$$CF_{neu} = CF_{alt} * \left(1 + \frac{CDD}{HDD}\right)$$

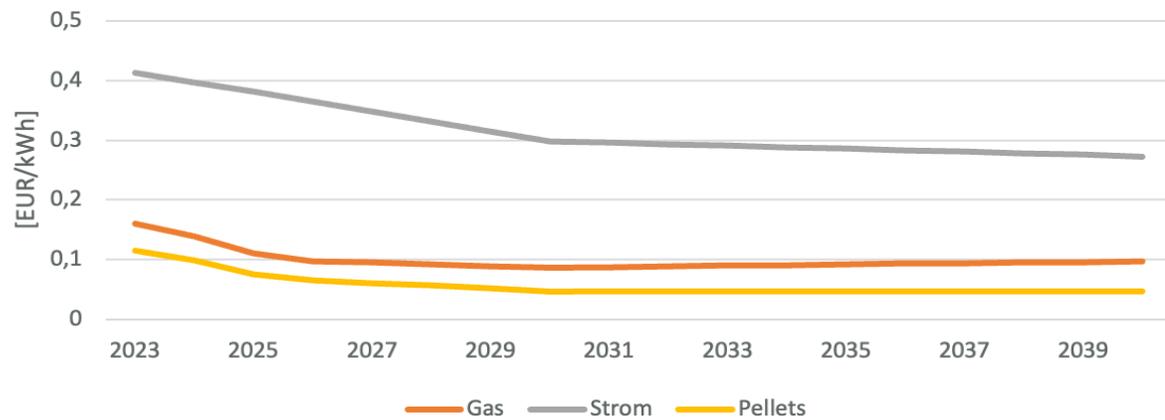
Kapazitätsfaktoren von Wohngebäuden dezentraler Heiztechnologien (Knobloch et al. 2017).

	Climate	Capacity factor (MWh _{th} /kW _{th})
Oil, gas, biomass, coal, district and electric heating	cold	2.47
	average	2.07
	warm	1.34
Heat pump – ground source	cold	2.47
	average	2.07
	warm	1.34
Heat pump - air/water	cold	1.71
	average	1.64
	warm	1.17
Heat pump - air/air	cold	1.97
	average	1.77
	warm	1.20

