



Begleitung von BMWK-Maßnahmen zur Umsetzung einer Wärmepumpen-Offensive

Ergebnisbericht

Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWK

Leistungsabruf: durch Referat IIC1

BMWK-Projekt-Nr.: RV 115/21 | Leistungsabruf 10

Berlin, Januar 2023

Impressum

Koordination

Dr. Andreas Hermelink, Guidehouse

Arnold Bruhin, Guidehouse

Bearbeitende

Martina Schmitt, dena

Dr. Sebastian Helmes, EY Law

Dr. Lara Schmidt, LL.M., EY Law

Richard Hänsel, LL.M., EY Law

Johanna Riggert, LL.M., BBH

Dr. Anna Alexandra Seuser, BBH

Barbara v. Gayling-Westphal, BBH

Ulf Jacobshagen, BBH

Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz, ITG Dresden

Dr.-Ing. Bernadetta Winiewska, ITG Dresden

Dipl.-Ing. Bettina Mailach, ITG Dresden

Dr. Andreas Hermelink, Guidehouse

Arnold Bruhin, Guidehouse

Markus Offermann, Guidehouse

Mustafa Abunofal, Guidehouse

Christian Linden, PwC

Anna Seefried, PwC

Johanna Arnold, PwC

Sebastian Blömer, ifeu

Yanik Acker, ifeu

Dr. Martin Pehnt, ifeu

Dr. Veit Bürger, Öko-Institut

Dr. Sibylle Braundgardt, Öko-Institut

Benjamin Köhler, Öko-Institut

Malek Sahnoun, Prognos

Johann Weiß, Prognos

Markus Hoch, Prognos

Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm, FIW München

Review

Martina Schmitt, dena

Auftragsvergabe durch:

Dr. Peter Vach, BMWK, Abt. II, Ref. C1

Inhalt

	Impressum	2
1	Hintergrund	4
2	Zielsetzung	5
3	Methodisches Vorgehen	6
4	Ergebnisse.....	7
4.1	Steckbriefe zu regulatorischen Hemmnissen	7
4.2	Entwicklung der Wärmepumpenpreise und Produktionskapazitäten.....	11
4.3	Fluorierte Treibhausgase und natürliche Kältemittel	13
4.4	Abstandsflächen	16
4.5	Instrumente zur Veröffentlichung von Informationen zum Abwasserwärmepotenzial.....	17
4.6	Wärmepumpen-System-Modul	20
4.7	Potenzialabschätzung für die Umstellung fossiler Heizungen auf Wärmepumpen in Wohngebäuden	21
4.8	Effizienzsicherung in Planung, Installation und Betrieb	22
4.9	Lebensdauer, Recyclingfähigkeit und Lebenszyklusanalyse.....	24
4.10	Vulnerabilität von Lieferketten	26
5	Abbildungsverzeichnis	28
6	Tabellenverzeichnis.....	29
7	Literaturverzeichnis.....	30
8	Abkürzungen	31

1 Hintergrund

Aus den Vorgaben des Koalitionsvertrags der Bundesregierung ergibt sich die Notwendigkeit eines schnellen und massiven Markthochlaufs von Wärmepumpen. Vor diesem Hintergrund hat der Koalitionsbeschluss vom 23.03.2022 das Ziel einer „Wärmepumpen-Offensive“ formuliert. Zur Unterstützung und wissenschaftlichen Begleitung der Wärmepumpen-Offensive hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Frühjahr 2022 ein Begleitvorhaben beauftragt, das in einem Konsortium aus Guidehouse, Deutsche Energie-Agentur (dena), ITG Dresden, Öko-Institut, Prognos, EY Law, PwC, BBH, ifeu und FIW München bis Anfang 2023 umgesetzt wurde. Im Mittelpunkt des Vorhabens stand die Bearbeitung einer großen Bandbreite von technischen, ökonomischen, ökologischen und strategischen Fragestellungen, insbesondere in Form von kurzfristig zu erstellenden Analysen. Auch die Aspekte regulatorische Rahmenbedingungen, Marktkapazitäten und Kommunikation wurden bearbeitet. Dieser Bericht fasst die zentralen Ergebnisse des Vorhabens zusammen.

Die Wärmepumpen-Offensive zielt darauf ab, den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen zur Wärmeversorgung in Gebäuden zu unterstützen, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Wärmepumpen nutzen zu einem überwiegenden Anteil erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung. Der als Antriebsenergie benötigte Strom wird zunehmend dekarbonisiert. Das Ziel der Bundesregierung ist der Hochlauf des Wärmepumpenbestandes von derzeit ca. 1,5 Millionen auf 6 Millionen im Jahr 2030.

2 Zielsetzung

Ziel des Begleitvorhabens war es, das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) in die Lage zu versetzen, bei der Entwicklung von Maßnahmen im Kontext der Wärmepumpen-Offensive auf den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik aufbauen zu können. Dies diente der Stärkung von Effektivität und Effizienz der Maßnahmen des BMWK im Rahmen der WP-Offensive. Der Schwerpunkt lag dabei auf Wärmepumpen (WP) kleinerer Leistungsklassen rund um Gebäude und Quartiere.¹ Ausgangspunkt war eine große Bandbreite an Themen, für die das BMWK möglichen Unterstützungsbedarf erwartete. In der Bearbeitung ist das Projektteam auf die spezifische Schwerpunktsetzung und Fragestellungen des BMWK eingegangen, die sich im Laufe des Vorhabens ergeben haben. Dabei ging es im Kern jeweils um eine fundierte Bestandsaufnahme sowie wissenschaftliche Empfehlungen und Einschätzungen zu einzelnen Maßnahmen.

¹ In Abgrenzung zu Großwärmepumpen und Wärmenetzen

3 Methodisches Vorgehen

Weiter als die oben aufgeführten Themenbereiche waren die spezifischen Fragestellungen zur Bearbeitung durch das Begleitvorhaben vorab nicht festgelegt. Die konkreten Schwerpunkte der Analysen wurden im Laufe des Vorhabens zwischen BMWK und dem Projektteam abgestimmt. Dazu gehörten folgende Themen:

1. Übersicht über regulatorische Hemmnisse
2. Entwicklung der Wärmepumpenpreise und Produktionskapazitäten
3. Fluorierte Treibhausgase und natürliche Kältemittel
4. Abstandsflächen
5. Instrumente zur Veröffentlichung von Informationen zum Abwasserwärmepotenzial
6. Analyse zum Wärmepumpen-System-Modul aus der Schweiz
7. Umstellungsoptionen von fossilen Heizungen auf Wärmepumpen
8. Effizienzsicherung in Planung, Installation und Betrieb
9. Vulnerabilität von Lieferketten
10. Recyclingfähigkeit und Lebenszyklusanalyse

Als Projektkoordinator hat Guidehouse für die angefragten Analysen jeweils ein qualifiziertes Bearbeiterteam aus dem Konsortium zusammengestellt und mit dem BMWK den Arbeitsplan koordiniert. Je nach Themenschwerpunkt kamen für die Erarbeitung der Analysen verschiedene methodische Ansätze zum Einsatz, darunter Literatur- und Dokumentenanalysen, Datenauswertungen, Interviews sowie Beispielrechnungen und quantifizierte Abschätzungen.

Ebenfalls hat das Projektteam verschiedene Stakeholder-Workshops des BMWK im Zuge der WP-Offensive unterstützt, etwa mit Beiträgen zum Thema Informationsinstrumente zum Abwasserwärmepotenzial und einer Analyse des Schweizer Wärmepumpen-System-Moduls.

4 Ergebnisse

Nachfolgend sind die zentralen Ergebnisse der im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Analysen und Workshop-Beiträge dargestellt.

4.1 Steckbriefe zu regulatorischen Hemmnissen

Hintergrund

Zu Beginn des Vorhabens hat das Projektteam eine Übersicht über regulatorische Hemmnisse für den Hochlauf von Wärmepumpen erarbeitet. Die juristische Analyse diente als Bestandsaufnahme und erste Einschätzung zu einer großen Bandbreite an Herausforderungen, die sich für den angestrebten Markthochlauf von Wärmepumpen stellen. Als übergreifende Aspekte untersucht wurden Betriebskosten, insbesondere mit Blick auf die regulatorisch definierten Anteile der Stromkosten, sowie Anforderungen zu Kältemitteln. Zudem geht die Analyse auf spezifische Hemmnisse für Luft-, Erd- sowie Grund- und Abwasserwärmepumpen ein. Es erfolgt jeweils eine Bestandsaufnahme sowie eine Beschreibung der konkreten Hemmnisse. Die Hemmnisse werden in ihrer Intensität bewertet und entsprechende Lösungsmöglichkeiten skizziert.

Ergebnis

Zusammengefasst kommt die Analyse zu folgenden Ergebnissen:

- Hemmnisse ergeben sich insbesondere im Bereich bauordnungsrechtlicher Anforderungen (Abstandsflächen), berg- und wasserrechtlicher Zulassungen und Erfordernisse
- Manche Hemmnisse sind rein technischer Natur bzw. vermindern eine umfassende Information über Wärmepumpenpotentiale (Kältemittel, Lärmüberwachung, Informationsangebot)
- Potentiale zur Unterstützung eines Wärmepumpenhochlaufs konnten identifiziert werden (bspw. kommunale Wärmeplanung mittels großer Wärmepumpen, Reduzierung der Stromsteuer, Netzentgeltregulierung)
- Das Erfordernis des Einhaltens von bauordnungsrechtlichen Abstandsflächen und die Notwendigkeit einer bergrechtlichen Erlaubnis und Bewilligung für Wärmepumpen ab 100 m Tiefe stellen die größten regulatorischen Hemmnisse für einen Markthochlauf von Wärmepumpen in diesem Anwendungsbereich dar
- Die Umsetzung von Lösungsmöglichkeiten wasserrechtlicher Hemmnisse, insbesondere der wasserrechtlichen Erlaubnispflicht, würde zunächst eine Lösung weiterer Zielkonflikte (mit den nationalen Wasserschutzzielen und Ressourcenschutz) erfordern

Als Überblick der einzelnen Hemmnisse sowie Lösungsmöglichkeiten, eingeordnet nach ihrer Intensität und vorläufigen Einschätzung der Umsetzbarkeit etwaiger in der Analyse angerissene Lösungsmöglichkeiten, dient Tabelle 1 in Verbindung mit folgender Legende:

Leicht
Mittel (mittel)
Stark (stark)
rein technisch / Informationsförderung

Tabelle 1: Übersicht und erste Einschätzung verschiedener Hemmnisse für den Wärmepumpenhochlauf

