

Ergebnispapier zum Thema der Niedertemperaturabwärme

Im Rahmen des Begleitforschungsprojekts EE4InG



Verfasser des Berichts:

ETA-Solutions GmbH
Johannes Thirolf



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Abwärmequellen.....	3
3. Potenzialabschätzung.....	4
4. Abwärmenutzung.....	8
5. Industrieller Wärmebedarf.....	13
6. Einspeisung in Wärmenetze	14
7. Empfehlung Forschung und Entwicklung	20
8. Literaturverzeichnis	22

1. Einleitung

Das vorliegende Dokument befasst sich mit der Abwärme im Niedertemperaturbereich (NT-Bereich), d.h. auf einem Temperaturniveau unterhalb von etwa 100°C. Es sollen einerseits Abwärmequellen aufgezeigt werden und entsprechende (Nutzungs-) Potenziale identifiziert werden. Entsprechend der aufgezeigten Abwärmequellen und Potenziale sollen einerseits grundsätzliche (Abwärme-) Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt werden und dabei zudem ein Fokus auf die Nutzung im Rahmen einer Fern-/Nahwärmeversorgung gelegt werden. Abschließend sollen Forschungs- und Entwicklungsziele abgeleitet werden.

2. Abwärmequellen

Der NT-Abwärmebereich ist geprägt von vielfältigen Möglichkeiten einer Abwärmequelle. Insbesondere das Feld der Querschnittstechnologien ist in diesem Kontext zu nennen, da diese grundsätzlich Abwärme auf einem Temperaturniveau <100°C erzeugen und in vielen Branchen zum Einsatz kommen. So können hierbei beispielsweise **Kälteanlagen** (Wärme aus Kühlkreislauf oder Kältekompressor), **Kompressoren** (z.B. Abluft Druckluftkompressor), **Trocknungsanlagen** (Abgasstrom Trockner), **Lüftungsanlagen** (Kälte-/Wärmerückgewinnung) oder **Abwässer** genannt werden.

Tabelle 2-1: Auswahl typischer Abwärmequellen mit zugehöriger Abwärmemetemperaturen [Quelle: Aydemir et al., 2019]

Abwärmequelle	Temperaturbereich
Abwärme aus Abluft RLT-Anlagen	20-40°C
Rücklauf aus Kalt- und Kühlwasseranlagen	20-60°C
Abgase aus Verbrennungs- und Verfahrensprozessen	50-450°C
Abwärme aus Wasser-/Dampfsystemen	100-150°C
Abwärme aus Trocknungsprozessen und Druckluftsystemen	40-100°C

Um nochmals konkrete Beispiele möglicher Abwärmequellen aufzuzeigen, werden an dieser Stelle zwei Beispiele aus dem Bereich der energieintensiven Industrien aufgezeigt. Als erstes konkretes Beispiel soll die Papierindustrie herangezogen werden, welche verschiedene Abwärmeströme auf einem Temperaturbereich <100°C aufweist.

Tabelle 2-2: Beispiele für Abwärmeströme in der Papierindustrie [Quelle: Hirzel et al., 2013]

Abwärmestrom	Medium	T-Niveau
Abwasser der Papiermaschine	Abwasser	20-40°C
Abwasser der Stoffaufbereitung	Abwasser	30-60°C
Abwasser von Prozessen der Halbstoffherzeugung	Abwasser	60-70°C
Abluft Produktionshalle	Luft	30-40°C
Abluft Vakuumpumpe	Luft	40-50°C
Abluft Trockenpartie der Papiermaschine	Luft	60-80°C

Auch im Bereich der Aluminiumindustrie können Abwärmeströme auf einem Temperaturniveau von <100°C identifiziert werden.

Tabelle 2-3: Beispiele für Abwärmeströme in der Aluminiumindustrie [Quelle: Hirzel et al., 2013]

Abwärmestrom	Medium	T-Niveau
Kühlwasser für Induktionsspulen*	Wasser	bis 70°C
Abluft Induktionsofen*	Luft	40-50°C
Abluft über Absaugung	Luft	40-80°C

* Sekundäraluminiumherstellung

Im Anschluss an diese kurze Einführung zu potenzielle Abwärmequellen folgen nun die Ergebnisse zur Untersuchung der (Nutzung-) Potenziale von Abwärme im NT-Bereich.

3. Potenzialabschätzung

Wie einleitend beschrieben bezieht sich die Betrachtung der (industriellen) Abwärme im **Niedertemperaturbereich (NT-Bereich)** auf ein Temperaturniveau **unterhalb von etwa 100°C**. Dieser Temperaturbereich muss im Rahmen der Potenzialabschätzung etwas erweitert werden, da sich die unterschiedlichen Veröffentlichungen mitunter auf einen etwas größeren Temperaturbereich erstrecken. Im Kontext einer **qualitativen Potenzialeinschätzung für den NT-Bereich** wird dieser erweiterte Temperaturbereich unter Berücksichtigung der dadurch eingeschränkteren Vergleichbarkeit toleriert.

Zur Identifikation dieses Potenzials wurden verschiedene Veröffentlichungen im Kontext identifiziert und analysiert. Diese werden im Folgenden dargestellt und abschließend in einer Übersicht zusammenfassend dargestellt.

Beginnend mit der Darstellung des Wärmebedarfs und Abwärmepotenzials unterschiedlicher Temperaturniveaus durch *Blesl und Kessler* wird das (kumulierte) Abwärmepotenzial auf einem Temperaturniveau von < 100°C für das Jahr 2015 bei etwa **35 PJ/a (9,7 TWh/a)** gesehen [Blesl/Kessler, 2017]. Den größten Anteil macht in diesem Bereich die Papierindustrie aus (Abbildung 3-1).

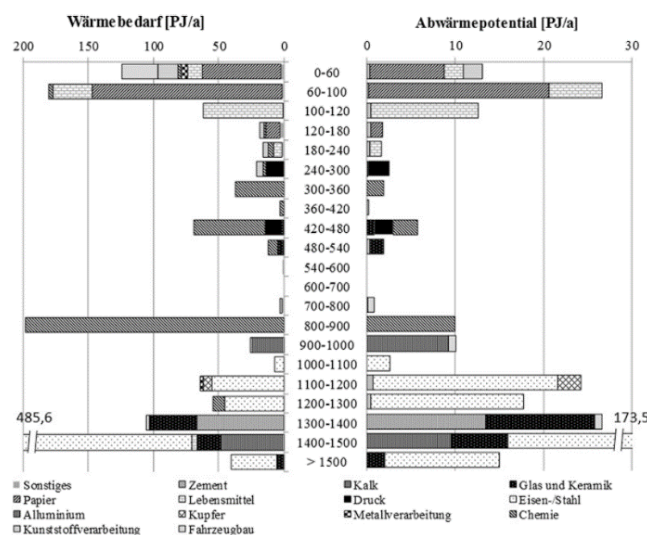


Abbildung 3-1: Wärmebedarf und Abwärmepotenzial in Deutschland 2015 [Quelle: Blesl/Kessler, 2017]

Ferner wurde in einer weiteren Veröffentlichung im Rahmen einer Unternehmensbefragung das Abwärmepotenzial von insgesamt **592 ausgewerteten Anlagendaten** auf ca. **2,3 PJ/a (0,6 TWh/a)** beziffert [König et al., 2018]. Dieses teilt sich auf in ein Potenzial von ca. 0,29 PJ/a im

Temperaturbereich 25-50°C und ein Potenzial von ca. 1,99 PJ/a im Bereich 51-110°C. Die Ergebnisse der Studie werden allerdings mit dem Hinweis einer **zu geringen Stichprobengröße für Rückschlüsse auf das Abwärmevorkommen der Gesamtindustrie** in Deutschland dargestellt. Dennoch sticht insbesondere abwärmeseitig der große Beitrag des Bereiches 51-110°C hervor.

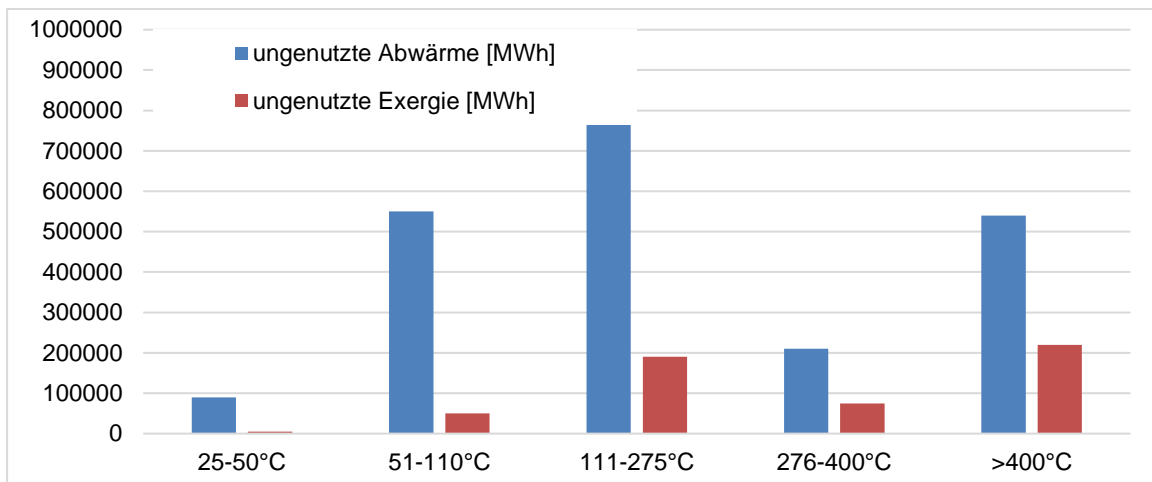


Abbildung 3-2: Ungenutzte Abwärme und Exergie nach Temperaturniveau [MWh] [Quelle: König et al., 2018]

Eine Potenzialermittlung wird darüber hinaus von einigen Bundesländern durchgeführt. So werden über die Erstellung von Energie- und Wärmeatlanten Teilbereiche der Gesamtindustrie in Deutschland abgebildet und Abwärmepotenziale identifiziert. Im Rahmen des Wärmeatlas NRW wird auf diese Weise ein Potenzial von ca. **9,7 PJ/a (2,7 TWh/a)** im Temperaturbereich < 110°C und bei einer **Auswertung von 242 Unternehmensdaten** angegeben (Abbildung 3-3) [LANUV, 2019]. Die Datenauswertung wurde darüber hinaus um eine Extrapolation auf die Gesamtabwärmemenge erweitert. Diese wird allerdings ohne Hinweis auf zugehörige Temperaturniveaus dargestellt, sodass das extrapolierte Potenzial an dieser Stelle nicht dargestellt wird.

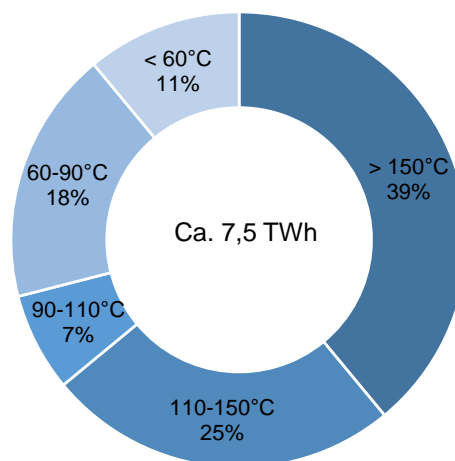


Abbildung 3-3: Aufteilung der **erfassten Abwärmemengen** nach Nutztemperaturniveau, n=242 [Quelle: LANUV, 2019]

Anhand des Wärmeatlas Bayern kann weiterhin ein Potenzial von ca. **6,1 PJ/a (1,7 TWh/a)** im Temperaturbereich < 100°C und bei **80 Unternehmen** festgestellt werden¹. Wird dieses Potenzial nach

¹ Karte mit Filterfunktion unter: <https://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=LnpqGE8Fj5o>

dem Wärmeträger Ab- und Kühlwasser gefiltert, so ergibt sich in diesem Zusammenhang ein Potenzial i.H.v. **2,1 PJ/a (0,6 TWh/a)** bei **8 erfassten Unternehmen**.

Weitere Potenziale können bei einer Vergrößerung des Temperaturbereiches ergänzt werden. So wird das Potenzial der deutschen Industrie vielfach auf Grundlage vorausgegangener Studien aus anderen Ländern (bzw. deren Ergebnisse und Abwärmefaktoren) abgeschätzt, ohne eine Erfassung konkreter Daten der deutschen Industrie. In diesem Zusammenhang wird das Potenzial der Abwärmenutzung in einem Temperaturbereich von 60-140°C auf etwa die Hälfte des Abwärmepotenzials des Temperaturbereichs > 140°C geschätzt [Pehnt et al., 2010]. Auf diese Weise wird ein theoretisches Abwärmepotenzial von **160 PJ/a (44 TWh/a)** für den Temperaturbereich 60-140°C angegeben.

Infolge der ungenauen Datengrundlage hinsichtlich des existierenden Abwärmepotenzials in der deutschen Industrie wurde sich im Rahmen einer Dissertation mit der Erhebung des Abwärmeaufkommens der deutschen Industrie beschäftigt. Dies erfolgte unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Begrenzungen des Abwärmepotenzials. Als Ergebnis lag erstmals eine landesweite Studie mit Auswertung von **81.000 (Industrie-) Datensätzen** vor. Diese Auswertung wird im Rahmen der Dissertation als eine **sichere, untere Grenze** des Abwärmeaufkommens interpretiert. Als Ergebnis wird das Abwärmepotenzial anhand der ausgewerteten Daten für das Jahr 2008 (bei Abwärmenutzung bis 35°C) auf **127 PJ/a (35,3 TWh/a)** beziffert [Brückner, 2016]. Für die gesamte deutsche Industrie wird dieses Potenzial extrapoliert, sodass sich ein Gesamtpotenzial von **227 PJ/a (63,1 TWh/a)** ergibt. Die ausgewerteten Daten zeigen ein Potenzial von 127 PJ/a für eine Abwärmenutzung bis 35°C und ein Potenzial von 56 PJ/a für eine Abwärmenutzung >35°C bis 100°C an. Aus der Differenz ergibt sich entsprechend ein Potenzial für die Abwärmenutzung im Temperaturbereich < 100°C mit **71 PJ/a (19,7 TWh/a)**. Wie erwähnt stellt dieses Potenzial eine sichere, untere Grenze da, anhand welcher über eine Extrapolation auf ein Gesamtpotenzial geschlossen wird. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich das Abwärmepotenzial nur auf die in **Abgasströmen** enthaltene Abwärme bezieht.

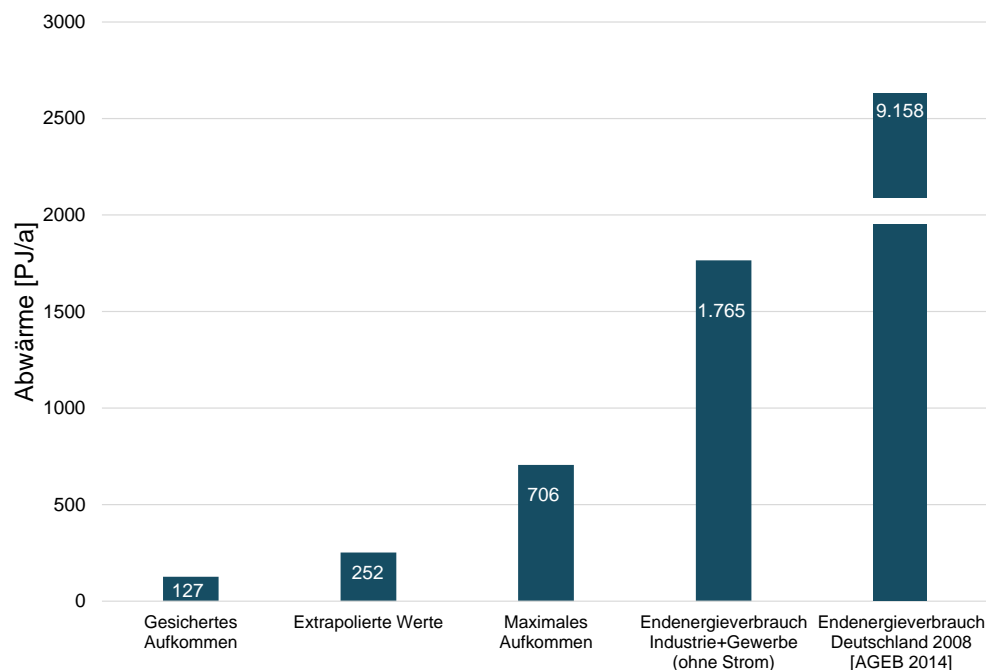


Abbildung 3-4: Obere und untere Grenze Abwärmeaufkommen der deutschen Industrie 2008 [Quelle: Brückner, 2016]

Im Rahmen einer Untersuchung zur netzgebundenen Nutzung industrieller Abwärme (NENIA) wurde u.a. eine Plausibilisierung der vorab dargestellten Potenziale durchgeführt. Mit einem ermittelten (theoretischen) Potenzial von **188 PJ/a (52,2 TWh/a)** bei einem Temperaturniveau von $< 300^{\circ}\text{C}$ kommt die Untersuchung zu der Erkenntnis, dass die unterschiedlichen Potenziale in ihrer Größenordnung durchaus bestätigt werden können.

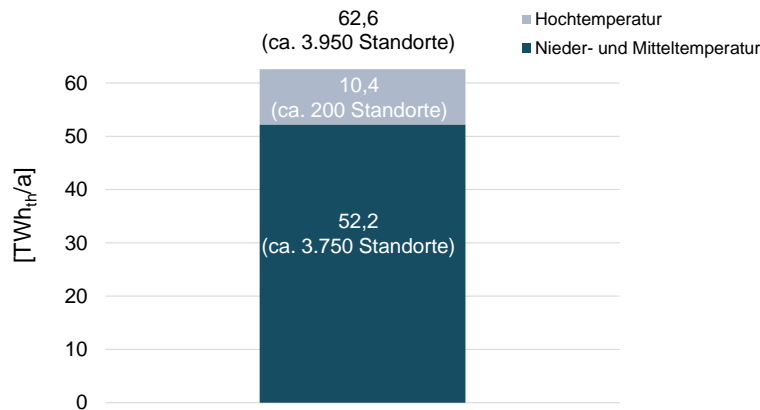


Abbildung 3-5: Ermitteltes theoretisches Potenzial aus Primär- und Sekundärdatensätzen [Quelle: Blömer et al., 2019]

Zieht man im Zusammenhang mit dem Potenzial von 188 PJ/a (Temperaturbereich $< 300^{\circ}\text{C}$) das kumulierte Wärmepotenzial für den Temperaturbereich von $100\text{--}300^{\circ}\text{C}$ (gemäß Abbildung 3-6) in Höhe von 134,1 PJ/a heran, so ergibt sich anhand der Differenz ein Potenzial für den Temperaturbereich $< 100^{\circ}\text{C}$. Dieser wird auf diese Weise auf 53,9 PJ/a (14,9 TWh/a) beziffert.

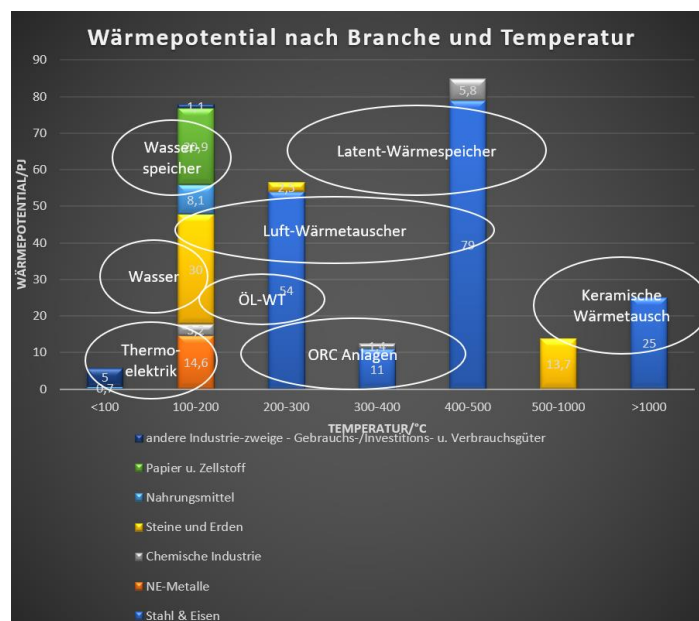


Abbildung 3-6: Wärmepotenzial nach Branche und Temperatur [Quelle: Brückner, S. 2016; Papapetrou, M. et al. 2018 & weitere Quellen in IREES-Ergebnispapier].

Entsprechend den Ungenauigkeiten hinsichtlich der Potenzialermittlung sei an dieser Stelle auf den überschlägigen Charakter dieser Berechnung hingewiesen.

Die zuvor dargestellten Potenziale werden in nachstehender Abbildung nochmals zusammenfassend dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen sind diese Potenziale aus einer

qualitativen Betrachtung heraus zu bewerten. Neben Abschätzungen mit eher pauschalem Charakter (insbesondere Bereich 60-140°C) liegen darüber hinaus konkrete Datenauswertungen vor. Bereits auf Bundeslandebene weisen diese mitunter ein beachtliches Potenzial auf.

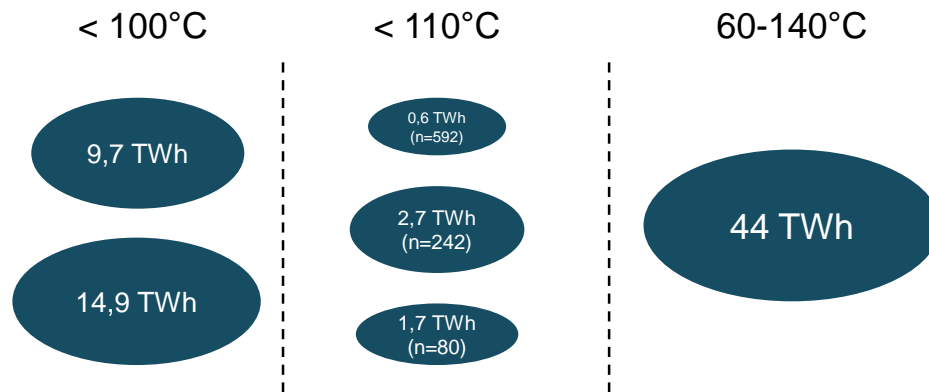


Abbildung 3-7: Zusammenfassung identifizierter Potenziale

4. Abwärmenutzung

Entsprechend den vorab aufgezeigten Abwärmequellen und -potenzialen soll nun ein Überblick zu Möglichkeiten der Abwärmenutzung gegeben werden. Dabei werden einerseits grundsätzliche Nutzungsmöglichkeiten in Abhängigkeit des Temperaturniveaus aufgezeigt und anschließend ein Fokus auf Wärmenetze gelegt. Wärmenetze sind in diesem Kontext sowohl werksintern als auch werksgrenzübergreifend in Form einer kommunalen Versorgung zu betrachten.

Die vorab aufgezeigten Energiemengen deuten an, welches energetische Potenzial im Bereich der (NT-) Abwärmenutzung steckt. Dieses erstreckt sich über einen großen Temperaturbereich, wobei der Fokus hierbei in Abhängigkeit der betrachteten Untersuchung teilweise variiert.

Prinzipiell sollte allerdings das Bestreben auf eine Abwärmevermeidung gerichtet sein und vor dem Bestreben einer Abwärmenutzung stehen. Die „Nutzungskaskade“ hinsichtlich Abwärme beginnt folglich mit der Verfahrensoptimierung zur Abwärmevermeidung (vgl. Abbildung 4-1).

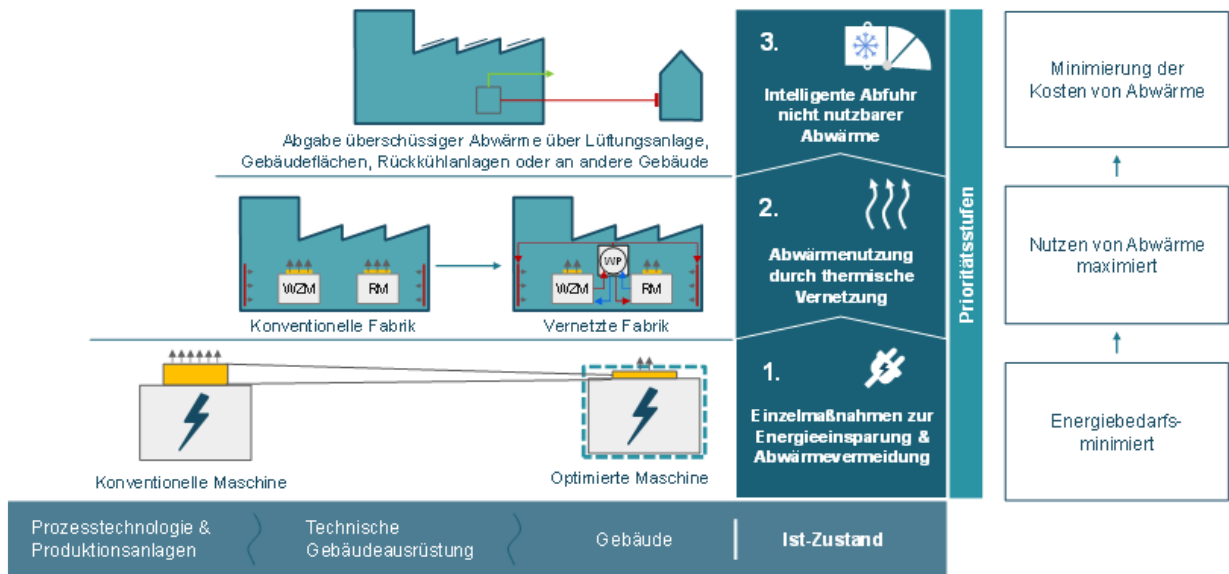


Abbildung 4-1: Abwärmekaskade

Anhand der nachfolgenden Tabelle 4-1 kann darüber hinaus ein Überblick über Vorteile und Hemmnisse der jeweiligen Ebene der Nutzungskaskade erlangt werden.

Tabelle 4-1: Nutzungskaskade Abwärme [Quelle: Blömer et al., 2019]

Ebene	Beschreibung	Vorteile	Hemmnisse
1) Verfahrens-optimierung	Verminderung des Abwärmeeinfalls durch Prozess-/Verfahrensoptimierungen, Strömungsführung, Wärmedämmung, Einsatz hocheffizienter Antriebe	Geringe Distanzen, keine wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Anlagen/Prozessen	Prozessspezifische technische Restriktionen
2) Prozess-/Anlageninterne Nutzung	Anlagen-/prozessinterne Nutzung im Sinne einer Abwärmerückführung (z.B. Verbrennungsluftvorwärmung mittels Rekuperator- oder Regenerator-Brennern, Trocknung oder Vorwärmung der Ausgangsstoffe)	Geringe Distanzen, keine wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Anlagen/Prozessen	Prozessspezifische technische Restriktionen
3) Betriebsinterne Nutzung	Wärmeintegration in andere Anlagen/Prozesse auf möglichst hohem T-Niveau	Betriebswirtschaftliche Einheit erleichtert Planung	Aufwand im Verhältnis zu Einsparungen
4) Außerbetriebliche Nutzung	Abwärmelieferung an außerbetrieblichen Wärmesenken	Hohe Primärenergieeinsparungen möglich, Förderung der Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen	Zusätzliche Infrastruktur notwendig. Höhere Transportverluste Aufwendige/begrenzte Abstimmung Entstehung/Bedarf

5) Energie- umwandlung	Überführung in andere Nutzenergieformen (elektr. Energie, Kälte)	Keine wechselseitigen Abhängigkeiten, Minimierung der betriebseigenen Strombezugskosten	Vergleichsweise geringe Umwandlungseffizienz
---------------------------	--	---	--

Sofern eine Abwärmevermeidung nicht realisiert werden kann, schließt sich die Abwärmenutzung an. Diese kann sowohl prozess- oder betriebsintern als auch betriebsextern erfolgen, sodass ein breites Spektrum an Möglichkeiten besteht. Diese Möglichkeiten sollen an dieser Stelle vertieft werden.

Entsprechend der unterschiedlichen Ausprägungen der Wärmequellen (z.B. Temperaturniveau, Wärmeträger) und Wärmesenken (z.B. betriebsintern oder -extern) liegen gleichsam unterschiedliche Möglichkeiten zur Abwärmenutzung vor.

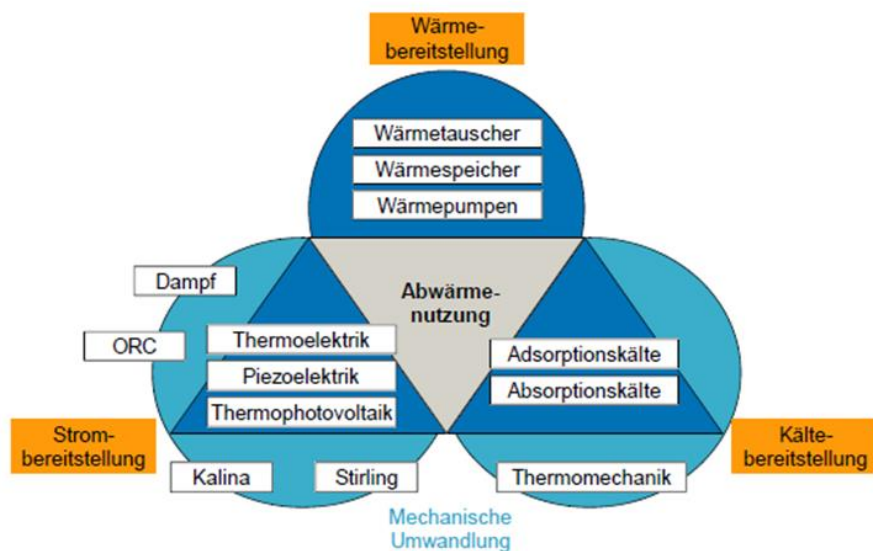


Abbildung 4-2: Technologien zur Nutzung von Abwärme [Quelle: Hirzel et al., 2013]

In Abhängigkeit der Wärmequelle bzw. -senke liegt eine unterschiedliche Eignung der einzelnen Nutzungsformen vor. Beginnend mit dem ersten Bereich der Abwärmenutzung in Form der **Kältebereitstellung** sind entsprechende Kennwerte in der folgenden Tabelle aufgetragen.

Tabelle 4-2: Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Kältemaschinen zur Abwärmenutzung [Quelle: LANUV, 2019 bzw. saena, 2016]

	Adsorptionskältemaschine	Absorptionskältemaschine
Temperaturniveau Abwärme	55 bis 100°C	Ab 70°C
Spezifische Kennzahl	0,6 bis 0,7 (Wärmeverhältnis)	0,5 bis 0,8 (Wärmeverhältnis)
Leistungsbereich	5 bis 350 kW	5 kW bis 12 MW

Für den zweiten Bereich der Abwärmenutzung zur **Stromerzeugung** sei auf die folgenden Kennwerte verwiesen.

Tabelle 4-3: Übersicht verschiedener Technologien zur Stromerzeugung aus Abwärme [Quelle: LANUV, 2019 bzw. saena, 2016]

	T-Niveau Abwärme	Wirkungsgrad	Elektr. Leistungsbereich
Dampfkraftprozess	Ab 150°C	Ab 10 %	Ab 20 kW
Organic-Rankine-Cycle (ORC)	Ab 110°C	5 bis 15 %	30 kW bis 3 MW
Gasturbine	600 bis 1.500°C	25 bis 40 %	30 kW bis 300 MW
Stirlingmotor	650 bis 1.100°C	10 bis 16 %	Bis 250 kW

Ergänzt wird der Bereich der Abwärmenutzung zur Stromerzeugung um die thermoelektrische Stromerzeugung, die piezoelektrische Stromerzeugung sowie die thermophotovoltaische Stromerzeugung. Diese werden an dieser Stelle nicht tiefgehend betrachtet.

Der dritte Bereich der **Wärmebereitstellung** als Möglichkeit der Abwärmenutzung wird an dieser Stelle in drei separate Betrachtungen aufgeteilt. Eine Übersicht bezüglich der **Wärmepumpen** ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4-4: Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Wärmepumpen zur Abwärmenutzung [Quelle: saena, 2016]

	Kompressionswärmepumpe	Adsorptionswärmepumpe	Absorptionswärmepumpe
Leistungsbereich	15 kW bis 20 MW	7,5 bis 500 kW	10 kW bis 20 MW
Spezifische Kosten	150...1.500 €/kW _{th}	1.500 €/kW _{th}	500...1.200 €/kW _{th}
Abwärmeträger	Luft, Flüssigkeit	Flüssigkeit	Flüssigkeit
Abwärmetemperatur	bis 50°C	bis 90°C	bis 200°C
Leistungs-/Heizzahl	3,0...5,0	1,3...1,6	1,4...2,2

Abbildung 4-3: Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Wärmepumpen zur Abwärmenutzung [Quelle: LANUV, 2019 bzw. saena, 2016]

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über verschiedene **Wärmeübertrager** mit typischen Kennwerten und Informationen zum Einsatzbereich.

Tabelle 4-5: Übersicht Kennwerte unterschiedlicher Wärmeübertrager [Quelle: saena, 2016]

	Leistungs-bereich	Heiz-/Kühlmedium	Temperatur-niveau	Sonstiges	Kosten
Platten-wärmeübertrager	bis 400 MW	flüssig/flüssig gasförmig/gasf.	bis 750°C	niedrige Drücke, geringe Druckverluste	<10 €/kW
Rohrbündel-wärmeübertrager	bis 20 MW	flüssig/flüssig Verdampfer	bis 550°C	Hochdruckmedium im Rohr, moderate Druckverluste	10...150 €/kW
Lamellen-wärmeübertrager	bis 1.000 MW	Außenseite: Gas Rohr: Flüssigkeit (auch Phasenwechsel)	bis 300°C	niedrige Gasdrücke, variable Drücke im Rohr, gasseitig sehr schmutz- und feuchteempfindlich	<15 €/kW

Doppelrohr-wärmeübertrager	bis 3,5 MW	flüssig/flüssig (auch Verdampfer /Kondensator)	bis 150°C	Verschmutzte Flüssigkeiten im Innenrohr, relativ großer Bauraum	-
Spiral-wärmeübertrager	bis 0,8 MW	flüssig/flüssig gasförmig/gasf.	bis 700°C	Medien bei gleichem Druck	-
Rotations-wärmeübertrager	bis 1,6 MW	gasförmig/gasf.	bis 650°C	keine verschmutzten Ströme	-
Wärmerohr-wärmeübertrager	bis 3 kW (je Wärmerohr)	gasförmig/gasf.	bis 650°C	nur in eingegrenztem T-bereich arbeitsfähig, schmutz- und feuchteempfindlich	-

Auch für den Bereich der **Wärmespeicher** lässt sich eine ähnliche Übersicht erzeugen. Eine Einordnung verschiedener Speichertechnologien kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

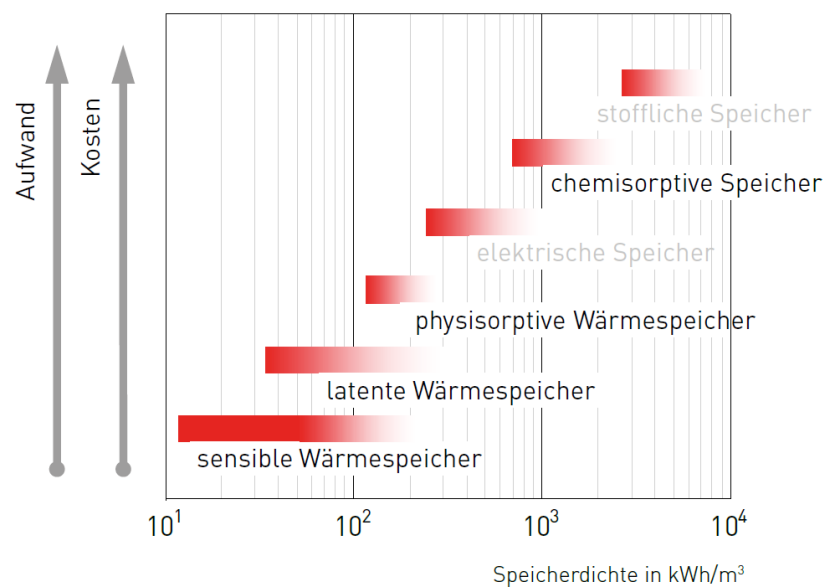


Abbildung 4-4: Übersicht Energiespeicherarten [Quelle: saena, 2016]

Tabelle 4-6: Übersicht Speicher und typische Kennzahlen [Quelle: saena, 2016]

	Sensible Wärmespeicher	Latente Wärmespeicher	Sorptive Wärmespeicher
Temperatur	bis >1.000°C	unter 0°C bis >400°C	bis >1.000°C
Speicherkapazität	bis >100 MWh	bis 2,5 MWh	bis 4,5 MWh
Größe	bis >10.000 m³	bis 17 m³	bis 50 m³
Leistung	>100 MW	-	bis 0,25 MW
Energiespeicherdichte	bis 100 kWh/m³	bis 150 kWh/m³	bis 185 kWh/m³
Kosten	-	10...50 €/kWh	8...100 €/kWh

5. Industrieller Wärmebedarf

Um das Abwärmenutzungspotenzial im NT-Bereich präziser einschätzen zu können, soll an dieser Stelle ein kurzer Überblick über den quantitativen industriellen Wärmebedarf gegeben werden. Für das Jahr 2009 ergibt sich eine Aufschlüsselung des industriellen Wärmebedarfs nach der folgenden Tabelle.

Tabelle 5-1: Aufschlüsselung industrieller Wärmebedarf für das Jahr 2009 in [TWh] [Schmitt, 2014].

Wirtschaftszweig (WZ 2008)	WW	RH	Prozesswärme				Summe	Anteil*
			<100°C	100 ..500°C	500 ..1000°C	>1000°C		
Nahrungs- und Futtermittel, Getränke (10/11)	0,3	8,3	11,8	14,6	0	0	35,0	7,5 %
Tabakverarbeitung (12)	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,0 %
Textilien (13)	0,1	1,2	2,0	0	0	0	3,3	0,7 %
Bekleidung (14)	0,0	0,1	0,2	0	0	0	0,3	0,1 %
Leder, Lederwaren und Schuhe (15)	0,0	0,1	0,2	0	0	0	0,3	0,1 %
Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (16)	0,0	0,3	1,5	0,4	0	0	2,1	0,5 %
Papier, Pappe und Waren daraus (17)	0,1	2,4	2,7	9,9	0	0	15,1	3,2 %
Druckerzeugnisse; Verflechtung von Ton-, Bild- und Datenträgern (18)	0,0	0,4	0,2	2,7	0	0	3,3	0,7 %
Chemische und pharmazeutische Erzeugnisse (20/21)	0,2	6,7	13,5	20,9	44,7	11,0	96,9	20,7 %
Gummi- und Kunststoffwaren (22)	0,1	1,6	0,9	3,5	0	0	6,1	1,3 %
Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (23)	0,1	3,5	1,2	1,8	26,9	55,8	89,3	19,0 %
Metallerzeugung und -bearbeitung (24)	0,2	4,4	0,9	2,7	31,5	123,5	163,1	34,8 %
Metallerzeugnisse (25)	0,9	6,3	2,3	1,8	1,0	2,4	14,8	3,2 %
Datenverarbeitungsgeräte, elektr. u opt. Erzeugnisse (26)	0,1	0,9	0,3	0,2	0,1	0,3	2,0	0,4 %
Elektrische Ausrüstungen (27)	0,3	2,4	0,9	1,1	0,3	0,8	5,8	1,2 %
Maschinenbau (28)	0,6	4,5	1,6	1,2	0,6	1,7	10,3	2,2 %
Kraftwagen und Kraftwagenteile (29)	1,0	7,3	2,7	2,0	1,0	2,8	16,8	3,6 %
Sonstiger Fahrzeugbau (30)	0,1	0,9	0,3	0,2	0,1	0,3	2,0	0,4 %
Möbel und sonstige Waren (31/32)	0,0	0,7	0,4	1,0	0,0	0,1	2,4	0,5 %
Summe	4,2	52,0	43,6	64,2	106,2	198,7	468,9	100 %
Anteil*	1 %	11 %	9 %	14 %	23 %	42 %	100 %	
Vergleichswerte**	5,7	49,4					473,7	

Insbesondere die Bereiche Warmwasser/Raumwärme sowie Prozesswärme auf einem Temperaturniveau von <100°C sind für den NT-Abwärmebereich von besonderer Relevanz. Gemäß der Aufschlüsselung weist der gesamte Wärmebedarf im Bereich der industriellen Raumwärme und Warmwasser mit einem Wärmebedarf von 56,2 TWh (202,3 PJ) einen Anteil von 12 % des gesamten Wärmebedarfs in der Industrie auf. Der zweite Bereich, welcher eine größere Relevanz für die NT-Abwärme aufweist, weist mit 43,6 TWh (156,9 PJ) etwa 9 % des gesamten Wärmebedarfs in der Industrie auf. Somit ergeben sich in Summe etwa 21 % des industriellen Wärmebedarfs (98,5 TWh bzw. 354,6 PJ) als grundsätzlich relevant für eine Abwärmenutzung im NT-Bereich.

Führt man diese Untersuchung ausschließlich für den Bereich der Fertigungstechnik² durch, so ergibt sich eine deutliche Verschiebung der relativen Anteile. Für den Bereich der Fertigungstechnik entfallen nach Tabelle 5-1 etwa 27 TWh (97 PJ) auf den Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser, was einem Anteil von etwa 46 % des Wärmebedarfs der Fertigungstechnik entspricht. Die Prozesswärmebedarf auf einem Temperaturniveau von <100°C wird auf etwa 10,5 TWh (38 PJ) beziffert, was etwa 18 % des Gesamtwärmebedarfs entspricht. Für die Fertigungstechnik zeigt sich entsprechend ein relativ hohes Potenzial für eine Abwärmenutzung im NT-Bereich. Ein potenziell erforderlicher Temperaturhub, um die Abwärme auf ein erforderliches Niveau zu bringen, kann

² Wirtschaftszweigklassifikationen 16, 22, 25 bis 30, 33

prinzipiell über den Einsatz einer Wärmepumpe realisiert werden. Allerdings können sich die jeweiligen Einsatzbereiche und Realisierungsformen der Prozesswärme, auch im Hinblick auf die Produkt- und Qualitätsanforderungen, teils erheblich voneinander unterscheiden, sodass allgemeingültige Aussagen erschwert werden. Dennoch sollte aufgrund des Potenzials im NT-Abwärmebereich sowie des Anteils der potenziellen Anwendungsfelder des NT-Prozesswärmebedarfs am Gesamtwärmebedarf eine intensive Auseinandersetzung mit den zugehörigen Fragestellungen nach Wärmequellen und geeigneten Wärmesenken angedacht werden. In diesem Zusammenhang sind insbesondere industrielle (werksinterne) Wärmenetze zu betrachten und z.B. hinsichtlich Temperaturniveau und Wärmeerzeugung bzw. Wärmeträger zu analysieren. Historisch gewachsene Versorgungs- und Infrastrukturen bedingen hierbei oftmals, dass ungeeignete Wärmeerzeugung und Wärmeträgermedien zum Einsatz kommen. Als Beispiel kann hierbei eine Versorgung durch Dampf auf hohem Temperaturniveau genannt werden, welche aufgrund der vorhandenen Infrastruktur einer Versorgung mittels Warmwasser (auf niedrigerem Temperaturniveau) entgegensteht.

6. Einspeisung in Wärmenetze

Neben werksinternen Wärmenetzen soll auch ein Blick auf die Abwärmenutzung im Kontext einer werksgrenzenübergreifenden (kommunalen) Wärmeversorgung, im Sinne von Nah-/Fernwärmenetzen im Quartier, geworfen werden. In diesem Fall stellt das betrachtete Industrieunternehmen eine Wärmequelle im Wärmenetz dar und wird als ein Teil in das (Quartiers-)Netz integriert. Vorab soll einleitend eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen einem Fern- und Nahwärmenetz aufgezeigt werden. Unterschiede sind insbesondere im VL-Temperaturniveau zwischen den beiden Netzen (Fernwärme: bis 130°C, Nahwärme: bis 90°C), im RL-Temperaturniveau (FW: 60-70°C, NW: 40-60°C) und Druckniveau (FW: 16-25 bar, NW: ca. 6 bar) auszumachen. [Quelle: LfU, 2008]

Nun soll ein kurzer Blick auf die Struktur der Wärmeversorgung in Deutschland geworfen werden. Nach einer Darstellung des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (bdew) besteht der Bestand an Wärmeerzeugern in Deutschland aus ca. 21 Mio. Wärmeerzeugern [Quelle: bdew, 2019]. Dieser Bestand setzt sich folgendermaßen zusammen.

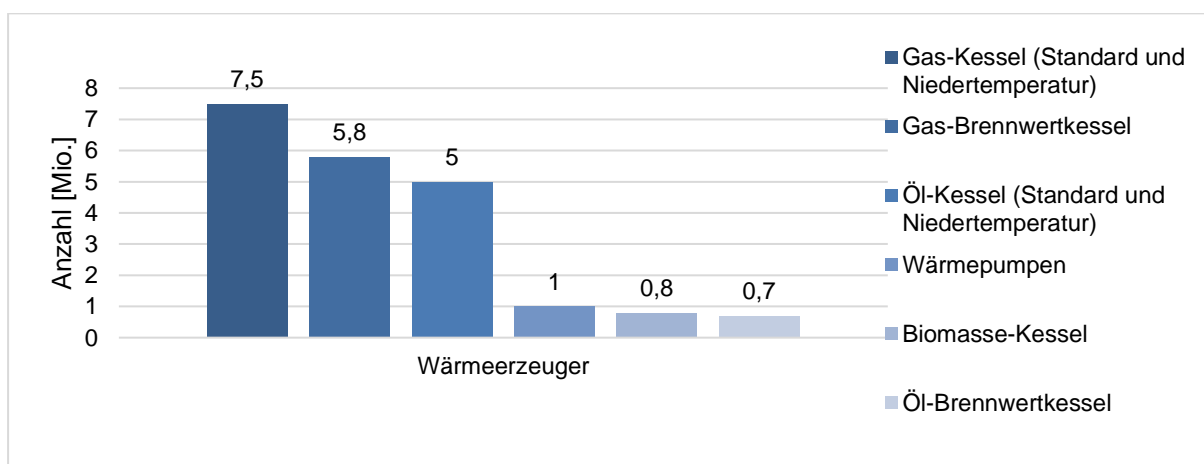


Abbildung 6-1: Bestand Wärmeerzeuger in Deutschland, Stand 2017 [Quelle: bdew, 2019]

Der zuvor dargestellte Bestand wird um zusätzliche Anlagen ergänzt (Stand 2017), welche ca. 2,3 Mio. solarthermische Anlagen, **ca. 5,8 Mio. fernwärmeversorgte Haushalte** und ca. 1,1 Mio. elektrische

Speicherheizungen sind. Der relative Anteil der einzelnen Erzeuger in Bezug auf die Versorgung der Wohnungen in Deutschland ist in Abbildung 6-2 dargestellt.

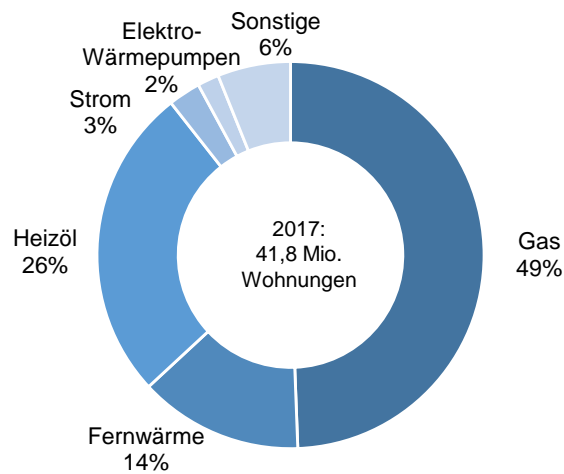


Abbildung 6-2: Relativer Anteil Wärmeerzeuger [Quelle: bdew, 2019]

Der Entwicklung des Fernwärmeabsatzes in Deutschland über die vergangenen Jahre ist grundsätzlich kein eindeutiger Trend zu entnehmen, tendenziell allerdings ein abnehmender Trend, welcher sich über alle drei Bereiche (Industrie, private Haushalte, Sonstige) bezieht (vgl. Abbildung 6-3).

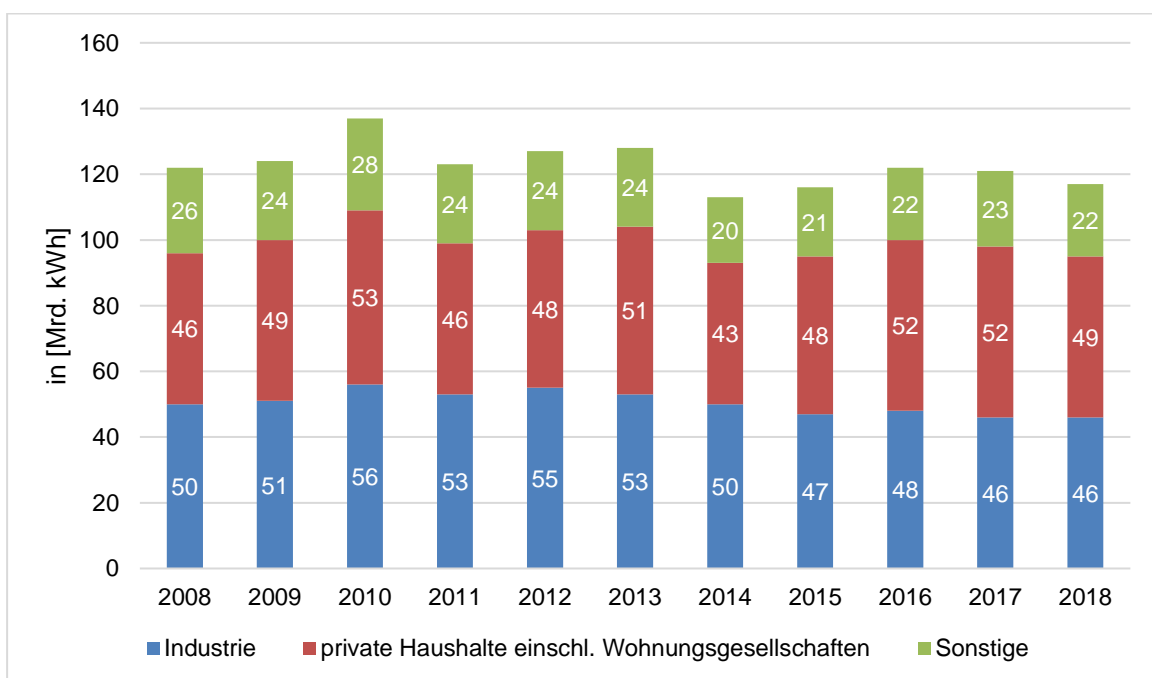


Abbildung 6-3: Entwicklung des Fernwärmeabsatzes in Deutschland [Quelle: bdew, 2019]

Eine tiefere Analyse des Anteils industrieller Abwärme bei der Wärmenetzeinspeisung zeigt Abbildung 6-4 für das Jahr 2014. Zu erkennen ist ein sehr geringer Anteil von 2 % der industriellen Abwärme an der übrigen Wärmenetzeinspeisung. Der geringe Anteil wird in der herangezogenen Studie einerseits durch zu große räumliche Entfernungen zwischen Abwärmequelle und Wärmeabnehmer und andererseits durch eine Diskrepanz zwischen Abwärmequelle und -senke, d.h. eine potenziell mangelhafte Versorgungssicherheit, begründet.

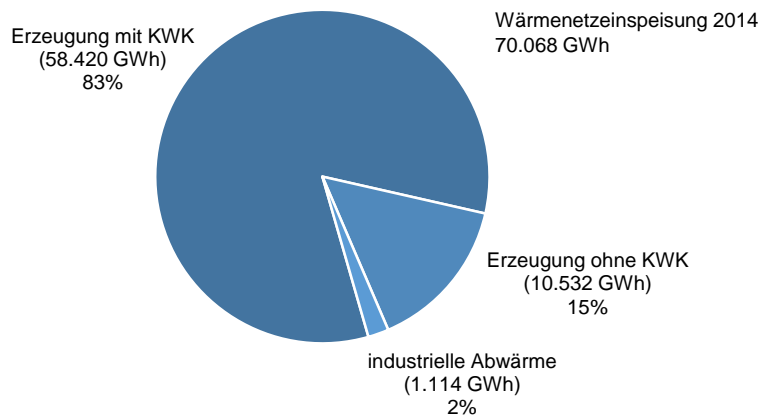


Abbildung 6-4: Anteile Wärmenetzeinspeisung [Quelle: Pfnür et al. (2016)]

Im Rahmen des EU-Projekts „SEnergies“ wird untersucht, welches Potenzial hinsichtlich der Einspeisung von Abwärme aus energieintensiven Industrien (Chemie, Eisen und Stahl, Zement, Glas, Papier, Raffinerien) in Fernwärmenetze europaweit existieren. Für Deutschland wird von 29 PJ (8,1 TWh) Industrieabwärme, welche höchstens zehn Kilometer von vorhandenen Fernwärmenetzen entfernt sind, berichtet. Diese Abwärme würde den Fernwärmebedarf in Deutschland zu ca. 7 % (vgl. Abbildung 6-3) decken [Quelle: Fraunhofer ISI, 2020].

Im europäischen Vergleich soll an dieser Stelle exemplarisch Schweden betrachtet werden, welches einen durchaus relevanten Teil der Fernwärmeversorgung über die Integration industrieller Abwärme realisiert. Im Jahre 2008 lag dieser Anteil bei etwa 11 %. Prinzipiell besitzt das Thema Fernwärme insbesondere in Schweden eine große Bedeutung, sodass Wohnungen und Geschäftsräume zu mehr als 50% mit Fernwärme versorgt werden, wobei Mehrfamilienhäuser sogar einen Anteil von 90 % aufweisen. Von den etwa 290 Gemeinden in Schweden verfügen ebenfalls etwa 90 % über ein lokales Fernwärmenetz [Quelle: Deutsch-Schwedische Handelskammer Stockholm, 2013].

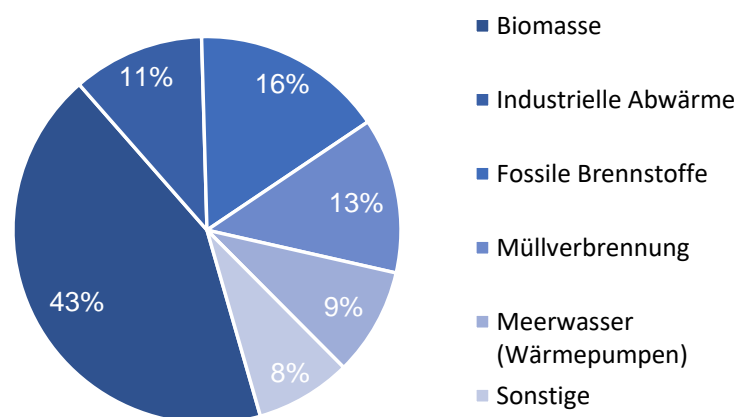


Abbildung 6-5: Verteilung der Wärmequellen im schwedischen Fernwärmenetz (Quelle: Brandstätter (2008))

Nach der kurzen, einleitenden Übersicht zu der Fern- bzw. Nahwärmestruktur in Deutschland, wird im nun folgenden auf den eigentlichen Hintergrund dieses Statuspapiers, der NT-Abwärmennutzung, eingegangen. Beginnend werden einige Musterbeispiele einer Integration von (NT-) Abwärme in ein

(Fern-) Wärmenetz dargestellt. Entsprechend dem zuvor aufgezeigten schwedischem Beispiel wird an dieser Stelle zuerst ein Beispiel aus Schweden aufgezeigt [Quelle: Brandstätter, 2008]

Fallbeispiel 1 – Zur Deckung von ca. 98 % des Fernwärmebedarfs der schwedischen Stadt Lindesberg wurde ein 18 km lange Fernwärmeleitung mit einer Übertragungsleistung von 20 MW gebaut, welche etwa 82.000 MWh an bereitgestellter Abwärme einer ansässigen Kartonfabrik nutzt. Die Abwärme (72°C) wird dabei mittels heißem Prozessdampf auf die VL-Temperatur des Fernwärmenetzes (86°C) gebracht. Insgesamt werden auf diese Weise 13.500 t CO₂/a eingespart.

Ein Ansatz, welcher die Erschließung weiterer Abwärmequellen in Schweden verfolgt, stellt das Konzept „Open District Heating“ dar. Innerhalb von diesem wird Abwärme von einem Netzbetreiber eingekauft und in ein Fernwärmenetz eingespeist. Haupt-Abwärmequellen sind Rechenzentren und Supermärkte [Quelle: Clausen/Beucker, 2019]. Die Übertragbarkeit der schwedischen Ansätze auf andere Länder wird hierbei als realistisch angesehen.

Fallbeispiel 2 – Auch in Deutschland können große (Pilot-) Projekte identifiziert werden. Beispielsweise in der Kooperation zwischen der Mineralölraffinerie Oberrhein (MiRO) und der Stadtwerke Karlsruhe. Hierbei wird nicht nutzbare Prozessabwärme auf einem Temperaturniveau von 120°C für die lokale Fernwärmeversorgung genutzt, wodurch die MiRO den größten Fernwärmelieferant in Karlsruhe darstellt [Quelle: Stadtwerke Karlsruhe, 2019]. Am Beispiel Karlsruhe ist somit zu sehen, wie bis zu 43.000 Haushalte durch die Einspeisung industrieller (NT-) Abwärme in das Fernwärmenetz versorgt werden können. Insgesamt werden etwa 100.000 t CO₂ durch die Abwärmennutzung vermieden [Quelle: Pfnür et al. (2016)].

Fallbeispiel 3 – Als ein weiteres Praxisbeispiel aus Deutschland kann die Abwärmennutzung einer Gelatinefabrik auf einem relativ geringen Temperaturniveau aufgezeigt werden. Hierbei wird mittels einer Gaswärmepumpe das 30°C warme Kühlturmwater für Heizzwecke nutzbar gemacht, sodass diese NT-Abwärme zur Grundlastversorgung einer Schule mit Schwimmbad, eines Verwaltungsgebäudes mit Lagerräumen, eines Bauhofs sowie mehrerer Mehrfamilienhäusern dient. Insgesamt werden auf diese Weise etwa 350 t CO₂/a eingespart.

Fallbeispiel 4 – Ein weiteres Beispiel aus dem Bereich der NT-Abwärme in Deutschland stellt die Grundlastversorgung eines Freizeitbads über die Abwärmennutzung aus einem Walzwerk dar. Dabei wird die Abwärme auf einem Temperaturniveau von ca. 45 bis 50°C genutzt und mittels einer Wärmepumpe auf ein nutzbares Niveau gebracht. Der Transport der Wärme erfolgt über eine ca. 700 m lange Leitung. Insgesamt kann auf diese Weise eine Reduzierung von etwa 700 t CO₂/a erreicht werden.

Fallbeispiel 5 – Auch im bayerischen Meitingen erfolgte ein Projekt zur Wärmeversorgung einer Neubausiedlung mittels der kühlwassergebundenen, industriellen Abwärme auf einem Temperaturniveau von 30°C. Wie in den weiteren Projekten wird auch hier über dezentrale Wärmepumpen das in der Wohneinheit benötigte Temperaturniveau ermöglicht. Insgesamt werden auf diese Weise etwa 900.000 kWh bzw. ca. 200 t CO₂ pro Jahr eingespart.

Ein Temperaturniveau im Bereich der zuvor genannten Fallbeispiele ist in dem industriellen Kontext häufig zu finden. Eine Abschätzung der potenziell nutzbaren Energiemenge, welche in industriellen Kühlwässern gebunden ist, kann allerdings nur eingeschränkt erfolgen. Die Datengrundlage sowohl des Anlagenbestandes als auch des Energiebedarfs, über welchen indirekt eine qualitative Einschätzung der Kühlleistung getroffen werden könnte, weist große Unsicherheiten auf (vgl. Statuspapier Kühl- und Kältetechnik). Dennoch wird das Potenzial als sehr groß eingeschätzt.

Im Zusammenhang mit den zuvor dargestellten VL-Temperaturen der verschiedenen Netze sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass neuere Netze bzw. Gebäude bereits mit einem geringeren VL-Temperaturniveau versorgt werden können, was die Netz-VL-Temperatur verringert und eine breitere Integration von Abwärme ermöglicht [Quelle: Brandstätter, 2008]. Darüber hinaus sei zudem darauf hingewiesen, dass die Einspeisung von Abwärme auch über eine Rücklauf Temperaturanhebung erfolgen kann, sofern die Abwärme unterhalb der Netz-VL-Temperatur liegt. So kann auch Abwärme auf einem Temperaturniveau zwischen 20 und 45°C bzw. bis z.B. 80°C in Fernwärmenetzen durchaus für diesen Zweck verwendet werden.

Darüber hinaus ist im Falle eines geringen Temperaturniveaus auch über „kalte Nahwärmenetze“ (LowEx-Konzept) nachzudenken, welche eine VL-Temperatur von etwa 10 bis 25°C besitzen. Auf diese Weise werden Wärmeverluste im Netz verringert und zudem ermöglicht, dass auch Abwärme mit einem geringen Temperaturniveau in das Netz eingespeist werden kann. Die erforderliche Nutztemperatur bei dem Wärmeabnehmer wird über den Einsatz von Wärmepumpen realisiert. Die ganzjährig konstante Temperatur der Wärmepumpenwärmequelle wirkt sich positiv auf den coefficient-of-performance (COP) bzw. Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe aus. Bzgl. des Ansatzes eines „kalten Nahwärmenetzes“ wird allerdings auf den noch herrschenden Forschungs- und Evaluationsbedarf hingewiesen [Quelle: König et al., 2018]. Erneut kann in diesem Zusammenhang auf skandinavische Länder verwiesen werden, welche LowEx-Konzepte bereits seit einigen Jahren einsetzen [Quelle: Maaß et al, 2015].

Bei der Untersuchung der Einspeisung von Abwärme in ein (kaltes) Nahwärmenetz mit geringeren VL-Temperaturen sind nicht nur industrielle Abwärmequellen zu berücksichtigen. In dem zuvor beschriebenen Konzept des „Open District Heating“ in Schweden stellen einerseits Supermärkte als auch Rechenzentren relevante Wärmequellen dar. Der folgenden Tabelle kann ein grober Richtwert der in Deutschland installierten Kältesysteme innerhalb verschiedener Einsatzgebiete entnommen werden. Über die Anzahl der installierten Kältesysteme kann indirekt auf das Potenzial vorhandener Wärmequellen geschlossen werden.

Tabelle 6-1: Anzahl Kältesysteme ausgewählter Einsatzbereiche, Jahr 2017 [Preuß, 2019]

Einsatzgebiet	Anzahl der Kältesysteme
Steckerfertige Kühlmöbel Supermärkte	380.500
Zentrale Kälteanlagen (Montagesysteme)	36.490
Industriekälte	626.906
Medizin	437.400

Darüber hinaus wird für das Jahr 2009 von einem Bestand aus 750 gewerblichen und betrieblichen Kühlhäusern in Deutschland ausgegangen, wovon etwa 300 gewerbliche Kühlhäuser darstellen [Quelle: Weillhart, o.J.].

Auch hinsichtlich der Rechenzentren soll an dieser Stelle ein Vergleich unternommen werden. Denn auch in Deutschland existiert im Bereich der Rechenzentren ein großer Energie- und damit Kühlbedarf (siehe Statuspapier zur Kühl-/Kältetechnik). Nach Schätzung existieren in Deutschland derzeit etwa 50.000 Rechenzentren mit einer Größe von bis zu 100 m² mit einem Trend hin zu großen Rechenzentren

[Quelle: Hintemann et al., 2018]. Die Schätzung geht von einem Bau von etwa 20 neuer Rechenzentren mit einer Größe von mehr als 5.000 m² in Deutschland aus.

Tabelle 6-2: Anzahl Rechenzentren in Deutschland nach Kategorie [Quelle: Hintemann, 2017]

Rechenzentrumskategorie	Anzahl der Rechenzentren in Deutschland		
	2007	2013	2017
Serverschrank (3-10 m ²)	33.700	30.500	30.500
Serverraum (11-100 m ²)	18.100	18.100	19.900
Kleines Rechenzentrum (101-500 m ²)	1.700	2.150	2.500
Mittleres Rechenzentrum (501-5.000 m ²)	210	280	330
Großes Rechenzentrum (über 5.000 m ²)	45	70	90

Eine Befragung unter 66 Betreibern zu ergriffenen Energieeffizienzmaßnahmen ergab, dass sich der überwiegende Anteil auf den Server selbst und die Kühlung/Klimatisierung/Lüftung bezog. Etwa 30 % der Befragten gaben an Effizienzmaßnahmen im Bereich der Abwärmenutzung ergriffen zu haben. Gleichzeitig sehen etwa 50 % mittlere bis sehr hohe Einsparpotenziale durch eine Abwärmenutzung. Als (bisherige) Gründe gegen eine Abwärmenutzung werden einerseits wirtschaftliche Gründe genannt, andererseits aber auch keine geeigneten Wärmesenken gesehen [Hintemann et al., 2018].

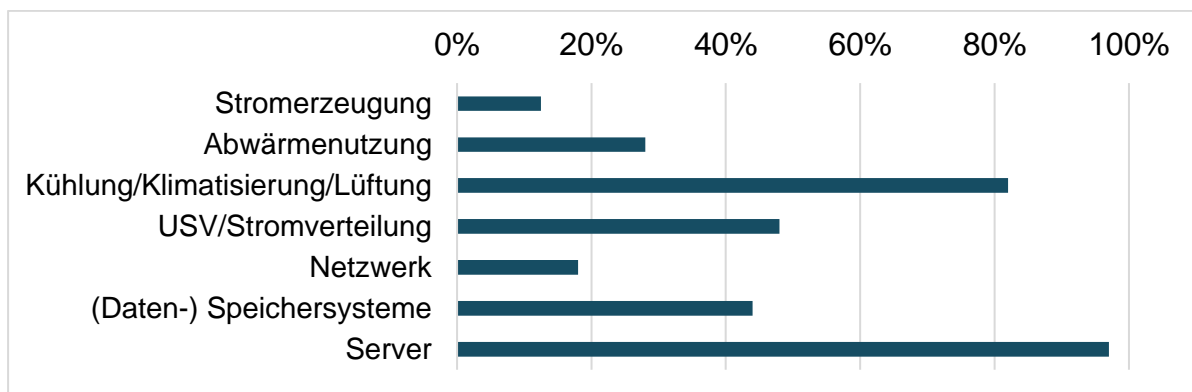


Abbildung 6-6: Bereits ergriffene Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz (Befragungsergebnis) [Hintemann et al., 2018]

Auch an dieser Stelle kann das Beispiel Schweden aufgezeigt werden, welchen neben der Nutzung industrieller Abwärme ebenso erfolgreich bei der Abwärmenutzung aus Rechenzentren agiert und diese systematisch in Fernwärmenetze einspeist [Quelle: Hintemann, 2017]. In diesem Zusammenhang wird von zwei Varianten berichtet, welche einerseits die unmittelbare Abwärmenutzung der Fernwärme-/Energieversorger darstellt und andererseits die Temperaturniveausteigerung mittels Wärmepumpen durch die Rechenzentrumsbetreiber mit anschließendem Verkauf der Wärme an die Fernwärme-/Energieversorger. Das Beispiel Schweden zeigt den erfolgreichen Ansatz der Modelle unter Ausnutzung der günstigen (politischen) Rahmenbedingungen.

7. Empfehlung Forschung und Entwicklung

Bereits die Betrachtung der Potenzialabschätzung deutet die unterschiedliche Auffassung des real existierenden Potenzials an. Je nach betrachtetem T-Niveau bzw. der Einschätzung bzgl. theoretischer und technischer Umsetzbarkeit ergeben sich hierbei unterschiedliche Potenziale. Entsprechend der unterschiedlichen Potenzialabschätzung kommt ein Kurzgutachten (bzgl. strategischer Optionen zur Dekarbonisierung und effizienten Nutzung von Prozesswärme und -kälte) trotz der zuvor aufgeführten, verfügbaren Datengrundlage zum Ergebnis, dass eine **aussagekräftige Potenzialbestimmung der NT-Abwärme (T-Niveau 20-60°C) in Deutschland nicht vorliegt** [Maaß et al., 2018]. Dies wird z.B. mit der Vielfältigkeit der vorhandenen Quellen begründet. Weiterhin kommt das Kurzgutachten zum Ergebnis, dass **NT-Abwärme zum Zeitpunkt des Gutachtens sowohl nur in geringem Maße erfasst sowie genutzt wird**. Das Potenzial der NT-Abwärme wird als sehr bedeutend im Vergleich zu dem Potenzial der „klassischen“ Abwärme angesehen. In diesem Zusammenhang werden z.B. interne Kühlkreisläufe als Beispiel herangezogen, welche sich mit einer Temperatur von 25-40°C gut als Wärmequelle für Wärmepumpen anbieten. Diese Thematik und Fragestellungen wurden bereits vorab angedeutet, indem der bedeutende Anteil der NT-Wärmebedarfe am Gesamtbedarf aufgezeigt wurde und die potenziell lohnende Bemühungen in diesem Bereich Optimierungsansätze abzuleiten.

Prinzipiell finden sich Aussagen zur Nutzung und Potenzial von in Kühlwasser gebundener Abwärme ebenfalls nur in geringem Maße. Dies zeigt auch die geringe Anzahl an Unternehmen, welche im Rahmen der Abwärmeatlanten der Bundesländer in diese Kategorie berichten. Auch die betrachtete Dissertation aus dem Jahre 2016 bezieht sich ausdrücklich nur auf Abgasströme und keine alternativen Abwärmequellen wie Abwässer oder Kühlwasser.

Einzelne Veröffentlichungen geben konkrete Empfehlungen hinsichtlich weiterer (Forschungs-) Arbeiten und Schwerpunkte. So nennt *Brückner* in ihrer Dissertation die Empfehlungen

- **Aufschlüsselung des Abwärmeangebots und Wärmebedarfs nach räumlichen Aspekten unter Berücksichtigung der maximal möglichen Transportdistanz**
- **Fokus auf Absenkung der Investitionskosten der Technologien zur Abwärmenutzung**
- **Untersuchung der Abgaszusammensetzungen**
- **Abgleich der angegebenen Emissionsdaten mit den realen Werten (breit angelegte Studie mit verschiedenen Fallstudien in jedem Sektor notwendig)**
- **Untersuchung der Entwicklung der Abwärmemengen (Zeitreihe entwickeln für Auskunft über Entwicklung des T-Niveaus der Abwärme über die Zeit)**
- **Dauer der Emissionen**

Insbesondere im NT-Bereich wird sowohl das Potenzial als auch die Unsicherheit hinsichtlich der Datengrundlagen als hoch eingeschätzt, woraus gleichzeitig eine geringe Aussagekraft resultiert, sodass sich hieraus ein weiterer Untersuchungsbereich ergibt. Im Gegensatz zu dem sich bietenden Potenzial einer NT-Abwärmenutzung, wird diese nur in geringem Maße erfasst und genutzt.

Der Themenbereich zur Identifikation von (nutzbarer) NT-Abwärme geht gleichzeitig auch einher mit dem Themenbereich der Nutzbarmachung der NT-Abwärme. Dies kann einerseits aus der Perspektive der Nutzbarmachung innerhalb bestehender Prozesse und Strukturen (bestehende NT-Wärmesenken) erfolgen. Andererseits kann dies auch aus der Perspektive der Ertüchtigung bestehender Prozesse und Strukturen (z.B. Temperaturniveauabsenkungen) zur Nutzbarmachung von NT-Abwärme (neu zu erschließende NT-Wärmesenken) erfolgen.

Ein erster Schritt zur Schaffung der dargestellten Transparenz stellen die Wärmeatlanten auf Länderebene dar. Diese liegen allerdings nur für wenige Bundesländer vor und unterscheiden sich grundlegend in der Information, welche den verfügbaren Daten entnommen werden kann. Eine **einheitliche, bundesweite Regelung wäre in diesem Zusammenhang durchaus zielführend**. Als erste, gute Orientierungsmöglichkeit können die Wärmeatlanten für Bayern und NRW herangezogen werden.

Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) erweitert in einer Empfehlung eine solche (bundesweite und -einheitliche) Übersicht um die **Forcierung und Erstellung von kommunalen und regionalen Wärmeplänen** [Quelle: Uthoff, 2019]. Bzgl. einer systematischen Datenerfassung empfiehlt der AGFW die Erhebung von Abwärmepotenzialen im Rahmen von Zertifizierungen (z.B. ISO 50001, EMAS) als Kriterium aufzunehmen und eine Datenerfassung bei zertifizierten Unternehmen zu beginnen. Weiterhin könnte die kontinuierliche Datenerhebung zur BImSchV um Abwärme-relevante Daten erweitert werden, wodurch eine Analyse wie von *Brückner* durchgeführt, weitere Aussagekraft erlangen würde.

Im Zusammenhang mit den dargestellten erfolgreichen Praxisbeispielen stellen die **LowEx-Netze** ein interessantes Themenfeld potenzieller F&E-Inhalte dar, welche wie dargestellt noch Bedarf für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufweisen. Wird der Begriff Wärmenetz weiter gefasst, bietet sich insbesondere im Vergleich zu skandinavischen Ländern wie Schweden ein Potenzial vermehrt **Abwärmequellen in die Fernwärmeversorgung zu integrieren**. In diesem Kontext ist es zielführend eine Analyse geographischer Gegebenheiten vorzunehmen und Wärmenetzstrukturen z.B. hinsichtlich Rechenzentren oder Supermärkte/Kühlhäuser mit ganzjährigem Kühlbedarf (und damit Abwärme) zu betrachten. Darüber hinaus sind auch Industriestandorte systematisch zu analysieren. Auch im Hinblick auf werksinterne Wärmenetze, welche z.B. auf Temperaturniveaus und die Art der Wärmeerzeugung und Verteilung (Infrastruktur) hin untersucht werden sollten. Wie dargestellt, geht es hierbei beispielsweise um (ungeeignete) Dampfversorgungsstrukturen, an deren Stelle auch eine NT-Wärmeversorgung mittels Wasser möglich wäre. U.a. Fragestellungen der Wärmeerzeugung, Wärmeträgermedien und Wärmeübertragung sind in diesem Zusammenhang zu adressieren. Daher wird an dieser Stelle ein Untersuchungs- bzw. Optimierungspotenzial hinsichtlich zentraler Wärmenetze in diesem Kontext gesehen und sollte ebenfalls Teil zukünftiger F&E-Aktivitäten sein.

Im Rahmen der Projektarbeit wurde für den Themenbereich ein Forschungsimpuls im Sinne eines Quick Scans ausgearbeitet.

8. Literaturverzeichnis

Aydemir, A.; Doderer, H.; Hoppe, F.; Braungardt, S. (2019): Abwärmenutzung in Unternehmen. Studie für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung unterstützt durch Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V. (IKEM), Becker Büttner Held Consulting AG und Öko-Institut e.V.

Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU (Hrsg.) (2008): Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen. Augsburg.

Blesl, M.; Kessler, A. (2017): Energieeffizienz in der Industrie. Berlin

Blömer, S.; Götz, C.; Pehnt, M.; Hering, D.; Ochse, S.; Hespeler, S.; Richter, S.; Thomassen, P.; Grytsch, G.; Zopff, C.; Jäger, S.; Huber, B. (2019): EnEff:Wärme – netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA). Schlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Förderkennzeichen 03ET1302A und B. Heidelberg.

Brandstätter, Dr. R. (2008): Industrielle Abwärmenutzung – Beispiele & Technologien. Amt der Oö. Landesregierung – Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft – Abteilung Umweltschutz (Hrsg.). Linz.

Brückner, S. (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland. Bestimmung von gesichertem Aufkommen und technischer bzw. wirtschaftlicher Nutzbarkeit. Dissertation. Technische Universität München.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. BDEW (2019): Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland. Foliensatz zur BDEW-Publikation. Berlin

Clausen, J.; Beucker, S. (2019): Verbreitung radikaler Systeminnovationen – Fallbeispiel Wärmeversorgung Schweden. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Berlin.

Deutsch-Schwedische Handelskammer Stockholm (Hrsg.) (2013): Zielmarktanalyse Schweden mit Profilen der Marktakteure „Erneuerbare Energien in Gebäuden: Kleinanlagen“. Stockholm.

Fraunhofer ISI (2020): Industrielle Abwärme für Fernwärme: Datenbank zeigt große Potenziale für Versorgung von Haushalten. Presseinformation. Link: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2020/presseinfo-12-industrielle-abwaerme-fernwaerme.html>

Hintemann, R. (2017): Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Berlin.

Hintemann, R.; Beucker, S.; Hinterholzer, S. (2018): Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland: Weltweit führend oder längst abgehängt. Kurzfassung Studie. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Berlin.

Hirzel, S.; Sontag, B.; Rohde, C. (2013): Industrielle Abwärmenutzung. Kurzstudie. Fraunhofer-institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe.

König, J.; Sommer, M.; Groß, B.; Hoffmann, P.; Winkler, M.; Bach, d.; Bartholomé, K.; Guss, H.; Heuer, J.; Luxenburger, M.; Noll, F.; Pernau, H.-F.; Tänzer, G.; Schäfer-Welsen, O. (2018): Erhebung, Abschätzung und Evaluierung von industrieller Abwärme in Deutschland – Potenziale und Forschungsbedarf. Abschlussbericht. Förderkennzeichen 03ET1208. Freiburg.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (Hrsg.) (2019): Potenzialstudie Industrielle Abwärme. LANUV-Fachbericht 96. Recklinghausen.

Maaß, C.; Sandrock, Dr. M.; Fuß, G. (2018): Strategische Optionen zur Dekarbonisierung und effizienten Nutzung der Prozesswärme und -kälte. Kurzgutachten. Hamburg Institut.

Maaß, C.; Sandrock, M.; Schaeffer, R. (2015): Fernwärme 3.0 – Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik. Studie. HIR Hamburg Institut Research gGmbH. Hamburg.

Pehnt, Dr. M.; Bödeker, J.; Arens, M.; Jochem, Prof. Dr. E.; Idrissova, F. (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“. Förderkennzeichen: 03KSW016A und B. Heidelberg, Karlsruhe.

Pfnür, A.; Winiewska, B.; Mailach, B.; Oschatz, B. (2016): Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt. Vergleichende Studie aus energetischer und ökonomischer Sicht. Darmstadt, Dresden.

Preuß, Guntram (2019), Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017. VDMA Allgemeine Lufttechnik, Frankfurt

Sächsische Energieagentur SAENA GmbH (Hrsg.) (2016): Technologien der Abwärmenutzung. Dresden

Schmitt, B. (2014): Integration thermischer Solaranlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme in Industriebetrieben. Dissertation. Universität Kassel.

Stadwerke Karlsruhe GmbH – Referat Umweltschutz (Hrsg.) (2019): Umwelterklärung 2019 mit Klimareport und Energiebericht. Karlsruhe.

Uthoff, F. (2019): AGFW-Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Wärmeversorgung. Vortrag im Rahmen der 5. BMU-Fachtagung „Klimaschutz durch Abwärmenutzung“. Berlin.

Weilhart, M. (o.J.): Moderne Kühlhäuser – Technik zur Erhaltung der Qualität bei Plus- und Minustemperaturen. Vortrag. Link: <https://www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt10/weilhart/inhalt.htm/#1>