INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

# Qualitätsanforderungen an Wärmepumpen für den Bestand: Sinnvolle Kriterien in Erneuerbaren Wärmegesetzen

## Kurzstudie

Im Auftrag des Bundesverbands Wärmepumpe BWP

Dr. Martin Pehnt, Peter Mellwig

Heidelberg, Juli 2021

**ifeu** • Wilckensstr. 3 • 69120 Heidelberg Telefon +49 (0)6 221. 47 67 - 0 Telefax +49 (0)6 221. 47 67 - 19 E-Mail ifeu@ifeu.de www.ifeu.de

# Inhalt


**1 Notwendigkeit von Wärmepumpen für eine Wärmewende in den Energieszenarien 2**

1.1 Klimabilanz der Wärmepumpe 2

1.2 THG-Einsparung von drei typischen Einsatzfällen von Wärmepumpen im Gebäudebestand 5

**2 Effizienzbewertung von Wärmepumpen im Gebäudebestand in unterschiedlichen Politikinstrumenten 9**

2.1 EWärmeG Baden-Württemberg 9

2.2 Hamburgisches Klimaschutzgesetz 10

2.3 BEG und EU-Ökodesign-Verordnung (Marktzulassung) 10

**3 Empfehlung für Qualitätskriterien im Rahmen von Bestandspflichten und E-Wärmegesetzen 12**

**4 Literatur 14**


**Abkürzungen**

EE Erneuerbare Energien

PV Photovoltaik

THG Treibhausgase

# 1 Notwendigkeit von Wärmepumpen für eine Wärmewende in den Energieszenarien

## 1.1 Klimabilanz der Wärmepumpe

Elektrische Wärmepumpen wandeln Strom und Umweltwärme in nutzbare Wärme um. In nahezu allen Zukunftsszenarien der Entwicklung des Wärmemarktes spielen sie – sowohl in Wärmenetzen als auch in der dezentralen Gebäudeversorgung – eine besondere Rolle. Dafür verantwortlich ist insbesondere die Klimabilanz der Wärmepumpe.

**Treibhausbilanz heute.** Bereits heute, bei einem Treibhausgas-Faktor des Stroms von rd. 360-430 g/kWh[1], sind Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von mehr als 2,5 einem Gaskessel, aber auch der Kombination aus einem Gas-Brennwertkessel und einer Solaranlage (Annahme: Deckungsanteil 15 %; Nutzungsgrad 0,95) überlegen.

Abbildung 1: Vergleich der THG-Emissionen in g/kWh einer Wärmepumpe mit einem Gas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung als Funktion der Jahresarbeitszahl und des Stromfaktors. **Grüne Felder:** THG-Faktor der Wärmepumpe besser als Gas-Solar-Kombination.

| THG-Faktor | Jahresarbeitszahl | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Strom (g/kWh)** | **2** | **2,25** | **2,5** | **2,75** | **3** | **3,25** | **3,5** | **3,75** | **4** |
| **100** | 50 | 44 | 40 | 36 | 33 | 31 | 29 | 27 | 25 |
| **150** | 75 | 67 | 60 | 55 | 50 | 46 | 43 | 40 | 38 |
| **200** | 100 | 89 | 80 | 73 | 67 | 62 | 57 | 53 | 50 |
| **250** | 125 | 111 | 100 | 91 | 83 | 77 | 71 | 67 | 63 |
| **300** | 150 | 133 | 120 | 109 | 100 | 92 | 86 | 80 | 75 |
| **350** | 175 | 156 | 140 | 127 | 117 | 108 | 100 | 93 | 88 |
| **400** | 200 | 178 | 160 | 145 | 133 | 123 | 114 | 107 | 100 |
| **450** | 225 | 200 | 180 | 164 | 150 | 138 | 129 | 120 | 113 |
| **500** | 250 | 222 | 200 | 182 | 167 | 154 | 143 | 133 | 125 |
| **550** | 275 | 244 | 220 | 200 | 183 | 169 | 157 | 147 | 138 |
| **600** | 300 | 267 | 240 | 218 | 200 | 185 | 171 | 160 | 150 |
| **650** | 325 | 289 | 260 | 236 | 217 | 200 | 186 | 173 | 163 |
| **700** | 350 | 311 | 280 | 255 | 233 | 215 | 200 | 187 | 175 |

Quelle: Berechnungen ifeu

**Saisonaler THG-Faktor.** Selbst wenn man unterstellt, dass der mit dem Wärmepumpen-Strombedarf jahresgewichtete Stromfaktor auf Grund des höheren Strombedarfs in der Winterzeit etwas höher liegt als der Mittelwert, ergeben sich bereits heute beispielsweise