	Hemmnis	Lösungsmöglichkeiten (Vorschläge)
Bauordnungsrechtliche Anforderungen	Notwendigkeit der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Abstandsflächen durch Luftwärmepumpen offen.	Klärung durch rechtswissenschaftliches Gutachten (jedoch keine Rechtssicherheit); Separate Studie durchgeführt, s. Abschnitt 4.4.
Bergrechtliche Zulassung	Planungsunsicherheiten und erhöhter Verwaltungsaufwand & -dauer durch Erfordernis bergrechtlicher Erlaubnis und Bewilligung für Erdwärmepumpen sowie ggf. eines (befristeten) Betriebsplans ab 100 m; Unterschiede in der Länderpraxis.	Betriebsplanerfordernis: Gesetzliche Klarstellung und Verzicht auf behördliches Ermessen; Klarstellung des bergrechtlichen Anwendungsbereichs; ggf. Kartierung zur Identifikation möglicher Flächen (Bodenbeschaffenheit) anstelle pauschaler Tiefengrenze von 100 m.
Wasserrechtliche Erfordernisse	Planungsunsicherheit und -verzögerung durch wasserrechtliche Erlaubnispflicht für Erd- und Grundwasserwärmepumpen.	(Bundesgesetzliche) Privilegierung des Einsatzes von Wärmepumpen in bestimmten Gebieten, aber Lösung des Zielkonflikts mit den nationalen Wasserschutzzielen und Ressourcenschutz; Empfehlung einer rechtswissenschaftlichen Untersuchung. Länderabweichungsklauseln erscheinen wenig geeignet; Einführung einer Sonderregelung für bestimmte Gebiete (Vorrang Geothermie gegenüber privaten Interessen) anstelle des behördlichen Ermessens.
	Planungsunsicherheiten hinsichtlich möglicher wasserrechtlicher Auflagen bei Grundwasserwärmepumpen	Bundesweite Voraussetzungen an den Grundwasserzustand, Entscheidungsempfehlung und Überwachung.

	Hemmnis	Lösungsmöglichkeiten (Vorschläge)
	Zusätzliche Betriebskosten für Grundwasserwärmepumpen bei Erhebung von Wasserentnahmegebühren durch die Kommune.	Verzicht auf die Gebührenerhebung; Empfehlung einer tiefergehenden Prüfung der Auswirkungen auf das Grundwasser; Beachtung Zielkonflikt mit nationalen Wasserschutzzielen und Ressourcenschutz.
Nachbar(recht)liche Hemmnisse	Einhaltung der Richtwerte der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) durch Luftwärmepumpen, eher Problem des Nachbarschaftsrechts als der immissionsschutzrechtlichen Anforderungen.	Verbesserung der immissionsschutzrechtlichen Überwachung; Anzeigepflicht aktuell eher weniger geeignet, da eine Anzeige aufgrund der maßgeblichen Abhängigkeit der immissionsschutzrechtlichen Auswirkungen der Anlage von der jeweiligen Umgebung (und damit erschwerter produktsicherheitsrechtlicher „Typengenehmigung“) eher keine „Legalisierungswirkung“ beinhalten könnte.
	Rechtsunsicherheit für Erdwärmepumpenbetreiber durch nachbarrechtliche Abwehransprüche (Beeinträchtigung des Nachbargrundstücks, in erster Linie zivilrechtliche Fragen).	Duldung von Wärmepumpen durch Einstufung als ortsübliche Nutzung (ggf. in bestimmten Gebieten); eine vertiefte Prüfung wird empfohlen.
	Die Beschränkung der Entnahmeleistung von Erdwärmepumpen beeinflusst den Nutzen der Anlage, gleichzeitig bedingen zwei benachbarte Anlagen die jeweiligen Nutzungsgrade.	Bundesweit einheitliche (Abstands-Regelungen (ggf. über VDI-Richtlinien) zur Verhinderung thermischer Auswirkungen auf benachbarte Anlagen bringen Planungssicherheit und beugen nachbarlichen Nutzungskonflikten vor.
Zivilrechtliche Anforderungen	Notwendigkeit einer zusätzlichen Erlaubnis zur Nutzung der Abwasseranlage bei Abwasserwärmepumpen und damit zusätzlicher Abstimmungen und Vereinbarungen (ggf. zivilrechtlicher Natur).	Festsetzung von Anforderungen für die Wärmepumpen (max. Abkühlung des Abwassers, bauliche Eignung des Kanals o. ä.), bei denen eine Zustimmung zur Nutzung der Abwasseranlage erteilt werden soll/muss.

	Hemmnis	Lösungsmöglichkeiten (Vorschläge)
Förderpotentiale	Fehlende Förderoptionen insb. bei großen Erdwärmepumpen,	Förderung der kommunalen Wärmeplanung, Quartierskonzepte, innovative Betreibermodelle ähnlich den Bürgerenergiegesellschaften des EEG (Verfahrenserleichterungen etc.).
Betriebskosten	Keine Beeinflussung der zusätzlich anfallenden Betriebskosten durch Wärmepumpenbetreiber möglich (Umlagen, Stromsteuer, Netzentgelten, Konzessionsabgaben, Umsatzsteuer).	Abschaffung der Umlagen; Reduzierung der Stromsteuer; Netzentgeltreduzierung; eigene Zählpunkte (Smart Meter).
Kältemittel	Voraussichtliche Steigerung der Marktpreise und Auswahlbegrenzung durch künstliche Verknappung durch europarechtliche Verwendungs- und Inverkehrbringungsverbote von F-Gasen; natürliche Kältemittel vermutlich eher stabil	Separate Studie erarbeitet, s. Abschnitt 4.3.
Informationsangebot	Niederschwellige (digitale) Informationslage über alle wichtigen Geoinformationen zur Errichtung von Wärmepumpen würden Planung erleichtern; Hemmnis liegt eher in der fehlenden Umsetzung bestehender Regelungen.	Vertiefte Prüfung , ob alle notwendigen Daten durch das UIG, GeoZG, GeoIDG erfasst sind oder eine Ausweitung notwendig ist.
	Notwendigkeit umfassender Informationen für Entscheidung des Betreibers für den Einsatz von Grundwasserwärmepumpen.	Es wird eine vertiefte Prüfung über die Informationslage bei Grundwasserwärmepumpen empfohlen.
	Neben geologischen Informationen ist die Verfügbarkeit von Informationen über Abwasseranlagen für die Planung von Abwasserwärmepumpen notwendig.	(Lokale) Informationsplattformen (ggf. der Abwasserverbände) zur Sammlung und Zurverfügungstellung notwendiger Informationen für Abwasserwärmepumpen. Übersicht über Informationsinstrumente erstellt (siehe Abschnitt 4.5), vertiefende Studie wird empfohlen.

4.2 Entwicklung der Wärmepumpenpreise und Produktionskapazitäten

Hintergrund

Ausgangspunkt dieser Analyse war die Frage nach der Zusammensetzung von Endkundenpreisen (Stand 06/2022) für Wärmepumpen. Endkundenpreise für konkrete Bauvorhaben sind von einer Reihe von Einflussfaktoren im maßgeblichen Umfang abhängig. Zu nennen sind u. a.:

- Regionale Einflüsse
- Hersteller der Hauptkomponenten
- Angebotene technische Lösung
- Jahreszeit
- Auslastung der Handwerksbetriebe

Bei Angebotsabfragen ergeben sich dadurch gerade für kleinere Bauvorhaben häufig sehr unterschiedliche Preisangebote. Darüber hinaus wirken sich auch Nachfrageeffekte auf die Preisbildung aus, diese werden in der Preisermittlung durch einen pauschalen Preisaufschlag berücksichtigt. Schwerpunkt der Untersuchung ist eine detaillierte Kostenkalkulation für folgende Posten:

- Herstellerpreise für Wärmepumpen und Zubehör im Großhandel
- Installationskosten, Heizungsoptimierung
- Heizflächentausch
- Planung / Energieberatung
- Förderung

Darüber hinaus wurden Experteninterviews im Fachhandwerk durchgeführt zu den Themen Installationsbonus, weitere Umsetzungsanreize für das Handwerk und mögliche zukünftige Entwicklungen der Endkundenpreise. Außerdem wurden Hemmnissen für den Wärmepumpeneinbau und Vorschläge, wie diese abgebaut werden können, beleuchtet.

Zudem wurde evaluiert, ob bei Wärmepumpen mit weiteren Preissteigerungen zu rechnen ist und inwiefern die Wärmepumpenproduzenten in der Lage sind, diese erhöhte Nachfrage über eine Ausweitung der Produktionskapazitäten zu bedienen. Die Entwicklung zukünftiger Wärmepumpenpreise wurde dabei anhand von drei Einflussfaktoren analysiert:

- Rohstoffpreise
- die perspektivische Produktionskapazität für Wärmepumpen, sowie
- Preise und Verfügbarkeit von Vorprodukten

Ergebnis

Ergebnis der Analyse ist eine detaillierte Darstellung der Endkundenkosten für den Einbau einer Luft/Wasser-Wärmepumpe am Beispiel eines Einfamilienhauses und eines kleinen Mehrfamilienhauses – jeweils für zwei typische Ausgangszustände mit Blick auf das zu ersetzende Heizsystem (Gas, Heizöl). Dabei werden zunächst die Endkundenkosten für eine Wärmepumpe aufgegliedert in:

- Listenpreis Hersteller
- Rabatt Heizungsbauer
- Aufschlag Heizungsbauer
- Installationskosten
- Mehrwertsteuer