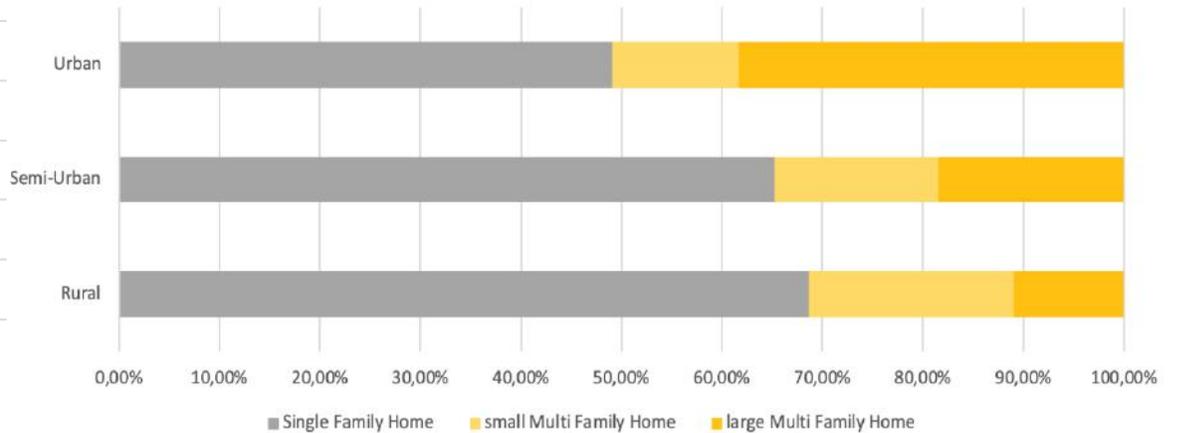
Marktübersicht - Nordrhein-Westfalen



Brennstoffpreise im mittleren Preisszenario*

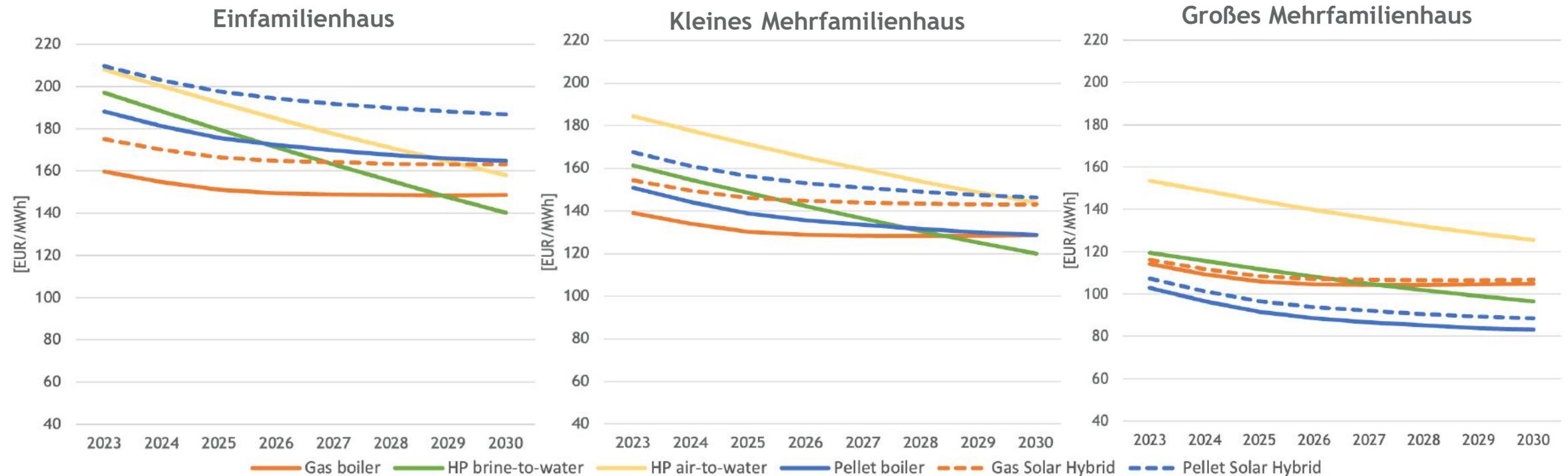


Gebäudeverteilung



*Einschließlich externer Effekte. Wir gehen von konstanten Brennstoffpreisen und konstanten externen Effekten nach 2042 aus.

LCOH im mittleren Preisszenario nach Gebäudetypen in Deutschland



Unter Einbezug der Förderbedingungen für Einzelmaßnahmen im Rahmen der Bundesförderung effiziente Gebäude sind Gas-Brennwertkessel die kostengünstigste Technologie im mittleren Preisszenario bis

- 2029 für Einfamilienhäuser.
- 2028 für kleine Mehrfamilienhäuser <6 Wohnungen

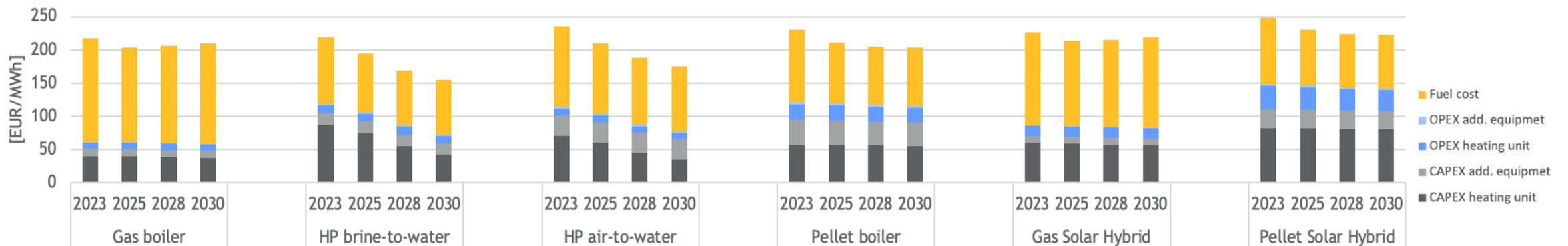
...danach sind Erdwärmepumpen laut der LCOH-Analyse die wettbewerbsfähigste Technologie.

- für Mehrfamilienhäuser sind aufgrund der hohen Gaspreise bereits ab 2023 Pellet-Technologien am Wettbewerbsfähigsten, ab 2027 sind Erdwärmepumpen wettbewerbsfähiger als Gas-Brennwertkessel.