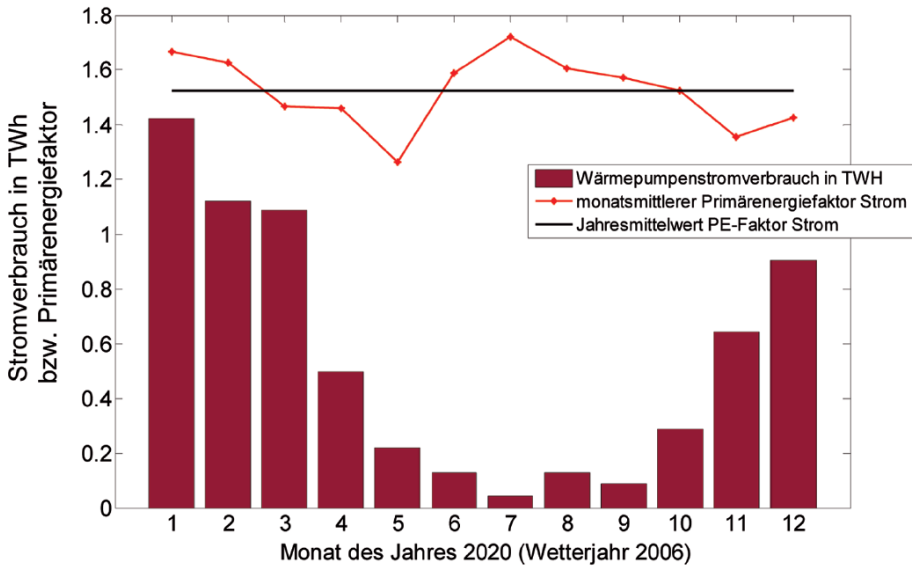
[1] Für 2019 errechnet IINAS einen Stromfaktor (auf Niederspannungsebene) von rd. 425 g/kWh $CO_2$-Äquivalente (IINAS 2020), ifeu etwa 50 g/kWh mehr auf Grund anderer Annahmen insbesondere zum Kraftwerkseigenstromverbrauch. Für 2020 reduziert sich dieser Wert bereits auf rund 360 bzw. 430 g/kWh.

bei einem Wert von 600 g/kWh ab einer JAZ von etwa 2,4 günstigere Werte als bei einer Gasheizung und ab einer JAZ von 2,8 besser als die unterstellte Gas-Solar-Kombination. Analysen des ifeu mit einem Strommarktmodell zeigen allerdings, dass der mit einem Wärmepumpenlastprofil gewichtete THG-Faktor bzw. Primärenergiefaktor bei dem derzeitigen Verhältnis von PV- und Windstrom nicht wesentlich anders liegt als der Jahresmittelwert (siehe Exkursbox).

**Exkurs: $CO_2$- und Primärenergiefaktor im saisonalen Vergleich** Der saisonale Effekt wurde in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2014 untersucht. Es wurden monatsmittlere Primärenergiefaktoren für das Jahr 2020 errechnet und mit einem modellierten Wärmepumpenstromverbrauch gewichtet. Die saisonale Stromerzeugung wird dabei maßgeblich durch das Verhältnis aus Wind-, Solar- und KWK-Anlagen geprägt. Da PV-Anlagen im Winter deutlich weniger zur Stromerzeugung beitragen, ist ein dynamischer Windausbau für den Wärmemarkt von Bedeutung. Insgesamt ist die Stromerzeugung aus Erneuerbaren durch das Wechselspiel aus Wind und Solar in dem untersuchten (typischen) Wetterjahr in den Monaten November und Dezember höher, im Januar und Februar etwas niedriger als in den Sommermonaten.

Im Mittel ergibt sich dadurch ein vergleichsweise konstanter Primärenergiefaktor: im Sommer trägt verstärkt die Solarenergie bei, in den Übergangsmonaten und im Winter vor allem Windkraft. Basierend auf diesem Wetterjahr ergibt sich im Monatsmittel eine Stromerzeugung, deren mit dem Wärmepumpen-Strombedarf gewichteter Primärenergiefaktor mit 1,62 nur leicht über dem Jahresmittelwert von 1,58 liegt. Auch die $CO_2$-Faktoren liegen nah beieinander. Durch eine gezielte Steuerung von Wärmepumpen nach dem Anteil erneuerbarer Energien und einen zusätzlichen bevorzugten Betrieb tagsüber (mit höheren Lufttemperaturen und höheren PV-Anteilen) kann dieser Effekt weiter reduziert werden.

Stromverbrauch von Wärmepumpen und monatsmittlerer Primärenergiefaktor




Quelle: von Oehsen, Pehnt, Jentsch, Gerhardt (2014)

**Verdrängungsmix versus Durchschnittsmix.** Es wird auch argumentiert, dass Wärmepumpen als zusätzlich hinzukommende Stromverbraucher nicht mit dem Durchschnittsstrommix zu bewerten sind, sondern mit dem sogenannten „Verdrängungsmix“ oder „Grenzkraftwerkspark“ (oder: marginaler Kraftwerkspark). Dieser Strommix entspricht dem Kraftwerkspark, der in der Merit Order des Strommarktes mit zusätzlichen, nicht ausgelasteten Kraftwerken gezogen wird, wenn die Nachfrage steigt. Während dies in der Vergangenheit meist ein Mix aus Steinkohle- und Gaskraftwerken war, wird sich dieser Mix durch den Kohleausstieg in Zukunft weiter in Richtung Gas-Kraftwerke verschieben, deren THG-Faktor nicht weit von dem jetzigen Durchschnitts-THG-Faktor liegen.

Bei der THG-Bewertung von Wärmepumpen sind mehrere weitere Aspekte zu beachten:

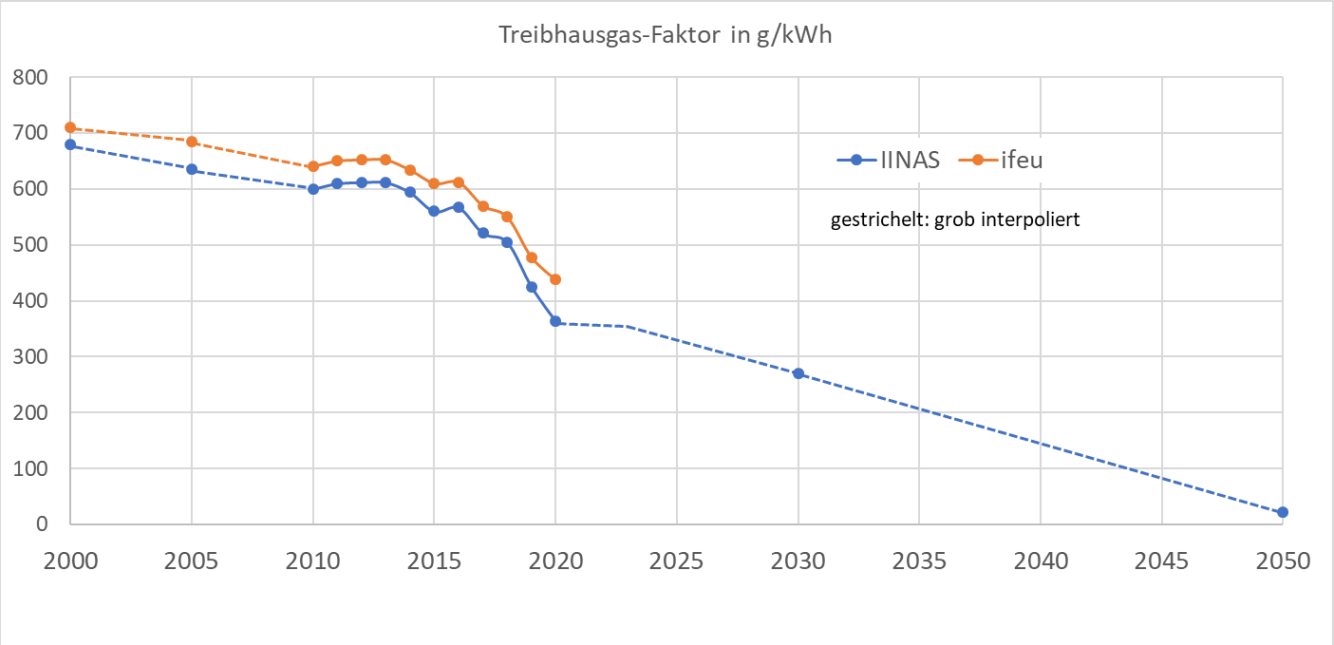
- Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz muss für diese zusätzliche Strommenge auch ein entsprechender Anteil zusätzlicher EE-Kraftwerkskapazitäten ausgebaut werden. Im Jahr 2030 beispielsweise müssen nach geltendem EEG 65 % des Stroms aus EE-Anlagen stammen. Im Jahr 2030 müssten daher für jede zusätzliche TWh Strombedarf für Wärmepumpen EE-Kraftwerke für 0,65 TWh zugebaut worden sein.
- Hinzu kommt, dass durch den Ausbau von Wärmepumpen anstelle von Gas- und Ölheizungen auch das Emissionsbudget des europäischen Emissionshandels knapper wird. Denn während dezentrale Öl- und Gasheizungen nicht vom Emissionshandel erfasst sind, sind die Emissionen aus dem deutschen Kraftwerkspark durch den Emissionscap gedeckelt. Eine Verlagerung von Emittenten vom Non-ETS zum ETS reduziert daher die Menge an verfügbaren Zertifikaten. Dies gilt absehbar auch noch in Zukunft, solange der Mindestpreis im BEHG wirkt. Entsprechend steigen die Zertifikatspreise und $CO_2$-intensive Kraftwerke werden unwirtschaftlicher, selbst wenn man davon ausgeht, dass der Emissionshandel durch eine Überausstattung und verschiedene andere Marktmechanismen nicht 100 % effektiv arbeitet.
- Durch die beschlossene Verschärfung der Klimaschutz-Sektorziele werden sich die beschriebenen Effekte beschleunigen und sowohl die Ausbaugeschwindigkeit für EE-Kraftwerke als auch der Rückbau der Kohlekraftwerkskapazitäten beschleunigen.
- Zudem ist eine Grenz-Betrachtung im Sinne des oben beschriebenen „Verdrängungsfaktors“ nur opportun bei kleinen Veränderungen. Bei größeren Veränderungen muss berücksichtigt werden, dass für diese zusätzliche Nachfrage auch zusätzliche Kraftwerkskapazität ausgebaut wird.

**Zukünftiger THG-Faktor.** Vor dem Hintergrund der beschriebenen zukünftigen Entwicklung des Strommarktes und des Ausstiegs aus der Kohleverstromung wird der THG-Faktor ab 2023 (nach dem vollzogenen Atomausstieg) noch deutlich schneller absinken. Dann ist der Atomausstieg vollzogen und der Ausbau erneuerbarer Energien kommt voll der Substitution von Kohle- und Gasverstromung zu Gute.

Eine Gasheizung hat eine Lebenserwartung von mindestens 20 Jahren, wenn sie nicht vorzeitig aus dem Betrieb genommen wird. Von daher ist in dieser Zeit der Lebenszeitgemittelte THG-Faktor für Wärmepumpen deutlich niedriger. Bereits bei einem Absinken des Stromfaktors auf 300 g/kWh, der relativ bald erreicht sein wird, müsste bei einer JAZ von 3,0 der THG-Faktor von Gas-Heizungen durch Einsatz von synthetischem EE-

Gas, Solarthermie und/oder Biomethan auf 100 g/kWh$_{th}$ abgesenkt werden (Tabelle 1), damit sich insgesamt die gleiche THG-Bilanz ergibt.

Abbildung 2: Verlauf des THG-Faktors in g $CO_{2,äq.}$ pro kWh von Strom auf Niederspannungsebene nach IINAS (2020) und ifeu-Datenbank; nach 2019: Klimaschutzszenario gemäß NECP




## 1.2 THG-Einsparung von drei typischen Einsatzfällen von Wärmepumpen im Gebäudebestand

Wie ist nun eine gute Einsatzstrategie für Wärmepumpen im Gebäudebestand? Grundsätzlich ist es sinnvoll, Wärmepumpen in ein möglichst gut gedämmtes Gebäude einzubauen, da sie dann ihre gute Effizienz in Form einer hohen erreichbaren Jahresarbeitszahl und entsprechend niedrigerer Lastanforderungen besonders entfalten kann.

Doch in der Regel stellt sich die Frage des Wechsels zur Wärmepumpe dann, wenn der bislang vorhandene Öl- oder Gaskessel bereits defekt ist oder zum Austausch ansteht. Sollte auch dann der Wechsel zur Wärmepumpe erfolgen, auch wenn das Gebäude noch nicht optimal für eine Wärmepumpe geeignet ist?

Als Alternativen stehen– vorausgesetzt, es gibt kein Wärmenetz – einerseits Gas- oder Ölheizungen zur Wahl, mit oder ohne solare Unterstützung. Auf der anderen Seite könnten Biomasse-Heizungen installiert werden; diese zeichnen sich auch durch eine gute Klimabilanz aus, allerdings dürfte der Brennstoff Biomasse in Zukunft von allen Sektoren verstärkt nachgefragt werden. Auch hinsichtlich Feinstaubemissionen, Brennstofflieferungen und Lagerkapazitäten ist diese Option begrenzt.

Um dieser Frage nachzugehen, werden vier Sanierungsvarianten und deren über die Jahre entstehende Treibhausgas-Emissionen berechnet und einer Variante mit der Versorgung durch einen Gaskessel mit solarthermischer Unterstützung gegenübergestellt. Das Ziel

dieser Analyse ist nicht die exakte Quantifizierung der Einsparung, sondern eine Einordnung unterschiedlicher strategischer Gebäudevarianten.

Dabei wird von folgenden grundlegenden Annahmen ausgegangen: Ein Einfamilienhaus mit 150 $m^2$ Wohnfläche, einem baulichen Wärmeschutz ohne Sanierung angelehnt an Mailach et al. (2021), der einem etwa 20 bis 25 Jahre alten Gebäude entspricht, einem sich daraus ergebenden Endenergiebedarf von rund 30 MWh/a für Heizenergie und Warmwasser. Der Hilfsstrombedarf für die Heizung wird gemäß Oschatz et al. (2021) mit rd. 600 kWh (Erdgas-Fall) bzw. 280 kWh (Wärmepumpenfall) angesetzt.

Für den Verlauf des Stromfaktors wird konservativ weiterhin von dem NECP-Klimaschutzszenario ausgegangen. Würde man ein vorgezogenes Szenario mit schnellerem Ausbau erneuerbarer Energien unterstellen, wie es für die vorgezogenen Sektorziele 2045 erforderlich wäre, so würde die THG-Bilanz positiver ausfallen. Außerdem wird unterstellt, dass der Rückgang in den ersten 5 Jahren der Dekade 2020-2030 langsamer verläuft als in der zweiten Hälfte, da der Ausbau der Atomenergie kompensiert werden muss.

**Fall 1: Gaskessel mit 15 % Solaranteil**. Der Referenzfall ist ein Gebäude, das mit Gas-Brennwertkessel und einer solarthermischen Unterstützung mit einem Solaranteil von 15 % beheizt wird (alternativ könnte ein Teil der 15 % auch durch synthetische Gase aus zusätzlichem erneuerbaren Strom ersetzt werden).

**Fall 2: Wärmepumpe statt Gas ohne weitere Sanierung.** In diesem Fall wird eine Wärmepumpe anstelle einer Gasheizung eingebaut, ohne dass weitere Sanierungsschritte oder Maßnahmen am Heizverteilsystem erfolgen. Es wird von einer Systemtemperatur von bis zu 70 Grad und einer Jahresarbeitszahl von 2,5 ausgegangen erfolgen (FfE 2021).

**Fall 3: Sukzessive Sanierung.** Fall 3 charakterisiert ein Gebäude, das durch niederschwellige Maßnahmen, z.B. den Austausch von Heizkörpern und niederschwellige Effizienzmaßnahmen, auf ein Temperaturniveau der Heizkreistemperaturen gebracht wurde, sodass die Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von max. 55 Grad betrieben werden kann. Im Resultat ergibt sich am Ende eine JAZ von 3,1. Ein solches Gebäude könnte selbstredend auch nach 2036 mit weiteren effizienzsteigernden Maßnahmen verbessert werden, um den Verbrauch von (dann überwiegend mit erneuerbaren Energien erzeugten) Strom weiter zu senken.

**Fall 4: Saniertes Gebäude.** Im Fall 4 wird die Gebäudehülle saniert und zusätzlich durch den Austausch von Heizkörpern eine Heizkurve von max. 50 Grad eingestellt. Die JAZ ist dann nochmals leicht besser (ca. 3,3), außerdem ist der Heizenergiebedarf niedriger.

**Ergebnisse.** Tabelle 1 quantifiziert die THG-Einsparung gegenüber Fall 1. Gegenüber der Referenzvariante eines Gaskessels mit 15 % Solaranteil spart selbst eine 70 °C-taugliche Wärmepumpe, die in ein wenig gedämmtes Gebäude eingebaut wird, über 15 Jahre rd. 43 t Treibhausgase ein. Diese Einsparung erhöht sich, wenn nach dem Einbau nachträglich saniert wird; dabei addieren sich zwei Effekte: der sinkende Raumwärmebedarf und die dadurch steigende JAZ. Bei Vollsanierung addiert sich die THG-Einsparung auf über 80 t in den 15 Jahren.

Tabelle 1: Einsparung an Treibhausgasen gegenüber einer Gasversorgung (15 % Solaranteil) des unsanierten Gebäudes

| | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **THG-Faktor Strom** | g/kWh | 412 | 405 | 399 | 392 | 368 | 343 | 319 | 294 | 270 | 258 | 246 | 234 | 222 | 211 | 199 |
| **THG-Faktor Gas** | g/kWh | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 |
| **THG Faktor Gas- 15 % Solar/EE** | $g/kWh_{th}$ | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 |
| **JAZ Fall 2** | | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| **JAZ Fall 3** | | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| **JAZ Fall 4** | | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Wärmebedarf Fall 1** | MWh | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Wärmebedarf Fall 2** | MWh | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Wärmebedarf Fall 3** | MWh | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| **Wärmebedarf Fall 4** | MWh | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG Fall 1** | t/a | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| **THG Fall 2** | t/a | 5,1 | 5,0 | 4,9 | 4,8 | 4,5 | 4,2 | 3,9 | 3,6 | 3,3 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,4 |
| **THG Fall 3** | t/a | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,1 | 2,9 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 |
| **THG Fall 4** | t/a | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung Fall 2 gg 1** | t | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,4 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 4,0 | 4,1 |
| **THG-Einsparung Fall 3 gg 1** | t | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,1 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 5,0 |
| **THG-Einsparung Fall 4 gg 1** | t | 4,7 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | 5,6 | 5,6 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung 15 Jahre Fall 2** | t | 43 | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung 15 Jahre Fall 3** | t | 63 | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung 15 Jahre Fall 4** | t | 77 | | | | | | | | | | | | | | |

Diese Berechnungen zeigen: in allen betrachteten Fällen lohnt es sich, bei einem Kesselaustausch nicht wieder auf eine fossile Heizung zu setzen. Durch die sukzessive Verbesserung des Strommixes und die Möglichkeit, die Effizienz der Wärmepumpe nachträglich durch weitere Sanierungsmaßnahmen anzuheben, steigt die Einsparung weiter an.

**Sensitivität.** Diese Argumentation gilt selbst unter den pessimistischen Annahmen eines um den Faktor 1,3 höheren Stromfaktors, eines schlechter gedämmten Gebäudes und sehr eingeschränkter Heizflächen. Für diesen Fall werden hier schlechtere JAZ von nur 2,2 (Fall 2 ohne weitere Dämmung, ohne Heizkörpertausch) bzw. 2,9 (Fall 3) erreicht werden. Dann beträgt die Einsparung in Fall 2 immer noch 18 Tonnen Treibhausgase über 15 Jahre.

Tabelle 2: Sensitivität: Einsparung an Treibhausgasen gegenüber einer Gasversorgung (15 % Solaranteil) des unsanierten Gebäudes bei anfänglicher JAZ von 2,2 und 30 % höherem Stromfaktor

| | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **THG-Faktor Strom** | g/kWh | 536 | 527 | 519 | 510 | 478 | 446 | 414 | 382 | 350 | 336 | 320 | 305 | 289 | 274 | 258 |
| **THG-Faktor Gas** | g/kWh | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 | 253 |
| **THG Faktor Gas- 15 % Solar/EE** | $g/kWh_{th}$ | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 |
| **JAZ Fall 2** | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| **JAZ Fall 3** | | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| **JAZ Fall 4** | | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Wärmebedarf Fall 1** | MWh | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Wärmebedarf Fall 2** | MWh | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Wärmebedarf Fall 3** | MWh | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| **Wärmebedarf Fall 4** | MWh | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG Fall 1** | t/a | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| **THG Fall 2** | t/a | 7,5 | 7,3 | 7,2 | 7,1 | 6,6 | 6,2 | 5,8 | 5,3 | 4,9 | 4,7 | 4,5 | 4,2 | 4,0 | 3,8 | 3,6 |
| **THG Fall 3** | t/a | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,1 | 3,8 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,2 |
| **THG Fall 4** | t/a | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung Fall 2 gg 1** | t | -0,7 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | 0,1 | 0,5 | 0,9 | 1,4 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 |
| **THG-Einsparung Fall 3 gg 1** | t | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 3,4 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 4,4 |
| **THG-Einsparung Fall 4 gg 1** | t | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 5,4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung 15 Jahre Fall 2** | t | 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung 15 Jahre Fall 3** | t | 49 | | | | | | | | | | | | | | |
| **THG-Einsparung 15 Jahre Fall 4** | t | 72 | | | | | | | | | | | | | | |

Fazit: Der Wechsel zur Wärmepumpe ist gegenüber einem neuen Erdgaskessel (selbst bei Einbindung von Solarthermie) immer mit höheren $CO_2$-Einsparungen verbunden. Daher sollten politische Instrumente nicht durch inadäquate Eingangshürden Lock-in Effekte und Lost-Opportunities schaffen. Das nächste Kapitel zeigt allerdings auf, dass dies derzeit z. T. noch der Fall ist.

# 2 Effizienzbewertung von Wärmepumpen im Gebäudebestand in unterschiedlichen Politikinstrumenten

## 2.1 EWärmeG Baden-Württemberg

Die Nutzung von Umweltwärme einschließlich Abwärme durch Wärmepumpen wird im E-WärmeG Baden-Württemberg als „Nutzung erneuerbarer Energien anerkannt, wenn 1. bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,50 (…) erreicht wird, wobei in die Wärmepumpe integrierte Ergänzungsheizungen mit in die Jahresarbeits- oder Jahresheizzahl einzuberechnen sind. Die Deckung des gesamten Wärmeenergiebedarfs mit einer Wärmepumpe nach Satz 1 gilt als vollständige Erfüllung der Nutzungspflicht nach § 4 Absatz 1. Die Ermittlung der Jahresarbeitszahl und Jahresheizzahl richtet sich nach den Vorschriften der VDI 4650 oder gleichwertigen anerkannten Regeln der Technik.“ (UM o.D.)

Im EWärmeG gibt es zwei Wege der Erfüllung:

- Wenn die Wärmepumpe eine JAZ von über 3,5 erreicht und das Gebäude monovalent versorgt, ist die Bedingung eingehalten.
- Wenn die Wärmepumpe nur einen Anteil des Gebäudes versorgt, dann wird ein Erfüllungsgrad errechnet. Dieser ergibt sich aus folgender Formel:

  $$\frac{(JAZ - 3{,}0)/JAZ)^* \text{ von der Wärmepumpe erzeugte jährliche Wärmemenge}}{\text{jährlicher Wärmeenergiebedarf des Gebäudes} * 0{,}15}$$

Diese Formulierung weist zwei Probleme auf:

1. Bei monovalenter Versorgung werden nur Wärmepumpen mit einer JAZ anerkannt, die eine JAZ über 3,5 haben. „Wärmepumpen mit niedrigeren Jahresarbeitszahlen finden keine (auch keine anteilige) Anrechnung im EWärmeG.“ (UM o.D.) Damit wird der oben beschriebenen Gefahr eines Lock-in-Effektes Vorschub geleistet. Wenn das Heizsystem eines Gebäudes anfangs noch ein Temperaturniveau erfordert, das eher zu JAZ von 2,5 – 3,0 führt, so darf im Augenblick des Kesseltauschs keine Wärmepumpe installiert werden. Oft wird dann ein Gaskessel eingebaut. Damit wird eine Chance zu sofortigen $CO_2$-Einsparungen verpasst. Zudem können auch anschließend noch, beispielsweise einige Jahre später, Maßnahmen an der Heizverteilung oder der Gebäudehülle durchgeführt werden, welche die JAZ nochmals steigern und weitere $CO_2$-Reduktionen bewirken würden.
2. Bei multivalenter Wärmeversorgung wird außerdem nur der Anteil der Wärmepumpe angerechnet, der den Wert von 3,0 überschreitet. Dahinter steht die, mittlerweile allerdings veraltete, Unterstellung, dass nur bei einer solchen JAZ

Primärenergie eingespart wird; der Primärenergiefaktor des Stroms liegt allerdings mittlerweile deutlich niedriger. S.o. Abschnitt 1.1.

## 2.2 Hamburgisches Klimaschutzgesetz

In weiteren Bundesländern sind im Rahmen der Klimaschutz- bzw. Wärme-Gesetze ähnliche Regelungen wie in Baden-Württemberg vorgesehen bzw. bereits implementiert. In Hamburg wurde folgende Regelung in der „Verordnung zur Umsetzung der Pflichten zur Nutzung von Photovoltaik und erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung…“ vom 22.12.2020 getroffen:

„Die Nutzung von Geothermie und Umweltwärme einschließlich Abwärme durch Wärmepumpen wird als vollständige Erfüllung der Nutzungspflicht nach § 17 Absatz 1 HmbKliSchG anerkannt, wenn 1. bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von mindestens 3,00 erreicht wird und der anrechenbare Anteil an erneuerbaren Energien der von der Wärmepumpe gelieferten Wärmeenergiebedarfe berechnet nach der folgenden Formel mindestens 15 v.H. beträgt:

$$EE - Anteil = \frac{Wärmeerzeugung\ der\ Wärmepumpe}{Wärmeerzeung\ des\ gesamten\ Heizsystems} \times \left[1 - \frac{0{,}5}{JAZ\ \times 0{,}21}\right]$$

Auch diese Verordnung hebt also auf eine starre Eingangsanforderung ab und erkennt nur einen gewissen Anteil der Wärme als erneuerbarer Energie an. Beispielsweise ergibt sich bei vollständiger Wärmepumpenversorgung eines Gebäudes bei einer JAZ von 3,0 laut vorgegebener Rechenformel ein EE-Anteil von nur 21 %. Dabei sind hier eigentlich allein schon 66% Umweltwärme enthalten zuzüglich des EE-Anteils am eingesetzten Strom.

## 2.3 BEG und EU-Ökodesign-Verordnung (Marktzulassung)

Im Bundesprogramm effiziente Gebäude wurde mittlerweile die vorherige Anforderung an eine JAZ ersetzt durch eine Anforderung an die jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz ETAs (Tabelle 1).

ETAs (oder $\eta_s$) wird aus dem SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) nach EN 14825 durch Division mit 2,5 errechnet und drückt aus, wie viel Primärenergie für eine Kilowattstunde Wärme benötigt wird. Die Berechnung erfolgt unter der Annahme eines Primärenergiefaktors für den europäischen Strommix von 2,5.

Für die Bestimmung des SCOP wird bei vier unterschiedlichen Temperaturwerten gemessen. Das bedeutet, dass mehrere Messpunkte innerhalb des Jahresverlaufs betrachtet und nach ihrer Verteilung gewichtet werden. Dies ermöglicht es u. a., die Effizienzvorteile einer leistungsgeregelten Wärmepumpe im Teillastbetrieb, welcher einen Anteil von mehr als 90 % der Betriebszeit hat, zu berücksichtigen. Damit ist der Nachweis der Förderfähigkeit nur noch an die Effizienz der Wärmepumpe gekoppelt und nicht mehr an die konkrete Betriebsweise im Gebäude.

Tabelle 3: Anforderungen an Wärmepumpen im BEG

**Wärmepumpen – Beheizung über Wasser**

Die „jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz“ $\eta_s$ (= ETAs) gemäß Öko-Design-Richtlinie förderfähiger Wärmepumpen muss bei durchschnittlichen Klimaverhältnissen mindestens folgende Werte bei 35 °C und 55 °C erreichen. Wärmepumpen, die gemäß Öko-Design-Richtlinie als Niedertemperatur-Wärmepumpen gelten, müssen nur die $\eta_s$-Anforderungen bei 35 °C erfüllen.

**Elektrisch betriebene Wärmepumpen**

| | $\eta_s$ bei (35°C) | $\eta_s$ bei (55°C) |
|---|---|---|
| Wärmequelle Luft | 135 % | 120 % |
| Wärmequelle Erdwärme | 150 % | 135 % |
| Wärmequelle Wasser | 150 % | 135 % |
| Sonstige Wärmequellen (z.B. Abwärme, Solarwärme) | 150 % | 135 % |

**Wärmepumpen – Beheizung über Luft**

**Elektrisch- und gasbetriebene Wärmepumpen**

Die „jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz“ $\eta_s$ (= ETAs) bzw. der „Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad“ $\eta_{s,h}$ (= ETAs,h) gemäß Öko-Design-Richtlinie förderfähiger Wärmepumpen muss bei durchschnittlichen Klimaverhältnissen mindestens folgende Werte erreichen:

| | |
|---|---|
| Wärmepumpen ≤ 12 kW* (Wärmequelle Luft) | $\eta_s \geq 181$ % Effizienzklasse A++ oder A+++ |
| Wärmepumpen > 12 kW* (alle Wärmequellen) | $\eta_{s,h} \geq 150$ % |

Die BEG verwendet damit dieselbe Effizienzbewertung wie die europäische Marktzulassung für Raumheizungsgeräte, nur dass sie im Anforderungsniveau regelmäßig zehn Prozentpunkte mehr vorgibt. Auch das Heizungseffizienzlabel hebt übrigens auf ETAs ab.

Die Umrechnung der jahreszeitbedingten Raumheizungs-Energieeffizienz in eine JAZ erfolgt mit dem Strom-Umwandlungskoeffizienten CC von 2,5 und unter Berücksichtigung des in der Durchführungsmitteilung zur EU-Verordnung Nr. 813/2013 bei der Berechnung des Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad ηs für Wärmepumpen vorgesehenen Korrekturwertes von 3% nach der Formel SCOP = (ETAsh+3)/100*2,5. Demnach entspricht ETAs von 110% einer JAZ von 2,83 für den Betriebspunkt 55 Grad.

Schlussfolgerung: Die Vorgaben der Marktzulassung sind bereits am oben genannten Ziel einer $CO_2$-Einsparung gegenüber fossilen Heiztechniken ausrichtet. Dies gilt ebenso für die Anforderungen der Bundesförderung effiziente Gebäude an förderfähige Wärmepumpen.

Insgesamt sind zwar die Anforderungen weniger streng als die des Vorgänger-Marktanreizprogramms – besonders bei Luft/Wasser-Wärmepumpen, wenn sie Gebäude mit hohen Vorlauftemperaturen in kalten Regionen versorgen müssen. Allerdings überkommt diese Anforderung das Problem des Lock-in-Effektes, das sich ergibt, wenn die Eintrittshürde bei Bestandsgebäuden zu hoch angesetzt wird.

# 3 Empfehlung für Qualitätskriterien im Rahmen von Bestandspflichten und E-Wärmegesetzen

Aus der Analyse des Beitrags von Wärmepumpen zur THG-Einsparung (Kapitel 1) und der Schlussfolgerung, dass kein Gelegenheitsfenster zum Ersatz einer Gas- oder Ölheizung verpasst werden sollte, ergibt sich die Notwendigkeit, Anforderungen an Wärmepumpen für die Förderung oder den verpflichtenden Einbau in Bestandsgebäuden so zu formulieren, dass diese Chance nicht verpasst wird. Dies stellt nicht in Abrede, dass die Effizienz der Gebäude und ein auf niedrige Temperaturen ausgerichtetes Heizverteilsystem zu einem effizienteren Betrieb einer Wärmepumpe beitragen. Während dies zum Zeitpunkt eines anstehenden Heizungstauschs dem Wechsel zu Wärmepumpen nicht entgegenstehen sollte, sollte im Rahmen individueller Sanierungspläne angestrebt werden, dass der Gebäudebestand sukzessive im Einklang mit den Zielen der EU-Renovierungswelle energieeffizienter wird. Einen Richtwert gibt hierfür eine Systemtemperatur von max. 55 Grad, den wir auch in der Studie ifeu (2021) als „Fit für erneuerbar“ bezeichnen.

Das in einigen Bundesländern gegebene Abstellen auf eine JAZ ist daher nicht zielführend – zumal sich die dahinterstehende $CO_2$-Einsparwirkung anders als die JAZ selbst mit dem Ausbau der EE weiter verbessert. Wichtig ist, dass durch die Formulierung der Anforderungen kein Verlust eines Förderanspruches im BEG verbunden sein darf.

In den Erneuerbaren-Wärmegesetzen könnte insgesamt ein Vorschlag für Effizienzkriterien, der Klimaschutzwirkung, Effizienzanreiz und Markteffekte miteinander kombiniert, folgendermaßen aussehen:

Die Nutzung von Geothermie und Umweltwärme einschließlich Abwärme durch elektrische Wärmepumpen wird als Erfüllung der Nutzungspflicht anerkannt, wenn

- die Anforderungen an die jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz ETAs entsprechend der Vorgaben des BEG erfüllt werden und
- für die Versorgung des Gebäudes eine Vorlauftemperatur TVL,max von 55 °C ausreicht bzw. bei Luft-Luft-Wärmepumpen eine Luftausblastemperatur von max. 55 °C (NT ready) oder
- für die Versorgung des Gebäudes eine Vorlauftemperatur TVL,max von 70 °C ausreicht und ein Sanierungsfahrplan vorgelegt wird.

Dabei ist sicherzustellen, dass weiterhin eine Förderung durch das BEG möglich ist. Außerdem sind durch eine Qualifizierungsoffensive weitere Energieberater:innen zu qualifizieren.

Eine „ausreichende“ Vorlauftemperatur liegt dann vor, wenn die von den Raumnutzern geforderte Raumtemperatur mit dieser Vorlauftemperatur gewährleistet ist, und wenn zudem die Warmwasserbereitung technisch so angeordnet ist, dass sie hygienisch einwandfrei mit diesem Temperaturniveau funktioniert oder ein weiterer Temperaturhub zur Gewährleistung einer über 55 °C liegenden Zirkulationseintrittstemperatur unabhängig von der Zentralheizung erfolgt.

Für die Bestätigung von TVL,max wird entweder ein raumweiser Nachweis nach DIN EN 12831 errechnet oder die empirische Vorlauftemperatur durch einen Fachhandwerker an einem kalten Tag abgelesen und anhand der Heizkurve auf TVL,max extrapoliert.

Im Falle der Erfüllung mittels einer Vorlauftemperatur TVL,max von 70 °C kann der Sanierungsfahrplan bis zu zwei Jahre nach Installation der Wärmepumpe nachgereicht werden. Damit werden die teils sehr langen Wartezeiten für entsprechende Angebote berücksichtigt.

Bezüglich der Berechnung des Erfüllungsgrades von Wärmepumpen bei bivalenten Heizungen sollte die derzeit als Benchmark herangezogene JAZ von 3,0 durch einen Wert ersetzt werden, der den zunehmenden Anteil von erneuerbaren Energien im Strommix berücksichtigt. Vor dem Hintergrund der verschärften Klimaziele, der Ausbauziele erneuerbarer Energien im EEG, der zu erwartenden Preisentwicklung im Europäischen Emissionshandel und dem gesetzlich vereinbarten Kohleausstieg – gerade auch mit Blick auf die mindestens 15-jährige Betriebsdauer der Wärmepumpen – sollte beispielsweise ein Wert von 2,5 angesetzt werden (siehe auch Kapitel 1.1).

Alternativ hierzu könnte eine Regel getroffen werden, dass die Nutzungspflicht erfüllt ist, wenn bei gleichzeitiger Erfüllung der Anforderungen an die jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz ein Mindestanteil der Wärmepumpe an der gesamten Heizlast des Gebäudes überschritten wird. Die prozentuale Höhe müsste in Abstimmung mit den geforderten EE-Anteilen des jeweiligen Gesetzes festgelegt werden.[1]

**Begründung:**

1. Durch die Anforderungen an die jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz werden die qualitativ hochwertigen Geräte gefiltert. Es wird sich an den BEG-Anforderungen orientiert, die oberhalb der Marktzulassung liegen, um eine größtmögliche Markttransparenz und einfache Rahmenbedingungen zu schaffen. Dabei ist sicherzustellen, dass diese Geräte auch weiterhin förderfähig sind.
2. Durch die Anforderung an die maximale Vorlauftemperatur (NT Readiness) werden die gebäudeseitigen Voraussetzungen für einen effizienten WP-Betrieb geschaffen.
3. Bei Gebäuden, die derzeit noch nicht für niedrige Temperaturen vorgerüstet sind, können Wärmepumpen eingesetzt werden, die auch für höhere Temperaturen geeignet sind. Auch diese Wärmepumpen erzielen bereits heute eine THG-Einsparung. Die zusätzliche Anforderung eines Sanierungsfahrplans stellt sicher, dass die Effizienzpotenziale einer zukünftigen Optimierung der Gebäudehülle und der Heizverteilung erkannt werden.

[1] Siehe z. B. die Regelung im BEG: „Die thermische Leistung des regenerativen Wärmeerzeugers einer geförderten Gas-Hybridheizung muss mindestens 25 % der Heizlast des versorgten Gebäudes (Gebäudeheizlast) betragen.“ (BEG EM TMA 3.3.1 Buchst. a).

# 4 Literatur

FfE (2021): Mauch, W., Greif, S. Grundlagenstudie Wärmepumpen-Fahrplan, München

Fraunhofer ISE (2020) Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“. Freiburg. Download https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf (Zugriff 20.6.2021)

ifeu (2021): Mellwig, P., Pehnt, M. Lempik, J. Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien. Studie im Auftrag des VDPM. Heidelberg

Mailach, B., Oschatz, B. (2021) BDEW Heizkostenvergleich Altbau 2021. Studie im Auftrag des BDEW. Download https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-HKV_Altbau.pdf (Zugriff 15.6.2021)

von Oehsen, A., Pehnt, M., Jentsch, M., Gerhardt, N. (2014): Benötigt man zeitlich aufgelöste Stromprimärenergiefaktoren in der Energieeinsparverordnung? Energiewirtschaftliche Tagesfragen 11/2014, S. 67.

UM o.D. Hinweise zur Anrechenbarkeit von Wärmepumpen, insbesondere von Warmwasser-Wärmepumpen im Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG). https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/EWaermeG_BW/190830_Hinweise_zur_Waermepumpe_im_EWaermeG.pdf (Zugriff 15.6.2021)