Dies wird exemplarisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

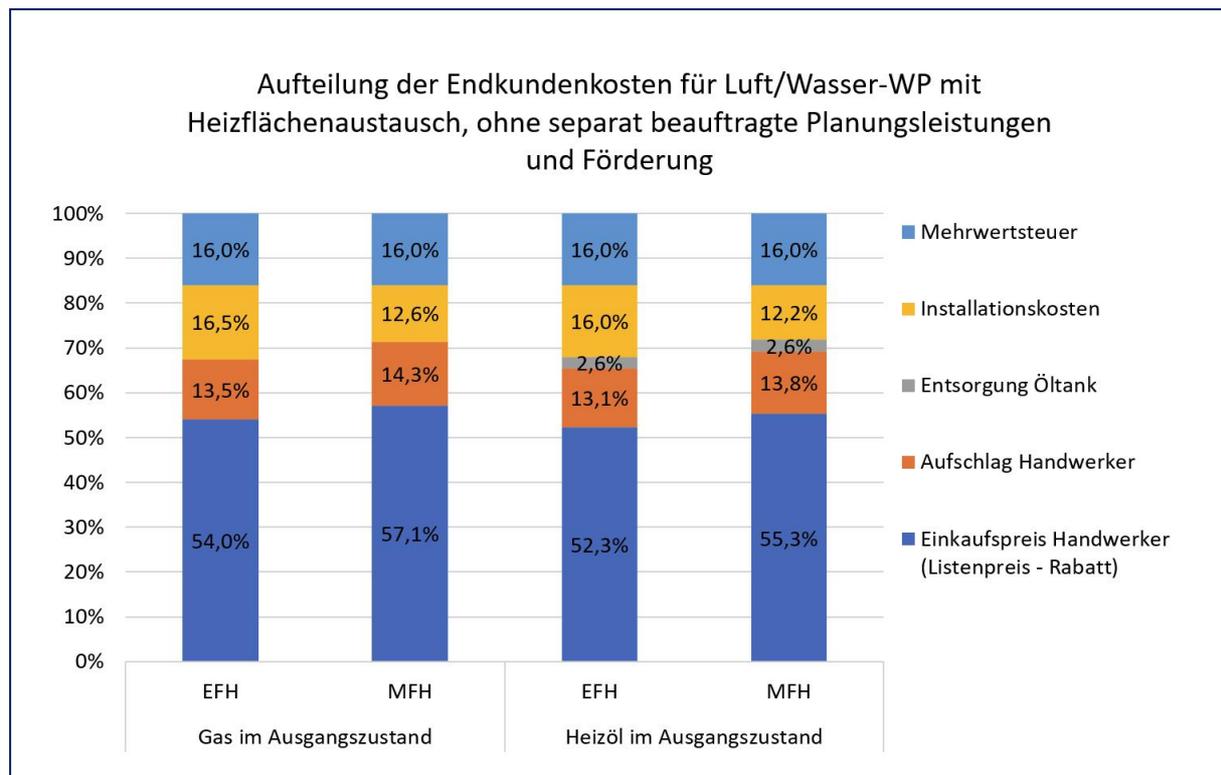


Abbildung 1: Aufteilung der Endkundenkosten für Luft/Wasser-WP mit Heizflächentausch ohne separat beauftragte Planungsleistungen und Förderung²

Auch die gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) mögliche Förderung wird ausgewiesen (Stand September 2022). Weiterhin werden die anfallenden Kosten für eine Heizungsoptimierung (ohne Heizflächenaustausch) und die Kosten eines Heizflächenaustausches inkl. Heizungsoptimierung detailliert angegeben. Auch die erforderlichen Planungskosten inkl. Planungsleistungen und Energieberatung/Überwachung für die betrachteten Fälle werden angegeben. Schließlich werden die Hemmnisse und Einsparpotenziale aus Sicht des Fachhandwerks analysiert.

Die Auswertung zur Entwicklung der künftigen Wärmepumpenpreise zeigte, dass diese besonders abhängig von Vorprodukten und Rohstoffen sind.

² Der Satz von 16 % bezogen auf den Brutto-Gesamtpreis ergibt sich aus der Berechnung 19 %/119 %.

- **Rohstoffpreise:** Die Preise für die wichtigsten Metalle zur Herstellung von Wärmepumpen sind seit einigen Monaten rückläufig und Terminmarktpreise lassen auf eine Stabilisierung auf derzeitigem Niveau schließen. Trotzdem besteht bei unvorhergesehenen Ereignissen eine hohe Volatilität der Rohstoffpreise.
- **Produktionskapazitäten:** Hersteller investieren bereits in neue Produktionskapazitäten und Potenziale zur Steigerung der Effizienz sind durch Skaleneffekte und Digitalisierung gegeben. Die Produktionskapazitäten werden dementsprechend weniger als Engpass gesehen, um die anvisierten Ausbauziele zu erreichen. In den nächsten Jahren bis ca. 2025/2026 kann es jedoch aufgrund des schnellen Markthochlaufs noch zu Engpässen kommen. Langfristig ist es allerdings eher unwahrscheinlich, dass unzureichende Produktionskapazitäten zu einer Knappheit an Wärmepumpen und einer damit verbundenen Preissteigerung führen.
- **Vorprodukte:** Bei der Herstellung von Wärmepumpen besteht eine hohe Abhängigkeit von der Liefer- und Wachstumsfähigkeit von Zulieferern. Durch die niedrigen Stückzahlen im Vergleich zu anderen Branchen ist die Verhandlungsmacht der Wärmepumpenhersteller gering und eine Erhöhung der Fertigungstiefe ist nur langfristig eine Option. Es kann hier zum einen durch Engpässe bei der Lieferung von Vorprodukten zu Verzögerungen bei der Produktion kommen. Zum anderen bewirken Preissteigerungen bei den Vorprodukten auch unmittelbare Preissteigerungen der produzierten Wärmepumpen. Diese beiden Effekte werden auch künftig die Lieferfähigkeit von Wärmepumpen sowie deren Endkundenpreise beeinflussen.

4.3 Fluorierte Treibhausgase und natürliche Kältemittel

Hintergrund

Hintergrund dieser Analyse war der Vorschlag der Europäischen Kommission vom April 2022 zur Novelle der Verordnung über fluorierte Treibhausgase (EU F-Gas Verordnung) und die in der Folge von Industrie und Zivilgesellschaft geführte Debatte. Im Kern sieht der Kommissionsvorschlag einen beschleunigten Phase-down (teil-)fluorierter Treibhausgase (HFKW – teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe) und erstmalig auch künftige Verbote bestimmter fluorierter Treibhausgase für den Einsatz als Kältemittel in bestimmten Wärmepumpen in der EU vor [European Commission (EC) 05.04.2022]. Sowohl auf deutscher als auch auf EU-Ebene hat die organisierte Interessenvertretung der Wärmepumpenhersteller die Ausrichtung des Kommissionsvorschlags deutlich kritisiert [EHPA, 2022] [Sabel und Schreiner, 2022]. Im Kern argumentieren die großen Herstellerverbände, dass eine Umsetzung der *beschleunigten* Reduktion der zulässigen F-Gas Mengen und die vorgeschlagenen *Verbote* in der vorgesehenen Zeit (technisch und insbesondere wirtschaftlich) nicht möglich seien und darüber hinaus den in Deutschland (Wärmepumpen-Offensive) und der EU (REPower EU) gesteckten Zielen für den Markthochlauf von Wärmepumpen zuwiderliefen. Im Widerspruch dazu haben die in der *Clean Cooling Coalition* auf EU-Ebene zusammengeschlossenen (zahlenmäßig weniger bedeutsamen) Hersteller und Organisationen den Kommissionsvorschlag in den Kernpunkten ausdrücklich begrüßt.³

³ Siehe Stellungnahme unter: <https://www.cleancoolingcoalition.eu/documents/>.

Ziel der Analyse ist ein fundiertes Verständnis für die Herausforderungen und Machbarkeit mit Blick auf Wärmepumpenproduktion und Installation (Handwerk) sowie für die Potenziale eines beschleunigten Phase-downs fluorierter Treibhausgase für den Einsatz als Kältemittel in Wärmepumpen, entsprechend des Kommissionsvorschlags zur Novelle der F-Gas Verordnung. Dafür wurden u.a. folgende Aspekte untersucht:

1. Marktangebot: Verfügbarkeit von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln als Alternative zu F-Gas-basierten Wärmepumpen und deren Rolle im Markt;
2. Regulatorik: Übersicht und Einordnung der Kernpunkte des Kommissionsvorschlags sowie Analyse regulatorischer Maßnahmen und Marktbedingungen, die in ausgewählten europäischen Staaten zu einem hohen Anteil von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln geführt haben;
3. Technische Herausforderungen: Übersicht über technischen Herausforderungen und Lösungsansätze für einen beschleunigten Umstieg auf natürliche Kältemittel;
4. Ökonomische Aspekte, darunter Beweggründe von WP-Herstellern (insbesondere in Deutschland) für ihre Positionierung gegenüber dem Kommissionsvorschlag sowie industriepolitische Chancen und Risiken eines beschleunigten Phase-down fluorierter Treibhausgase in Wärmepumpen;
5. Lösungsansätze, etwa mit Blick auf notwendige Voraussetzungen für einen beschleunigten Phase-down fluorierter Treibhausgase in der Wärmepumpenherstellung.

Ergebnis

Grundsätzlich kommen für die Substitution von FKW-basierten Kältemitteln mit Stoffen mit geringerem Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential) aus technischer Sicht vor allem natürliche Kältemittel wie z. B. Propan und CO₂ oder synthetische Stoffe aus der Gruppe per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen in Gestalt von Hydrofluorolefinen (HFOs) in Frage. Da die Toxizität von HFOs noch nicht abschließend geklärt ist und ein Verbot in der EU diskutiert wird, sind für die Umstellung an erster Stelle natürliche Kältemittel in den Blick zu nehmen. Über Notwendigkeit und Machbarkeit des Umstiegs auf natürliche Kältemittel besteht seitens der befragten Marktakteure in Deutschland breiter Konsens, ebenso über die Effizienzvorteile natürlicher Kältemittel wie Propan. Kern der Diskussion bildet die Zeitschiene für den Ausstieg aus den bisher genutzten, synthetischen Stoffen.

Im Ergebnis der Analyse zeigt sich, dass für bedeutende Marktsegmente bereits WP-Modelle mit natürlichen Kältemitteln verfügbar sind. Marktverfügbare Typen und Leistungsklassen von Propan-WP können laut Becker et al. (2022) prinzipiell aktuell etwa 60 % des Wärmepumpenmarktes abdecken. Alle größeren deutschen Hersteller haben bereits mindestens ein Propan-Luft-Wasser-WP-Modell im Angebot oder beteiligen sich an einem Forschungsprojekt zur Entwicklung von Propan-WP. Hersteller, die bereits in Propan-WP eingestiegen sind, sehen sich gut gerüstet für den Fall eines massiven Hochlaufs. Anders sieht es bei den Herstellern aus, die bislang noch kein marktreifes Modell haben oder wenig bis gar nicht in die Entwicklung eingestiegen sind. Sie fürchten lange Umstiegszeiten und hohe Kosten.

Technische Herausforderungen für den Einsatz von Propan-WP leiten sich insbesondere aus einschlägigen Sicherheitsanforderungen aufgrund der Brennbarkeit des Stoffes ab. Als Bestandteil von Kältekreisen in WP sind derzeit ohne weitere Vorkehrungen und unabhängig von der Raumgröße 152 Gramm Propan pro Kältekreis im Innenraum zugelassen. Entsprechend liegen die Herausforderungen bei Anwendungsbereichen mit einem größerem Heizleistungsbedarf wie z. B. Mehrfamilienhäusern, insbesondere wenn eine Außenaufstellung z. B. aus baulichen Gründen nicht möglich ist. Auf Grundlage des im Jahr 2022 aktualisierten internationalen Sicherheitsstandards IEC 60335-2-40:2022 wären mit Zusatzmaßnahmen wie Belüftung und Sensorik pro Kältekreis bis zu 988 Gramm Propan im Innenraum möglich. Der Sicherheitsstandard muss in der EU noch als harmonisierter Standard eingeführt werden, könnte nach Expertenauffassung allerdings im Rahmen einer Risikobewertung bis dahin auch vorzeitig Anwendung finden.

In der aktuellen Preiskonstellation, in denen WP mit natürlichen Kältemitteln i.d.R. noch etwas teurer sind als die auf FKW basierenden Kältemittel, dürften Propan-WP zunächst vor allem „nachhaltig“ orientierte Kundengruppen ansprechen, die bereit sind, höhere Preise zu zahlen und aktuell noch vage Risiken (z. B. Kosten), die sich künftig aus der Entsorgung des Kältemittels ergeben könnten zu vermeiden. Zudem dürften sie für Bestandsgebäude mit weniger effizienten Gebäudehüllen interessant sein, in denen Propan-WP höhere Effizienzen und Vorlauftemperaturen und somit geringere Stromverbräuche und -kosten erzielen können. Für die Hersteller bedeutet dies, dass sich mit Propan-Wärmepumpen ggf. weitere Kundensegmente erschließen und Risiken, die sich künftig ggf. aus der Entsorgung von F-Gas haltigen Kältemitteln ergeben könnten, minimieren lassen. Industriepolitisch sehen mehrere heimische Hersteller in der Umstellung auf natürliche Kältemittel auch Vorteile im internationalen Wettbewerb (z. B. First-Mover-Advantage).

In der weiteren Analyse haben sich die folgenden Handlungsoptionen für einen beschleunigten Umstieg auf natürliche Kältemittel herausgebildet:

- Verlässlichen Zeithorizont für die WP-Hersteller herstellen und Anreize zum beschleunigten Umstieg auf natürliche Kältemittel schaffen, z. B. in der Förderung
- Kriterien jenseits von WP-Leistungsklassen für Verbote von F-Gas-Wärmepumpen erwägen, z. B. anhand von Anwendungsbereichen wie Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser
- Finanzielle Unterstützung für Weiterbildung der Installateure zum Thema natürliche Kältemittel
- Sachliche Ermittlung wieviele Installateure tatsächlich im Umgang mit natürlichen Kältemitteln zu schulen sind („Kälteschein“)
- Höhere Verfügbarkeit von qualifiziertem Fachpersonal (WP-Installateure) sicherstellen – als übergreifender Engpass betrifft dies alle Wärmepumpen unabhängig vom eingesetzten Kältemittel
- Technische Regelwerke und baurechtliche Vorgaben konkretisieren
- Einordnung der Sicherheitsaspekte von Propan für Endkundinnen und Endkunden zur Versachlichung der Kommunikation
- Gesamtemissionen inklusive sämtlicher Emissionen aus der Nutzung der Kältemittel (tatsächliche Praxis in Herstellung, Betrieb inkl. Wartung, Entsorgung) als Bestandteil der Klimabilanz integrieren

4.4 Abstandsflächen

Hintergrund

Die Bestandsaufnahme zu den Abstandsflächenregelungen der Landesbauordnungen im Rahmen der Kurzanalyse soll den aktuellen Sachstand (September 2022) der wärmepumpenbezogenen Regelungen widerspiegeln und ggf. als Grundlage für die Erarbeitung von Regelungen der Musterbauordnung (MBO) herangezogen werden. Die Kurzanalyse liefert eine übersichtsartige Darstellung, welche der Länder Abstandsflächenregelungen bezüglich Wärmepumpen getroffen haben und welche nicht. Des Weiteren ist übersichtsartig dargestellt, welche der Landesbauordnungen unabhängig von Abstandsflächenregelungen Wärmepumpen in den Landesbauordnungen erwähnen.

Die rechtliche Prüfung der gegenständlichen Kurzanalyse beschränkt sich auf die Frage nach der expliziten Regelung von Wärmepumpen im Kontext der Abstandsflächenregelungen der Landesbauordnungen sowie der Musterbauordnung. Angesichts dieser Fokussierung hat keine Auseinandersetzung damit stattgefunden, ob Wärmepumpen durch Auslegung in bereits existierende Regelungen der MBO, die von den Ländern (jedenfalls teilweise) umgesetzt wurden, „hineingelesen“ werden können. In Frage stünden diesbezüglich § 2 Abs. 8 MBO („Anlagen, die dazu bestimmt sind durch Verbrennung Wärme zu erzeugen“) oder § 61 Abs. 1 Nr. 4 lit. b MBO („Anlagen, die der öffentlichen Versorgung mit Wärme dienen“). Unabhängig davon, ob in die Regelungen der Musterbauordnung oder auch der Landesbauordnungen Wärmepumpen durch Auslegung in die Regelungen einbezogen werden könnten, dürfte dies ohnehin nicht zielführend sein. Vielmehr sind rechtssichere Regelungen zu Wärmepumpen erforderlich. Dies gilt umso mehr, als dass die Landesbauordnungen unterschiedliche Formulierungen enthalten. Zudem gibt es bereits erste gerichtliche Entscheidungen, die Wärmepumpen einzelner Häuser nicht als Anlagen zur „örtlichen Versorgung mit Wärme“ (im Sinne des § 6 Abs. 10 Nr. 4 Hessische Bauordnung) einstufen und Wärmepumpen damit nicht ohne Abstandsflächen zulässig sind.⁴

Als Status quo ist festzuhalten, dass es in einigen Bundesländern Regelungen gibt, die Wärmepumpen als verfahrensfreie Vorhaben einstufen (in den anderen Bundesländern wird die Verfahrensfreiheit regelmäßig erreicht, weil die Vorhaben die allgemein definierte Maximalgröße für verfahrensfreie Vorhaben nicht überschreiten). Entscheidend ist aber nicht die Frage einer etwaigen Verfahrensfreiheit, sondern die Frage, ob das materielle Abstandsflächenrecht auf Wärmepumpen Anwendung findet. In den Bundesländern wird diese Frage unterschiedlich beantwortet. Eine ausdrückliche gesetzliche Ausnahme vom Abstandsflächenrecht für Wärmepumpen enthält lediglich die Landesbauordnung NRW, wo in § 6 Abs. 8 Nr. 2 BauO NRW geregelt ist, dass das Abstandsflächenrecht bei Luftwärmepumpen, die die dort genannten Vorgaben und Grenzen einhalten, nicht greift. In den anderen Bundesländern gibt es divergierende Rechtsprechung der Verwaltungsgerichte und der ordentlichen Gerichtsbarkeit, die zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Die maßgebliche Frage, ob Wärmepumpen eine „gebäudegleiche Wirkung“ zukommt (was Voraussetzung dafür ist, dass Abstandsflächen eingehalten werden müssen, vgl. § 6 Abs. 1 Satz 1, 2 MBO), wird teilweise mit Verweis auf die von Wärmepumpen ausgehenden Lärmimmissionen bejaht⁵,

⁴ LG Darmstadt, Urteil vom 10.04.2019 – 7 O 124/18.

⁵ Z.B. OVG NRW, Beschluss vom 30.11.2016 – 7 A 263/16. OLG Frankfurt, Urteil vom 26.02.2013 – 25 U 162/12; OLG Nürnberg, Urteil vom 30.01.2017 – 14 U 2612/15; LG Darmstadt, Urteil vom 10.04.2019 – 7 O 124/18.

und teilweise mit dem Argument verneint, dass es auf Lärmimmissionen nicht ankomme, weil diese vom Immissionsschutzrecht geregelt würden.⁶ Eine umfassende Auswertung der Rechtsprechung war nicht Gegenstand der Kurzanalyse.

Ein Beispiel einer genehmigungsrechtlichen Privilegierung im Hinblick auf Abstandsflächen bildet die Ausnahmeregelung für Solaranlagen in § 6 Abs. 7, 8 MBO. Danach sind Solaranlagen unter Einhaltung bestimmter Vorgaben ohne die Einhaltung von Abstandsflächen zulässig. Diese Regelung könnte künftig auf Wärmepumpen ausgeweitet werden. Die Bauordnungen folgender Länder treffen eine vergleichbare Regelung zu Solaranlagen in ihren Abstandsflächenregelungen: Bayern, Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen.

Ergebnis

Die Bestandsaufnahme der Abstandsflächenregelung der Landesbauordnungen der 16 Bundesländer zeigt, dass mit Ausnahme der Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW) keine der Landesbauordnungen in ihren Normen zu den Abstandsflächen eine Regelung zu Wärmepumpen vornimmt. In NRW sind nach der entsprechenden Regelung (§ 6 Abs. 8 Nr. 2 BauO NRW) Wärmepumpen unter bestimmten Voraussetzungen ohne eigene Abstandsfläche zulässig.

Die Musterbauordnung trifft in ihren Abstandsflächenregelungen ebenfalls keine Aussagen zu Wärmepumpen. Auch sonst finden Wärmepumpen an keiner Stelle der Musterbauordnung Erwähnung.

Die Länder Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein listen Wärmepumpen als verfahrens- bzw. genehmigungsfreie Vorhaben in ihren Landesbauordnungen auf. Die Erwähnung führt nach summarischer Prüfung zu einer Behandlung der Wärmepumpen als bauliche Anlage, da es im Umkehrschluss bei einer Behandlung als nicht bauliche Anlage nicht notwendig wäre, die Wärmepumpen im Rahmen der Genehmigungsverfahren zu benennen. Eine Behandlung als bauliche Anlage ist allerdings nicht gleichzusetzen mit einer Behandlung als Gebäude bzw. Anlage mit gebäudegleicher Wirkung. Zur Anwendbarkeit des materiellen Abstandsflächenrechts auf Wärmepumpen treffen die Landesbauordnungen mit Ausnahme von NRW (vgl. oben) keine Aussage.

4.5 Instrumente zur Veröffentlichung von Informationen zum Abwasserwärmepotenzial

Hintergrund

In der Nutzung von Abwasserwärme liegen für die Energieversorgung erhebliche Potenziale. Heizungen zur Nutzung von Abwasserwärme werden in den meisten Fällen mit Wärmepumpen betrieben. Aufgrund der höheren Temperaturen der Wärmequelle im Winter, etwa im Vergleich zu Außenluft oder Grundwasser, können die Anlagen eine besonders hohe Betriebseffizienz erreichen

⁶ Z.B. VG Mainz, Urteil vom 30.09.2020 – 3 K 750/19.MZ; die gebäudegleiche Wirkung bejahend: VG Düsseldorf, Urteil vom 16.12.2015 – 28 K 3757/14; OVG NRW, Beschluss vom 25.10.2018 – 10 A 399/17; OLG München, Endurteil vom 11.04.2018 – 3 U 3538/17.

[Müller et al., 2005]. Konkret wird das techno-ökonomische Potenzial für die Abwasserwärmenutzung in Deutschland in Abbildung 2 dargestellt.

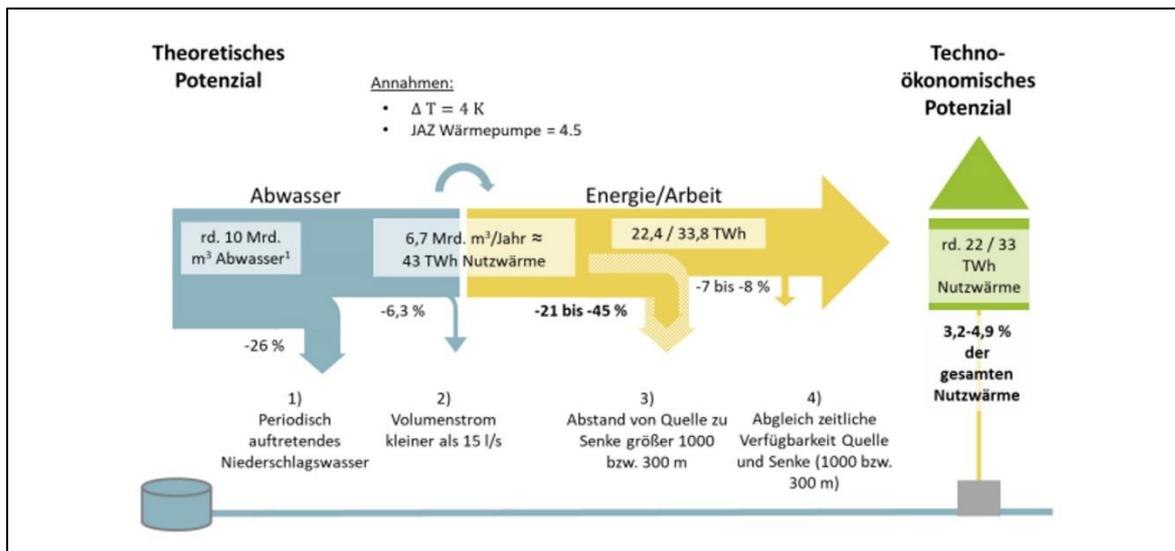


Abbildung 2: Verluste des Energiepotenziales aus Abwasser ausgehend von dem jährlichen Abwasseraufkommen in Deutschland unter Berücksichtigung einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 4.5 und einem Delta T von 4 K. Quelle: ifeu (2018)

Durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) ist die Abwärmenutzung in größeren Netzen (sprich größer als ein Gebäudenetz) und insbesondere im Auslauf von Kläranlagen sehr attraktiv. Ziel der Analyse war es daher, eine Übersicht über Instrumente auf Ebene von Bundesländern und Kommunen zur Veröffentlichung von Informationen zu Abwasserwärmepotenzialen zu erstellen.

Ergebnis

Die Instrumente zur Veröffentlichung von Abwasserwärmepotenzialen von Ländern oder Kommunen lassen sich grob in Förder- und Informationsinstrumente im engeren Sinne untergliedern. Bestehende Förderinstrumente fördern Investitionen, Studien und Analysen sowie Initiativberatungen, wie in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

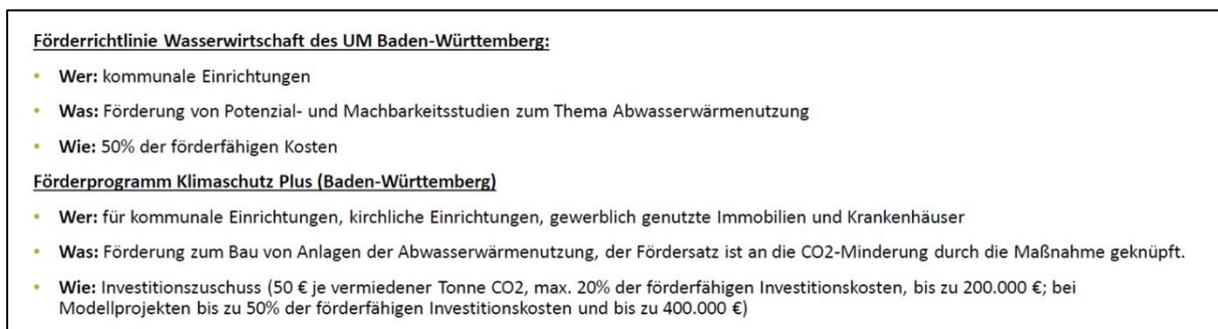


Abbildung 3: Instrumente zur expliziten Förderung, Folienauszug.

<p><u>Rheinland-Pfalz: Förderprogramm Zuwendungen für wasserwirtschaftliche Maßnahmen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wer: Verband/Vereinigung, Kommune • Was: Analysen, Gutachten und Konzeptionen (zum Beispiel zur Modernisierung von Infrastruktur der Wasserversorgung oder Abwasserbeseitigung) - Gutachten Energierückgewinnung Wasserversorgung, energetische Optimierung der Wassernetze. • Wie: Je nach Art des Vorhabens beträgt die Höhe des Zuschusses bis zu 90 Prozent der förderfähigen Kosten, die Höhe des Darlehens beträgt nach Berechnung des jährlichen Entgeltbedarfs bis zu 80 Prozent. <p><u>Nordrhein-Westfalen: Förderprogramm Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wer: Öffentliche Einrichtung, Kommune, Unternehmen, Forschungseinrichtung, Verband/Vereinigung, Privatperson • Was: Gutachterliche Untersuchung zu Energiesparmaßnahmen öffentlicher Abwasseranlagen. • Wie: Die Höhe der Förderung ist abhängig von der Art und dem Umfang Ihres geplanten Vorhabens. <p><u>Brandenburg: Förderprogramm RENplus 2014 – 2020 (ausgeschöpft)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wer: Unternehmen und Kommunen • Was: Anlagen zur Energierückgewinnung und Nutzung der rückgewonnenen Energie • Wie: Die Höhe der Förderung ist abhängig von der Art und dem Umfang Ihres geplanten Vorhabens.
--

Abbildung 4: Instrumente zur ergänzenden Förderung (nicht explizit auf Abwasserwärme ausgerichtet), Folienauszug.

Eine gezielte finanzielle Förderung der Ermittlung von Abwasserwärmenutzungspotenzialen wurde bisher in Baden-Württemberg etabliert. In den meisten Ländern wird Abwasserwärmenutzung nicht explizit gefördert. Eine (Teil-)Förderung ist jedoch über Förderprogramme zur Abwärmenutzung/Energierückgewinnung denkbar.

Zu den Informationsinstrumenten gehören Potenzialkataster, Leitfäden und Sammlungen, Berechnungstools sowie Netzwerke. Informationsinstrumente hat das Projektteam im Rahmen der Präsentation im Einzelnen vorgestellt, jeweils in Bezug auf Herausgeber bzw. Betreiber, Art der Information, Technologie, Kurzbeschreibung und Link.

Ein landesweites Potenzialkataster für zentrale Abwasserwärmenutzung an kommunalen Kläranlagen gibt es in Bayern. In Baden-Württemberg wurde mit www.abwasserwaerme-bw.de ein Webportal mit Informationsmaterialien zur Abwasserwärmenutzung an kommunalen Kläranlagen geschaffen. Detaillierte Potenzialkataster auf Ebene des Kanalnetzverlaufs wurden nur für wenige Kommunen bzw. Regionen in Deutschland publiziert (nach Schätzung eines Fachplaners maximal 50).

Im Rahmen der Analysen wurde auch die Datenverfügbarkeit bewertet und Handlungsoptionen erläutert. Bei den Kanalnetzbetreibern liegen in der Regel räumlich hochauflösende Daten zu Lage und Dimensionierung der Abwasserkanäle vor. Durchflussmengen bei Trockenwetter und Temperaturen werden nur an zentralen Sammelpunkten, meist an der Kläranlage erfasst. Eine valide Abschätzung der Wärmenutzungspotenziale in einzelnen Kanalabschnitten kann und sollte von spezialisierten Dienstleistern anhand ergänzender Geodaten zur Bebauungsstruktur und zur Bevölkerungsverteilung durchgeführt werden. Dies könnte durch finanzielle Förderung angereizt werden und/oder als Bestandteil kommunaler Wärmepläne etabliert werden. Zu prüfen ist auch eine Verpflichtung der Kanalnetzbetreiber zur Weitergabe der Primärdaten als Bestandteil oder unabhängig von einer lokalen kommunalen Wärmeplanung. Ergänzend könnte im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts zusammen mit Fachplanern geprüft werden, ob ein Webdienst als Angebot des Bundes oder der Länder entwickelt werden kann, der anhand der lokalen Kanalnetzdaten und verfügbarer ergänzender Daten eine automatische Abschätzung der Wärmeentzugspotenziale durchführt.

4.6 Wärmepumpen-System-Modul

Hintergrund

Das Wärmepumpen-System-Modul (WPSM) legt in der Schweiz Mindestanforderungen für Hauswärmepumpen fest und definiert Standardvorgehen für deren Installation und Inbetriebnahme. Die meisten Kantone haben das WPSM als Bedingung für die Förderung des Ersatzes von fossilen und elektrischen Heizungen durch Wärmepumpen festgelegt. Das Projektteam hat insbesondere den Beitrag des WPSM zur Qualitäts- und Effizienz-sicherung sowie Standardisierung untersucht. Grundlage bildeten offizielle Veröffentlichungen und Berichte des WPSM sowie Gespräche mit dem Schweizer Bundesamt für Energie.

Ergebnis

Die Analyse liefert einen komprimierten Überblick zum WPSM und geht dabei auf folgende Aspekte ein:

- Entstehung und Hintergründe
- Kernbestandteile
- Anforderungen und Standardisierung
- Marktwirkung

Der in Abbildung 5: Hintergründe des Wärmepumpen-System-Moduls, Folienauszug. dargestellte Folienauszug gibt einen Überblick über die zentralen Hintergründe des WPSM und seiner Entstehung um das Jahr 2012. Ursprünglich sollte das WPSM an den Gebäudestandard Minergie gekoppelt werden, daher die Bezeichnung als Modul.

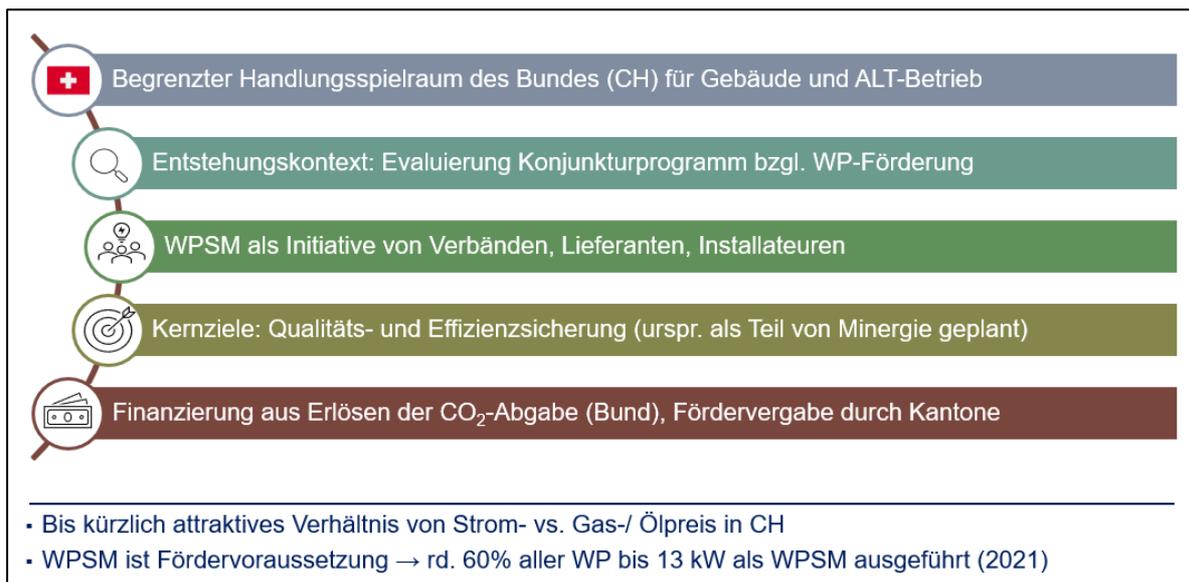


Abbildung 5: Hintergründe des Wärmepumpen-System-Moduls, Folienauszug.

Zu den Kernbestandteilen des WPSM gehören standardisierte Abläufe, einschließlich der Inbetriebnahme und Nachkontrolle, abgestimmte Komponenten, eine Leistungsgarantie, eine umfassende Dokumentation für die Endkunden sowie ein Zertifikat der im WPSM federführenden Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS).

Mit Blick auf das im Rahmen des Stakeholder-Workshops behandelten Thema Standardisierung ist hervorzuheben, dass das Pflichtenheft des WPSM einen Katalog an bestimmten Funktionsschemata festlegt mit zulässigen Anlagenkonfigurationen festlegt. Dies reduziert die Variantenvielfalt und schließt bestimmte Konfigurationen aus, die sich als besonders ineffizient erwiesen haben. Außerdem stellt das WPSM Mindestanforderungen an Kombinationsbauteile wie Speicher. Diese müssen eine Schichtungseffizienz von mindestens 75 Prozent aufweisen.

Insgesamt liefert das WPSM ein Beispiel für eine effektive Kooperation zentraler Stakeholder zur Qualitäts- und Effizienzicherung, die zusammen mit dessen Verankerung im Förderrahmen für großen Zuspruch sorgen. Das WPSM optimiert Schnittstellen und Abläufe und die digitalisierte Plattform reduzierte den Verwaltungsaufwand. Es zeigt sich zudem, dass Installateure als Vertrauenspersonen auch in der Schweiz eine Schlüsselrolle einnehmen, sowohl für die Beratung von Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümern als auch für die Qualitätssicherung der Wärmepumpen. Weiteres Potenzial liegt in der Standardisierung der WP-Technik und einer vereinfachten Installation.

4.7 Potenzialabschätzung für die Umstellung fossiler Heizungen auf Wärmepumpen in Wohngebäuden

Hintergrund

Mit Blick auf den angestrebten Markthochlauf von Wärmepumpen gewinnen Bestandsgebäude für den Einsatz der Technologie und damit verbundene Herausforderungen an Bedeutung. Ziel der Analyse war daher ein tieferes Verständnis der Umrüstungspotenziale, um darauf aufbauend ggf. neue Handlungsfelder zu identifizieren und das Ausbauziel von jährlich 500.000 neuen Wärmepumpen abzusichern.

Ergebnis

Ergebnis der Kurzanalyse ist eine überschlägige Einschätzung des Umstellungspotenzials von fossilen Wärmeerzeugern in Wohnbestandsgebäuden auf Wärmepumpen. Dabei sind zentrale Charakteristika des Wohngebäudebestands wie Anzahl und Fläche, Baualter und bestehende Wärmeerzeuger berücksichtigt. Untersucht wurden mögliche Einschränkungen hinsichtlich marktverfügbarer Wärmepumpenlösungen, bauliche Einschränkungen wie mangelnde Platzverhältnisse, Schallschutzanforderungen sowie erforderliche Systemtemperaturen. Im Ergebnis ist für den Großteil der Ein- und Zweifamilienhäuser der Einsatz von Wärmepumpen technisch möglich, schätzungsweise in einer Größenordnung von über 70 Prozent. Teilweise sind bedingt durch erforderliche Systemtemperaturen geringere Effizienzen der installierten Heizungssysteme zu erwarten. Bei Mehrfamilienhäusern sind dagegen für einen deutlich größeren Gebäudeanteil Schwierigkeiten zu erwarten, gerade wenn Wärmepumpen bestehende Heizsysteme ohne weitere Maßnahmen ersetzen sollen. Dies betrifft insbesondere erforderliche Systemtemperaturen und bauliche Einschränkungen wie z. B. unzureichende Aufstellmöglichkeiten. Grundsätzlich ist bei der Potenzialabschätzung auch der Anteil der Wohngebäude zu berücksichtigen, der bereits durch

Wärmepumpen, Fernwärme oder Biomassekessel beheizt wird und der für eine Umrüstung daher weniger in Frage kommt. Dies betrifft etwa 12 Prozent der Heizsysteme in Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. 21 Prozent in Mehrfamilienhäusern. Die Analyse lieferte als Einstieg erste Abschätzungen von Möglichkeiten zum WP-Einsatz im Bestand, die in der Folge in einer Ausarbeitung im Auftrag des Umweltbundesamtes vertieft wurden.

4.8 Effizienzsicherung in Planung, Installation und Betrieb

Hintergrund

Im Rahmen des Markthochlaufs der Wärmepumpentechnologie gewinnt ein möglichst effizienter Praxisbetrieb der Anlagen an Bedeutung. Dafür spricht einerseits aus Systemsicht die Begrenzung des Gesamtstromverbrauchs und zusätzlicher Lastspitzen im Stromnetz, etwa an kalten Wintertagen. Zudem kann mit Blick auf steigende bzw. volatile Strompreise von einer hohen Betriebseffizienz auch ein wichtiger Beitrag für die Akzeptanz von Wärmepumpen seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher erwartet werden.

Vor diesem Hintergrund nahm das Projektteam eine Bestandsaufnahme der Betriebseffizienz von Wärmepumpen in der Praxis vor und erarbeitete eine systematische Übersicht über zentrale Einflussfaktoren für die Betriebseffizienz, einschließlich einer groben Einschätzung zu deren Relevanz und Häufigkeit. Darauf aufbauend wurden technische und organisatorische Maßnahmen zur Effizienzoptimierung identifiziert und Handlungsoptionen für politische und kommunikative Maßnahmen abgeleitet.

Zu den übergeordneten Zielen der Analyse gehört es, die Effizienz durch entsprechende Planung und Installation im Vorfeld des Betriebs zu sichern und die Wahrscheinlichkeit für die Entdeckung eines ineffizienten Wärmepumpenbetriebs zu erhöhen. Dazu zählt die Identifikation kritischer Phasen und Zuständigkeiten in Planung, Installation und Betrieb und die Spezifizierung des Interventions- und Unterstützungsbedarfs, auch über geplante regulatorische Maßnahmen wie der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes hinaus.

Ergebnis

Als A und O aller Bemühungen zur Effizienzsicherung bzw. -steigerung im Betrieb stellt sich der sog. Temperaturhub heraus, also die Differenz zwischen der Temperatur der Wärmequelle und der von der Wärmepumpe bereitzustellenden Systemtemperatur. Je kleiner der Temperaturhub, desto höher ist potenziell die Effizienz und desto geringer die Heizkosten. Einen großen Einfluss hat darüber hinaus die Prüfstandeffizienz der Wärmepumpe. Des Weiteren wirken sich sonstige Stromverbräuche von Umwälzpumpen, Heizstäben, Regelung etc. auf die Heizkosten aus.

Die meisten effizienzsteigernden technischen Maßnahmen zur Optimierung von Wärmeübergabe, Verteilung, Speicherung, Erzeugung, Wärmequelle und auch der Regelung zielen im Kern darauf ab, den Temperaturhub zu verringern. Den größten Einfluss bzgl. Raumheizung haben hierbei die Heizflächen. Während durch gezielten Austausch einzelner Heizkörper oder sogar deren kompletten Austausch die mittlere Heizwassertemperatur bereits erheblich gesenkt werden kann, sollte stets ernsthaft geprüft werden, inwieweit sich beim Ersatz eines fossilen Wärmeerzeugers durch eine Wärmepumpe durch die gleichzeitige Realisierung einer Flächenheizung (Fußboden, Wand, Decke)

die Heizwassertemperatur und damit der Temperaturhub nochmals deutlich weiter absenken lässt. Hierfür steht eine Vielzahl an Lösungen inklusive Trockenbau zur Verfügung. Gerade bei sog. „Problemgebäuden“, bei denen nur wenige Gebäudehüllenmaßnahmen zur Effizienzsteigerung mit vertretbarem Aufwand umgesetzt werden, kann dies ein Ansatz sein, um dennoch relativ niedrige Heizkosten zu erzielen.

Beim Warmwasser sind die Lösungen am effizientesten, bei denen mit sog. Frischwasserstationen die von der WP bereitzustellende Temperatur im Vergleich zu Lösungen mit Warmwasserspeicher deutlich abgesenkt werden können, wo zur Vermeidung von Legionellenbildung 60 °C üblich sind. Darüber hinaus sind auch sog. Mikrofilter zur Filterung von Legionellen verfügbar, die allerdings von einigen Marktteilnehmern noch kritisch gesehen werden.

Ein weiterer Anknüpfungspunkt für eine deutliche Effizienzsteigerung durch verringerten Temperaturhub ist die Wärmequelle selbst. Theoretisch und durch umfangreiche Feldmessungen in Deutschland und der Schweiz bestätigt, weisen Sole-Wasser-WP und vor allem Wasser-Wasser-WP eine erheblich höhere Effizienz auf als Luft-Wasser-WP. Auch hier sollte daher in jedem Fall ernsthaft geprüft werden, inwieweit sich Sole-Wasser- bzw. Wasser-Wasser-WP realisieren lassen.

Weiterhin erweist sich auf Basis der Feldstudien auch die Prüfstandseffizienz der WP als zuverlässiger Indikator für die Gesamteffizienz einer Wärmepumpenheizungsanlage. Auch wenn sich hier in den letzten Jahren die Werte kontinuierlich verbessert haben, sehen auf den Feldstudien basierende Prognosen aus der Schweiz noch ein ganz erhebliches Steigerungspotenzial für die im Feld gemessene mittleren Jahresarbeitszahlen (JAZ+, d. h. Gesamtwert für Heizen und Trinkwarmwasser) neuer, gerade auch Luft-Wasser-WP in allen Auslegungs-Vorlaufstemperaturklassen (35-30 °C; 45-40 °C; 55-50 °C) von ca. 50 %, so dass je nach Temperaturniveau für Luft-Wasser-WP gemessene JAZ im Bereich 4,5 bis 6,5 erwartet werden, für Sole-Wasser-WP im Bereich 5,0 bis 8,5. Eine wichtige Rolle spielt hierbei auch die weitgehende Umstellung von Wärmepumpen mit fixer Leistung („on-off“ oder „single-speed“) für alle Wärmequellen zu sog. leistungsvariablen WP, die auch als drehzahlgeregelte oder Inverter-WP bezeichnet werden. Dieses Potenzial sollte zur Senkung der Heizkosten so schnell wie möglich gehoben werden.

Schließlich erweisen sich die Regelung der WP inklusive individuell optimierter Heizkurve, möglichst einfache Anlagenkonzepte, sowie die fehlerfreie Installation und qualitätsgesicherte Inbetriebnahme als Schlüssel für bestmögliche Effizienz im Betrieb.

Auf Ebene der politischen Steuerung lässt sich die Effizienz von Wärmepumpen auf allen relevanten Ebenen adressieren, beginnend mit der Geräteproduktion bis hin zu deren Betrieb. Auf Ebene der Herstellung geht es dabei insbesondere um die werkseitige Sicherstellung einer hohen Anlageneffizienz (Anforderungen an die Mindesteffizienz) sowie der Anwendung realitätsnaher technischer Normen. Der effiziente Einsatz einer Wärmepumpe erfordert, dass Hauseigentümer gut beraten werden und der Wärmepumpeneinsatz sorgfältig geplant wird. Politische Ansatzpunkte liegen in der Ausweitung und Qualitätssicherung/-verbesserung der Beratungs- und Planungskulisse. Hilfreich wären Planungsinstrumente für eine vereinfachte Heizlastberechnung, die Einigung auf Standard-Hydraulikkonzepte (Vorbild Schweizer WP-Systemmodul) oder die Förderung von Standardlösungen für den WP-Einsatz in Mehrfamilienhäusern. Eine Förderkulisse, die die Anreize so setzt, dass Hauseigentümer vorrangig Wärmequellen wählen, die für den konkreten Einsatzfall ein

Höchstmaß an Effizienz gewährleisten (also z.B. vorzugsweise erdgekoppelte Wärmepumpen, wenn das die lokalen Gegebenheiten zulassen), wäre ebenfalls effizienzfördernd.

Ein Schlüssel zur Effizienzicherung liegt in einer qualitativ guten Installation und Einbindung der Wärmepumpe in das Heizsystem sowie kontinuierlichen Betriebsüberwachung. In der Ausarbeitung werden eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen, die darauf abzielen, das Qualifizierungsniveau im SHK-Gewerbe in Bezug auf Wärmepumpen auszuweiten und zu vertiefen. Bei der Betriebsüberwachung liegen zentrale Elemente in der Integration einer Effizienzanzeige sowie einer Betriebsüberprüfung sowie kontinuierlichen Betriebsüberwachung, Maßnahmen, die im Rahmen der Diskussion um die anstehende GEG-Novelle eine zentrale Rolle spielen. Hinsichtlich der Betriebsüberprüfung/-überwachung ist ein besonderes Augenmerk auf den Zielkonflikt zu richten, der darin besteht, dass beiden Ziele, die Zahl installierter Wärmepumpen deutlich auszuweiten und gleichzeitig deren effizienten Betrieb zu kontrollieren, mit dem SHK-Handwerk auf die gleiche Ressource zugreifen

4.9 Lebensdauer, Recyclingfähigkeit und Lebenszyklusanalyse

Hintergrund

Im Rahmen dieser Analyse wurde die Lebensdauer und die Recyclingfähigkeit von Wärmepumpensystemen sowie deren Umweltauswirkungen während des Lebenszyklus untersucht. Grundlage bildete eine Literaturanalyse zu aktuell verfügbaren Informationen zum Thema. Die verschiedenen Wärmepumpenbauarten wurden dargestellt, aus denen sich unterschiedliche Lebensdauern ergeben könnten. In informellen Experteninterviews wurden die aus den Quellen gewonnenen Erkenntnisse mit Herstellern, dem Fachhandwerk und Herstellerverbänden diskutiert.

Ergebnis

Rechnerische Lebensdauern von Wärmeerzeugeranlagen enthält VDI 2067 Blatt 1. Die dort angegebenen Lebensdauern von Luft-Wasser-Wärmepumpen und Gas-Brennwertkesseln (wandhängend) betragen 18 Jahre. Hersteller geben für die Lebensdauer von Wärmepumpen ebenfalls einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren an, was sich auch mit den Erfahrungen des Fachhandwerks deckt. Allerdings betreffen diese Erfahrungen Geräte, die vor etwa 10 bis 20 Jahren installiert worden sind. Langjährige Erfahrungen mit Geräten, deren Technik dem aktuellen Stand entspricht (Inverterregelung, umweltverträgliche Kältemittel, Splitaufstellung) liegen nicht vor. Aus technischer Sicht ist es vorstellbar, dass Multisplitgeräte, die primär zur Kühlung entwickelt wurden, im Heizbetrieb mit deutlich höheren Betriebsstunden pro Jahr, eine geringere Lebensdauer aufweisen. Dies ist jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht durch praktische Erfahrungen in Deutschland belegbar.

Die tatsächlich erreichbare Lebensdauer einer Wärmepumpe hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Einflussgrößen sind:

- Eine optimale Dimensionierung hat längere Laufzeiten der Wärmepumpe mit weniger Verdichterstarts zur Folge, wodurch sich die Lebensdauer erhöht. Zudem verringert eine Überdimensionierung der Wärmepumpe deren Effizienz.

- Mit dem Einsatz der Inverter-Wärmepumpentechnologie erfolgt durch drehzahlregelte Verdichter eine Anpassung der Leistung an die jeweiligen Anforderungen. Dies führt zu einer gleichmäßigen Geräteauslastung bei gleichzeitiger maßgeblicher Reduzierung der Verdichterstarts und damit zur Erhöhung der Lebensdauer.
- Zudem wird zur Erreichung einer hohen Lebensdauer eine regelmäßige (jährliche) Wartung der Wärmepumpe durch das Fachhandwerk empfohlen.
- Grundsätzlich gilt für Wärmepumpen (ebenso wie für alle anderen Wärmeerzeuger), dass die Qualität der eingesetzten Komponenten und die Güte der Herstellung Einfluss auf die Lebensdauer des Wärmepumpensystems hat. Eine vergleichende Qualitätsanalyse der Produkte unterschiedlicher Hersteller bzw. der Produkte innerhalb des Portfolios eines Herstellers kann im Rahmen des Kurzgutachtens nicht vorgenommen werden.

Mit der Plattform ÖKOBAUDAT stellt das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung. Mit dieser werden die Umweltauswirkungen während des Lebenszyklus einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im Vergleich zu einem Gas-Brennwert-Kessel für Herstellung und Entsorgung für ein Einfamilienhaus ermittelt. Als Indikator für die Umweltwirkung dient das Globale Erwärmungspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äquivalent.

Das Globale Erwärmungspotenzial über die Nutzungsphase⁷ (18 Jahre) übersteigt die Auswirkungen bei Herstellung und Entsorgung deutlich. Obwohl das GWP für die Errichtung und Entsorgung einer Wärmepumpenanlage über denen für einen Gas-Brennwertkessel liegt, ist es unter Einbeziehung der Nutzungsphase deutlich geringer. Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Verhältnisse im Lebenszyklus von angesetzten 18 Jahren für ein Einfamilienhaus mit 150 m² und einem baulichen Wärmeschutz entsprechend Referenz GEG 2020.

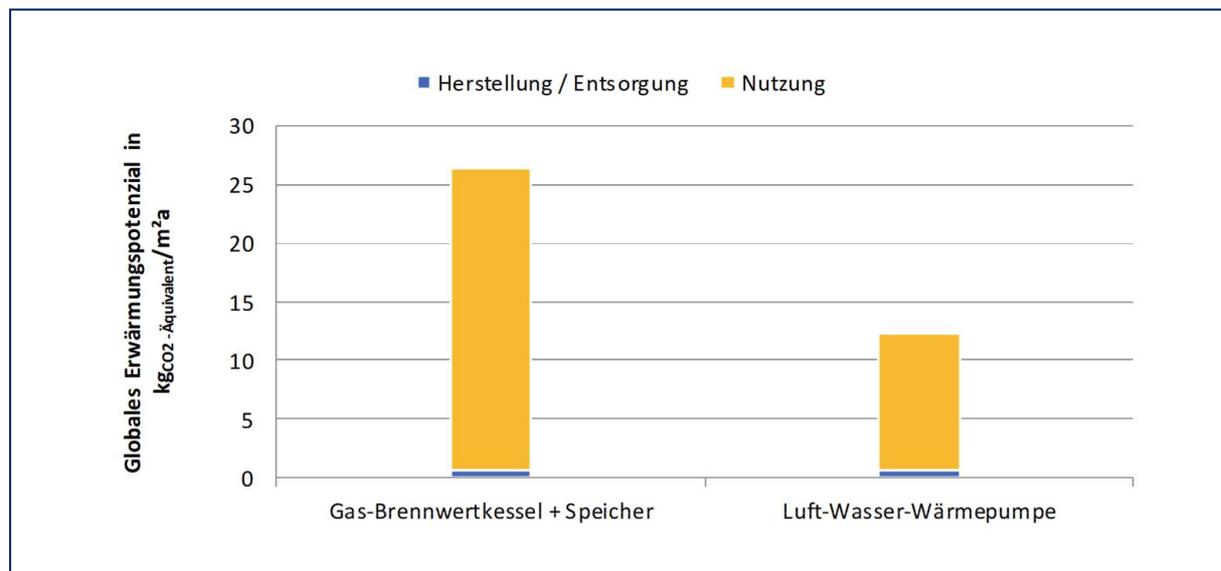


Abbildung 6: Jährliches Globales Erwärmungspotenzial über den Lebenszyklus

⁷ Als Emissionsfaktor für die Nutzungsphase für Strom wird dabei der Mittelwert über 18 Jahre von 2022 bis 2039 mit den nach IINAS prognostizierten Stützpunkten linear interpoliert angesetzt. Für Erdgas entspricht der Wert den Vorgaben des GEG.

Die Recyclingfähigkeit von Wärmepumpen ist bisher nicht schwerpunktmäßig untersucht und diskutiert worden. Allerdings bestehen Wärmepumpen zum großen Teil aus metallischen Werkstoffen, welche grundsätzlich sehr gut recycelt werden können. Aus dieser Sicht ist die potenzielle Recyclingfähigkeit von Wärmepumpen als unkritisch einzuschätzen. Umfassende Vorgaben zur Recyclingfähigkeit z. B. in der Ökodesign-Richtlinie existieren bislang allerdings nicht.

Eine Besonderheit von Wärmepumpen ist das eingesetzte Kältemittel. Die F-Gase-Verordnung (siehe separates Kurzgutachten, Abschnitt 4.3) sorgt dafür, dass die Umstellung auf umweltverträgliche Kältemittel in naher bis mittlerer Zukunft vollzogen wird. Bei bereits installierten Wärmepumpen mit FKW, die ein sehr hohes Treibhauspotenzial aufweisen, muss sichergestellt werden, dass während Herstellung, Betrieb und am Ende der Lebensdauer kein Kältemittel freigesetzt wird, z.B. durch eine nicht-fachgerechte Entsorgung. Inwieweit dies der Fall ist, wird von den im separaten Gutachten (Abschnitt 4.3) konsultierten Studien und Experten unterschiedlich eingeschätzt. Die durch die Kältemittel verursachte Treibhausgaswirkung wird dabei sehr unterschiedlich eingeschätzt. Im optimistischen Fall liegt die THG-Wirkung im einstelligen Prozentbereich der THG-Emissionen aus dem Betrieb. Die ungünstigsten Abschätzungen gehen davon aus, dass der Treibhauseffekt durch das Kältemittel durchaus einen relativ hohen Anteil der THG-Emissionen aus dem Betrieb erreichen kann.

4.10 Vulnerabilität von Lieferketten

Hintergrund

Insbesondere die Erfahrungen mit verschärften Lieferengpässen im Zuge der COVID-19 Pandemie haben Komplexität und Verletzlichkeit globaler Lieferketten für Entscheidungsträger in der EU in ein neues Licht gerückt. Dies gilt umso mehr für Schlüsselbereiche wie die Energiewende und dafür erforderliche Technologien und Rohstoffe, die in den Bemühungen zur Identifizierung und Verringerung strategischer Abhängigkeiten eine besondere Rolle einnehmen. In der Folge des Wärmepumpengipfels vom Juni 2022 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mehrere Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern des Wärmepumpensektors organisiert, darunter zum Thema Wärmepumpenherstellung. Mit Blick auf den angestrebten Hochlauf von Wärmepumpen (WP) haben Teilnehmende dabei mehrfach die Relevanz von Schwierigkeiten in der Zulieferung unterstrichen und als zentrales Anliegen geäußert, die Wertschöpfung in Deutschland und Europa im internationalen Wettbewerb zu erhalten bzw. zu vertiefen. Mit Blick auf den internationalen Wettbewerb ist auch die strategische Unterstützung von WP-Produktion und -exporten etwa in China und den Vereinigten Staaten zu berücksichtigen [Lyons et al., 2022].

Ergebnis

Aufbauend auf einer Literaturanalyse und Interviews mit Herstellern von Wärmepumpen, WP-Komponenten und Vorprodukten sowie dem Fraunhofer ISE enthält die Analyse zunächst eine Übersicht über zentrale Komponenten und Rohstoffe für die Herstellung von Wärmepumpen. Dazu zählen Kompressor, Wärmetauscher, Ventilator (für Luftwärmepumpen), Inverter und die Steuerungselektronik als zentrale Komponenten. Auf Seite der Rohstoffe und Vorprodukte sind u.a. Stahl (z. B. für Kompressor und Gehäuse), Kupfer (z. B. für Rohrleitungen, Kabel und Expansionsventile) und Kunststoff (z. B. zur Isolierung von Rohrleitungen und Kabeln) zu nennen. Darauf aufbauend lag der Schwerpunkt der Analyse anhand der Interviews und einer Auswertung der

Handelsstatistik auf der Bewertung der WP-Lieferketten mit Blick auf derzeitige und künftig zu erwartende Engpässe und kritische Abhängigkeiten.

Im Ergebnis haben sich insbesondere in der Zulieferung von Halbleitern globale Engpässe und Abhängigkeiten von wenigen Produktionsländern gezeigt, die die WP-Lieferketten mitunter stark beeinträchtigt haben. Relevante Abhängigkeiten von außereuropäischen Einfuhren liegen auch bei Verdichtern sowie bei Dauermagneten vor. Bei Wärmetauschern steht die Frage im Raum, inwieweit die wachsende Nachfrage im Rahmen des WP-Markthochlaufs durch europäische Produktionskapazitäten bedient werden kann. Auf der Rohstoffseite ergeben sich insbesondere bei Kupfer Abhängigkeiten von einigen wenigen Lieferländern, wobei allerdings auch die Recyclingkapazitäten in der EU zu berücksichtigen sind.

Von den befragten Marktakteuren werden verschiedene Strategien verfolgt, um die Resilienz ihrer Lieferketten zu stärken. Dazu gehören langfristige Lieferverträge und Kapazitätsplanung mit Lieferanten, Bemühungen um Regionalisierung bzw. Europäisierung, *Dual bzw. Multiple Sourcing* sowie der Aufbau von Clustern mit Forschung und Wissenschaft, um heimische Wertschöpfungstiefe durch Innovation zu stärken.

Auf politischer Ebene regen die Befragten insbesondere eine Priorisierung der Lieferkettenthematik und eine stärkere industriepolitische Flankierung des WP-Hochlaufs an, neben einer Unterstützung für die Steigerung der Wertschöpfungstiefe und für Kooperationsplattformen. Weitere Ansatzpunkte werden in der Entwicklung ambitionierter Produktnormen (z.B. mittels Ökodesign), der Förderung von Produktentwicklung und Produktionsskalierung sowie in den Vereinfachungen von Genehmigungsverfahren gesehen.

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der Endkundenkosten für Luft/Wasser-WP mit Heizflächentausch ohne separat beauftragte Planungsleistungen und Förderung	12
Abbildung 2: Verluste des Energiepotenziales aus Abwasser ausgehend von dem jährlichen Abwasseraufkommen in Deutschland unter Berücksichtigung einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 4.5 und einem Delta T von 4 K. Quelle: ifeu (2018).....	18
Abbildung 3: Instrumente zur expliziten Förderung, Folienauszug	18
Abbildung 4: Instrumente zur ergänzenden Förderung (nicht explizit auf Abwasserwärme ausgerichtet), Folienauszug	19
Abbildung 5: Hintergründe des Wärmepumpen-System-Moduls, Folienauszug	20
Abbildung 6: Jährliches Globales Erwärmungspotenzial über den Lebenszyklus	25

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht und erste Einschätzung verschiedener Hemmnisse für den Wärmepumpenhochlauf	8
---	---

7 Literaturverzeichnis

Becker, Claudia; Gloël, Johanna; Moie, Jascha; Timm, Edgar; Huth, Patrick; Koch, Florian; Lützkendorf, Christine (2022): Hauswärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln - Zwischenbericht. Entwicklung von Anforderungen an klimafreundliche und energieeffiziente Geräte für den Blauen Engel. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA)HEAT GmbH; Deutsche Umwelthilfe e.V. (DUH). Dessau-Roßlau.

European Commission (EC) (05.04.2022): Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014. COM(2022) 150 final, F-gas regulation, proposal.

European Heat Pump Association (EHPA) (2022): EHPA position paper. EHPA Position Paper on the revision of the F-gas Regulation (517/2014). Online verfügbar unter https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03._Media/Position_papers/20220629_EHPA_position_paper_F-gas_Regulation_Review_2022_FINAL.pdf, abgerufen am 29.07.2022.

ifeu (2018): Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende? Kurzstudie im Auftrag des BMU. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH.

Lyons, Lorcan; Georgakaki, Aiki; Kuokkanen, Anna; Letout, Simon; Mountraki, Alikaterini; Ince, Ela et al. (2022): Heat pumps in the European Union. Status report on technology development, trends, value chains and markets. European Commission - Joint Research Centre (JRC). Online verfügbar unter https://setis.ec.europa.eu/heat-pumps-european-union_en, abgerufen am 17.11.2022.

Müller, E., Schmid, F., und Kobel, B. (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherren und Kommunen, 36.

Sabel, Martin; Schreinermacher, Björn (2022): Stellungnahme des Bundesverbands Wärmepumpe (BWP) e.V. Kommissionsvorschlag COM(2022) 150 final zur Revision der geltenden F-Gase-Verordnung Bundesverband Wärmepumpe (BWP).

8 Abkürzungen

BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
EHPA	European Heat Pump Association
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
FWS	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWP	Global Warming Potential – Globales Erwärmungspotenzial
HFKW	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HFO	Hydrofluorolefine
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien
MBO	Musterbauordnung
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
THG	Treibhausgas(e)
WP	Wärmepumpe(n)
WPSM	Wärmepumpen-System-Modul