Kostenzusammensetzung der LCOH

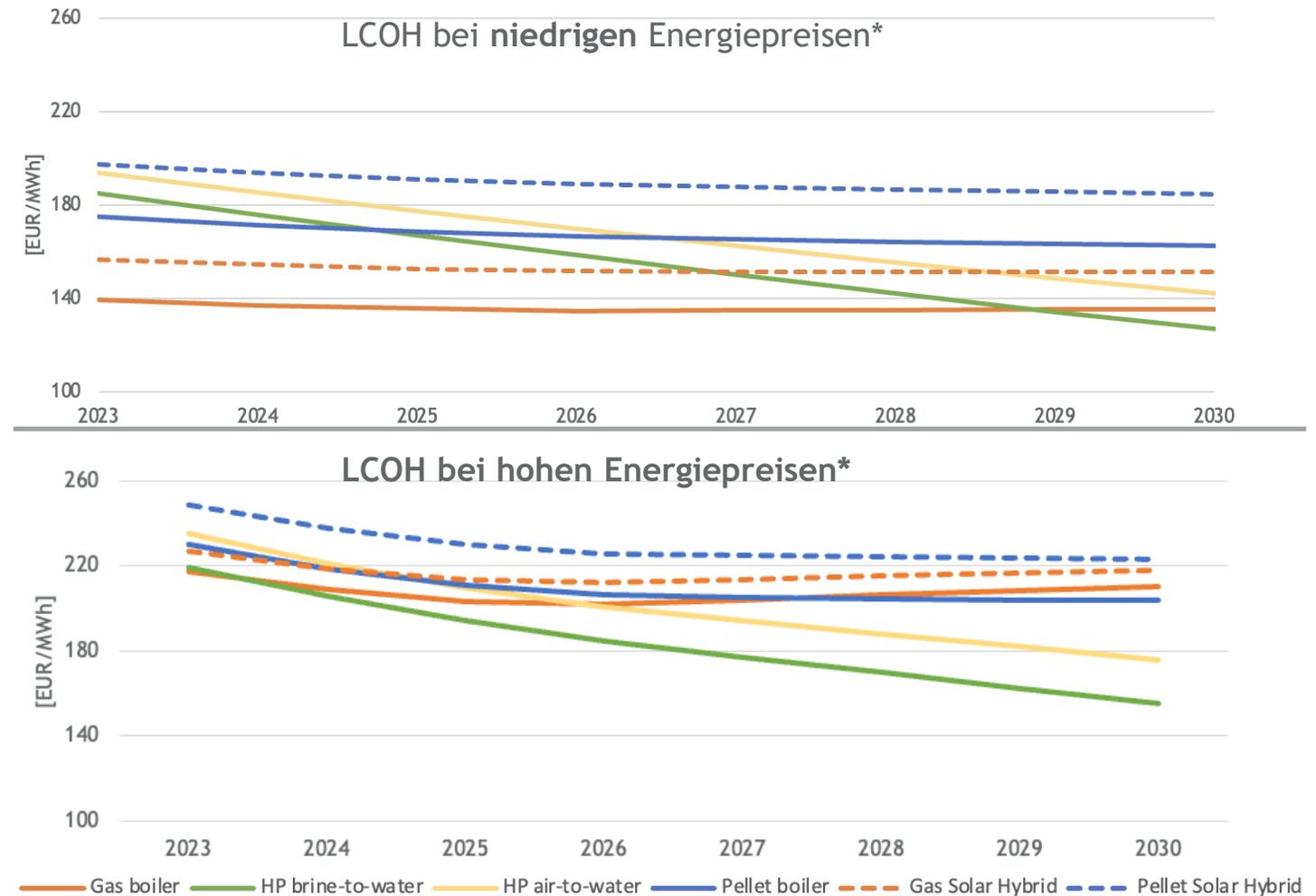
- Wärmepumpen, Hybridtechnologien und Pelletkessel weisen einen hohen Anteil an CAPEX-Kosten auf, die LCOH von Gas-Brennwertkesseln werden dagegen hauptsächlich von den Brennstoffkosten bestimmt.
- Da der Einfluss der CAPEX mit der Gebäudegröße abnimmt, nähern sich die LCOE von Wärmepumpen und Gas-Brennwertkesseln bei Mehrfamilienhäusern an.
- Pelletkessel sind bei allen Gebäudetypen aufgrund der niedrigen Brennstoffkosten wettbewerbsfähig. Sinkende CAPEX-Kosten bei Wärmepumpen reduzieren die LCOH schrittweise.

Beispielhafte Kostenstruktur der LCOH eines Einfamilienhauses in NRW (hohes Energiepreisszenario)



LCOH für Einfamilienhäuser in NRW in unterschiedlichen Energiepreisszenarien

- Hohe Brennstoffpreise und subsequent hohe Energiepreise treiben die LCOH. Insbesondere auf Gas basierende Heizungstechnologien verlieren mit steigenden Energiepreisen zunehmend an Wettbewerbsfähigkeit.
- Bei niedrigen Energiepreisen sind bis 2029 auf Gas basierende Heizungstechnologien am Wettbewerbsfähigsten.
- Bei hohen Energiepreisen gewinnen hingegen kapitalintensive Technologien wie Wärmepumpen, Hybridtechnologien und Pelletkessel an Attraktivität.
- Pelletkesseln unterliegen zusätzlich saisonalen und räumlichen (Preis-) Unsicherheiten, die in dieser Analyse nicht abgebildet werden.



* die in der Abbildung dargestellten Werte berücksichtigen aktuelle Subventionen der BEG Einzelmaßnahmen

Datenquellen und Literaturverzeichnis

- **Arnold, F., Çam, E., Lencz, D., Schulte, S., Stopnevich, A., Scharf, H., Anke, C., Hauser, P., Möst, D., Rändler, L. (2020).** Data Documentation Erdgas-BRidGE - Input data for modeling the power, building, and gas sector.
- **BBSR (2017).** Raumabgrenzungen: Referenzdateien und Karten - Kreise und kreisfreie Städte, Kreisregionen.
- **BDEW (2021a).** BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2021. Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung in Altbauten.
- **BDEW (2021b).** BDEW-Heizkostenvergleich Neubau 2021. Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung in Neubauten.
- **CARMEN (2022).** Marktpreise Pellets - Preisentwicklung bei Holzpellets.
- **Destatis (2022a).** Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche: Bundesländer, Stichtag, Anzahl der Wohnungen - Fortschreibung Wohngebäude- und Wohnungsbestand.
- **Destatis (2022b).** Bautätigkeit und Wohnungen - Bautätigkeit 2021. Fachserie 5 Reihe 1.
- **Ea Energy Analyses (2013).** Analysis of biomass prices.
- **Europäische Kommission (2013).** Festlegung der Leitlinien für die Mitgliedstaaten zur Berechnung erneuerbarer Energie aus Wärmepumpen aus verschiedenen Wärmepumpentechnologien gemäß Artikel 5 der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates
- **Eurostat (2020).** Applying the degree of urbanisation - A methodological manual to define cities, towns and rural areas for international comparisons. European Commission - Eurostat. Luxembourg.
- **EWI (2021).** dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität.

Datenquellen und Literaturverzeichnis

- **EWI (2022a)**. Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen - Eine Analyse anhand exemplarischer Einfamilienhäuser.
- **EWI (2022b)**. Szenarien für die Preisentwicklung von Energieträgern. Im Auftrag des Akademieprojekts „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS).
- **EWI, ITG, FIW (2017)**. Dena-Gebäudestudie. Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor.
- **EWI & FIFo (2019)**. CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor und notwendige Zusatzinstrumente.
- **Frings, C.; Helgeson, B. (2022)**. Developing a model for consumer management of decentralized options, EWI Working Paper, No. 22/05, Institute of Energy Economics at the University of Cologne (EWI), Cologne.
- **IEA (2021)**. World Energy Outlook 2021.
- **Knobloch, F., Mercure, J. F., Pollitt, H., Chewpreecha, U., & Lewney, R. (2017)**. A technical analysis of FTT: Heat—a simulation model for technological change in the residential heating sector. European Commission, Directorate-General for Energy.
- **Prognos (2020)**. Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050.
- **UBA (2019)**. Wohnen und Sanieren.

**Energiewirtschaftliches Institut an der
Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

 +49 (0)221 650 853-60

 <https://www.ewi.uni-koeln.de>

 @ewi_koeln

 EWI - Energiewirtschaftliches
Institut an der Universität zu Köln

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen.