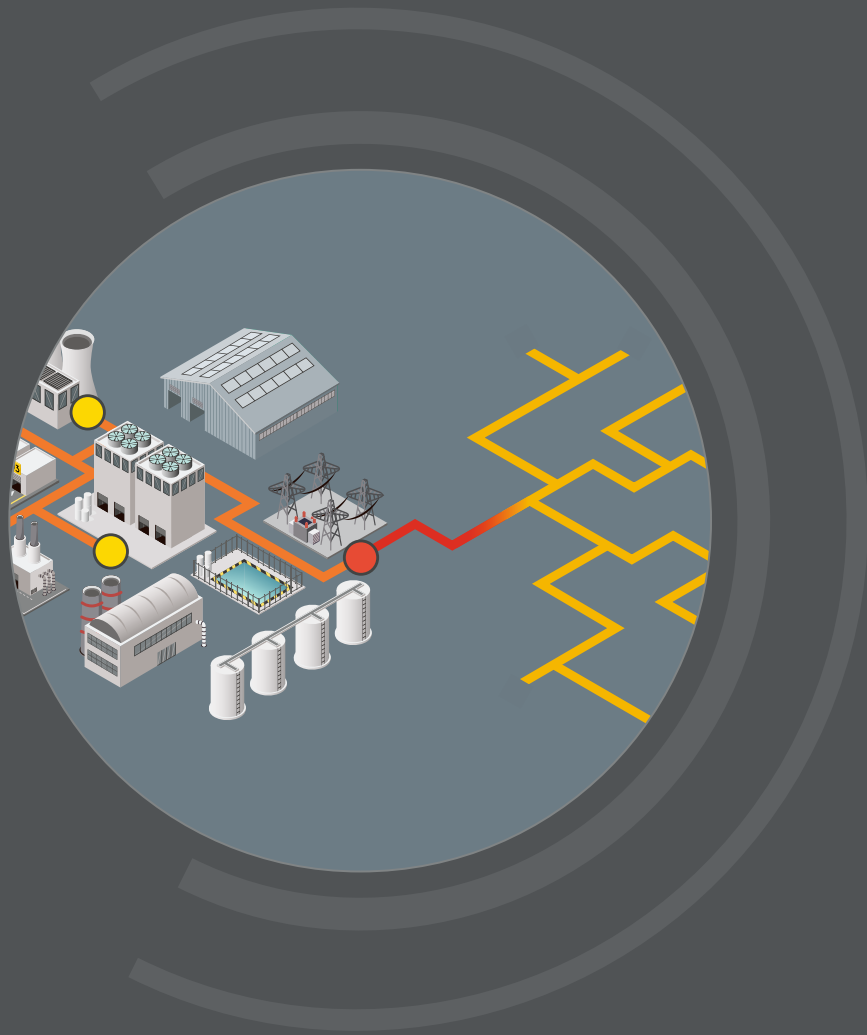


Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung



Ein Leitfaden des AGFW | Der Energieeffizienzverband
für Wärme, Kälte und KWK e. V.

Impressum

Hauptverantwortliche

Dr. Susanne Stark
Stadtwerke Düsseldorf AG
Leiterin Energiewirtschaftliche Projekte,
Konzepte, Studien
Telefon: +49 211 821 2496
E-Mail: sstark@swd-ag.de

Felix Uthoff
AGFW e.V.
Referent für Energiewirtschaft und Politik
Telefon: +49 69 6304-211
E-Mail: f.uthoff@agfw.de

John A. Miller
AGFW e.V.
Stellvertretender Geschäftsführer
Bereichsleiter Energiewirtschaft und Politik
Telefon: +49 69 6304-352
E-Mail: j.miller@agfw.de

Frankfurt am Main, November 2020

Herausgeber

AGFW | Der Energieeffizienzverband für
Wärme, Kälte und KWK e.V.
Stresemannallee 30, 60596 Frankfurt am Main
Postfach 700108, 60551 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6304-1
Telefax: +49 69 6304-391
E-Mail: info@agfw.de
Internet: www.agfw.de

Der AGFW fördert als unabhängiger, neutraler und leistungsstarker Energieeffizienzverband seit 50 Jahren die Entwicklung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien, der Fernwärme-, Kälteversorgung sowie Speicherung aller Größenordnungen auf nationaler und internationaler Ebene.

Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung

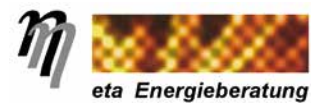
Inhalt und Struktur

6		Herzlichen Dank
9		Vorwort „Abwärme in Deutschland“
10		Management Summary
12	1	Abwärme – eine unverzichtbare Option für die Wärmewende
12	1.1	Vorteile der Abwärmenutzung
14	1.2	Bewertung des CO ₂ -Gehaltes von Abwärme
14	1.3	Lock-in-Effekte der Abwärmenutzung
15	1.4	Fernwärmenetze – Baustein für eine erfolgreiche Wärmewende und Voraussetzung zur externen Abwärmenutzung
17	2	Rahmenbedingungen der Abwärmenutzung und ihre Potenziale
18	2.1	Abwärme richtig definieren
19	2.2	Potenziale der Abwärme
21	2.2.1	Potenzialerhebung Abwärmenutzung bis 2050
22	2.2.2	Potenziale neuer Wärmeerzeugungstechniken in Wärmenetzen
24	3	Chancen der Abwärmenutzung für Unternehmen und Wärmenetzbetreiber
24	3.1	Situation für Wärmenetzbetreiber (Wärmesenken)
27	3.2	Sichtweise einspeisender Industrieunternehmen (Wärmequellen)
28		Exkurs: DIN EN ISO 50001:2018-12
30	3.3	Herkunft, Qualität und Wert
31	3.3.1	Industrielle Abwärme
35	3.3.2	Dienstleistungssektor
40	3.3.3	Abwärme aus Rechenzentren
40	3.3.4	Abwärme aus Abwasser
41	3.4	Integration von Abwärme in Wärmenetze
42	3.4.1	Allgemeine Bedingungen zur Integration von Abwärme
45	3.4.2	Zusammenhang von Abwärme- und Netztemperatur
45		Exkurs: Temperaturerhöhung
48	3.4.3	Netzhydraulik und technische Anschlussbedingungen
50	3.4.4	Erfolgsfaktoren der Netzintegration
52	3.5	Umsetzungsschritte Abwärmeprojekte: Entscheidungsphase
52	3.5.1	Projektdefinition und -initiierung
52	3.5.2	Technische und wirtschaftliche Bewertung
53	3.5.3	Vorüberlegungen zu Rollen und Zusammenarbeit
54	3.6	Umsetzungsschritte Abwärmeprojekte
54	3.6.1	Genehmigung
58	3.6.2	Preisgestaltung
63	3.6.3	Liefer- und Geschäftsmodelle
65	3.6.4	Vertragsgestaltung

68	4	Geeignete Rahmenbedingungen zur Erschließung der nutzbaren Abwärmepotenziale
68	4.1	Politik und Gesetzgebung
71	4.2	Planungsrecht
71	4.3	Fördermittel
73	4.4	Ordnungsrecht
75	5	Zusammenfassende Forderungen zur verbesserten Nutzung von Abwärme
76	6	Zusätzliche Detailuntersuchungen
76	6.1	Untersuchung: Lock-in-Effekte und zukünftiges Vorkommen bei Prozess umstellungen
76	6.1.1	Low-Carbon-Breakthrough-Technologien (LCBTT)
78	6.1.2	Szenarienanalyse für ein weitgehend dekarbonisiertes Energiesystem
79	6.1.3	Power-to-Heat als Absicherungsstrategie gegen das Ausfallrisiko
80	6.2	Untersuchung: Potenzialerhebungen
84	6.2.1	Übergeordnete Statistiken
84	6.2.2	Emissionserklärungen, Schadstoffregister
88	6.2.3	Erhebung von Abwärmepotenzialen auf Länderebene
90	6.2.4	Erhebung von Abwärmepotenzialen auf Unternehmensebene (Bottom-Up)
92	6.2.5	Hinweis zu Potenzialeerhebungen
93		Literatur
97		Abbildungsverzeichnis
98		Tabellenverzeichnis

Herzlichen Dank

Für die großartige Unterstützung bei der Erstellung des Leitfadens danken wir allen Unternehmen, Instituten, Ministerien und Landesbehörden, die in unseren gemeinsamen Sitzungen ihr Know-how und ihre Arbeitskraft unentgeltlich zur Verfügung gestellt haben.



Autor*innen und Unterstützer*innen:

Sebastian Blöhmer

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH

Stephan von Bothmer

UHRIG Energie GmbH

Dipl.-Ing. Achim Braun

STAWAG, Stadtwerke Aachen Aktiengesellschaft

Dr. Sarah Brückner

Nils Dering

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Dr.-Ing. Matthias Dienhart

RheinEnergie AG

Patrick Hoffmann

IZES gGmbH – Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme

Harald Höflich

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Franz-W. Iven

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW

Olaf Kebschull

enable energy solutions GmbH

Knut Schrader

BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH

Armin Kraft

EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH

Dr.-Ing. habil. Rutger Kretschmer

DREWAG – Stadtwerke Dresden GmbH

Stefan Lochmüller

N-ERGIE Aktiengesellschaft

Birger Ober

Vattenfall Wärme Berlin AG

Dr. Max Peters

KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH

Bernd Preißendörfer

Grosskraftwerk Mannheim

Dipl.-Betriebsw. (FH) Benjamin Richter

Rödl GmbH

Dipl.-Ing. Volkmar Schäfer

eta Energieberatung GmbH

Stefan Scheloske

energycity AG

Lasse Schneppenheim

Sustainable Digital Infrastructure Alliance e. V.

Rainer Schnur

gian GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Olaf Schöppenthau

ERN – Energiedienstleistungen Rhein-Neckar GmbH

Dipl.-Ing. Dietmar Schüwer

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Dr. Susanne Stark

Stadtwerke Düsseldorf AG

Vorwort „Abwärme in Deutschland“

Die Energiewende ist nur dann erfolgreich, wenn sie im Wärmemarkt gelingt. Die Bundesregierung hat diese Notwendigkeit erkannt und die Klimaschutzziele für die Jahre 2030 und 2050 dahingehend ausgerichtet. Dabei spielen Wärmenetze zukünftig eine maßgebliche Rolle: Sie sind Infrastruktur und System zugleich und bieten, insbesondere im urbanen Raum, die Basis für eine dekarbonisierte, nachhaltige Wärmeversorgung.

Vor diesem Hintergrund hat sich der AGFW-Expertenkreis „Energiewirtschaft Deutschland“ im Jahr 2017 die Aufgabe gestellt, Ansätze und Maßnahmen für eine Dekarbonisierung und „Vergrünung“ der Fernwärme systematisch zu entwickeln und auf ihre Verwendung in Fern- und Nahwärmesystemen zu überprüfen.

Der Fokus der Betrachtung liegt bei der Ermittlung von Abwärmepotenzialen. Abwärme wird heute vielfach ungenutzt in die Umwelt abgegeben. Dabei könnte sie einen erheblichen Beitrag zur Senkung von CO₂-Emissionen über eine Einspeisung in Wärmenetzsysteme beisteuern. Abwärme kann entweder zur Substitution oder Ergänzung von bestehender konventioneller Erzeugung oder für den CO₂-freien Ausbau eines Wärmenetzes bzw. den Neuanschluss von Wärmekunden genutzt werden. Zudem bieten sich insbesondere Wärmenetzsysteme für die Nutzung von Abwärme an, da diese im Gegensatz zur Objektversorgung nicht nur mit einer einzigen Wärmequelle funktionieren, sondern viele unterschiedliche Wärmequellen mit einbinden können.

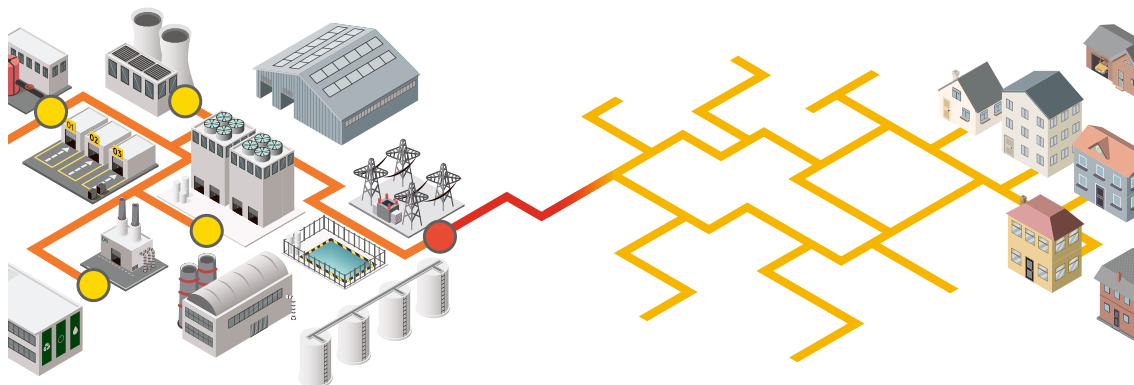
Um die Potenziale dieser Kombination von Wärmenetzsystem und Abwärme zu untersuchen und einen praktischen Leitfaden zu entwickeln, wurde ein gesonderter AGFW-Projektkreis „Abwärme“ gegründet. Dieser besteht aus Expertinnen und Experten von Versorgungsunternehmen und Verbänden, Akteuren der Abwärme liefernden Unternehmen, Forschungsinstituten, Behörden, Ministerien und Agenturen der Bundesländer sowie Beratungsunternehmen. Für die Realisierung erfolgreicher Abwärmeprojekte müssen Unternehmen ganz unterschiedlicher Branchen kooperieren, auf der Grundlage bestehender Verordnungen und Rahmenbedingungen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass es hierbei zahlreiche Hürden gibt.

Ziel des Leitfadens ist es, die unterschiedlichen Stakeholder bei der Überwindung der Hürden und Hemmnisse zu unterstützen und die Politik bei der Schaffung von geeigneten Rahmenbedingungen zu beraten.

Die Arbeit des erweiterten Projektkreises startete 2018, eine Kurzfassung wurde 2019 veröffentlicht. Vorliegende Langfassung berücksichtigt alle Entwicklungen bis Oktober 2020.

Das hauptverantwortliche Autor*innenteam des Leitfadens:
Dr. Susanne Stark und Felix Uthoff für den PK Abwärme,
John A. Miller für den EK Energiewirtschaft

Management Summary



Der Wärmebedarf für Raum- und Prozesswärme ist für rund ein Drittel der CO₂-Emissionen in Deutschland verantwortlich. Um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen und den Wärmesektor bis 2050 klimaneutral zu gestalten, muss auch das erhebliche Abwärmepotenzial bei Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen und Handel genutzt werden. Nach konservativen Schätzungen des AGFW könnte die Kombination aus Abwärmenutzung in den Fernwärmenetzen mit dem Neuanschluss bisher einzelversorgter Gebäude mindestens **19 Mio. t CO₂ pro Jahr** einsparen. Das entspricht rund **40% der im deutschen Klimaschutzplan vorgesehenen Einsparungen im Gebäudesektor bis 2030**.

Damit diese Potenziale genutzt werden, müssen zielgerichtet gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden. Die Autor*innen des Leitfadens stellen folgende zentrale Empfehlungen und Forderungen auf, um die Nutzungsgrade von Abwärme in der Fernwärme perspektivisch signifikant zu steigern:

- **Anerkennung der Abwärme jeglicher Herkunft als 100%-CO₂-frei sowie Verwendung der AGFW-Abwärmedefinition in Förderprogrammen und Potenzialuntersuchungen.**
- **Schaffung eines verlässlichen unbürokratischen Förderrahmens für die Abwärmee-nutzung und den Fernwärmeausbau sowie flankierende Maßnahmen.**
 - Absicherung des Ausfallrisikos von Abwärmequellen
 - Umlagenbefreiung für (Großwärme-)Pumpstrom
- **Aufbau und Systematisierung von Abwärmedaten durch:**
 - Verpflichtende Ausweitung von Energiemanagementsystemen auf Abwärmeströme und Veröffentlichung aggregierter Daten.
 - Aufnahme der Abwärmepotenziale und ihrer Nutzung als fortschreibbares Kriterium in einschlägigen Zertifizierungssystemen (z. B. DIN EN ISO 50001:2018-12, EMAS) mit geldwertem Vorteil für die Unternehmen.
 - Nutzung und Weiterentwicklung der regelmäßig erhobenen Daten im Rahmen der Bundes-Immissionsschutzgesetzverordnung (BImSchV) (Wärmemenge, Durchschnitts-temperatur mengengewichtet, Leistung oder Betriebsstunden, Lastprofil).
 - Zusätzliche Erfassung großer diffuser Quellen und Abwärme, die nicht in Abgasströ-men gebunden sind (außerhalb der BImSchV-Erfassungen).
 - Erfassung großer Kühlleistungen von Produktionsströmen oder anderen Prozessen (z. B. großer Rechenzentren oder Wäschereien).
- **Verpflichtende Erstellung und beschleunigte Genehmigung von Abwärmekonzepten:**
 - Kurzfristig in allen öffentlich geförderten Industrieprojekten
 - Mittelfristig in allen energieintensiven Unternehmen
- **Aufbau eines bundesweiten, öffentlichen Abwärmekatasters nach einheitlichem Standard.**
- **Forcierung der Erstellung von Wärmeplänen auf kommunaler und regionaler Ebene.**
- **Unterstützung und Intensivierung des Know-how-Transfers durch Transferstellen, Fördermittelstellen oder über Energieeffizienznetzwerke.**
- **Schaffung eines geeigneten politischen Rahmens (inkl. Ordnungsrecht), der Interesse und Bedarf an klimaneutraler Wärme insgesamt erhöht.**

1 Abwärme – eine unverzichtbare Option für die Wärmewende

Der Wärmebedarf für Raum- und Prozesswärme ist für rund ein Drittel¹ der CO₂-Emissionen in Deutschland verantwortlich. Um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen und den Wärmesektor bis 2050 klimaneutral zu gestalten, muss auch das erhebliche Abwärmepotenzial bei Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen und Handel genutzt werden. Nach konservativen Schätzungen des AGFW könnte die Kombination aus der **Abwärmennutzung** in den Fernwärmenetzen und dem Neuanschluss bisher einzelversorgter Gebäude mindestens **19 Mio. t CO₂ pro Jahr** einsparen. Dies entspricht rund **40 % der im deutschen Klimaschutzplan vorgesehenen Einsparungen im Gebäudesektor bis 2030.**²

Ziel sollte es vor diesem Hintergrund sein, einen steigenden Anteil der Fernwärme durch bisher nicht genutzte Abwärme zu decken. Obwohl derzeit etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen in Deutschland auf den Wärmesektor entfallen, liegt der Fokus der Energiepolitik noch immer auf dem Stromsektor. Dort stammen bereits über 40 % der Energiemenge aus erneuerbaren Quellen, im Wärmemarkt liegt der Anteil dagegen seit Jahren konstant bei nur rund 14 %³. Die Nutzung der heute bereits verfügbaren Abwärme für die Wärmeversorgung hat das Potenzial, in erheblichem Maße zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung beizutragen. Im Folgenden werden Potenziale und die unterschiedlichen Wege zur Nutzung und Nutzbarmachung von Abwärme im Wärmemarkt aufgezeigt.

1.1 Vorteile der Abwärmennutzung

Die ambitionierten Klimaziele Deutschlands wirken sich auf alle Sektoren, wenn auch unterschiedlich stark, aus. Im Falle von industrieller Abwärme, die in Wärmenetzen genutzt werden könnte, sind die Sektoren „Industrie“, „Energiewirtschaft“ und „Gebäude“ betroffen. Gerade der Gebäudesektor birgt große Einsparpotenziale, deren Hebung in der Regel erhebliche Kosten pro eingesparte Tonne CO₂ verursacht und umfangreiche Sanierungsmaßnahmen sowie den Austausch der bestehenden Heizungstechnik erfordert.

Abwärme fällt an bzw. in unterschiedlichen Orten, Prozessen und Unternehmen an. Wichtigste Abwärmequellen sind industrielle Prozesse und thermische Abfallbehandlungsanlagen. Nachteil dieser Abwärme ist, dass sie zumeist in einiger Entfernung zu bestehenden Wärmenetzen bzw. Wärmesenken zu finden ist. Abwärme aus dem Dienstleistungssektor, die in deutlich geringerem Umfang anfällt, ist demgegenüber in der Regel verbrauchsnah vorhanden und aus diesem Grund interessant. Diese Wärme fällt allerdings in der Regel auf niedrigerem Temperaturniveau an. Das bedeutet, dass ihr Einsatz auf Gebäude mit Niedertemperaturheizungen beschränkt ist oder dass sie mit Hilfe von strombetriebenen Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden muss. Daneben gibt es auch Sonderfälle, wie Abwärme, die aus Abwasser gewonnen werden kann und die in großen Volumenströmen, aber auf niedrigem Temperaturniveau anfällt.

1 AGE, 2020

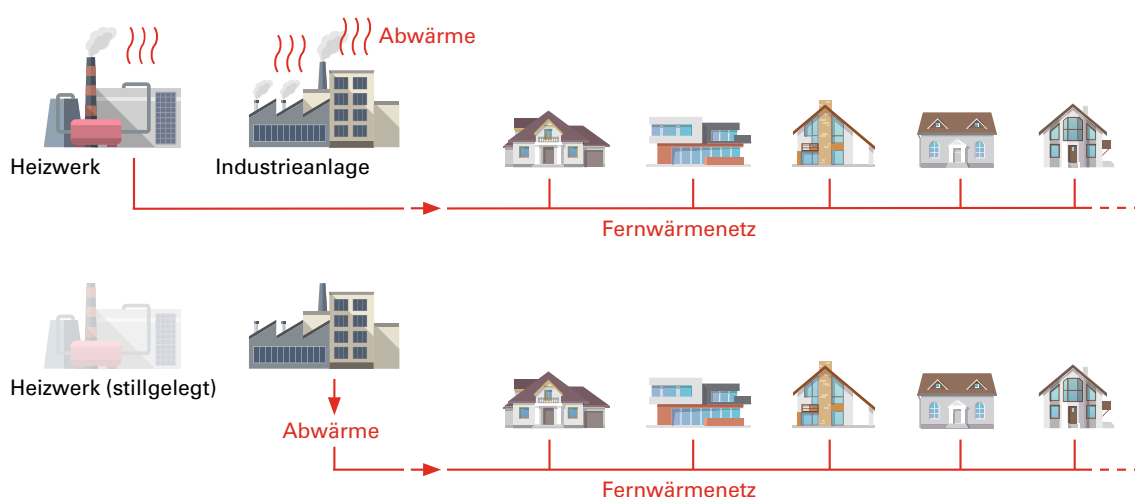
2 BMU, 2016

3 UBA, 2018

Die besondere Bedeutung der Abwärmenutzung ergibt sich aus der Tatsache, dass keine zusätzlichen Emissionen (CO₂, Feinstaub, NO_x, etc.) erzeugt werden, kaum zusätzliche Ressourcen eingesetzt und keine Flächen verbraucht werden. Aus diesem Grund ist die Nutzung vorhandener Abwärme in der Regel der Nutzung erneuerbarer Energien aus neu zu errichtenden Anlagen vorzuziehen.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Reduktion von punktuellen Wärmeemissionen in die Umwelt, insbesondere in Gewässer. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von mikroklimatischen Aspekten in den Städten wird die Reduktion von lokalen Wärmeinträgen immer wichtiger. Auch die Problematik der maximal zulässigen Aufheizung von Gewässern tritt im Sommer immer häufiger auf, sodass Produktionsprozesse gedrosselt werden müssen.

Abbildung 1: Verdrängung von Brennstoff durch Abwärme



Abwärme ist in der Regel ein Neben- oder Abfallprodukt von Prozessen, die nicht dem Zweck der Wärmeerzeugung dienen. Dazu gehören vor allem Industrieprozesse (z. B. Schmelzprozesse) und Dienstleistungen (z. B. in Rechenzentren oder Wäschereien). Häufig wird diese Wärme an die Umgebung abgegeben, in vielen Fällen auch unter Einsatz zusätzlicher Energie zuvor heruntergekühlt, um gesetzliche Vorgaben, z. B. zur Einleitung in Gewässer, zu erfüllen. Laut geltendem Recht soll Abwärme, wo immer möglich, einer Nutzung zugeführt werden: entweder intern im Unternehmen oder Unternehmensverbund, in dem die Abwärme anfällt, oder extern durch einen Wärmenetzbetreiber bzw. Energieversorger. Diese Vorgabe gilt unter dem Vorbehalt der Wirtschaftlichkeit (vgl. KNV-V⁴). Erhebungen zeigen allerdings, dass es viel ungenutzte Abwärme gibt. Die Gründe hierfür sind vielfältig und bisher auch nicht ausreichend erforscht.

Die Nutzung der Abwärme kann den Energieeintrag in die Umwelt und den Ressourcenverbrauch reduzieren (Abbildung 1). Der Vorteil der Abwärme besteht darin, je nach Art des Vorkommens, eine systemisch günstige Wärmequelle für die Gebäudeheizung zu bieten,

⁴ Verordnung über den Vergleich von Kosten und Nutzen der Kraft-Wärme-Kopplung und der Rückführung industrieller Abwärme bei der Wärme- und Kälteversorgung (KNV-V)

die keine zusätzlichen CO₂-Emissionen verursacht und auf bestehende Infrastrukturen aufsetzt. Aus diesen Gründen muss die Abwärmenutzung Vorrang vor anderen Wärmequellen, auch erneuerbaren Energien haben, da insbesondere Biomasse oder auch erneuerbar hergestellte Gase in anderen Anwendungen und Sektoren (z. B. Grundstoffchemie oder Flugverkehr) eingesetzt werden müssen, die mittelfristig keine wirtschaftliche Option der Dekarbonisierung besitzen.

1.2 Bewertung des CO₂-Gehaltes von Abwärme

Abwärme selbst ist dann als CO₂-frei zu bewerten, wenn sie ein Nebenprodukt eines ohnehin notwendigen Prozesses ist. Abwärme, die vormals an die Umwelt abgegeben wurde und die ohne zusätzlichen Brennstoffeinsatz entsteht, ist nach den Regularien des AGFW⁵ CO₂-emissions- und primärenergiefrei.

Die Aluminiumherstellung benötigt beispielsweise große Energiemengen, durch deren Bereitstellung in der Regel viel CO₂ freigesetzt wird. Die entstehende Abwärme aus dem Schmelzprozess muss jedoch als CO₂-frei bewertet werden, weil sie „ohnehin“ entsteht und bislang vorwiegend ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Daher wird Abwärme umgangssprachlich auch als „Eh-da-Wärme“ oder „Sowieso-Energie“ bezeichnet. Ihre Verwendung in Fernwärmenetzen stellt damit folgerichtig eine CO₂-freie Wärmequelle dar. Muss zusätzliche Energie für die Nutzbarmachung aufgewendet werden, z. B. für die Anpassung verschiedener Parameter, wie Temperatur oder Druck, wird die zusätzlich eingesetzte Energie gesondert bewertet und ist gegebenenfalls mit dem Ausstoß von CO₂ verbunden.

1.3 Keine Lock-in-Effekte der Abwärmenutzung

Zuweilen wird die Nutzung von Abwärme in der leitungsgebundenen Wärmeversorgung kritisch gesehen. Gerade Abwärme aus energieintensiven Industrien oder Abfallbehandlungsanlagen wird in der Öffentlichkeit oftmals zu Unrecht als „schmutzige“ Wärme wahrgenommen. Die Nutzung dieser Hochtemperaturabwärme erfordert keinen zusätzlichen Energieeinsatz und kann direkt in Wärmenetzen genutzt werden. Daher wird, im Gegensatz zu Energiebereitstellungsformen basierend auf Verbrennung kein CO₂ emittiert, weder fossilen noch erneuerbaren Ursprungs.

Gewarnt wird zudem vor Lock-in-Effekten. Darunter versteht man, dass die Nutzung von Abwärme aus CO₂-intensiven Prozessen dazu führt, dass diese langfristig unverändert bleiben, um Geschäftsmodelle zu erhalten. Die These, dass zusätzliche Gewinne des produzierenden Gewerbes aus dem Wärmeverkauf die Dekarbonisierung und Effizienzsteigerung des Industrieprozesses aktiv verhindern oder zumindest verzögern könnten, ist in der Mehrzahl der Fälle nicht stichhaltig. Da die Energie- und CO₂-Kosten des produzierenden Unternehmens in der Regel höher sind als die erzielbaren Gewinne für nutzbare Abwärme, besteht ein größerer Anreiz, die Energieeffizienz zu steigern bzw. den Prozess zu dekarbonisieren, als es der Erlös aus der Aufrechterhaltung eines alten, ineffizienten Produktionsprozesses rechtfertigt.

⁵ AGFW, FW309-6

Damit Lock-in-Effekte und ebenso ein unerwarteter Wegfall der Abwärmequelle möglichst sicher ausgeschlossen werden können, muss in einer vorgeschalteten, für die Nutzbarmachung der Abwärme notwendigen Machbarkeitsstudie stets die zukünftige interne Nutzung der Abwärmequelle oder Prozessumstellung während der Nutzungsdauer untersucht werden.

Abwärme aufgrund eines weitestgehend theoretischen Risikos eines Lock-in-Effektes von vorneherein nicht zu erschließen bzw. zu nutzen, ist aus folgenden Gründen nicht zielführend: Zum einen ist Abwärme systemisch preisgünstig, zum anderen ist sie gerade für Fernwärmeunternehmen mit großen Bestandsnetzen – insbesondere in Ballungsräumen – oftmals eine der wenigen Alternativen CO₂-freie Wärme zu nutzen.

In Bezug auf die langfristige Abwärmenutzung und möglicher Lock-in-Effekte im Kontext von Klimaschutzszenarien und insbesondere der Dekarbonisierung der Industrieproduktion (bis 2050) sind sicherlich noch weitere Untersuchungsfragen und -aufgaben zu formulieren. So ist einerseits zu erwarten, dass zukünftig in Industriesektoren wie z. B. Stahl, Aluminium, Chemie oder Zement neue, bahnbrechende CO₂-Minderungsverfahren (so genannte Low-Carbon-Breakthrough-Technologien)⁶ eingesetzt werden, die möglicherweise auch eine Veränderung der Abwärmemengen und Temperaturniveaus mit sich bringen.

Andererseits ergeben sich perspektivisch aber auch neue Anwendungen zur Abwärmenutzung, z. B. durch neue Prozesse in der Synthesegas-Herstellung wie beispielsweise die Hochtemperatur-Elektrolyse. Diese Veränderungen gilt es frühzeitig mit in den Blick zu nehmen, sie sollten jedoch der heutigen Nutzung der Potenziale nicht im Wege stehen.

1.4 Fernwärmenetze – Baustein für eine erfolgreiche Wärmewende und Voraussetzung zur externen Abwärmenutzung

Die Fernwärme deckt in Deutschland ca. 9 % des Wärmebedarfs. Je nach eingesetztem Brennstoff und Technologie kann sie einen großen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Die großen Fernwärmenetze in Deutschland werden zu rund 80 % durch KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) gespeist, d. h. die Erzeugungsanlage produziert gleichzeitig Strom und Wärme⁷. Bei der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme im KWK-Prozess wird die Energie der eingesetzten Brennstoffe zu mindestens 80 % ausgenutzt. Der Wirkungsgrad der Kondensationsstromerzeugung (also die Stromerzeugung ohne gekoppelte Wärmeerzeugung) hingegen beträgt höchstens rund 61 %. Dadurch leistet die Nutzung der Fernwärme aus KWK-Prozessen schon heute einen erheblichen Beitrag zur CO₂-Einsparung (54 Mio. t CO₂ pro Jahr)⁸.

Ein weiterer Vorteil der Fernwärme, der sich unmittelbar aus dem Aufbau der Infrastruktur ergibt, ist die hohe Flexibilität bei der Wärmebereitstellung bzw. -erzeugung. Im Fernwärmenetz wird in der Regel heißes Wasser (in einigen Fällen auch heißer Dampf) in die daran angeschlossenen Gebäude transportiert. Wie das Wärmeträgermedium erhitzt wird, spielt für die Funktionsfähigkeit des Netzes keine Rolle. Das bedeutet, dass Fernwärme durch die

6 Als Beispiel sei hier die Direktreduktion mit Wasserstoff anstelle der klassischen Hochofenroute bei der Primärstahlerzeugung genannt.

7 Durch die Wärmeauskopplung verringert sich jedoch die erzeugte Strommenge. Der Umfang der verringerten Stromerzeugung wird durch die sog. Stromverlustkennzahl angegeben.

8 Prognos, 2019

Umstellung von fossilen Erzeugungsanlagen auf regenerative Energiequellen und Abwärme die CO₂-freie Versorgung aller angeschlossenen Gebäude sicherstellen kann.

Demzufolge kann die Fernwärmeinfrastruktur in einem von erneuerbaren Energien dominierten Energiesystem eine zentrale Rolle spielen. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Umstellung je nach eingesetzter Wärmetechnologie anspruchsvolle technische und wirtschaftliche Konzepte erfordert, deren Erstellung und Umsetzung häufig mehrere Jahre benötigen. Um 2030 einen deutlichen Abwärmeanteil an der Fernwärmebereitstellung vorweisen zu können, müssen die Projekte zeitnah initiiert werden und es muss mit der Erstellung von Machbarkeitsstudien und kommunalen Wärmenutzungsplänen begonnen werden.

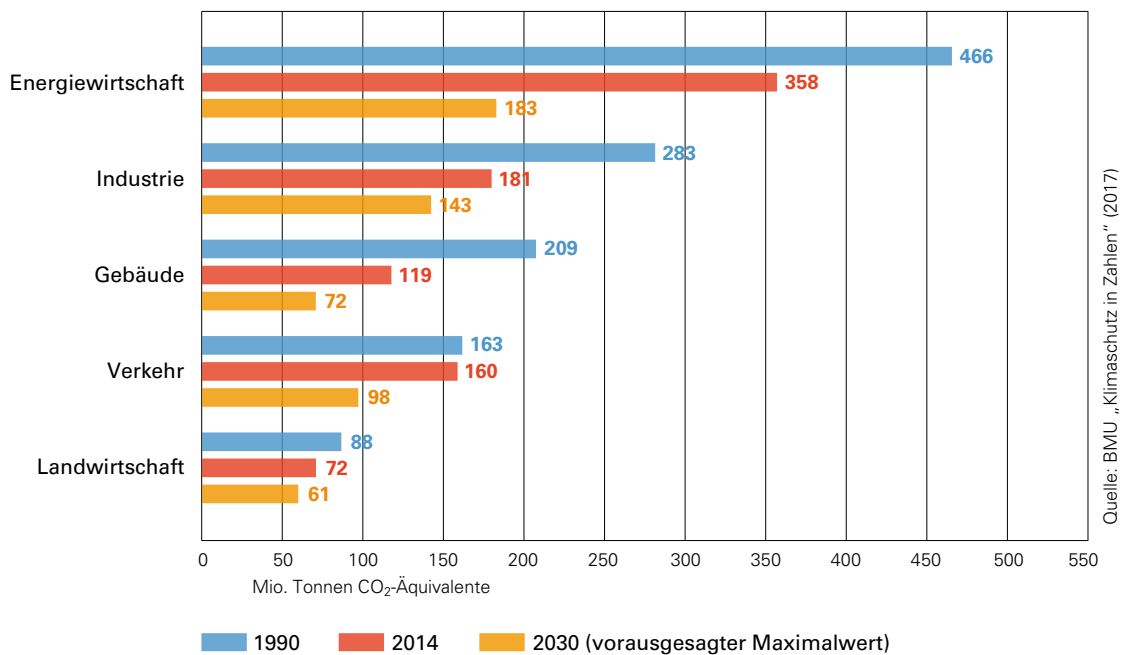
2 Rahmenbedingungen der Abwärmenutzung und ihre Potenziale

Mit dem Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung ihre langfristigen Klimaschutzziele konkretisiert und für die einzelnen Sektoren eigene Ziele für die Dekarbonisierung festgelegt (siehe Abbildung 2).

Der Leitsatz „Energy Efficiency First!“ liegt allen Bemühungen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen zugrunde. Das aktuelle Klimaschutzmonitoring zeigt, dass die Klimaschutzziele für 2020 voraussichtlich verfehlt werden und die Anstrengungen beim Klimaschutz daher von allen beteiligten Sektoren, einzelnen Unternehmen und der Bundesregierung verstärkt werden müssen.

Dem Wärmemarkt kommt bei der Erreichung der Klimaziele eine erhebliche Bedeutung zu, zumal er in allen drei Sektoren, der Energiewirtschaft, dem Gebäudesektor und der Industrie eine wichtige Rolle einnimmt. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf dem Gebäudesektor. Die CO₂-Reduktionsziele werden hier mit großer Wahrscheinlichkeit verfehlt, sodass Deutschland erhebliche Strafzahlungen (Basis: EU-Effortsharing, Lastenteilungsverordnung) gegenüber der EU drohen. Agora Energiewende beziffert diese auf 30 bis 60 Milliarden Euro bis 2030⁹. Dieses Problem sowie das erforderliche Anspruchsniveau für den Gebäudesektor werden sich verschärfen, wenn die Ziele des Green Deals in einer Anhebung des EU-weiten CO₂-Minderungsziels für 2030 auf 55 oder 60 % steigen werden.

Abbildung 2: Sektorziele für 2030 aus dem Klimaschutzplan 2050



Vor diesem Hintergrund ist ein konsequentes Handeln und die Ausschöpfung sämtlicher Optionen zur CO₂-Reduzierung dringend geboten. Dieses beinhaltet, neben den Maßnahmen zur energetischen Sanierung der Gebäude, insbesondere den Austausch von alten und ineffizienten Heizungen sowie die Bereitstellung von klimaneutraler Wärme. Letztere ist gerade in urbanen Räumen aufgrund unterschiedlicher Faktoren nur bedingt verfügbar bzw. einsetzbar. Eine verstärkte Nutzung von Abwärmequellen ist daher wichtig und richtig.

Allerdings fehlt es nach wie vor an den Rahmenbedingungen für eine entsprechende Abwärmenutzung. Zwar hat der Gesetzgeber in den letzten Jahren die Bedeutung der Abwärme erkannt, wie die „Offensive Abwärmenutzung“ im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) und die Einrichtung sowie der Erfolg verschiedener Förderprogramme zur Abwärmenutzung zeigen. Dennoch ist Abwärme bis heute weder präzise definiert, noch in einen Verwertungskreislauf – analog zum Abfall – integriert.

2.1 Abwärme richtig definieren

Die bestehenden Abwärmedefinitionen in Gesetzen, Verordnungen und Programmen sind größtenteils inkonsistent und schließen eines oder mehrere für die Fernwärme relevante Teilgebiete aus. Für die Nutzung und Bewertung der Abwärmequellen, insbesondere im Hinblick auf ihr Dekarbonisierungspotenzial und die Vergleichbarkeit mit erneuerbaren Energiequellen sowie die Förderfähigkeit von Projekten, ist eine einheitliche, rechtssichere und konsistente Definition unerlässlich.

In einem intensiven Diskussions- und Erarbeitungsprozess wurde durch den AGFW-Projektkreis „Abwärme“ in Abstimmung mit forschenden Institutionen, Verbänden der Industrie und Versorgung sowie betroffenen Mitgliedsunternehmen eine praxisnahe Definition erstellt und für die Anwendung in Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien vorgeschlagen:

„**Abwärme:** Wärme, die in einem Prozess entsteht, dessen Hauptziel die Erzeugung eines Produktes oder die Erbringung einer Dienstleistung (inkl. Abfallentsorgung) oder einer Energieumwandlung ist, und die dabei als ungenutztes Nebenprodukt an die Umwelt abgeführt werden müsste.“¹⁰

Zu den innerhalb der Definition genannten Kategorien zählen unter anderem:

- Produktion (z. B. Raffinerien, Stahlverarbeitung, chemische Industrie),
- Dienstleistung (z. B. Rechenzentren, Wäschereien, Kühlhäuser, (Ab-)Wasserwirtschaft),
- Abfallentsorgung (z. B. thermische Abfallbehandlung, Schließung von innerbetrieblichen Stoffkreisläufen),
- Energieumwandlung (z. B. Kondensationskraftwerke, Abgaswärme aus Verbrennungsprozessen, Wasserstoffelektrolyse).

¹⁰ Definition wird voraussichtlich in ein Beiblatt zur AGFW FW 309-1 übertragen.

Nach Meinung der Branche decken die genannten Kategorien den größten Teil der auftretenden Abwärmequellen ab und sind mit der Abwärmedefinition der neuen europäischen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie konform.

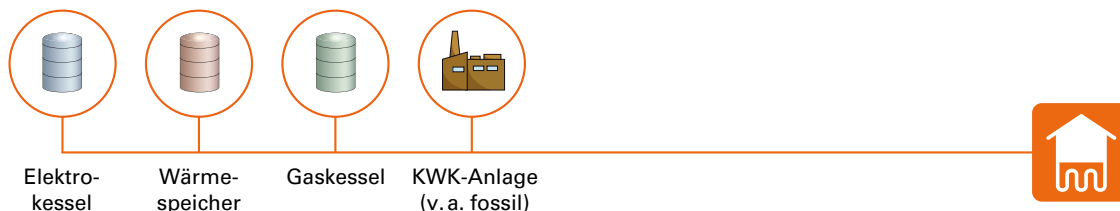
2.2 Potenziale der Abwärme

Der gesamte Raumwärme- und Warmwasserbedarf in Deutschland betrug im Jahr 2017 ca. 830.000 GWh¹¹. Davon stammen ca. 67.000 GWh aus Fernwärmenetzen, bei denen die Wärme aus einer zentralen Wärmeerzeugung (überwiegend in KWK) über ein Trägermedium zu den einzelnen Verbrauchern gelangt.

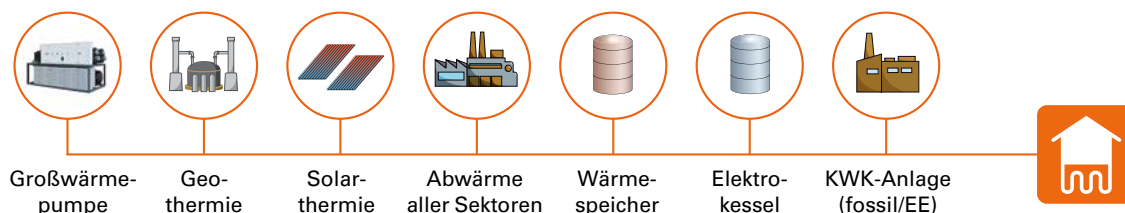
Die Datenlage zu den tatsächlich bundesweit vorhandenen Abwärmepotenzialen ist eher unbefriedigend. Nach konservativer Schätzung fallen bundesweit mindestens 12.000¹² bis 70.000 GWh Abwärme¹³ aus unterschiedlichen Quellen an, die aus technischer Sicht nutzbar gemacht werden können. In dieser Abschätzung ist nur Abwärme aus industriellen Abgasströmen enthalten, nicht aber diffuse Quellen und sonstige Produkt- und Prozessabwärme. Das tatsächlich nutzbare Potenzial dürfte daher noch weit höher liegen. Darauf weisen auch Erhebungen hin, die derzeit in verschiedenen Bundesländern laufen¹⁴. Unter der Annahme, dass 70.000 GWh Abwärme neu erschlossen werden könnten, ließen sich die CO₂-Emissionen im Wärmemarkt um rund 19 Mio. Tonnen pro Jahr reduzieren¹⁵. Das ent-

Abbildung 3: Heutige und zukünftige Wärmeerzeuger in der Fernwärme

Fernwärme-KWK (heute)



Fernwärme-KWK (zukünftig)



11 AGE, 2020

12 Untere Grenze beruhend auf BImSchG-Daten von weniger als 700 der größten Unternehmen in Deutschland [Brückner 2016]

13 Obergrenze bei Extrapolation der untersuchten Datensätze auf alle deutschen Unternehmen [Brückner 2016]

14 Potenzialstudie Industrielle Abwärme NRW des LANUV 2019 weist technisch verfügbare Potenziale zwischen 88 bis 96 TWh aus [Lanuv, 2019].

15 Gerechnet gegenüber einer modernen Erdgasheizung mit Brennwerttechnik.

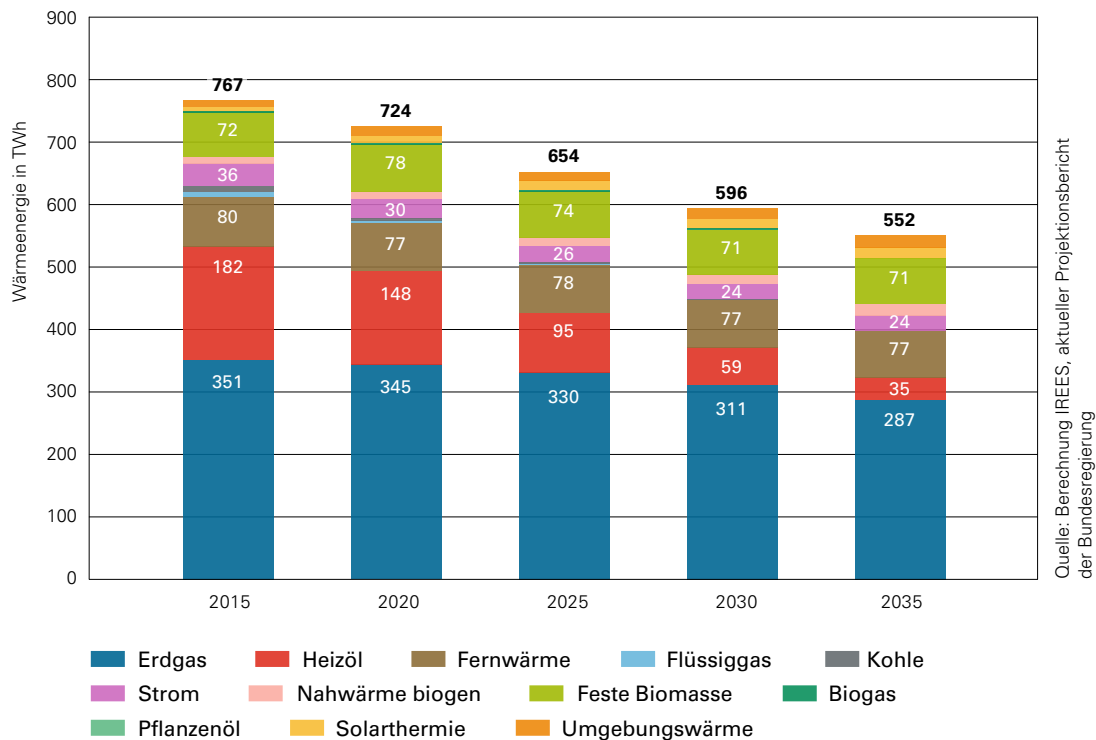
spricht etwa 40% des Reduktionsziels der Bundesregierung im Gebäudesektor von 47 Mio. Tonnen CO₂¹⁶ zwischen 2014 und 2030. Die Abwärmenutzung kann also einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass Deutschland seine Klimaschutzziele im Gebäudesektor erreicht.

Grundsätzlich stehen für die „Vergrünung“ und Dekarbonisierung der Fernwärme mehrere Alternativen zur Verfügung (siehe Tabelle 1), wobei jede Option für sich genommen verschiedenen Restriktionen unterliegt. Beispielsweise sind die Potenziale an Biomasse und synthetischen Gasen bzw. Brennstoffen nach aktuellen Szenarien und Prognosen vorwiegend für die Sektoren Industrie und Verkehr vorgesehen. Große Solarthermieanlagen können zwar im ländlichen Raum einen Beitrag leisten, jedoch ist das solare Ausbaupotenzial in Ballungsräumen aufgrund der knappen und teuren Flächen stark eingeschränkt.

Das bedeutet, dass die Abwärmepotenziale zwingend gehoben werden müssen, um mit Hilfe dekarbonisierter Fernwärme die Klimaziele bis 2030 und 2035, insbesondere im Gebäudesektor, überhaupt erreichen zu können. Obwohl davon auszugehen ist, dass der Endenergieverbrauch im Gebäudesektor durch Sanierungsmaßnahmen pro Gebäude rückläufig ist, bleibt der Verbrauch von Fern- und Nahwärme über die nächsten 15 Jahre nahezu konstant (siehe Abbildung 4). Hierzu ist auch ein massiver Aus- und Umbau der Fernwärmesysteme notwendig, um derzeit noch nicht angeschlossene Stadtteile mittels Abwärmenutzung zu dekarbonisieren.

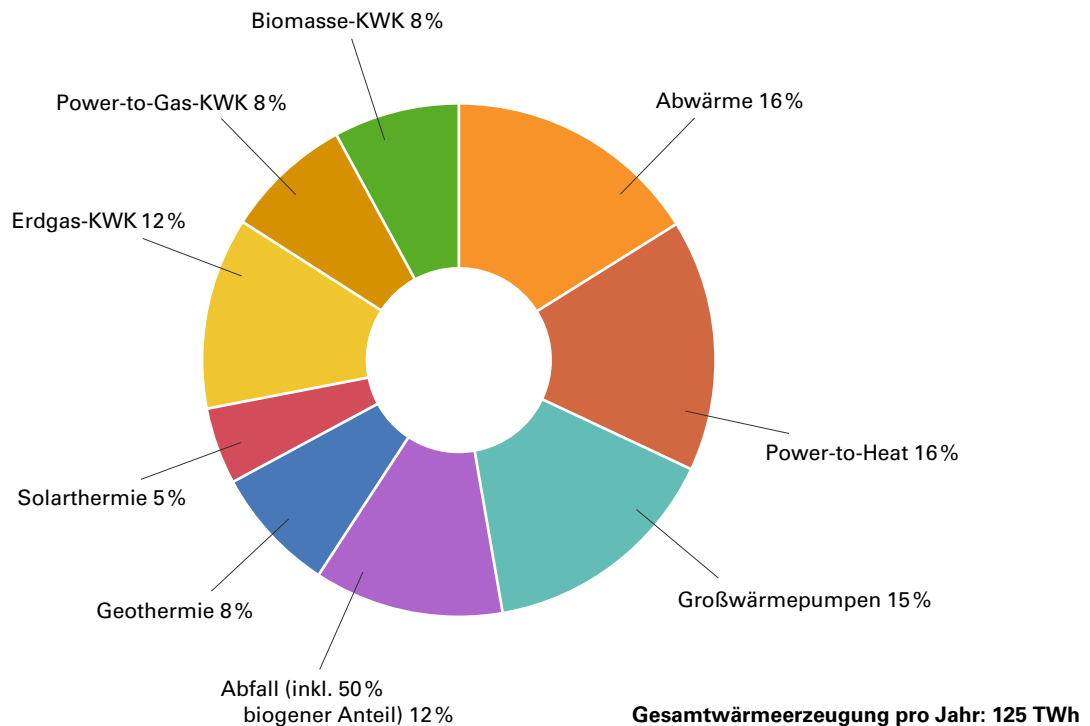
Grundsätzlich ist bei der Dateninterpretation von Abwärmepotenzialen zu beachten, dass Abwärme auf verschiedenen Temperaturniveaus anfällt. Einige Statistiken berücksichtigen nur hochtemperierte Abwärme, die unmittelbar in FW-Netze eingespeist werden kann und

Abbildung 4: Endenergieentwicklung im Wärmesektor nach Energieträger



16 119 Mio. Tonnen im Jahr 2014 auf 72 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr 2030 [BMU, 2016].

Abbildung 5: Zusammensetzung der Nettowärmeerzeugung für die Versorgung über Wärmenetzsysteme im Jahr 2050



in räumlicher Nähe anfällt. Sie übersehen die vorhandenen Quellen niedriger temperierter Abwärme, die wegen ihrer großen Mengenströme ebenfalls erhebliche Energiemengen bieten könnten. Diese Potenziale sind mit zusätzlichen Investitionen, z. B. in Großwärmepumpen, ebenfalls für eine CO₂-neutrale Fernwärmeerzeugung nutzbar.

2.2.1 Potenzialerhebung Abwärmenutzung bis 2050

Die Potenziale der in Wärmenetzen nutzbaren Abwärme sind bis heute nicht sicher quantifiziert. Zuletzt wurden u. a. folgende Angaben gemacht:

Brückner (2016) hat für 2008 ein Abwärmeaufkommen in Deutschland von 127 PJ/a (35 TWh/a) bei einer Mindesttemperatur von 35°C identifiziert, bei einer Extrapolation der Daten ergibt sich sogar ein Abwärmeaufkommen von 218 bis 252 PJ/a (61 bis 70 TWh/a). Ausgehend von 127 PJ/a lässt sich ein Potenzial von ca. 56 PJ/a (16 TWh/a) bis mindestens 100°C nutzen sowie ein Potenzial von 82 PJ/a (23 TWh/a) bis mindestens 70°C.

- Die „Potenzialstudie Industrielle Abwärme“ (2019) für NRW gibt als Ergebnis der Hochrechnung einer Umfrage in NRW eine Abwärmemenge von 88 TWh/a an. Damit ließen sich etwa 60% des Wärmebedarfs für Wohngebäude in NRW von 147 TWh/a decken.
- Die NENIA-Studie (2019) ermittelt für die netzgebundene Abwärmenutzung in Deutschland ein technisches Potenzial von 11 bis 13 TWh (bestehende Netze) bzw. 23 bis 29 TWh (inkl. Netzpotenziale).
- Der BDEW (2017) geht in seiner Potenzialabschätzung von einem Abwärmeanteil in der Fernwärme von 20 TWh/a im Jahr 2050 aus (siehe Abbildung 5).

Die großen Differenzen zwischen den Studienergebnissen verdeutlichen, wie komplex die Abgrenzung zwischen anfallender Abwärme und technisch in der Fernwärme nutzbarer Abwärme ist. Wie bei allen Potenzialabschätzungen gilt, dass zwischen dem theoretischen und dem erschließbaren Potenzial differenziert werden muss, daher ist die Schaffung einer überregionalen und regional zuverlässigen Datenbasis nach einheitlichen methodischen Grundsätzen ein wichtiges Handlungsfeld für die beteiligten Akteure.

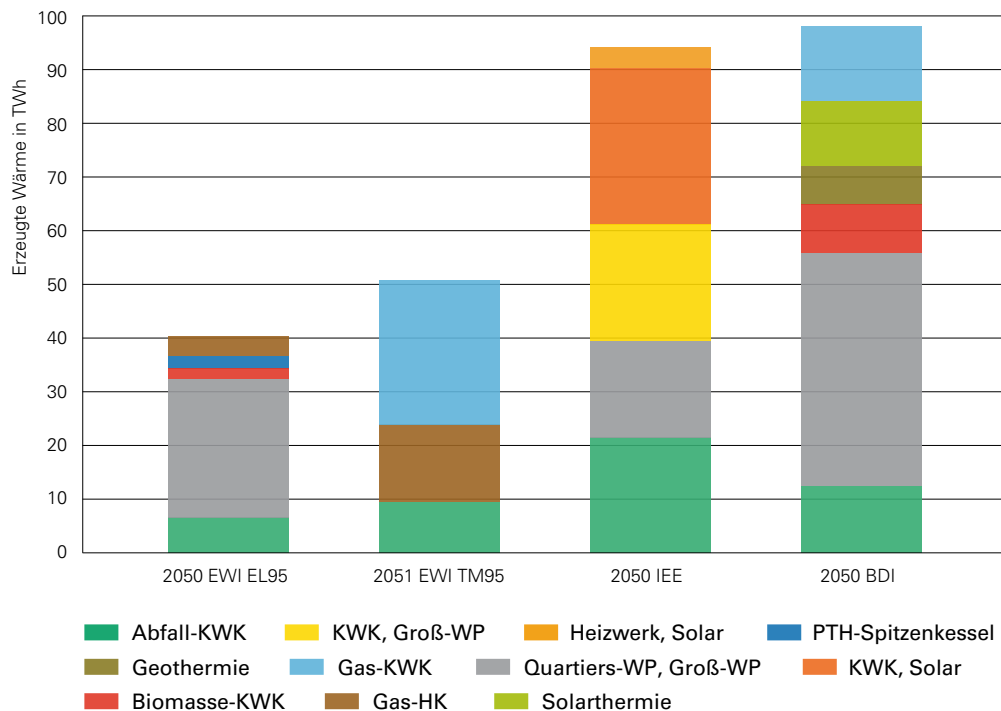
Eine ausführliche Darstellung zum Thema Abwärmepotenzialerhebung, Datenquellen, Relevanz und Wertung finden Sie im Kapitel 6.2.

2.2.2 Potenziale neuer Wärmeerzeugungstechniken in Wärmenetzen

Die Frage, welche Bedeutung der Abwärme zukommt, ist auch abhängig davon, wie stark sich die Wärmequellen der leitungsgelassenen Wärmeversorgung insgesamt diversifizieren. Der Fernwärmemix wird am Ende standortspezifisch optimiert werden. Gerade in industriell geprägten Ballungsräumen hat die platzsparende Abwärmennutzung spezifische Vorteile. Alle relevanten Fernwärmestudien der letzten Jahre weisen der Abwärmennutzung im Jahr 2050 eine signifikante Rolle zu, die bei rund 20% der durch FW-Netze verteilten Wärme liegt, allerdings bei stark divergierenden absoluten Mengen.

Während der Aufbau und Betrieb von Fernwärmenetzen in der Vergangenheit wesentlich durch den Bau von großen KWK-Anlagen vorangetrieben wurde, werden die Wärmenetze der Zukunft im Wesentlichen durch viele dezentrale und kleinere CO₂-arme oder -freie

Abbildung 6: Übersicht über zukünftig möglichen Fernwärme-Erzeugungsstrukturen



Wärmequellen gespeist werden. So viele erneuerbare Quellen wie möglich zu erschließen, sowie aus Effizienzgründen Temperaturen soweit wie möglich zu reduzieren, werden die wesentlichen Herausforderungen der Zukunft sein, um den Wärmemarkt zu dekarbonisieren. Die großen Unterschiede in Abbildung 6 machen auch hier deutlich, dass Prognosen zur Marktdurchdringung von Technologie immer auch Prämissen zur Veränderung von politischen Rahmenbedingungen voraussetzen, die zu stark abweichenden Beurteilungen führen können, unabhängig von der Verfügbarkeit und technischen Machbarkeit.

3 Chancen der Abwärmenutzung für Unternehmen und Wärmenetzbetreiber

Die Abwärmenutzung bietet den beteiligten Unternehmen – sowohl auf Seiten der einspeisenden Industrieunternehmen als auch der Wärmenetzbetreiber – verschiedene Chancen. Insgesamt ermöglicht die Abwärmenutzung die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in den Unternehmen. Durch die Nutzung von Wärmeenergie, die sonst ungenutzt an die Umwelt abgegeben werden müsste, verringern sich der Primärenergiebedarf und damit auch die CO₂-Emissionen im gesamten Wirtschaftskreislauf.

Die Abwärmenutzung bringt für die beteiligten Unternehmen jedoch unterschiedliche Herausforderungen mit sich. Dabei sind Planungs-, Versorgungs- und Vertragssicherheit entscheidend.

3.1 Situation für Wärmenetzbetreiber (Wärmesenken)

Der Fernwärmeversorger muss die Wärmeversorgung in seinem Versorgungsgebiet konstant sicherstellen und das zu einem gegenüber anderen Beheizungstechnologien konkurrenzfähigen Preis für seine Kunden. Der Bezug industrieller Abwärme ist in der Regel unbesichert und oftmals fluktuierend in Abhängigkeit der Auslastung des entsprechenden Produktionsprozesses oder der entsprechenden Dienstleistung. Deshalb sind vom Fernwärmeversorger redundante (die Versorgung zusätzlich absichernde) und regelbare Wärmeerzeugungsanlagen jederzeit vorzuhalten, um die Fluktuationen in der Lieferung der Abwärme sowie einen möglichen Gesamtausfall der Lieferung ausgleichen zu können. Dies gilt im Besonderen für den Fall, dass die Wärmequelle dauerhaft entfällt. Veränderungen des Marktumfeldes, unternehmensstrategische Entscheidungen oder Veränderungen des regulatorischen Rahmens können mitunter dazu führen, dass Standorte verlegt oder Betriebe stillgelegt werden. Dieses Risiko muss bei der Bewertung der Wärmepartnerschaft berücksichtigt werden. Schon zu Beginn der Abwärmekooperation muss der Fernwärmeversorger Ersatzkapazitäten für diesen „Tag X“ vorsehen, auch wenn der möglicherweise nie kommen wird.

Die dafür anfallenden Vorhaltekosten müssen somit in die Gesamtberechnung der Kosten für die Abwärmenutzung mit einbezogen werden. Sie sind wesentlicher Bestandteil des Weiterverteilpreises (siehe 3.6.2). Je mehr Erzeugungseinheiten in einem Netz sind, in das Abwärme eingespeist wird, umso eher können diese in kurzfristige Besicherungskonzepte integriert werden. Das langfristige Ausfallrisiko muss hingegen im Rahmen der Festlegung von Abschreibungszeiten und Renditeerwartungen bewertet werden.

Die Nutzung von Abwärme in Fernwärmenetzen hat eine langjährige Tradition und war beispielsweise eine wesentliche Stütze der Wärmeversorgung des Ruhrgebiets. Dort führte die Abwärmenutzung zum Bau mehrerer gebietsübergreifender Wärmeschienen, wie beispielsweise der Fernwärmeschiene Niederrhein. In diesen Wärmeschienen werden bis heute regionale Überangebote von Abwärme aus Industrieanlagen und Nutzwärme aus KWK-Anlagen „eingesammelt“ und über entsprechende Rohrleitungsnetze in Gebiete mit einem hohen Bedarf an Wärme transportiert.

Dieses Vorgehen hat für die Betreiber von Wärmenetzen mehrere Vorteile:

- Die Abwärme aus Industrieunternehmen besitzt im Gegensatz zu Wärme, die aus der direkten Nutzung von Brennstoffen erzeugt wird, keinen Anteil an CO₂ und Primärenergie. Falls jedoch Energie aufgewendet werden muss, um die Parameter der aufgenommenen Wärme anzupassen (z. B. Temperaturanhebung mittels strombetriebener Wärmepumpen oder fossiler Nacherwärmung) oder mit Hilfe von druckerhaltenden Pumpen zu den Kunden zu bringen, wird die Wärme mit einem entsprechenden CO₂-Anteil beaufschlagt.
- Die langfristige Preisstabilität für die gelieferte Wärme ermöglicht eine Entkopplung von den schwankenden Brennstoffmärkten sowie dem europäischen CO₂-Zertifikatehandel und wirkt sich somit positiv auf die Stabilität des Fernwärmepreises aus.

Nach dem Wegzug vieler stahlproduzierender Unternehmen aus dem Ruhrgebiet in den 1980er Jahren sind innerhalb kurzer Zeit mehrere Kooperationen beendet worden. Nur durch den zügigen Bau neuer Erzeugungsanlagen durch die Versorgungsunternehmen konnte die Versorgungssicherheit aufrechterhalten werden. Dieses Ereignis hat Vorbehalte gegenüber Abwärmenutzung bei den Versorgern erzeugt und dazu geführt, dass in der jüngeren Vergangenheit nur wenige neue Kooperationen entstanden sind.

Aus Sicht der Stadtwerke und Fernwärmenetzbetreiber müssen folgende grundlegende Punkte bei einer Abwärmekooperation beachtet werden:

- Die Kosten für die Abwärme müssen innerhalb des Planungshorizonts des Versorgungsunternehmens die Investitionen decken.
- Die Abwärmelieferung muss planbar sein.
- Bei kurzfristigem Wegfall von Abwärmequellen muss innerhalb kurzer Zeit und zu vertretbaren Kosten eine andere geeignete Wärmequelle aktiviert werden können.
- Die Ersatzmaßnahme darf keinen negativen Einfluss auf die Qualität der Wärmelieferung (Primärenergiefaktor und CO₂-Gehalt) haben.

Im Gegensatz zum Bau einer anderen Erzeugungsanlage, die in Eigenregie des Versorgers gebaut wird, müssen sich Partner bei Abwärmeprojekten auf neue Herausforderungen einstellen, die durch die Zusammenarbeit unterschiedlicher Partner mit verschiedenen Interessen entstehen. Dies wird nur erfolgen, wenn beide Seiten einen Mehrwert von der Kooperation gegenüber anderen Optionen haben.

Für das Versorgungsunternehmen besteht ein solcher Mehrwert durch den Vergleich mit anderen Lösungen, die zur Verbesserung der Umweltqualität, also zur Dekarbonisierung gewählt werden können.

Aus folgenden Möglichkeiten zur Dekarbonisierung kann ein Versorgungsunternehmen grundsätzlich wählen:

- Solarthermie (Vakuurröhre und Flachkollektoren),
- EE-Gase in KWK aus Biomasse, Deponie- oder Klärgas,
- feste Biomasse (Holz),
- Elektrodenkessel oder P2H (Power-to-Heat),
- Groß-Wärmepumpe (aus Flüssen oder Abwässern),
- Abwärme (z. B. aus Industrie, Dienstleistung, thermischen Abfallbehandlungsanlagen),
- Tiefengeothermie.

Wenn man diese Optionen hinsichtlich der relevanten Entscheidungskriterien vergleicht, dann relativieren sich einige von ihnen, d. h. sie können möglicherweise nicht gewählt werden. Diese Kriterien sind: skalierbares Ausbaupotenzial, maximal erreichbare Vorlauf-temperatur, Steuerbarkeit, Flexibilität, Flächeninanspruchnahme und Anforderungen an den Standort. Letztlich führen diese Kriterien im aktuellen Marktumfeld häufig zu Wärmegestehungskosten, die nicht wettbewerbsfähig sind.

So legt die nachfolgende Übersicht (Tabelle 1) den Einsatz von P2H und Groß-WP nahe. Problematisch bei ihrem Einsatz ist jedoch die derzeitige Entgelte- und Umlagensituation. Bei Groß-Wärmepumpen sind zusätzlich die Bedingungen der bereitgestellten Wärmequelle zu beachten. Die Entnahme großer Mengen Umweltwärme kann lokal zu nachteiligen Effekten führen, wie beispielsweise der Vereisung des Untergrunds. Solche negativen langfristigen Auswirkungen müssen bereits vor Maßnahmenbeginn berücksichtigt und vermieden werden.

Beim Vergleich der möglichen Erzeugungstechnologien müssen verschiedene Kriterien berücksichtigt werden, die zu einer differenzierten Bewertung der Erzeugungsoptionen führen.

Bei der Nutzung der Solarthermie, die durch entsprechende nationale Förderprogramme nahezu wirtschaftlich erfolgen kann, stellen die Sommerlastigkeit, der hohe Flächenbedarf und die Schwierigkeiten, die Vorlauftemperaturen eines Bestandsnetzes zu erreichen, häufig auftretende Restriktionen dar.

Insbesondere die indirekte Nutzung von Abwärmequellen mittels Wärmepumpen ist von großem Interesse. Unter der Annahme, dass durch technologische Weiterentwicklungen die benötigten Temperaturen von Erzeugungsprozessen zukünftig sinken, werden nur wenige Abwärmequellen zur Verfügung stehen, die sich für eine direkte Nutzung eignen. Falls die aufnehmenden Wärmenetze auch zur Erwärmung von Trinkwasser genutzt werden, müssen sie so betrieben werden, dass inklusive der Überbrückung der Netzverluste beim Kunden mindestens 90°C im Vorlauf erreicht werden.

Diese Temperaturen sind für Wärmepumpen, die als Energiequelle neben dem eingesetzten Strom auf Umweltwärme oder Wärme aus Abwässern zurückgreifen, nur sehr ineffizient zu erreichen. Kann die Wärmepumpe jedoch auf eine Wärmequelle mit höheren Temperaturen, wie Abwärme, zurückgreifen und muss somit nur ein kleinerer Temperaturhub überwunden werden, kann die Wärme sehr effizient bereitgestellt werden.

Tabelle 1: Vergleich der verschiedenen EE-Optionen eines Fernwärmesystems in einer mittelgroßen oder großen Stadt

	Poten- zial	erreich- bare Vor- lauftem- peratur	Steuer- barkeit bzw. Flexi- bilität	Wärmege- stehungs- kosten (inkl. För- derung)	Flächenin- anspruch- nahme/ -ertrag	Nutzungs- aufwand u. Stand- ortvoraus- setzungen	Restrik- tionen/ Sonstiges
Solar- thermie	++	0	-	+/-0	-	--	sommerlastig, Flächenbedarf
EE-Gase (Bio-, Depo- nie-, Klärgas)	0/--	+++	+++	+	0/--	0	Standort- abhängigkeit, Flächenbedarf
Feste Bio- masse	0	+++	+++	+	--	+	Transport- u. Flächenbedarf
P2H mit EE-Strom	++/+++	+++	+++	-/---	++	+++	Umlagen- problematik
P2X und Nutzung in KWK	-	+++	+++	---	+	+++	künstliches Gas, sehr teuer
Groß- Wärme- pumpe	++	+/-	+++	0/--	++	0	Uml.-probl. u. Vorlauftemp.- abhängigkeit
Direkte Abwärme- nutzung	++	++/-	+++/-	+/-	+++	0/-	Standort- abhängigkeit
Indirekte Abwärme- nutzung mittels WP	+++	++	+++/-	+	+++	0/-	Uml.-probl. u. Vorlauftemp.- abhängigkeit
Tiefen- geothermie	+/-0	+	++	+/-0	+++	0/--	Standort- abhängigkeit

Quelle: Ergebnisse des erweiterten Projektkreises „Abwärme“ des AGFW

3.2 Sichtweise einspeisender Industrieunternehmen (Wärmequellen)

Für die einspeisenden Industrieunternehmen ist entscheidend, dass die Abwärme von den Wärmenetzbetreibern zuverlässig und planbar abgenommen wird, da sich die erforderlichen Investitionen in die technische Infrastruktur sonst nicht lohnen und sich bei Nichtabnahme technische Probleme innerhalb der Produktionsprozesse ergeben könnten.

Auch wenn die Abwärme als Beiprodukt ohne Zusatzkosten entsteht, verursacht die Nutzung der Potenziale an einem Ort innerhalb oder außerhalb des Betriebes erhebliche Investitions- und Erschließungskosten, die je nach örtlichen Gegebenheiten stark variieren können. Jedes Projekt ist individuell zu entwickeln. Es gibt wenige Möglichkeiten der Standardisierung.

Die interne oder externe Nutzung der Abwärme ist eine geeignete Maßnahme zum Klimaschutz und kann im Rahmen der Zertifizierung nach DIN 50001 und ISO 14001 als Maßnahme aufgeführt und umgesetzt werden. Trotz hohem Einsparpotenzial ist sie allerdings eine bislang wenig genutzte Effizienzmaßnahme. Wesentliche häufiger umgesetzte Maßnahmen sind traditionell eher LED-Beleuchtung, Druckluft, Erzeugungsanlagen, Pumpen und Motoren sowie Lüftung und Klimatisierung.

Jedoch kann die Nutzung der Abwärme zu Kosteneinsparungen z. B. für Kühlprozesse führen. Sie kann als Anlass zur Erneuerung von Anlagenkomponenten dienen oder auf dem eigenen Gelände zum Ersatz und damit zur Einsparung von Wärmeerzeugung führen. Erschlossen durch ein Fernwärmenetz wird sie Teil einer zusätzlichen Wertschöpfungskette, damit zur Sicherung des Standorts beitragen und die Klima- und Umweltbilanz des Unternehmens durch die Nutzung der Abwärme erheblich verbessern.

Darüber hinaus können Kühlungsprozesse durch die Wärmeabfuhr von Abwärme und die Einspeisung in ein Wärmenetz die Produktion auch bei hohen Umgebungstemperaturen aufrechterhalten und sicherstellen. Wird im Gegensatz dazu die Abwärme durch Flusskühlung abgeführt, muss bei Erreichen der zulässigen Höchsttemperatur des aufnehmenden Gewässers die Produktion gedrosselt werden. Durch den fortschreitenden Temperaturanstieg im Zuge des Klimawandels ist dies schon heute ein immer häufiger auftretendes Problem. Bei der Abwärmeabgabe an ein Fernwärmenetz wird dieses Risiko minimiert, denn in Wärmenetzen ist auch in Sommerzeiten die Aufnahme von Wärme möglich, wenn keine konkurrierenden Wärmeerzeuger wie z. B. thermische Abfallbehandlungsanlagen, solarthermische Erzeuger oder andere Abwärmelieferanten im Netz vorhanden sind.

• • • **Exkurs: DIN EN ISO 50001:2018-12**

Durch Einführung und Aufrechterhaltung eines Energiemanagementsystems (EnMS) gemäß DIN EN ISO 50001 werden nicht nur Energieeinsparungen umgesetzt, sondern es können dadurch auch Steuern und Umlagen deutlich reduziert werden.

Dafür muss die energetische Situation im Unternehmen fortlaufend (!) verbessert werden. Alleine mit einmal eingeführten Effizienzmaßnahmen ist das kaum zu erreichen. Die Nutzung von Abwärme ist eine in den Betrieben kaum genutzte Energieeffizienzmaßnahme. Allerdings steigt das Interesse daran, da viele einfach umsetzbare Maßnahmen der Energieeinsparung bereits realisiert wurden. Dank aktuell sehr guter Fördermöglichkeiten für die Abwärmenutzung auf Landes- und Bundesebene bestehen derzeit geeignete Voraussetzungen, entsprechende Projekte zu verwirklichen.

Die durch die Nutzung von Abwärme erzielbaren Einsparungen senken betriebliche Energiekosten, reduzieren die CO₂-Emissionen und verbessern damit die Wettbewerbsfähigkeit. Grundsätzlich kann Abwärme wie folgt genutzt werden:

- **Innerbetriebliche Abwärmenutzung**
 - Zurückführung von Abwärme in denselben Prozess (Wärmerückgewinnung) oder in andere betriebliche Prozesse.
 - Hocheffiziente Strom- oder Kälteerzeugung aus Abwärme.
- **Außerbetriebliche Abwärmenutzung**
 - Direkte Versorgung eines benachbarten Unternehmens bzw. von Kunden mit Bedarf an Dampf, Fernwärme oder -kälte oder Strom.
 - Einspeisung von Abwärme in ein Wärmenetz (Abwärme-Wärmeverbund).

Effiziente Prozesse und Anlagen werden für immer mehr Unternehmen zu bedeutenden Produktionsfaktoren. Mit einem systematischen Energiemanagement kann die Energieeffizienz in Unternehmen kontinuierlich erhöht und somit können Kosten gesenkt werden. Erfahrungen zeigen, dass Unternehmen durch ein systematisches und genormtes Energiemanagementsystem mehr als 10% ihres Energieverbrauches einsparen konnten.

Das größte Potenzial für Kosteneinsparungen haben insbesondere energieintensive Unternehmen. Neben den direkten Einsparungen an Energiekosten können diese Unternehmen durch die Einführung und Aufrechterhaltung eines Energiemanagementsystems gemäß DIN EN ISO 50001 ihre Energie- und Stromsteuern (SpaEfV) sowie EEG-Umlagen (BesAR EEG) deutlich reduzieren. Die damit erzielbaren Kosteneinsparungen sind enorm und das Interesse an einer Zertifizierung entsprechend hoch.

Voraussetzung zur Nutzung dieser finanziellen Vorteile bei Steuern und Umlagen ist ein zertifiziertes Energiemanagementsystem gemäß DIN EN ISO 50001 (oder ein registriertes Umweltmanagementsystem nach EMAS-Verordnung). Ein systematisches Energiemanagement beruht auf der Erfassung der Energieflüsse in einem Unternehmen (Energiequellen, -einsatz, -verbraucher) und einer Bewertung der Energieeffizienz, insbesondere der für den gesamten Energieverbrauch bedeutsamen Anlagen/Einrichtungen und Prozesse/Tätigkeiten. Eine solche Erfassung ist Grundlage für die Umsetzung von technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz.

Die Einführung eines Energiemanagementsystems ist freiwillig. Die Zertifizierung erfolgt durch akkreditierte Zertifizierungsorganisationen (z. B. TÜV, DEKRA, usw.). Vor Ablauf der 3-jährigen Gültigkeit des Zertifikates ist ein Re-Zertifizierungsaudit notwendig. Darüber hinaus finden jährlich Überwachungsaudits statt. Dies sind Vor-Ort-Audits mit stichprobenartigen Prüfungen und geringerem Umfang im Vergleich zum Zertifizierungsaudit.

Die Anforderungen sind in der Norm DIN EN ISO 50001:2018 „Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung“ definiert. Die Norm soll Organisationen und Unternehmen beim Aufbau eines systematischen Energiemanagements unterstützen. Sie ist der Kern einer ganzen Normen-Familie, die kontinuierlich wächst. Die neuen Normen bringen teilweise verschärfte Anforderungen, aber auch praktische Hilfestellungen zur Umsetzung.

Ende 2016 wurde als neue Norm die DIN ISO 50003:2016-11 eingeführt. Seitdem liegt der Fokus auf dem Nachweis, dass die energetische Situation im Unternehmen kontinuierlich (!) verbessert wird. Während es vorher nur um die Einrichtung eines Energiemanagementsystems ging, ist nun die kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz darzulegen. Auditoren müssen dies künftig kontrollieren und bestätigen, sowohl für die Erst- als auch für jede Re-Zertifizierung. Ohne eine nachweislich steigende Energieeffizienz droht der Verlust des Zertifikats und der damit einhergehenden finanziellen Vorteile (Überblick Systematik und Aufbau der ISO 50000-Serie).

Mit der Forderung nach einer fortlaufenden Effizienzsteigerung eines Unternehmens sind oft die dort bereits eingeführten einfachen Effizienzmaßnahmen nicht mehr ausreichend. Neue Ansätze zur Effizienzsteigerung sind dann gefragt. Hier kann die sukzessive Nutzung von Abwärme ein weiterführendes Handlungsfeld sein. Insbesondere kann innerbetrieblich nicht nutzbare Abwärme außerbetrieblich an benachbarte Unternehmen oder einen Wärmenetzbetreiber abgegeben werden.

Effizienzansätze auf Basis außerbetrieblicher Abwärmennutzung lassen sich dank der heute verfügbaren Techniken (z. B. kalte Fernwärme, Hochleistungswärmepumpen) und der bestehenden Förderkulisse deutlich leichter verwirklichen, als noch vor wenigen Jahren. Ein erfolgreiches Projekt vereint ein praktikables technisches Konzept mit der Nutzung aller Vorteile (Förderung, Entlastung, Befreiung) und überwindet die Hindernisse, die durch die Kooperation zweier Partner entsteht, die traditionell keine Verbindungen haben.

3.3 Herkunft, Qualität und Wert

Haben beide Seiten, Industrieunternehmen (Quelle) und Wärmenetzbetreiber (Senke), ausreichendes Interesse an der Nutzung der Abwärme, sind weitergehende Fragen zu Herkunft und Qualität der Abwärme zu beantworten. Erst diese Ergebnisse lassen eine seriöse Berechnung des Wertes der Abwärme zu und ermöglichen allen Partnern die Entscheidung für das gemeinsame Projekt.

Soll Abwärme in ein Bestandsnetz oder in ein neues Netz integriert werden, müssen zahlreiche technische, betriebswirtschaftliche und energiewirtschaftliche Fragen und Berechnungen geklärt und durchgeführt werden (siehe Kap. 3.4). Für eine erste grobe Betrachtung können folgende Kriterien zur Bewertung von Abwärmepotenzialen herangezogen werden:

- Gestehungskosten (Kosten der Auskopplung)
- Erschließungskosten (Kosten des Transports bis zum Werkszaun)
- Räumliche Nähe zur Wärmesenke (Abstand zum nächsten verfügbaren Wärmenetz)
- Zeitliche Verfügbarkeit (Tages-, Wochen- und Jahresverlauf)
- Temperaturniveau (bei niedrigem Temperaturniveau: ggf. Verfügbarkeit von emissionsarmem Strom zum Betrieb von Wärmepumpen)
- Technisches Anschlusspotenzial an bestehende Netz- und Erzeugungsinfrastruktur (Netz- und Erzeugungsparameter des Abwärme aufnehmenden Netzes)
- Wärmebedarf im Netz der Wärmesenke (Kundenbedarf im Tages-, Wochen- und Jahresverlauf)
- Kundenstruktur und -entwicklung (möglicher Fernwärmeausbau durch Integration von Abwärme auch an Netzschnepunkten möglich)

Vereinfacht dargestellt: Je kostengünstiger, also mit geringerem technischen Aufwand, die Abwärme an der Quelle zu gewinnen ist, je näher sie an einer Senke (Wärmenetz) liegt, je regelmäßiger über den Jahres- und Tagesverlauf hinweg sie anfällt und je höher die Temperatur ist, umso wertvoller und besser ist diese Abwärme zur Einspeisung in ein externes Wärmenetz geeignet.

Das Netz selbst weist Voraussetzungen auf, die eine Integration leichter oder schwieriger machen können. Auch hier ist eine knappe Aussage möglich: Je besser das Profil der Wärmequelle zum Profil der Wärmesenke passt und je mehr Anlagen mit hohen Wärme-gestehungskosten im Erzeugungspark des Netzbetreibers verdrängt werden können, umso wertvoller ist die Abwärme für den Netzbetreiber.

Abwärme fällt an bzw. in unterschiedlichen Orten, Prozessen und Unternehmen an. Wichtigste und größte Abwärmequelle sind industrielle Prozesse. Nachteil dieser Abwärme ist, dass sie in der Regel in einiger Entfernung zu bestehenden Wärmenetzen/Wärmesenken anfällt. Abwärme aus dem Dienstleistungssektor, die in deutlich geringerem Umfang und Temperaturniveau anfällt, ist demgegenüber in der Regel verbrauchsnahe vorhanden und aus diesem Grund interessant. Daneben gibt es auch Sonderbereiche wie Abwärme, die aus Abwasser gewonnen werden kann.

Im Folgenden werden die Abwärmequellen Industrie und Dienstleistungssektor detailliert sowie Abwärme aus Rechenzentren und Abwasser kurz dargestellt.

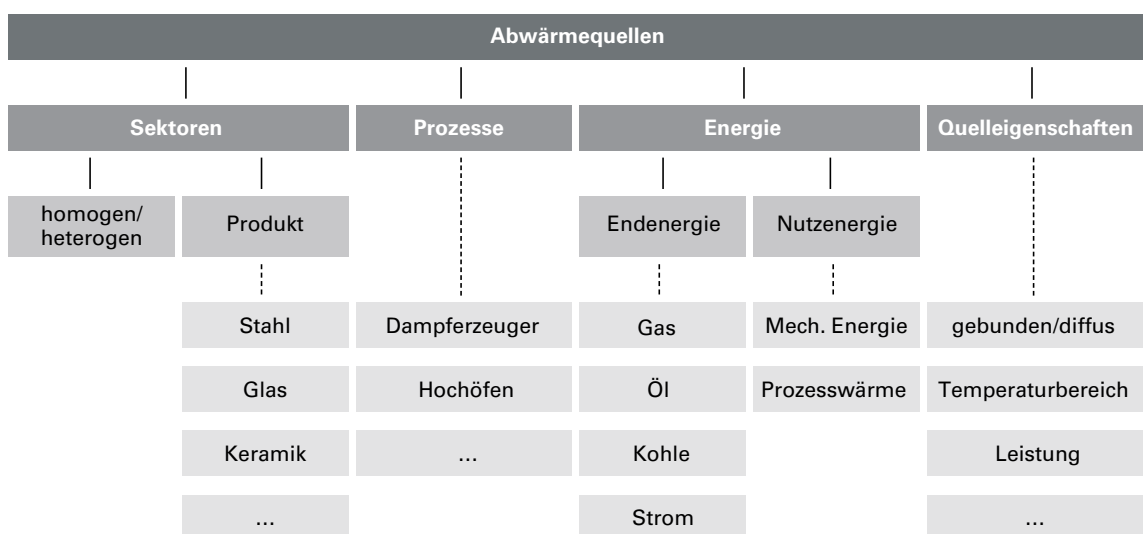
3.3.1 Industrielle Abwärme

Industrielle Abwärme ist ein Sammelbegriff, unter dem ganz unterschiedliche Abwärmetyphen subsumiert werden. Eine Kategorisierung hilft, eine grobe Einschätzung zu ihrem Wert und ihrer Nutzbarkeit zu erhalten.

Industrielle Abwärme kann nach den Sektoren bzw. Produkten, bei deren Herstellung sie anfällt, unterschieden werden, nach Prozessen und Anlagen, in denen sie entsteht oder nach End- oder Nutzenergieart, aus der sie entsteht. Alternativ kann eine Sortierung auch nach verschiedenen Quelleigenschaften, wie dem Temperaturniveau erfolgen. Eine Übersicht über verschiedene Kategorisierungsmöglichkeiten von Abwärmequellen ist in Abbildung 7 dargestellt.

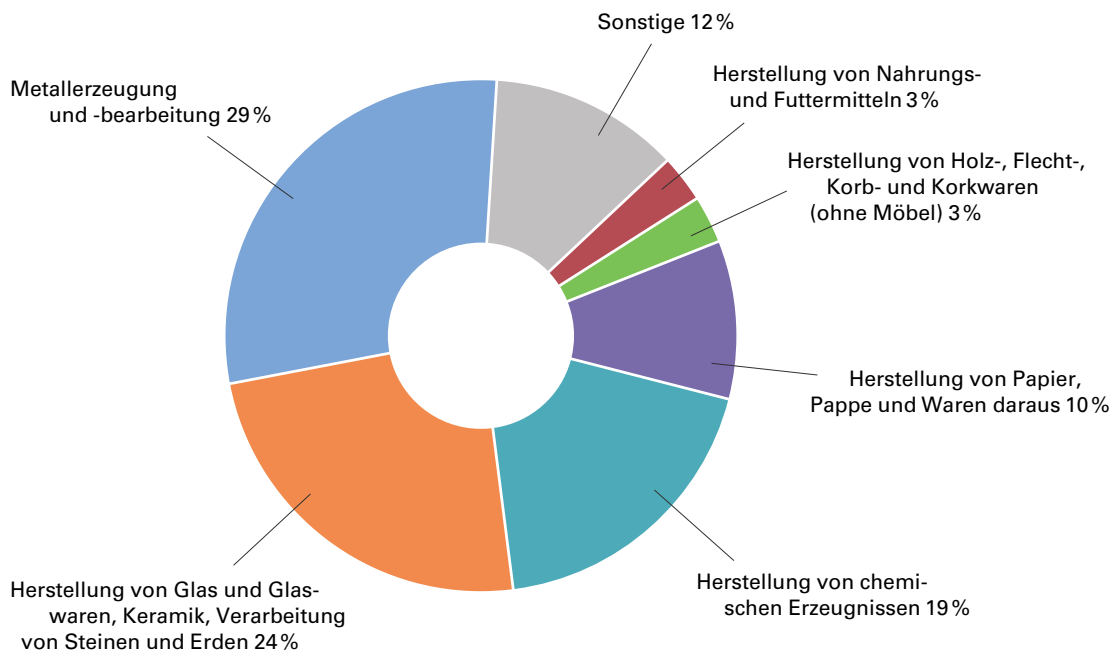
In insgesamt vier Industriebranchen entsteht ca. Dreiviertel der in Deutschland vorkommenden Abwärme. Neben der Erzeugung von Metall (29%), Glas und Keramik, der Verarbeitung von Steinen und Erden (24%) sowie der Herstellung chemischer Erzeugnisse (19%) fällt Abwärme in nennenswertem Umfang bei der Herstellung von Papier und Pappe (10%) an. Die übrigen 18% entstehen in den restlichen Sektoren.

Abbildung 7: Kategorisierungsmöglichkeiten von Abwärmequellen



Beispiele für Abwärmequellen sind Produktionsprozesse, die Dampf- oder Heißgaserzeugung für Trocknungsprozesse, zum Waschen, Galvanisieren, Eindampfen oder zur Destillation verwenden oder bei denen die Produkte, Rohstoffe oder Werkzeuge erwärmt werden. Auch bei thermischen Trennprozessen und beim Pasteurisieren fällt Abwärme an. Je nach Prozess divergieren die Temperaturen der anfallenden Abwärme stark. Bei Reinigungsprozessen entsteht beispielsweise Abwärme auf einem Temperaturniveau von 60 °C, in der Grundstoffindustrie (Roheisen, Stahl, Zement, Glas) von über 1.000 °C¹⁷.

Abbildung 8: Verteilung des Abwärmeaufkommens nach Sektoren



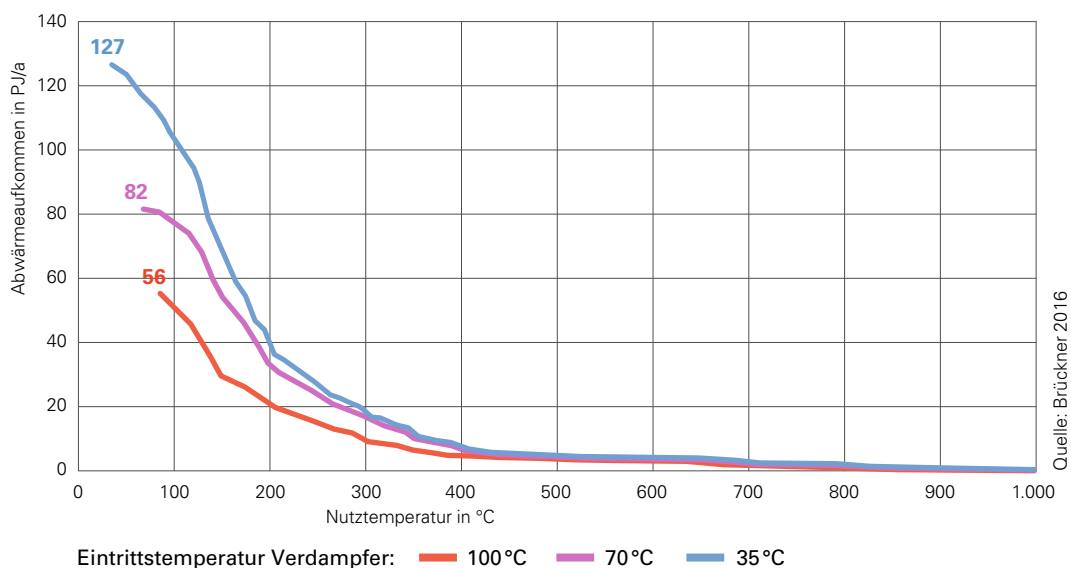
Quelle: Brückner 2016

Ein klassisches Beispiel für Abwärme auf hohem Temperaturniveau sind Industrieöfen. Eine Untersuchung aus dem Jahr 2000 zeigt, dass nur 40% der eingesetzten Energie in den Öfen umgesetzt wird, also 60% Verlust sind und als Abwärme nutzbar wären¹⁸. Durch die hohen Investitionskosten in die Öfen und ihren oftmals sehr hohen Einfluss auf die Produktqualität sowie die Zersplitterung der Branche in kleine bis mittelständische Betriebe handelt es sich um einen sehr innovationsträgen Prozess, der jedoch ein großes Abwärmepotenzial bietet. Gleichzeitig sind die Temperaturen hier mit bis zu 1.600 °C auch so hoch, dass es sich lohnt, die Abwärme als Prozesswärme weiterzuverwenden. EU-Consult ermittelte 2008 demgegenüber die höchsten Abwärmepotenziale bei Glasöfen (600 bis 1.300 °C). Bei Warmöfen, die bei der Umformung von Metallen eingesetzt werden, identifizierten sie Abwärmepotenziale zwischen 300 und 1.200 °C und bei Brennöfen in der Keramikindustrie zwischen 150 und 1.000 °C. Die große Spanne der Abgastemperaturen

¹⁷ Ifeu, 2010

¹⁸ Meyer, 2000

Abbildung 9: Abwärmeaufkommen aus ausgewerteten Industriebetrieben 2008



der oben genannten Öfen ergibt sich aus der unterschiedlichen Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung (Regenerator). In Tabelle 2 sind beispielhaft Abgastemperaturen aus verschiedenen Sektoren aufgeführt.

• • • **Ungenutzte Hochtemperatur-Abwärmepotenziale in der Industrie**¹⁹

Abwärmepotenziale industrieller Prozesse werden häufig am Abgasschlot erhoben (Temperatur und Volumenstrom), weil diese Daten für die emissionsrechtlichen Genehmigungen zur Verfügung gestellt werden müssen. Vielfach nicht berücksichtigt werden Hochtemperatur-Abwärmepotenziale innerhalb von Produktionsprozessen. Diese hochexergetischen Potenziale werden derzeit meist prozessintern vernichtet, obwohl sie technisch in der

Tabelle 2: Abgastemperaturen von Öfen aus verschiedenen Sektoren

Ofenart	Spezifikation	Übliche Abgastemperaturen
Hochöfen	(hinter dem Winderhitzer)	200 °C – 400 °C
Schmelzöfen	SM-Öfen	400 °C – 700 °C
	Glasöfen ohne Regenerator	900 °C – 1.300 °C
	Glasöfen mit Regenerator	600 °C – 800 °C
Warmöfen	ohne Regenerator	700 °C – 1.200 °C
	Glasöfen mit Regenerator	300 °C – 600 °C
Zementöfen		400 °C – 600 °C
Brennöfen	Keramische Industrie	150 °C – 1.000 °C
Glühöfen		600 °C – 700 °C

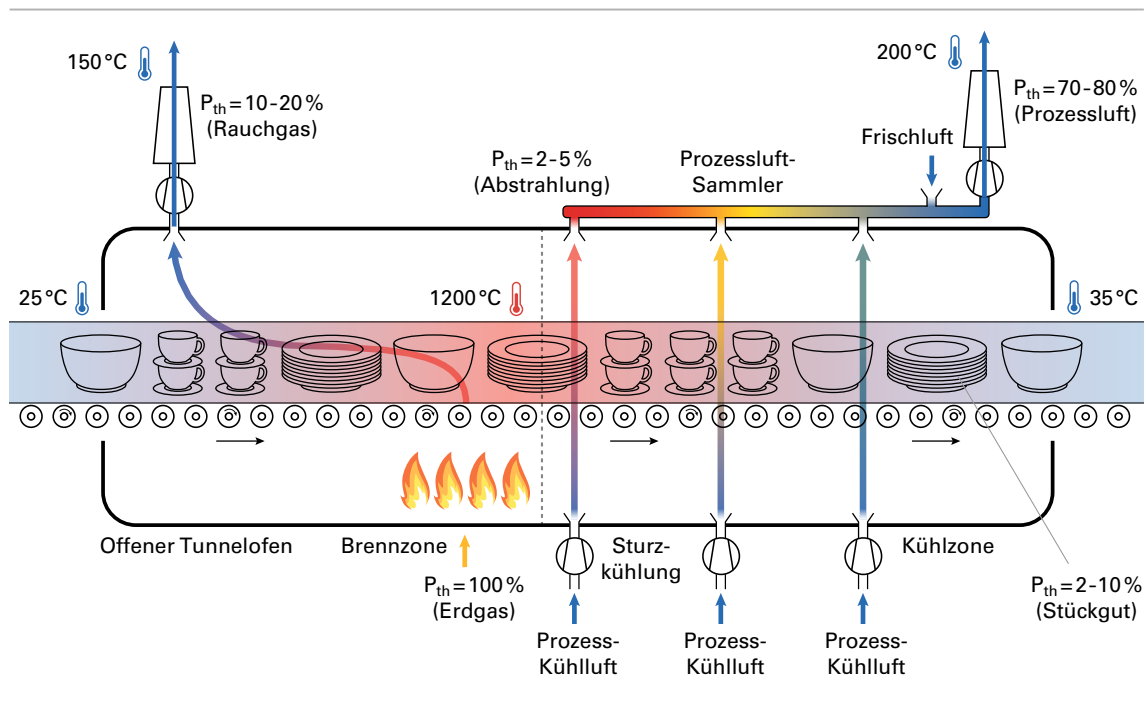
Quellen: EU-Consult und bifa Umweltinstitut 2008; LfU, 2008

19 IZES, 2019

Regel problemlos genutzt werden könnten. Gründe hierfür sind technische Restriktionen bestimmter Bauteile (z. B. Abluftfilter), die höheren Temperaturen nicht standhalten. Abluft- oder Abgasströme werden daher häufig heruntergekühlt, z. B. durch die Zuführung von Frischluft. In Abbildung 10 ist der Prozess eines Keramikbrennofens vereinfacht dargestellt.

In dem 50 Meter langen Brennofen wird keramisches Rohmaterial auf 1.200°C erhitzt und danach stufenweise durch Kühlluftströme abgekühlt. In der Brennzone entstehendes Rauchgas wird aus der Brennkammer abgezogen. Das heiße Gas vermischt sich mit der am Ofeneingang einströmenden Umgebungsluft, kühlt sich ab und wird mit einer Temperatur von ca. 150°C an die Außenluft abgegeben. Die nachgelagerte Prozessluft, die beim Abkühlen der Keramiken entsteht, wird über einen Sammler aufgenommen, mit Frischluft von außen abgekühlt und mit einer Temperatur von annähernd 200°C der Umgebung zugeführt. Diese Prozessluftkühlung verhindert, dass die den Ventilatoren zugeführte Ablufttemperatur deren erlaubte Höchsttemperatur von 200°C überschreitet.

Abbildung 10: Gasströme in einem Keramikbrennofen



Quelle: gian Ingenieurgesellschaft bR 2018

Die beiden aus dem Prozess abgeführten Abwärmeströme eignen sich aufgrund ihres Temperaturniveaus für Anwendungen wie Trocknungsprozesse, Kältebereitstellung oder die Vorwärmung der Brennluft, die sich in diesem Fall empfehlen würde. Exergetisch viel interessanter wäre jedoch die Nutzung der Prozessluft unmittelbar nach dem Brennvor-gang. Luftströme mit Temperaturen bis zu 1.000°C könnten dem Prozessluft-Sammler im vorderen Bereich und ohne Auswirkung auf den Produktionsprozess entnommen²⁰ und

²⁰ Die Restwärme nach der Verwertung der Hochtemperaturabwärme könnte weiterhin zur Vorwärmung der Brennluft eingesetzt werden.

dem Temperaturniveau entsprechend vielseitig verwertet werden. Durch diese Maßnahme könnte auch die Zuführung von Frischluft entfallen oder zumindest deutlich reduziert und der Abluftvolumenstrom deutlich verringert werden.

Ähnliche Situationen wie hier am Beispiel des Keramikbrennofens beschrieben, lassen sich in vielen weiteren vergleichbaren Industrieprozessen finden. Prinzipiell kann in weiten Teilen von Schmelzprozessen, wie sie z. B. in Gießereien, in der Glas- und Keramikindustrie sowie bei der Erzeugung von Stahl und Aluminium zu finden sind, eine vergleichbare Vernichtung potenziell nutzbarer Exergie unterstellt werden, da auch hier Temperaturbegrenzungen zum Schutz von Pump-, Gebläse- und Filteranlagen notwendig sind. Gleiches gilt für die meisten Brennvorgänge in keramischen Prozessen beim Herstellen von Glas- und Keramikprodukten, Ziegeln etc. Auch im Bereich der Metallbe- und -verarbeitung wie Press-, Schmiede-, Walz- und Ziehprozessen kommen vergleichbare Situationen vor.

Um das tatsächlich vorhandene Abwärmepotenzial für Temperaturen über 200 °C in der Industrie abschätzen zu können, empfehlen sich Vor-Ort-Untersuchungen mit detaillierten Prozessbetrachtungen und gezielte Temperatur- und Volumenstrommessungen. Auf diese Weise können insbesondere die verdeckten Hochtemperatur-Abwärmepotenziale beziffert und bisherige Potenzialstudien ergänzt werden.

3.3.2 Dienstleistungssektor

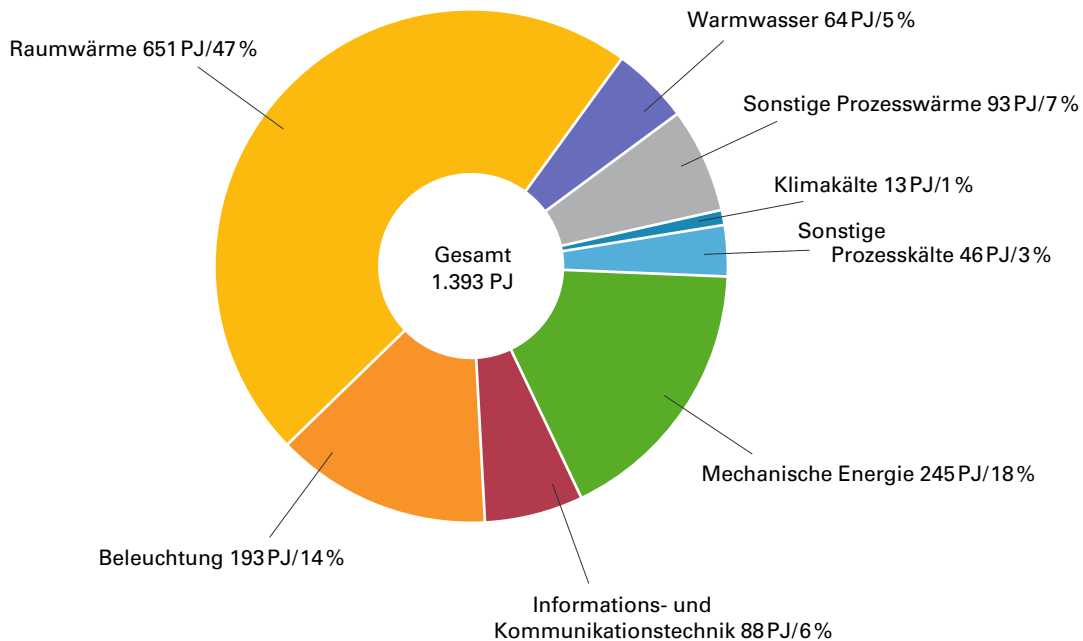
Unter dem Dienstleistungssektor (oder tertiärer Sektor) werden in der institutionellen Abgrenzung der Wirtschaftszweige alle privaten und öffentlichen Wirtschaftszweige verstanden, die Dienstleistungen anbieten. Dazu zählen Handelsbetriebe, Kühlhäuser, Rechenzentren, Verkehr, die Nachrichtenübermittlung, Banken und Versicherungen mit ihren Dienstleistern, büroorientiertes Gewerbe, sonstige Unternehmen und freie Berufe sowie auch Gebietskörperschaften.

Im Gegensatz zum Industriesektor werden in der Regel keine materiell greifbaren Produkte hergestellt, sondern Dienstleistungen, vom Haarschnitt über Kulturgüter und Transportleistungen bis zur Rechenleistung, bereitgestellt. Im Hinblick auf die Möglichkeiten der Abwärmenutzung gibt es einige grundlegende Unterschiede zu der vorgenannten Branche Industrie sowie der Abfallverbrennung:

- Der Energieeinsatz bezogen auf die Wertschöpfung ist meist geringer, da es in der Regel keine Prozesse zur stofflichen Umwandlung gibt.
- Es gibt meist keine durchgehende Produktion von lagerfähigen Gütern.
- Dienstleistungen werden in viel kleineren Unternehmen und somit viel stärker dezentral (aber damit oft auch verbrauchernah) erbracht.

Der Energieeinsatz des Dienstleistungssektors lässt sich gemäß nationaler Energiebilanz mit rund 1.400 PJ bzw. 390 TWh abschätzen, was in etwa der Hälfte des industriellen Energieeinsatzes entspricht. Mehr als die Hälfte dieser Menge entfällt auf Raumwärmebereitstellung und Warmwasser. Darüber hinaus haben Beleuchtung und mechanische Energie einen großen Anteil. Auf den als Abwärmequelle am besten geeigneten Einsatzzweck Prozesswärme entfallen lediglich 7 % bzw. 93 PJ (26 TWh), wie in Abbildung 11 dargestellt.

Abbildung 11: Energieeinsatz im Dienstleistungssektor/GHD 2015



Quelle: UBA, Energieeffizienz in Zahlen, 2017

Trotz dieser auf den ersten Blick ungünstigeren Voraussetzungen gibt es auch im Dienstleistungsbereich bisher verdeckte, nutzbare Abwärmepotenziale. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn

- größere Wassermengen genutzt und dabei aufgewärmt werden (z. B. Wäschereien, Schwimmbäder);
- zentrale Kühlsysteme vorhanden sind, deren Abwärme in gefasster Form vorliegt (Kühlhäuser, Rechenzentren, Einkaufszentren);
- zentrale Entlüftungssysteme mit warmer Fortluft vorliegen (Bürozentren, U-Bahn-Schächte, Krankenhäuser).

Durch die Vielfältigkeit des Dienstleistungssektors gibt es zahllose Nutzungsmöglichkeiten der zum Teil sehr kleinen Abwärmequellen. Jedoch werden hier nur die Möglichkeiten externer Abwärmenutzung behandelt. Dadurch fällt ein großer Teil der Dienstleistungsbranche heraus, verbleibende Quellen von Abwärme sind in Tabelle 3 mit typischen Eckdaten und Leistungsgrenzen zusammengestellt, die für die Nutzung in Wärmenetzen geeignet sind.

Diesen Quellen ist gemeinsam, dass die Abwärme nur auf einem Temperaturniveau vorliegt, das eine direkte Nutzung außerhalb der Liegenschaft kaum erlaubt. Innerbetrieblich lassen sich diese Abwärmequellen jedoch zur Luft- oder Trinkwarmwasservorerwärmung nutzen, mit zwischengeschalteten Wärmepumpen auch zur Raumbeheizung oder zur Einspeisung in intern vorhandene betriebliche Wärmenetze. In den meisten Fällen ist jedoch eine Wärmerückgewinnung (WRG) der Abluftströme bereits realisiert oder sinnvoller als eine Nutzung der Abwärme außerhalb des Objektes.

Die Qualität der Abwärme im Dienstleistungssektor ist also aufgrund der kleineren Leistungen und niedrigeren Temperaturen in den meisten Fällen nicht mit der Qualität industrieller Abwärme zu vergleichen.

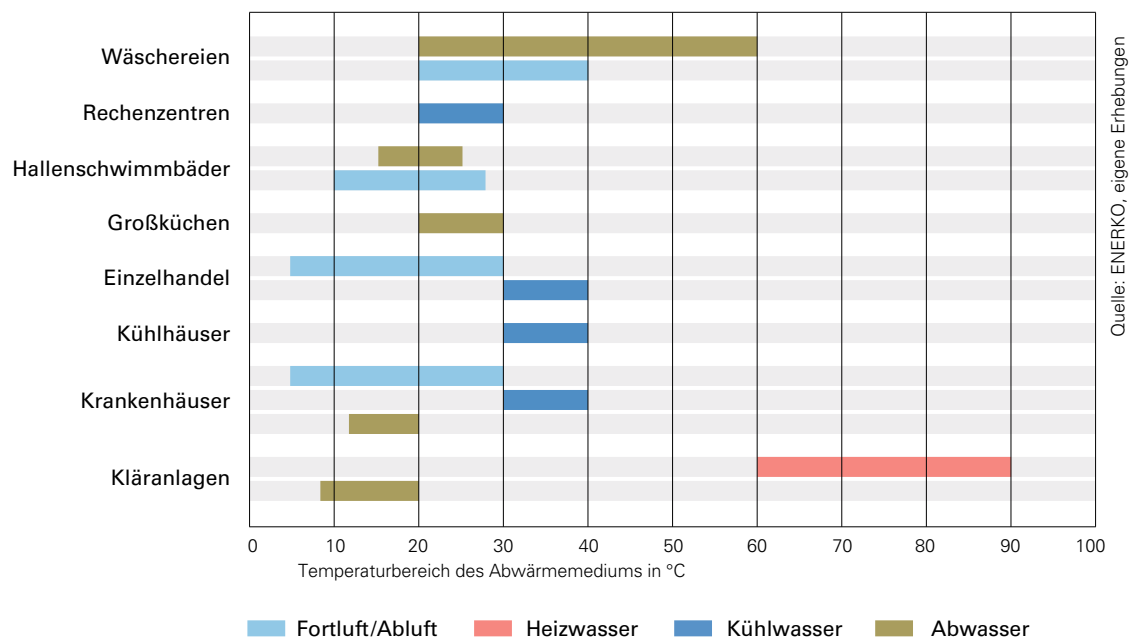
Eine externe Nutzung erfordert somit fast immer eine Temperaturanhebung durch Wärmepumpen. Dabei gilt aufgrund der thermodynamischen Grenzen des Kreisprozesses, dass die Leistungszahl und damit die Effizienz umso höher ist, je niedriger die benötigte Temperaturanhebung ist. Standardmäßige einstufige Wärmepumpen erreichen bei dem betrachteten Temperaturbereich der Wärmequelle eine Temperaturanhebung bis zu 50 Kelvin

Tabelle 3: Nutzbare Abwärmequellen im Dienstleistungssektor

Branche	Medium Abwärme	Temperaturen Abwärmemedium	Typischer Leistungsbereich	Zeitliche Dynamik und Saisonalität
Wäschereien	Abwasser	20 - 60 °C	< 100 kW	Meist 1-Schichtbetrieb, aber ganzjährig
	Abluft	20 - 40 °C		
Rechenzentren	Kühlwasser	20 - 30 °C	1 MW - 10 MW	Ganzjährig und durchgehend, aber durch freie Kühlung sommerlastiges Potenzial
Schwimmbäder (Hallenbad)	Abwasser	15 - 20 °C	100 - 500 kW	Winterlastig, im Sommer oft Revisionszeiten, Schwerpunkt aber während Öffnungszeiten
	Fortluft	10 - 25 °C		
Großküchen	Abwasser	20 - 30 °C	< 100 kW	Je nach Anwendungsfall, meist nicht durchgehend
Einzelhandel (Kaufhäuser, Einkaufscenter)	Fortluft (ganzjährig)	5 - 30 °C, meist schon WRG	100 - 500 kW	Öffnungszeiten, meist Mo-Sa, sommerlastiges Angebot
	Kühlwasser (Sommer)	30 - 40 °C		
Kühlhäuser	Kühlwasser	30 - 40 °C	100 kW - 10 MW	Sommerlastig, bei Tiefkühlung auch im Winter
Krankenhäuser	Fortluft (ganzjährig)	5 - 30 °C, meist schon WRG	100 kW - 1 MW	Ganzjährig
	Kühlwasser (Sommer)	30 - 40 °C		Nur während Kühlperiode
	Abwasser	10 - 20 °C		Ganzjährig
Kläranlagen	Faulgasverbrennung (Restwärme)	~100 °C	100 - 500 kW	Nur Sommer, im Winter Eigennutzung
	Auslaufwasser	8 - 20 °C	500 kW - 2 MW	Ganzjährig, aber saisonale Schwankungen

(= Temperaturdifferenz in °C) bei Heizwasser-Vorlauftemperaturen bis 65 °C. Für höhere Temperaturen müssen andere Kältemittel bei höherem Betriebsdruck eingesetzt werden. Diese Wärmepumpen werden meist schon als „Hochtemperaturwärmepumpen“ bezeichnet und sind für größere Leistungsbereiche bis zu mehreren Megawatt von verschiedenen Anbietern verfügbar.

Abbildung 12: Typische Temperaturbereiche von Abwärme im Dienstleistungssektor



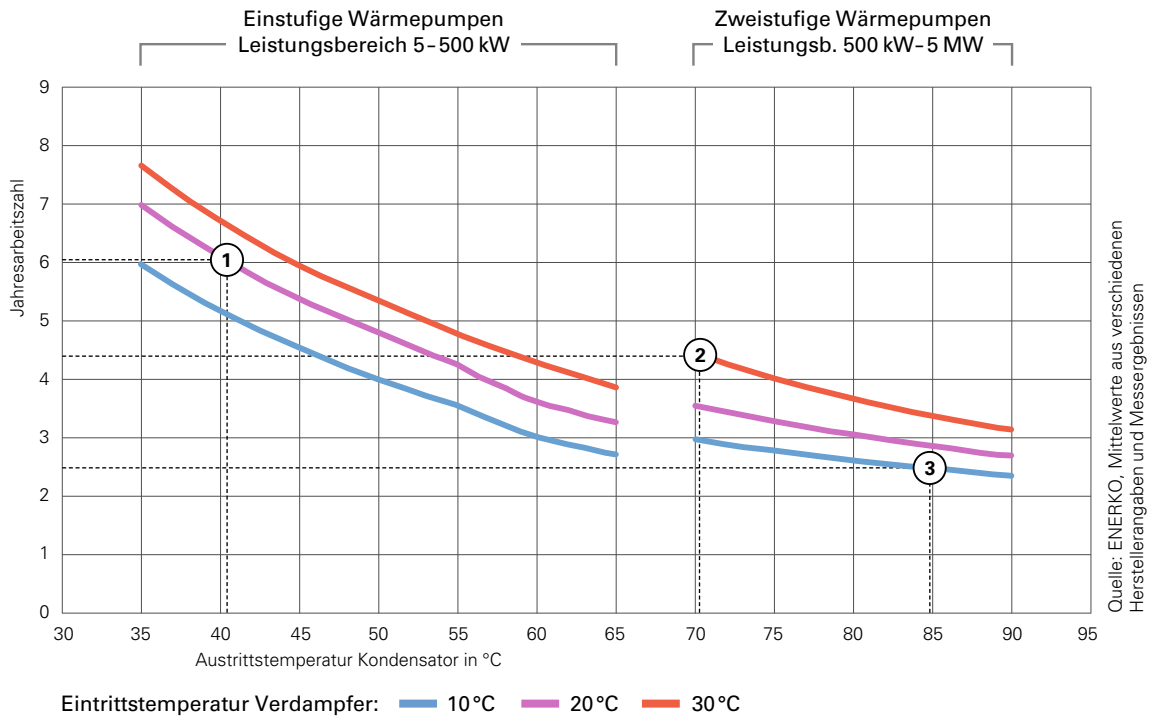
Erreichbare Jahresarbeitszahlen bei verschiedenen Quell- und Senktemperaturen sind in Abbildung 13 zusammengestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hier gezeigte erreichbare Effizienz (Jahresarbeitszahl) auch Hilfsstrombedarfe und Verluste durch wechselnde Betriebssituationen oder Bereitschaftsverluste umfasst.

In Abbildung 13 werden einige mögliche Anwendungsfälle von Abwärmenutzung in Form von Temperaturpaaren gezeigt:

- ① Die Abluft eines Krankenhauses (20°C) versorgt über ein Niedertemperatur-Nahwärmenetz ein benachbartes Wohnquartier. Dazu wird die zentrale Abluft über einen Wärmetauscher als Wärmequelle für eine Wärmepumpe mit einigen 100 kW Leistung eingesetzt. Mit einer angenommenen Vorlauftemperatur von 40°C können Flächenheizungen ganzjährig betrieben werden. Bei der Trinkwarmwasserbereitung ist zumindest eine Vorwärmung möglich, aus Gründen der Legionellensicherheit müsste hier jedoch eine zusätzliche elektrische oder solare Versorgung ergänzt werden. Bei einer Jahresarbeitszahl von 6 lässt sich eine hohe energetische Effizienz erreichen. Wirtschaftlich sind jedoch die in diesem Leistungsbereich noch sehr hohen Stromkosten (inkl. Umlagen und Netzentgelten mindestens 20 ct/kWh) und die Kapitalkosten der Wärmepumpen zu berücksichtigen.
- ② Die ganzjährig anfallende Abwärme eines Rechenzentrums wird als Wärmequelle für ein kommunales Wärmenetz genutzt. Um eine bessere Effizienz zu erreichen, wird über eine Großwärmepumpe im Megawatt-Bereich nur die Temperatur des Fernwärmenetzrücklaufes angehoben. Es ist also immer eine Nachheizung durch andere Erzeuger (z. B. KWK-Anlagen) nötig. Ein solches Konzept ist nur möglich, wenn das Rechenzentrum in der Nähe des Wärmenetzes liegt. Eine Arbeitszahl von 4 bis 5 wäre in einer solchen Anwendung möglich.
- ③ Der saubere Wasserablauf einer Kläranlage besitzt im Jahresmittel eine Temperatur von 15°C, wird als Wärmequelle für eine Hochtemperaturwärmepumpe genutzt und hebt den Rücklauf auf eine Vorlauftemperatur von 85°C an. Diese Wärme kann dann in ein Fern-

wärmenetz eingespeist werden, wobei auch hier im Winter eine Nachheizung oder Beimischung mit höheren Temperaturen erforderlich ist. Wegen der höheren Zieltemperatur ist bei Nutzung von Abwasserwärme nur eine Jahresarbeitszahl von unter 3 realistisch. Stromseitig ist zu prüfen, ob ggf. Eigenstromüberschüsse der meist vorhandenen Klärgas-BHKW-Anlagen nutzbar sind oder ob eine Kombination aus Wärmepumpe und BHKW am Standort möglich ist.

Abbildung 13: Jahresarbeitszahlen* von Wärmepumpen bei unterschiedlichen Temperaturspreizungen



* Jahresarbeitszahlen: Verhältnis von Wärmeerzeugung zu Stromeinsatz

Diese drei Varianten zeigen, dass für die Abwärmenutzung außerhalb großer, industrieller Abwärmequellen unterschiedliche Hemmnisse zu überwinden sind.

Für die Zukunft dürfen trotz aller Hemmnisse Abwärmequellen im Dienstleistungsbereich nicht unberücksichtigt bleiben, da die Transformation des Wärmesektors eine Nutzung aller Potenziale erfordert. Zudem wächst der Dienstleistungssektor seit Jahren bei fast gleichbleibendem Energieeinsatz, sodass auch in der Perspektive bis 2050 trotz Effizienzsteigerungen Abwärmepotenziale vorhanden sein werden. Durch die fortschreitende Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie in Verbindung mit dem weiteren Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung dürften sich die heute noch schwierigen Einsatzmöglichkeiten weiter verbessern.

3.3.3 Abwärme aus Rechenzentren

Insbesondere die Digitalisierung führt zu steigendem Stromverbrauch, dessen steigende CO₂-Emissionen durch Abwärmenutzung zumindest anteilig kompensiert werden können. Eine Studie der RWTH Aachen prognostiziert einen zusätzlichen Strombedarf von ca. 3,8 TWh bis 2025 allein durch die Umstellung auf den Mobilfunkstandard 5G.²¹

Laut Borderstep-Institut verbrauchten deutsche Rechenzentren im Jahr 2018 insgesamt 14 TWh Strom. Prognosen gehen von einer Steigerung auf 16,4 TWh im Jahr 2025²² aus, was einem Anteil von über 3 % am gesamten deutschen Stromverbrauch 2018 entspräche. Das hieraus noch abzuleitende Potenzial an verfügbarer und für Wärmenetze nutzbarer Abwärme aus Rechenzentren²³ ist groß. Moderne Rechenzentren mit tausenden von Serverschränken verfügen über elektrische Anschlussleistungen von 10 bis 50 MW, vereinzelt bis über 100 MW. Der in einem Rechenzentrum verbrauchte Strom wird dabei vollständig in Wärme umgewandelt, welche unter Nutzung von Großwärmepumpen zu etwa 70 % wieder nutzbar gemacht werden kann.

Rechenzentren sind langfristige und nachhaltige Infrastrukturen, die im Regelfall für 20 bis 30 Jahre an einem Standort betrieben werden. Perspektivisch werden sie wegen ihrer zunehmenden Anzahl und Größe für Wärmenetzsysteme kontinuierlich interessanter als Wärmequelle. Zum einen bewirkt die bevorstehende Abschaltung der KWK-Kohleanlagen teilweise ein deutliches Defizit in der Wärmeversorgung, zum anderen ist bei Rechenzentren in Zukunft mit einer weiteren Steigerung der Energiedichte pro m² und bei Umstellung der Kühltechnik mit höheren Temperaturen der Abwärme zu rechnen. Dadurch kann tendenziell mehr und qualitativ hochwertigere Abwärme genutzt werden. Nur 19 % der Rechenzentren nutzen aktuell einen Teil ihrer Abwärme. Etwa 11 TWh Abwärme aus Rechenzentren könnten bis 2025 ausgekoppelt und nutzbar gemacht werden.

3.3.4 Abwärme aus Abwasser

Abwärme aus Abwasser ist eine kontinuierlich vorhandene und in großem Umfang verfügbare Energiequelle. Jeder Haushalt, der Warmwasser nutzt, aber auch Gewerbe und Industrie leiten täglich große Mengen an Wärmeenergie über das Abwasser in die Kanalisation ein. Dadurch hat Abwasser auch im Winter durchschnittlich eine Temperatur von 10 bis 12 °C, im Sommer von etwa 17 bis 20 °C. Die im Wasser enthaltene thermische Energie steht jedoch für die direkte Nutzung nicht zur Verfügung, sondern kann nur mithilfe einer Wärmepumpe nutzbar gemacht werden. Die Energie kann entweder direkt für die Beheizung von einzelnen Gebäuden genutzt oder in ein Wärmenetz eingespeist werden.

Energie lässt sich aus dem Abwasser grundsätzlich an zwei Stellen gewinnen:

- verbrauchernah durch Wärmetauscher im öffentlichen Kanalnetz oder Wärmerückgewinnung direkt beim Einleiter,
- verbraucherfern in Abwassersammlern oder auf dem Gelände einer Kläranlage.

21 EON, 2019

22 IZM & Borderstep 2015

23 Es bestehen unterschiedliche Definitionen für Rechenzentren. Es wird empfohlen, die Definitionen des BSI zu verwenden, z. B.: Rechenzentrum (Housing) nach BSI-KritisV Anlage 4 Teil 1 Satz 2 Buchstabe f.

Bei der Betrachtung des technischen Potenzials lässt sich zusammenfassend festhalten, dass etwa 5 bis 15% (bis zu 100 TWh) des Wärmebedarfs im deutschen Gebäudesektor mit Energie aus Abwasser gedeckt werden könnten. Mehrere Studien²⁴ untersuchten das Potenzial und unterstützen die Annahme, dass Abwasserwärme einen signifikanten Beitrag zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors leisten kann. Entscheidend ist dabei immer, wie weit die Energiequelle räumlich vom potenziellen Abnehmer entfernt ist.

Unter den gegebenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind in der Projektpraxis Entfernungen zwischen Quelle und Senke von bis zu 900 m wirtschaftlich realisierbar. Erreicht werden im Bereich der Wärmenetzeinspeisung bislang Zieltemperaturen von maximal 80 bis 90°C, was die Nutzung in Wärmenetzen in einem Großteil des Jahres ermöglicht. Die bisher realisierten Entzugsleistungen liegen zwischen 20 kW und 2,1 MW.

Gute Standorte für die Energiegewinnung aus Abwasser befinden sich in Städten und Ballungsgebieten, aber auch in kleineren Ortschaften in der Nähe von ausreichend großen Abwassersammlern. Letztlich stellen sich bei jedem Projekt drei Fragen:

- Wo befindet sich der nächste öffentliche Kanal mit genügend Einbaulänge bzw. Einbaudimensionen oder eine Kläranlage?
- Wieviel Abwasser ist dort kontinuierlich verfügbar?
- Welche Temperatur hat das Abwasser?

Während es vor einigen Jahren noch anspruchsvoll und aufwändig war, die notwendigen Informationen und Genehmigungen für solche Projekte zu erhalten, vermarkten heute einige Kanalnetzbetreiber ihre Energie aus dem Abwasser bereits selbst. Teilweise stehen Energiekarten im Internet zur Verfügung, die es erlauben, einen beliebigen Standort in relativ kurzer Zeit zu projektieren.

3.4 Integration von Abwärme in Wärmenetze

Der (Nutz-)Wert der Abwärme wird nicht nur durch die Bedingungen auf Seiten der Abwärmequelle entschieden. Auch die Bedingungen und Parameter auf der Wärmenetzseite sind für die Nutzbarkeit von zentraler Bedeutung. Mit höherer Netztemperatur, größerer Netzausdehnung und mehr Erzeugeranlagen steigt die Komplexität und nehmen die Anforderungen einer Integration zu. Doch Komplexität muss kein Nachteil sein: Viele verschiedene Anlagen, auf die ein Netzbetreiber zugreifen kann, ermöglichen bei optimaler Auslegung und Fahrweise einen effizienten Netzbetrieb. Daneben gibt es noch weitere Grundsätze, die bei der Integration von Abwärme zu berücksichtigen sind:

- **Geographische Nähe:** Wärmequellen und -senken liegen oft nicht nah genug zusammen. Wärmequellen befinden sich häufig in Gewerbearealen (IT-Abwärme, Groß- und Einzelhandel) oder innenstadtnah (Krankenhäuser, Schwimmbäder, Einkaufsgalerien). In beiden Fällen ist eine Kopplung mit Neubauquartieren, in denen eine Versorgung mit niedrigen Temperaturen umsetzbar wäre, räumlich nicht möglich. Wenn Nah- oder Fernwärmenetze vorhanden sind, können diese grundsätzlich zum Transport genutzt werden, allerdings unter Beachtung der damit verbundenen Temperaturkurven.

²⁴ IER, 2011; Enervis, 2017; IFEU, 2018

- **Jahreszeitliche Faktoren:** Abwärme aus Dienstleistungsbetrieben ist noch stärker als industrielle Abwärme sommerlastig, da sie entweder aus Kühlprozessen stammt oder im Winter besser im Objekt selber genutzt werden kann (z. B. für Wärmerückgewinnung in RLT-Systemen oder direkt zur Raumheizung).
- **Kosten Temperaturanhebung:** Niedrige Temperaturen erfordern meist Wärmepumpen. In der Praxis lassen sich zwar energetisch sinnvolle Arbeitszahlen erreichen, einem wirtschaftlichen Einsatz stehen allerdings die hohen Strompreise entgegen. Im Einzelfall sind die Nutzung von Eigenstrom oder die Kopplung von Wärmepumpen mit BHKW-Anlagen zu prüfen. Zudem wäre ein Ordnungsrahmen wünschenswert, der für solche energieeffizienzsteigernden Maßnahmen der Sektorkopplung ein zumindest abgesenktes Niveau energiewendebezogener Umlagen (EEG, Stromsteuer, Netzentgelte) ermöglicht.

Im folgenden Kapitel wird auf diese und weitere allgemeine Bedingungen für die Integration von Abwärme in Wärmenetze eingegangen.

3.4.1 Allgemeine Bedingungen zur Integration von Abwärme

Fernwärmesysteme sind technische und energiewirtschaftliche Systeme, in denen zahlreiche Variablen zu steuern sind. Auf technischer Seite sind in einem Fernwärmenetz stets Druck, Temperatur und Volumenstrom an jedem Punkt im Netz zu kontrollieren und sicherzustellen. Damit eine neue Quelle in ein Fernwärmesystem integriert werden kann, sind zahlreiche Voraussetzungen zu erfüllen. Je höher der technische Aufwand ist, um eine Quelle zu integrieren, desto geringer sind der Wert dieser Quelle für das Gesamtsystem und ein individueller Preis für die einzubindende Wärme. Obgleich Industrierwärme oft auf höherem Temperaturniveau anfällt, ist ihre Gewinnung möglicherweise kompliziert und die Einspeisung aufgrund langer Transportwege teuer, aber für ein Bestandsnetz auf hohem Temperaturniveau eine sinnvolle Lösung. Die Nutzung der Abwärme aus dem Dienstleis-

Abbildung 14: Fall 1 – Hochtemperierte Abwärme in einem Bestandsnetz

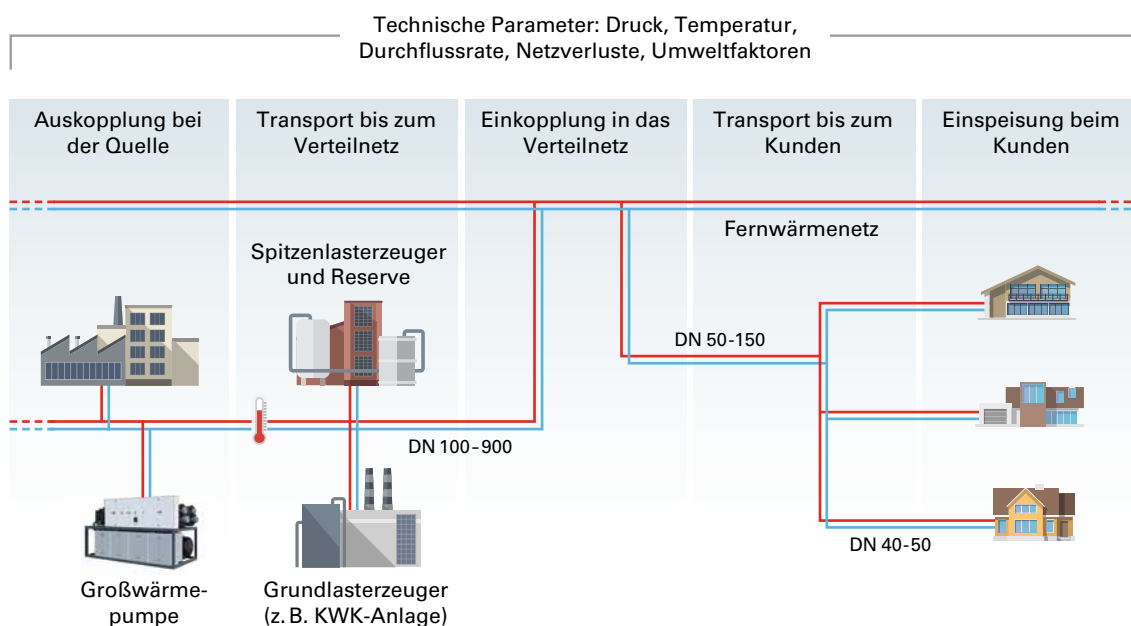
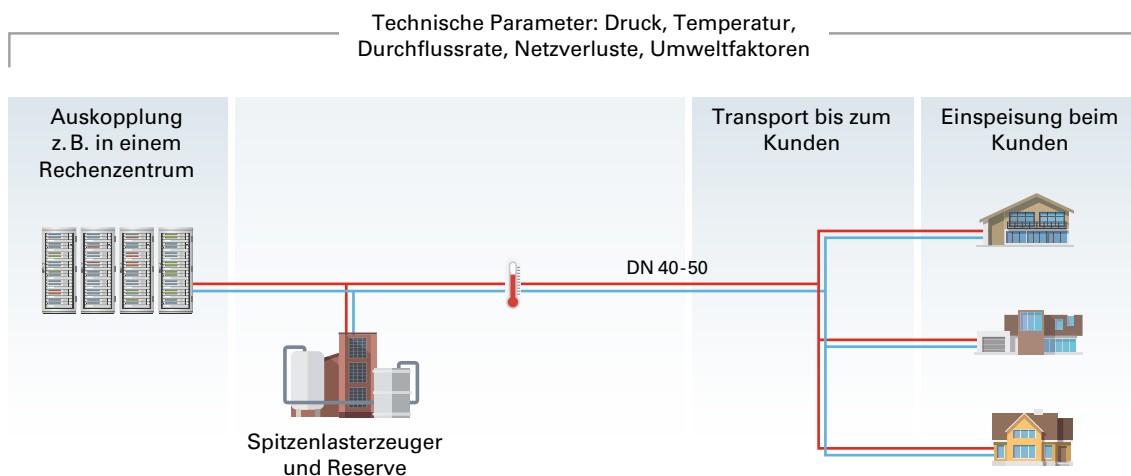


Abbildung 15: Fall 2 – Niedertemperaturige Abwärme aus dem Dienstleistungssektor in einem Neubaugebiet mit Niedertemperaturnetz und Neubauten mit geringem Wärmebedarf



tungssektor, die bspw. aus der Abluft oder dem Abwasser des Betriebes leicht ausgekoppelt werden kann, stellt demgegenüber eine geeignete Lösung für ein neu zu errichtendes Niedertemperaturnetz einer in der Nachbarschaft liegenden Neubausiedlung dar. Schematisch zeigen dies die nachfolgenden, unterschiedlichen Entstehungs- und Einsatzorte von Abwärme.

In jedem Fall muss die Abwärme für den Netzbetreiber nutzbar gemacht werden, unabhängig davon, ob sie aus der Rauchgaskondensation eines Industrieunternehmens oder aus der Großklimaanlage eines Rechenzentrums stammt. Nach der Übergabe und vor der Einspeisung in das Verteilnetz muss sie an die Netzparameter Druck und Temperatur angepasst werden. Die Temperatur der Wärmequelle muss oberhalb der Temperatur des Wärmenetzes liegen, da das Fernwärmewasser des Netzes sonst nicht vollständig aufgewärmt werden kann. Kann dies nicht zu jeder Zeit durch die Abwärmequelle selbst gewährleistet werden, muss die Temperatur durch den Einsatz einer Wärmepumpe angehoben werden (siehe Exkurs Temperaturerhöhung, S. 45). Deren Nutzung erfordert neben den Investitionen in den Bau auch den Einsatz von mit Umlagen und Abgaben belastetem Strom und senkt dadurch den Wert der Wärme für den Wärmenetzbetreiber.

Ein weiterer Einflussfaktor für die Netzintegration ist die Übereinstimmung (hinsichtlich Menge und Zeit) von Wärmeeinfall der Quelle und Wärmebedarf der Senke, also im aufnehmenden Netz. Auf Seiten des Wärmenetzbetreibers kommt es für eine Bewertung des Wertes der Abwärme darauf an, welche Erzeugertechnologien sie ergänzt oder bestenfalls verdrängt.

Im Falle einer Solarthermieanlage ist es z. B. entscheidend, in welchem Umfang die saisonal anfallende Wärme genutzt werden kann, also ob der Wärmenetzbetreiber bei seinen Endkunden auch das Brauchwasser erheizt, das ganzjährig benötigt wird, oder ob er nur Raumwärme bereitstellt. Für den Fall, dass er nur Raumwärme bereitstellt, kann die vor allem im Sommer anfallende Wärme kaum genutzt werden oder sie muss mit Hilfe von großen Speichern in die Übergangsjahreszeit „geschoben“ werden. Ist der Wärmenetzbetreiber auch für die Brauchwassererwärmung zuständig, kann solare Wärme im Sommer zuverlässig abgenommen und genutzt werden.

Des Weiteren ist der bestehende Erzeugungspark des Wärmenetzbetreibers von Bedeutung: Kann der Einsatz von Heizkesseln beim Wärmenetzbetreiber durch Abwärmenutzung vermieden werden, hat sie einen hohen Wert. Sind im Fernwärmesystem jedoch sogenannte KWK-Must-Run-Anlagen im Einsatz, deren Betrieb im Sommer keine Möglichkeit für das Einspeisen von zusätzlicher Wärme zulässt²⁵, dann hat die Abwärme keinen oder nur einen geringen Wert. Die Investition in die solarthermische Anlage muss in diesem Fall auf weniger Einsatzstunden verteilt werden, wodurch sie teuer und möglicherweise unwirtschaftlich wird.

Außerdem ist der geographische Abstand einer Quelle zum Fernwärmesystem zu beachten. Ein zu großer Abstand zieht höhere Leitungsbaukosten nach sich und erhöht die Netzverluste. Die Bedingungen und das Umfeld des Leitungsbaus bestimmen maßgeblich die Kosten. Sie liegen zwischen 500 und 2.000 Euro pro Meter, in Ausnahmefällen, wie bspw. in historischen Innenstadtlagen, auch deutlich darüber.

Folgende Rahmenbedingungen bestimmen den Preis von Fernwärmetrassen:

- **Städtischer oder ländlicher Raum:** Eine hohe Dichte von anderen Ver-/Entsorgungseinrichtungen und städtischen Infrastrukturen verkomplizieren den Trassenbau (Wasser, Abwasser, Telekommunikation, U-Bahn/Bahntrassen usw.).
- **Bodenbeschaffenheit:** Sandige Böden bieten bspw. sehr günstige Bedingungen. Grundsätzlich gilt: Je aufwändiger der Materialaushub, desto höher die Aufwendungen.
- **Bodenbeläge:** In historischen Innenstädten können die Bodenbeläge unter Denkmalschutz stehen und stellen damit einen hohen Kostenbestandteil dar, weil sie nach Beendigung der Baumaßnahmen mit den originalen Materialien wiederhergestellt werden müssen.

Auf Kundenseite hat ein Fernwärmesystembetreiber in der Regel gesetzliche Verpflichtungen im Hinblick auf die Umweltqualität der gelieferten Wärme. Hier gilt es, einen bestimmten Primärenergiefaktor einzuhalten. Dieser wird durch den Erzeugungspark sowie den Einsatz der Erzeugungsanlagen bestimmt. Da Abwärme als klimaneutrale Komponente der Fernwärme angesehen wird, verbessert ihre Einbindung den Primärenergiefaktor. Der CO₂-Ausstoß des Erzeugungsparks der Fernwärme ist ein weiteres Qualitätsmerkmal, welches zunehmend an Bedeutung gewinnt und durch den Einsatz von Abwärme verbessert werden kann.

Auf dem Weg zwischen Auskopplung und Einkopplung kommt der Druckhaltung eine wesentliche Rolle zu. Kunden können nur sicher an jedem Ort des Netzes mit Wärme versorgt werden, wenn ein bestimmter Druck im Vorlauf der Wärmeversorgung aufrechterhalten wird. Je länger der Abstand von der Quelle bis zum Kunden ist, umso aufwändiger wird es, den Druck aufrechtzuerhalten. Unter Umständen müssen zusätzliche Pumpstationen gebaut werden, um einen genügend hohen Betriebsdruck für alle Kunden zu gewährleisten. Der erforderliche Platzbedarf erschwert die Einkopplung der Abwärme und erhöht damit gleichzeitig die Kosten.

25 Dies ist insbesondere bei stromgeführten KWK-Anlagen der Fall, welche bestimmte Mindeststrommengen aus technischen oder vertraglichen Gründen bereitstellen müssen oder bereits eine andere Wärmequelle wie zum Beispiel eine thermische Abfallbehandlungsanlage zuverlässig die Wärme bereitstellt.

Um die Versorgungssicherheit der Kunden des Wärmenetzbetreibers jederzeit zu gewährleisten, muss jede größere Wärmequelle abgesichert werden, sodass sie bei Ausfall ersetzt werden kann. Grundsätzlich gilt: Für jede Wärmequelle, die unregelmäßig zur Verfügung steht, entstehen zusätzliche Kosten, um die Wärme zu besichern. Das bedeutet, dass eine Ersatzanlage innerhalb des Wärmenetzes zur Verfügung stehen muss, die ggf. die Wärmeproduktion übernimmt. Zwischen Abwärmelieferant und Energieversorgungsunternehmen muss bilateral geklärt werden, wer die Aufgabe der Besicherung übernimmt. Ggf. kann die notwendige Ersatzkapazität auch innerhalb des Werksgeländes durch bestehende Wärmeerzeuger bereitgestellt werden. Das Nutzungsrecht der Ersatzerzeuger muss dann jedoch für den Fall eines Betriebsausfalls durch zusätzliche Verträge geregelt werden. Gesicherte Wärme hat einen deutlich höheren Wert als nicht besicherte Wärme (siehe 3.6.2).

Können beim Transport der Wärme von der Quelle bis zur Senke vorhandene Wärmenetze genutzt werden, reduziert sich der Aufwand erheblich. Häufig wird durch die Wärmesenke, in der Regel durch ein Energieversorgungsunternehmen der komplette Leitungsbau übernommen. D. h. die Übergabe der Wärme erfolgt bereits auf dem Grundstück der Wärmequelle. Nicht selten übernimmt der Versorger den notwendigen Anlagen- und Leitungsbau für die Auskopplung, da er über mehr Know-how zu der dafür erforderlichen Technik verfügt.

3.4.2 Zusammenhang von Abwärme- und Netztemperatur

Bei der Integration von Abwärme in Fern- und Nahwärmenetze sind stets die spezifischen Bedingungen des Netzes zu berücksichtigen. Die Fahrweisen von Wärmenetzen hängen von Kunden- und Erzeugerstruktur, den topologischen Gegebenheiten und der Historie des Netzes ab und können nicht ohne Aufwand verändert werden. Insbesondere das Thema Wärmenetztemperatur gibt einen Einblick in die Vielfalt der zu berücksichtigenden Aspekte. Bestehende Wärmenetze werden heute mit Vorlauftemperaturen von mindestens 70 °C betrieben. Insbesondere für große Fernwärmenetze liegt häufig eine außentemperaturabhängige Anpassung der Vorlauftemperatur vor. Durch diese „gleitende Fahrweise“ wird es möglich, durch Anhebung der Temperatur (auf teilweise mehr als 130 °C) eine größere Wärmemenge durch die bestehende Leitung zu transportieren und auch zu Spitzenlastzeiten im Winter alle Wärmekunden sicher zu versorgen. Die Einspeisung von Abwärme kann nur erfolgen, wenn die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes zu jedem Zeitpunkt erreicht werden kann, d. h. auch die Abwärme muss der gleitenden Fahrweise durch eine Temperaturerhöhung angepasst werden.

• • • Exkurs: Temperaturerhöhung

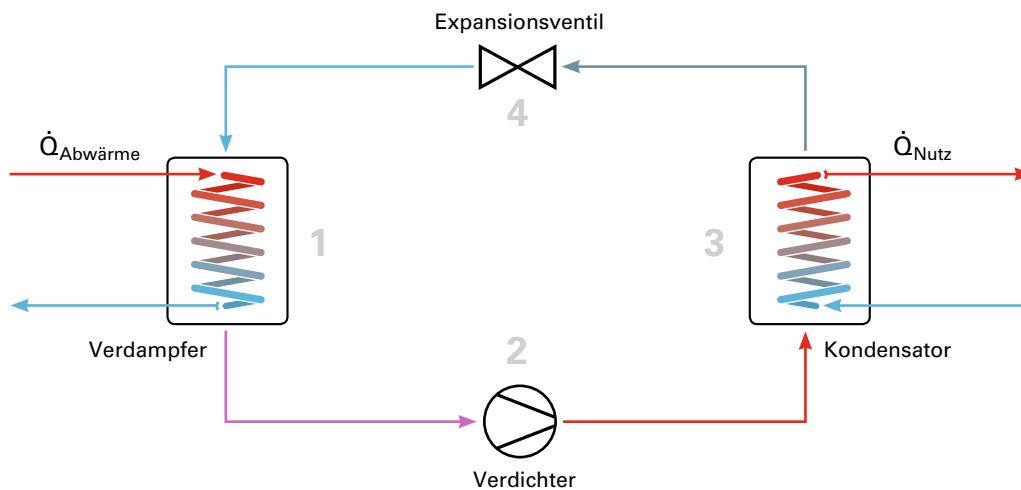
Sollte, wie beschrieben, die Temperatur der Abwärme nicht ausreichen, um die erforderliche Vorlauftemperatur des Wärmenetzes zu erreichen, muss die Temperatur erhöht werden. Hierfür eignen sich Wärmepumpen, Wärmetransformatoren und Nachheizer. Erforderliche Temperaturerhöhungen der Abwärme können technisch mit folgenden Anlagen durchgeführt werden:

- **Wärmepumpe**

Das Prinzip einer Wärmepumpe besteht darin, dass ein Arbeitsmedium (Kältemittel) unter Wärmezufuhr auf einem niedrigeren Temperaturniveau verdampft wird (1). Anschließend wird es in einem meist mit Strom angetriebenen Kompressor verdichtet (2), um im Folgenden auf einem höheren Temperaturniveau unter Wärmeabgabe auskondensiert zu werden (3). Der interne Kreislauf schließt sich durch die Entspannung des Arbeitsmediums in einem Expansionsventil (4). In der Thermodynamik spricht man auch von einem linksläufigen Kreisprozess (Abbildung 16).

Die Leistungszahl COP (engl. Coefficient Of Performance) beschreibt die Qualität einer Wärmepumpe. Sie bildet sich aus dem Quotienten der erzeugten Wärmeleistung dividiert durch die benötigte elektrische Leistung (Antriebsenergie). Mit den Annahmen, dass ein COP von 3 bei einer Vorlauftemperatur von 90 °C erreicht werden soll, ergibt sich eine erforderliche Verdampfungstemperatur des Kältemittels von ca. 30 °C.

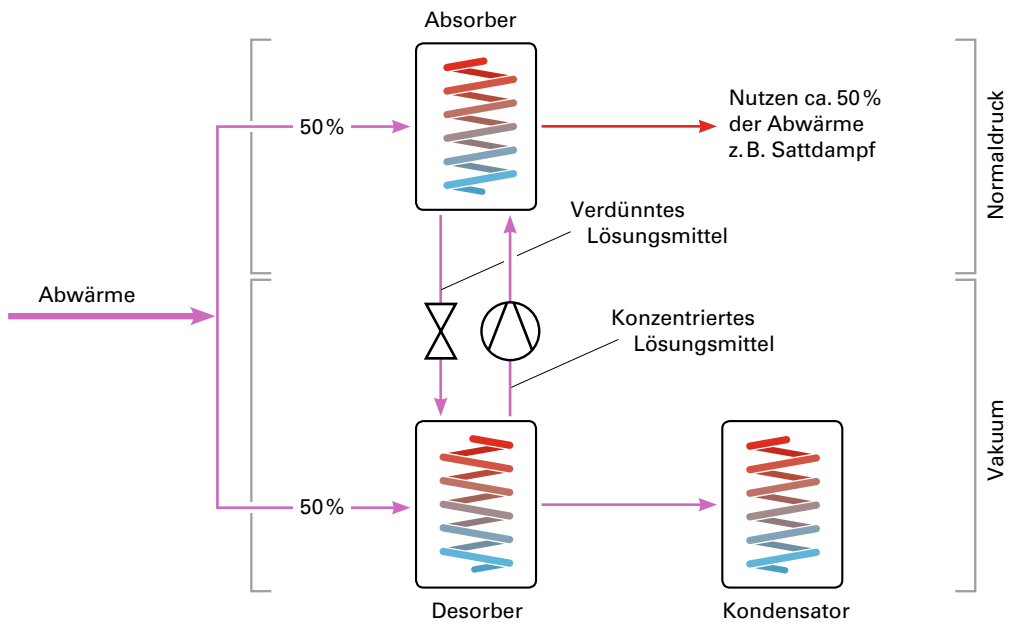
Abbildung 16: Funktionsschema einer Wärmepumpe



- **Wärmetransformator**

Bei Wärmetransformatoren wird die Temperaturerhöhung eines Teiles der Abwärme mit Abkühlung des anderen Teils der Abwärme angetrieben (Abbildung 17). Anders formuliert folgen sie mit ihrer Arbeitsweise dem Prinzip der Wärmepumpen, jedoch ist Antrieb nicht ein elektrisch angetriebener Motor, sondern die thermische Abwärmequelle selbst. Dabei kann die Temperatur der Abwärme ohne zusätzlichen Energieeinsatz erhöht und an der Absorberseite abgeführt werden. Wärmetransformatoren geben weiterhin einen Teil der Abwärme, der für den Betrieb der Anlage benötigt wird, an die Umwelt an der Desorberseite mittels Kühlung oder eines Kondensators ab. Wärmetransformatoren sind insbesondere bei großen Mengen nahezu kostenfreier Abwärme interessant. Im Vergleich zu Wärmepumpen weisen Wärmetransformatoren relativ hohe Investitionskosten, jedoch keinen Stromverbrauch auf.

Abbildung 17: Funktionsschema eines Wärmetransformators

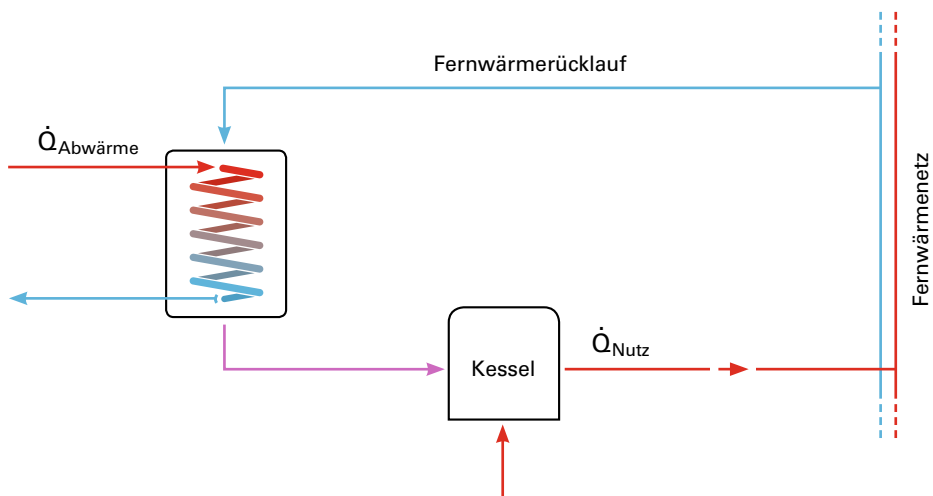


Quelle: Firmenschrift Getec in BWK 10/2016

- **Nachheizung**

Bei Nachheizungen (Abbildung 18) wird der Abwärmestrom (rot: $\dot{Q}_{\text{Abwärme}}$) zur Vorwärmung des Rücklaufs der Fernwärme verwendet (blau). Anschließend (violett) wird das vorgewärmte Fernwärmewasser mit Hilfe eines Kessels auf die gewünschte Temperatur erhitzt, um wieder in den Vorlauf des Wärmenetzes eingespeist zu werden (rot: \dot{Q}_{Nutz}). Im Brenner des Kessels wird auf herkömmliche Weise Wärme durch die Verfeuerung eines Brennstoffs erzeugt (rot: \dot{Q}_{Heiz}). Dieser kann beliebigen Ursprungs sein, somit kommen auch erneuerbare Brennstoffe wie Biogas oder Holz in Frage.

Abbildung 18: Funktionsschema einer Nachheizung



Eine grundsätzliche Aussage, welche Technologie die beste ist, kann nicht getroffen werden. Für jeden Einzelfall müssen die Optionen hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen Eignung untersucht und je nach Anwendungsfall eine Bewertungsrangfolge erstellt werden.

Kann die Temperatur der Abwärmequelle nicht ausreichend angehoben werden, um in das Wärmenetz mit der aktuellen Temperatur integriert werden zu können, ist die Senkung der Vorlauftemperatur im Wärmenetz ebenfalls eine Option, um die Einbindung von Abwärme zu begünstigen. Jedoch kann die Vorlauftemperatur im Netz nicht kurzfristig gesenkt werden, da signifikante Anpassungen auf der Abnehmerseite des Netzes, also in der Haustechnik der Kunden, notwendig sind, um eine sichere Wärmeversorgung auf einem niedrigeren Temperaturniveau zu gewährleisten.

Eine bessere Auskühlung des Fernwärmewassers ist generell sinnvoll, insbesondere wenn durch Gebäude- und Technikanierung der Wärmebedarf oder die Vorlauftemperaturanforderungen aller versorgten Kunden zurückgegangen ist. Die Anpassungen auf der Kundenseite, die dazu dienen, die gelieferte Wärme effizienter zu nutzen, bezeichnet man übergreifend als Rücklauftemperatursenkung. Investitionen, die eine Absenkung der Rücklauftemperatur erreichen, ermöglichen langfristig die Absenkung der Vorlauftemperatur und erhöhen damit sowohl das nutzbare Abwärmepotenzial und als auch die Effizienz des Netzes insgesamt.

Die Eingriffstiefe, um in einem Netz die Rücklauftemperatur zu senken, ist erheblich, da alle Kundenanlagen (!) optimiert werden müssen, um die Temperatur des gesamten Netzes zu senken. Für eine projektbezogene Entscheidungsfindung müssen somit die Kosten für die Absenkung der Rücklauftemperatur mit denen einer Nachheizung der Abwärmequelle verglichen werden, bevor eine Entscheidung zur Technik getroffen werden kann.

3.4.3 Netzhydraulik und technische Anschlussbedingungen

1. Netzhydraulik

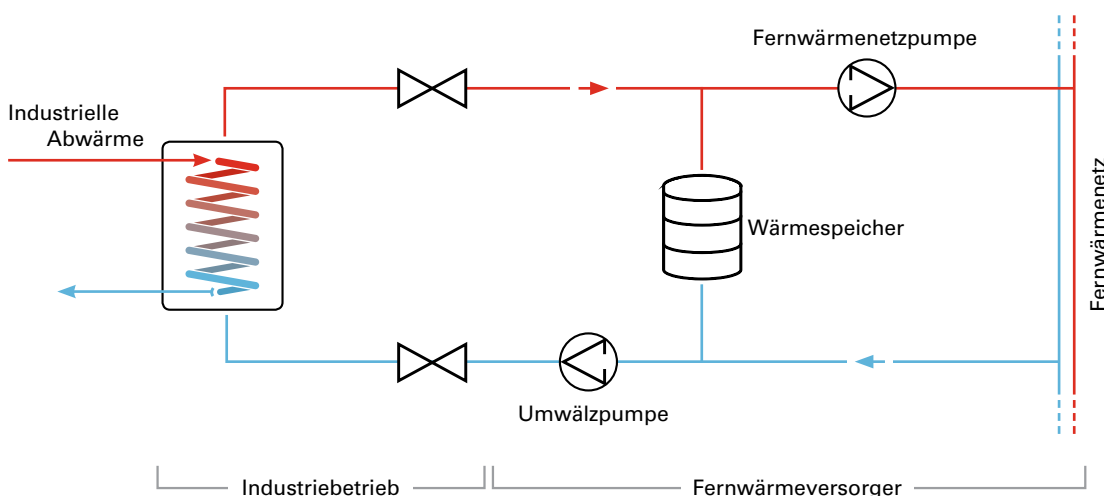
In Abhängigkeit von Topologie und Netzlänge werden Wärmenetze auf unterschiedlichen Druckniveaus betrieben. Bei Heißwassernetzen sorgen Netzpumpen durch eine Druckerhöhung im Vorlauf für die Umwälzung des Wassers und gewährleisten hierdurch die notwendigen Differenzdrücke für eine sichere Wärmeversorgung bis an die Randgebiete der Netze. Grundsätzlich kann man die übertragbare Wärmemenge in Rohrleitungen durch Hinzunahme größerer Pumpen erhöhen, jedoch kann aufgrund der Zunahme von Reibungsdruckverlusten und Materialabnutzung eine maximale Strömungsgeschwindigkeit in Rohrleitungen nicht überschritten werden, wodurch diese Flexibilitätsoption begrenzt ist. Falls die Übertragungsleistung an einer bestimmten Stelle weiter erhöht werden soll, als die verlegten Leitungen erlauben, müssen entweder an den Engstellen größere Rohrdimensionen verlegt oder anderweitige Entlastungsverbindungen gebaut werden, sog. Netzverstärkungsmaßnahmen.

Durch die Einspeisung von Abwärme können sich die Druck- und Strömungsverhältnisse innerhalb des Netzes verändern, sodass bei Beginn der Maßnahmen die Auswirkungen auf die Hydraulik des Netzes geprüft und die Einspeisepumpen entsprechend ausgelegt werden müssen. Sollten Fehler in der Hydraulik passieren, kann es vorkommen, dass es zu

Stagnation und Unterversorgung in einzelnen Netzbereichen kommt oder dass der Druck in anderen Bereichen zu hoch wird, was zu Materialermüdung führen kann und durch unkontrolliertes Austreten von heißem Wasser eine Gefahr darstellt.

In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, ob die Netzdimension am nächstgelegenen Punkt zur Abwärmequelle für deren Einbindung ausreicht. Insbesondere an Randgebieten mit geringerer Wärmeabnahme sind die Rohrleitungsdurchmesser des Netzes möglicherweise zu gering. Ggf. sind Netzverstärkungsmaßnahmen oder die Identifikation alternativer Anschlusspunkte notwendig.

Abbildung 19: Zusammenspiel von industrieller Abwärme und Fernwärmeversorgung



2. Technische Anschlussbedingungen:

- **Technische Anschlussbedingungen von Kundenanlagen:**

Wärmeübergabestationen von Kunden werden hinsichtlich der zuvor beschriebenen Temperatur- und Druckverhältnisse (technische Anschlussbedingungen oder kurz TAB) zum Zeitpunkt des Anschlusses ausgelegt, die dem Kunden vertraglich zugesichert sind. Auch die gesamte nachfolgende Haustechnik der Kundengebäude ist auf die zugesicherten Werte ausgelegt. Der Sanierungszyklus der Kundenanlagen beträgt Jahrzehnte, sodass eine kurzfristige Anpassung von Temperatur- und Druckverhältnissen in bestehenden Fernwärmenetzen nicht möglich ist, ohne die vertraglich vereinbarten Versorgungsbedingungen aller Kunden zu beeinflussen.

- **Erzeugerstruktur:**

Die bestehenden Erzeugungsanlagen, mit denen Wärmenetze versorgt werden, unterliegen Abhängigkeiten und Kausalitäten. Beispielsweise haben große thermische Kraftwerke (insbesondere Dampfkraftwerke) häufig lange Startzeiten und können daher nicht beliebig aus- und eingeschaltet werden. Dies führt häufig zu einem Betrieb der Anlagen bei Mindestlast auch in Zeiten geringen Wärmebedarfs. Bei der Integration von Abwärmequellen in bestehende Wärmenetze muss geprüft werden, ob diese, unter Berücksichtigung der zeitlichen Verfügbarkeit, mit der bestehenden Erzeugerstruktur vereinbar ist.

- **Wasserqualität in Wärmenetzen:**

Zum Schutz der Rohrleitungen vor frühzeitiger Alterung durch Korrosion gelten in Wärmenetzen hohe Anforderungen an die Wasserqualität²⁶. Bei der Integration der Abwärmequellen muss sichergestellt werden, dass die Wasserqualität nicht beeinträchtigt wird. Beispielsweise wird dies bei einer Abwärmeauskopplung aus einem chemischen Erzeugungspark mit eigener leitungsgebundener Wärmeverteilung durch hydraulische Trennung der Systeme, also das Zwischenschalten eines Wärmetauschers, sichergestellt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Netzintegration von Abwärmequellen ist der notwendige technische Aufbau. Dieser ist abhängig von Art, Temperatur und Medium der Abwärme sowie den spezifischen Gegebenheiten des Wärmenetzes an der potenziellen Anschlussstelle. Neben dem Grundsatz, dass die Einbindung stets über eine hydraulische Trennung durch Wärmetauscher erfolgt, gilt es folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Es muss sichergestellt sein, dass eine Temperaturregelung abhängig von der Abwärmequelle möglich ist. Bei Hochtemperaturabwärme, die stets wärmer als die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes ist, kann diese Regelung vergleichsweise einfach, durch Beimischung von kälterem Rücklaufwasser erfolgen. Bei Niedertemperaturabwärme oder möglichen Temperaturschwankungen muss eine Temperaturerhöhung durch fein geregelte Nachheizung, einen geeigneten thermischen Speicher und entsprechende Regelung vorgesehen werden.
- Die Druck- und Mengenregelung der Einspeisung erfolgt mit Ventilen und Druckregulationen.
- Der Übergabepunkt zwischen Abwärmequelle und Wärmenetz ist projektspezifisch unter Berücksichtigung von Platz- und Einbindungsverhältnissen zu ermitteln. Eine frühzeitige Abstimmung und gemeinsame Planung zusammen mit wärmeabgebendem und wärmeaufnehmendem Unternehmen ist die Voraussetzung dafür, die optimale Schnittstelle zu identifizieren.

3.4.4 Erfolgsfaktoren der Netzintegration

Trotz der Vielzahl an Bedingungen für die Wärmenetze, in die eingespeist werden soll, ist es möglich, folgende generell gültigen Erfolgsfaktoren für die Umsetzung der Integration von Abwärme abzuleiten.

- Räumliche Nähe der Abwärmequelle zum Wärmenetz (mit entsprechender Dimensionierung in Bezug auf Wärmeleistung und -mengen) reduziert die Kosten des Netzanschlusses.
- Temperaturniveau von Abwärmequelle und Wärmenetz:
 - Bestandswärmenetze: Die Fahrweise des Bestandsnetzes ist zu berücksichtigen. Durch die Absenkung der Vorlauftemperatur des Bestandsnetzes kann das Potenzial der Abwärme erhöht werden. Um die Transportkapazität konstant zu halten, ist dies mit einer Absenkung der Rücklauftemperatur verbunden. Dies führt zu einem Eingriff in die Auslegung und den Betrieb aller Kundenanlagen im Bestandsnetz und ist mit hohem finanziellem Aufwand und langen Vorlaufzeiten verbunden.

26 vgl. AGFW, FW510

- Neubauwärmenetze: Wärmenetze in Neubaugebieten benötigen, aufgrund des gegenüber alten Netzen geringeren Wärmebedarfs der Gebäude und alternativer Heizsysteme, in der Regel geringere Vorlauftemperaturen. Dies erhöht das Potenzial zur Integration von Abwärme auch auf niedrigem Temperaturniveau. Bei entsprechender Neuplanung eines Wärmenetzes können Abwärmeparameter von Beginn an berücksichtigt werden, wodurch sich mehr Einspeiseoptionen als bei nachträglicher Integration ergeben. Jedoch muss die thermische Besicherung auch bei neuen Wärmenetzen immer sichergestellt und physisch im Netz vorhanden sein.
- Eine gemeinsame Planung der Integration von Abwärme vor dem Bau eines Wärmenetzes führt zu optimaler Auslegung und Fahrweise und spart Kosten.

Wärmenetze sind der Schlüssel, um Abwärme in großen Mengen auch außerhalb der Unternehmen nutzen zu können, wenn im Unternehmen alle Möglichkeiten der Abwärmevermeidung sowie -nutzung ausgeschöpft sind oder in unmittelbarer Nachbarschaft keine passende Wärmesenke zur Verfügung steht. Bei der Einbindung von Abwärme in Wärmenetze sind die spezifischen Gegebenheiten der Wärmenetze und ihre Fahrweise zu berücksichtigen. Dies muss durch den Netzbetreiber erfolgen und kann sehr aufwändig sein. Die notwendige Vorprüfung erfordert Zeit und verursacht Kosten. Es gilt: Der Netzbetreiber muss zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit haben, die beschriebenen Parameter der Abwärmeeinbindung zu kontrollieren und zu regeln. Anders als bei Stromnetzen, stehen nur wenige Wärmeerzeugungsanlagen in einem Wärmenetz zur Verfügung, um den Ausgleich zwischen Erzeugung und Bedarf herzustellen.

Erreicht werden kann dieser Ausgleich nur, wenn sich Wärmenetzbetreiber und Abwärmelieferant eng abstimmen und die Anforderungen des bestehenden Wärmenetzes erfüllt werden. Aus diesem Grund ist eine generelle Pflicht, jede anfallende Abwärme in ein bestehendes Wärmenetz einzubinden, nicht zielführend, da sie die Gesamteffizienz und -sicherheit des Netzes reduzieren kann. Eine Pflicht, dies in jedem einzelnen Fall ausreichend zu prüfen und zu dokumentieren, wäre zielführend.

Die Integration von Abwärme muss auf der Grundlage von Wärmepartnerschaften erfolgen. Die politischen Rahmenbedingungen sollten die Nutzung anreizen und jede Verschwendung und Nichtnutzung von Abwärme sanktionieren. Eine Vorschrift, jegliche anfallende Abwärme zu integrieren, ist technisch und wirtschaftlich kontraproduktiv, eine Prüf- und Dokumentationspflicht ist allerdings notwendig.

Die Vorgaben der „Verordnung über den Vergleich von Kosten und Nutzen der Kraft-Wärme-Kopplung und der Rückführung industrieller Abwärme bei der Wärme- und Kälteversorgung“ (Kosten-Nutzen-Vergleichsrechnung) sind ein erster wichtiger Schritt. Allerdings bezieht sich diese Regelung überwiegend auf neue oder zu erneuernde Feuerungsanlagen und umfasst somit nicht bestehende Abwärmepotenziale.

Ein weiteres Hemmnis auf dem Weg zur Abwärmenutzung stellt die fehlende Pflicht zur Veröffentlichung von Vergleichsergebnissen dar. Die Verordnung mündet zwar in einer Dokumentationspflicht des Unternehmens (Ergebnis des Vergleiches zw. Abwärme und KWK), ist aber nicht öffentlich zugänglich und muss lediglich als Teil des Genehmigungsverfahrens beim BAFA eingereicht werden. Die technische und wirtschaftliche Analyse der Abwärmenutzung durch den Netzbetreiber (Wärmesenke) ist bisher nicht vorgesehen

und auch derzeit – ohne Kenntnis der geplanten Errichtung von Erzeugungsanlagen – nicht möglich. Hier könnte der Gesetzgeber ein öffentliches Register starten und Veröffentlichungspflichten verbindlich vorsehen.

3.5 Umsetzungsschritte Abwärmeprojekte: Entscheidungsphase

3.5.1 Projektdefinition und -initiierung

Ein Abwärmeprojekt kann grundsätzlich von beiden Projektpartnern angestoßen werden. Entweder hat ein Abwärmelieferant in seinen internen Analysen und Energieaudits eine geeignete Abwärmequelle identifiziert und kontaktiert den Wärmenetzbetreiber eines nahegelegenen Bestandsnetzes oder er sucht Partner zum Aufbau eines neuen Wärmenetzes, welches die Abwärme zu den Wärmesenken transportieren kann. Projekte können ebenso von Wärmenetzbetreibern, die auf der Suche nach geeigneten Abwärmepotenzialen entlang oder in der Nähe ihres Netzes sind, initiiert werden, um den eigenen Wärmemix durch weitere dekarbonisierte Abwärme zu ergänzen. Hierbei sind frei verfügbare Informationen oder gut dokumentierte nicht öffentliche Informationen über Abwärmequellen, Wärmenetzbetreiber etc. entscheidend, damit eine Projektidee überhaupt entstehen kann. Ein verbindliches Abwärmeregister könnte diesen Prozess verbessern und den erforderlichen Bewertungsprozess deutlich beschleunigen.

3.5.2 Technische und wirtschaftliche Bewertung

Die technische und wirtschaftliche Bewertung umfasst immer die folgenden vier Schritte:

1. Begleitung der Erstellung des technischen Konzepts

Zu Projektbeginn steht eine technische Machbarkeitsstudie, welche durch externe oder interne Berater koordiniert werden muss. Hierbei stehen sowohl die Bereiche Netze (Genehmigungsplanung, Netzplanung) und Technik im Versorgungsunternehmen (technische Einbindung der Abwärme) als auch die notwendigen Anpassungen beim Wärmelieferanten (Auskopplung, evtl. Prozessanpassung, etc.) im Mittelpunkt.

2. Energiewirtschaftliche Berechnungen

Mit der technischen Auslegung von Erzeugung und Netz kann ein energiewirtschaftliches Modell erstellt werden, um die ökonomischen und ökologischen Kennzahlen und Auswirkungen des Projektes zu ermitteln. Dazu gehören neben den reinen Kosten der Abwärmeeinspeisung auch die energiewirtschaftlichen Opportunitäten durch geringeren Brennstoffeinsatz in konventionellen Wärmeerzeugern. Dem müssen die zusätzlichen Kosten für die Abwärmeeinbindung, benötigten Pumpenstrom und anfallende Wärmeverluste gegenübergestellt werden. Nicht zu vernachlässigen sind ggf. Effekte durch Neukunden, welche mit der Abwärme versorgt werden und einen positiven Effekt auf Deckungsbeiträge und die Wirtschaftlichkeit einer Abwärmennutzung haben können. Abschließend sollten noch die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen einer kritischen Betrachtung unterzogen werden, insbesondere die langfristige Entwicklung der Preise für konventionelle Brennstoffe, CO₂-Emissionen, oder erzielbare Wärmepreise. Hierfür sind ggf. Sensitivitätsanalysen notwendig. Mittels Modellen und Simulationen können der Deckungsanteil der Abwärme bestimmt und die Auswirkung der Auskopplung auf die Netze und Erzeugung mit quantitativen Daten untermauert werden. Die ermittelten Kennzahlen sind Grundlage für den Businessplan.

3. Erarbeitung des Förderkonzepts

In der Regel weisen die energiewirtschaftlichen Berechnungen eine Wirtschaftlichkeitslücke auf, sodass Fördermittel benötigt werden. Dazu ist die Erstellung eines Förderkonzeptes notwendig. Hier sind Bundes- und Landesförderungen zu eruieren und Kumulationsvorgaben zu berücksichtigen. Wenn die geeigneten Förderprogramme identifiziert wurden, sind die Anforderungen an technische Anlagen ggf. auf die Förderbedingungen anzupassen, um den bestmöglichen Förderrahmen zu gewährleisten. Abschließend werden die ermittelten Förderungen dokumentiert und in die Wirtschaftlichkeitsrechnung und die Businesspläne integriert.

4. Businessplan

Aus dem technischen Konzept, den energiewirtschaftlichen Kennzahlen, der Investitionsplanung und dem Fördermittelkonzept lässt sich der Businessplan entwickeln. Die Höhe der vermiedenen Kosten und Erlöse zeigt, ob das Projekt über den Investitionszeitraum hinweg nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich vorteilhaft ist. In der Regel lässt der Investitionsbedarf aber keinen Spielraum für weitere Kosten oder Aufwendungen zu, sodass bereits die Festlegung eines „Rohwärme“-Preises²⁷ in den meisten Fällen zu negativen Businessplänen und regelmäßig zum frühzeitigen Scheitern der Projekte führt.

3.5.3 Vorüberlegungen zu Rollen und Zusammenarbeit

Im Anschluss an den Prozess der technischen und wirtschaftlichen Bewertung folgt die Festlegung der Zusammenarbeit und der Rollen/Aufgaben zwischen den Projektpartnern.

1. Letter of Intent/Memorandum of Understanding

Sobald von beiden Partnern die Zusammenarbeit gewünscht wird, ist ein Letter of Intent (LOI) oder ein Memorandum of Understanding (MOU) zu erstellen, den beide Partner unterzeichnen. Hierbei werden die jeweiligen Investitionen und betroffenen Vermögenswerte eines Unternehmens sowie ein Zeitplan zur Umsetzung festgelegt. Außerdem müssen an dieser Stelle wirtschaftliche Details wie Zahlungsströme und -fristen, Verrechnungsgrößen bzw. der Bezugsvertrag miteinander vereinbart sowie anderen Rahmenbedingungen, wie Verantwortlichkeiten, Prozesse und Kostenaufteilungen für Machbarkeitsstudien etc. im LOI/MOU festgehalten werden.

2. Übergreifende Koordinierung

Mit der Projektumsetzung muss ein Projektteam betraut werden, das aus Beauftragten beider Vertragspartner besteht, die gemeinsam ein umfassendes Projektmanagement und -controlling definieren und aufsetzen. Anschließend muss der Projektfortschritt regelmäßig von entsprechenden Kontrollgremien festgestellt werden. Auf Abweichungen muss unmittelbar mit einem Maßnahmenkatalog reagiert werden. Wichtig für beide Vertragspartner ist auch die Kommunikation, sowohl in die Unternehmen hinein, um Akzeptanz der Mitarbeiter für das Projekt zu entwickeln, als auch nach außen, um die Öffentlichkeit für die Bedeutung und den ökologischen Nutzen des Projektes zu sensibilisieren. Da mit den Projekten in der Regel technisches und organisatorisches Neuland betreten wird, sollten auch erfahrene Mitarbeiter beider Unternehmen in das Projektteam entsandt werden.

²⁷ Abwärme, die unmittelbar am Entstehungsort anfällt und weder aufbereitet, aggregiert noch transportiert wurde.

3.6 Umsetzungsschritte Abwärmeprojekte

Auf dem Weg zu einem gelungenen Abwärmeprojekt sind zahlreiche Umsetzungsschritte zu bewältigen und Rechtsvorschriften zu beachten. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den Anlagen zur Abwärmeauskopplung und den erforderlichen Netzen. Die Anlagen unterliegen in der Regel der Genehmigungspflicht nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) oder es sind Baugenehmigungen erforderlich. Für den Leitungsbau ist ggf. eine Umweltverträglichkeitsprüfung oder ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen.

3.6.1 Genehmigung

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Die gesetzliche Grundlage für die Nutzung von Abwärme in Deutschland findet sich im Immissionsschutzrecht. Das BImSchG legt dem Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen in § 5 Abs. 1 Nr. 4 BImSchG die Pflicht auf, Energie sparsam und effizient zu verwenden. Das gilt unter der Voraussetzung der technischen Realisierbarkeit und Zumutbarkeit. § 5 BImSchG regelt, dass an Anlagen, die dem Emissionshandel unterliegen, keine weiteren Anforderungen bzgl. Effizienz und Kohlendioxid-Ausstoß gestellt werden dürfen. Laut § 7 Abs. 1 BImSchG wird die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsverordnung vorzuschreiben, dass die Errichtung, die Beschaffenheit, der Betrieb, der Zustand nach Betriebs-einstellung und die betreibereigene Überwachung genehmigungsbedürftiger Anlagen, zur Erfüllung der sich aus § 5 ergebenden Pflichten, bestimmten Anforderungen genügen müssen.

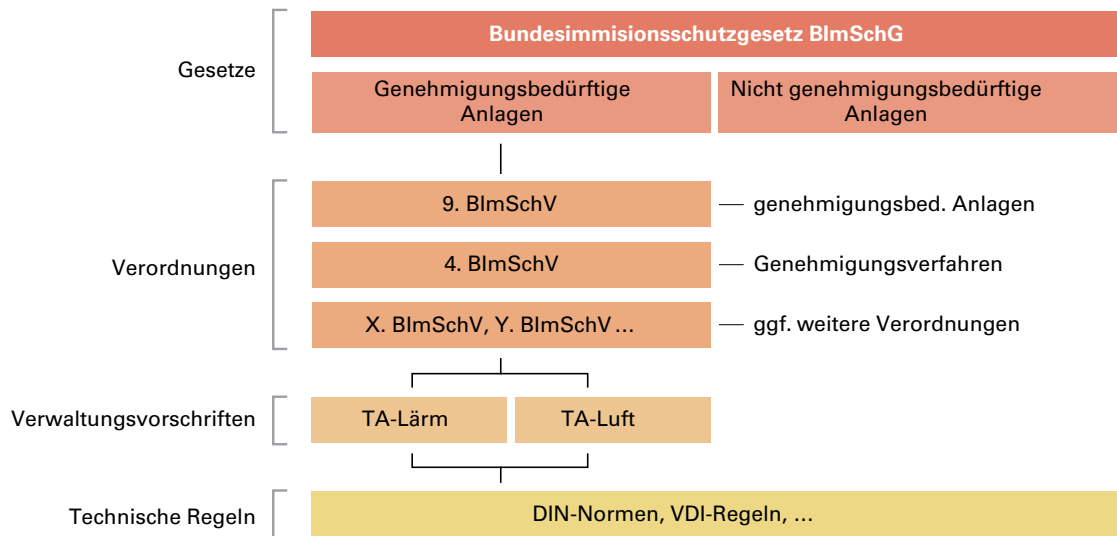
Zu den genehmigungsbedürftigen Anlagen nach 4. BImSchV gehören auch Teile einer Anlage oder deren Nebeneinrichtungen. Gemäß § 1 Abs. 4 4. der Verordnung ist eine Genehmigung für die Gesamtanlage ausreichend. Sobald jedoch maßgebende Leistungsgrenzen oder die Anlagengröße durch die Erweiterung einer bestehenden Anlage erstmals überschritten werden, bedarf die gesamte Anlage der Genehmigung § 1 Abs. 5 4. BImSchV.

Genehmigungsbedürftig sind Anlagen, die in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen. Diese müssen nach BImSchG genehmigt werden. Zur Umsetzung der Anforderungen erlässt das Bundesumweltministerium entsprechende Verordnungen zur praktischen Umsetzung. Diese Bundes-Immissionsschutzverordnungen (BImSchV) sind Rechtsverordnungen.

Für Änderungen an genehmigungsbedürftigen Anlagen, die ausschließlich der Verbesserung der Abwärmenutzung dienen, ist in der Regel keine Genehmigung erforderlich. Voraussetzung: Eventuell nachteilige Auswirkungen sind gering und es ist sichergestellt, dass die sich aus dem BImSchG ergebenden Betreiberpflichten erfüllt werden. Im Allgemeinen sollte bei Änderungen an Anlagen die zuständige Genehmigungsbehörde frühzeitig kontaktiert werden.

Betreiber einer genehmigungspflichtigen Anlage müssen ihre Anlage so errichten und betreiben, dass „Energie sparsam und effizient verwendet wird“. Demzufolge sollte auch Abwärme nicht ungenutzt an die Umgebung abgegeben, sondern so gut wie möglich genutzt werden. Eine weiterführende Rechtsverordnung zur Abwärmenutzung gibt es derzeit nicht. Einen Überblick über die Strukturierung der rechtlichen Vorgaben (Gesetz, Verordnung, Vorschrift, Regel) gibt Abbildung 20.

Abbildung 20: Überblick über die Strukturierung der rechtlichen Vorgaben

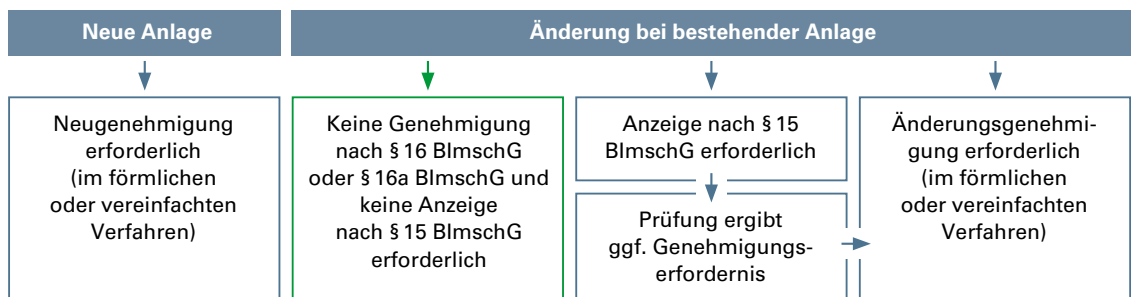


Bei der Frage nach der Verfahrensart für ein geplantes Vorhaben, ist zu unterscheiden zwischen dem Neubau einer Anlage und der Veränderung einer bestehenden Anlage (siehe nachfolgendes Struktogramm Abbildung 21). Bei der Neuerrichtung einer Anlage ist eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach § 4 BImSchG erforderlich, wenn die Anlage im Anhang 1 der 4. BImSchV aufgeführt ist. Wird eine bestehende Anlage, die immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig ist, verändert, kommen grundsätzlich drei Möglichkeiten in Betracht:

- Die Änderung erfordert kein immissionsschutzrechtliches Verfahren oder
- die Anlagenänderung ist nach § 15 BImSchG anzuzeigen oder
- es ist die Erteilung einer Änderungsgenehmigung nach § 16 BImSchG erforderlich.

Es ist in jedem Fall sinnvoll, mit der Genehmigungsbehörde frühzeitig in Kontakt zu treten. Insbesondere bei größeren Projekten sind der Umfang von Antragsunterlagen und Gutachten frühzeitig mit der Genehmigungsbehörde und den zu beteiligenden Fachbehörden abzustimmen.

Abbildung 21: Genehmigungsentscheidung bei neuen oder bestehenden Anlagen



Weitere zu beachtende Regelungen

1. Planungsrecht

Abhängig von der örtlichen Bebauungs- und Raumplanung müssen verschiedene Prüfungen und Genehmigungen vorliegen und eingeholt werden.

Wenn aufgeführte Planungen und Maßnahmen raumbedeutsam sind und eine überörtliche Bedeutung haben, muss ein Raumordnungsverfahren nach § 15 des Raumordnungsgesetzes (ROG) durchgeführt werden.

In den Raumordnungsplänen sollen laut § 7 ROG für einen bestimmten Planungsraum und einen regelmäßig mittelfristigen Zeitraum Festlegungen als Ziele und Grundsätze der Raumordnung zur Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Raums, insbesondere zu den Nutzungen und Funktionen des Raums, festgelegt werden.

Nach § 8 Baugesetzbuch (BauGB) sind die Bebauungspläne aus dem Flächennutzungsplan zu entwickeln. Ein Flächennutzungsplan ist nicht erforderlich, wenn der Bebauungsplan ausreicht, um die städtebauliche Entwicklung zu ordnen.

Da Gemeinden bei der Raumplanung und in den Bebauungsplänen Vorgaben für die Flächennutzung machen können, sollte man bereits am Anfang der Planungsphase die jeweilige Gemeinde sowie das jeweilige Bauamt mit einbeziehen, um die Leitungsverlegung oder den Bau von Pumpstationen rechtlich abzusichern.

2. Baugenehmigung

Neben den städtebaulichen Vorgaben und Bindungen des Bebauungsplanes ist bei konkreten Bauvorhaben eine Vielzahl von öffentlich-rechtlichen Rechtsvorschriften zu beachten. Ordnungsrechtliche Vorschriften über die Bebauung von Grundstücken enthalten die Bauordnungen der Länder. Grundsätzlich bedürfen Errichtung, Änderung und Abbruch baulicher Anlagen der Genehmigung der Bauaufsichtsbehörde, ebenso die Nutzungsänderung von Gebäuden oder Räumen.

Vorhaben kleineren Ausmaßes oder mit geringeren Gefährdungsmöglichkeiten sind entweder nur anzeigepflichtig oder genehmigungs- und anzeigefrei.

Sowohl für den Leitungsbau auf dem Unternehmensgelände, dem Gelände des Abnehmers als auch auf öffentlichem Grund besteht die Notwendigkeit einer Baugenehmigung, um dem öffentlichen Interesse der Einhaltung dieser Anforderungen zu entsprechen.

3. Umweltverträglichkeitsprüfung

Die UVP-Pflicht bei Vorhaben regelt das Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Dieses Gesetz beschreibt unmittelbare und mittelbare Umweltauswirkungen eines Vorhabens oder die Durchführung eines Plans oder Programms auf die Schutzgüter. Dies schließt auch solche Auswirkungen des Vorhabens ein, die aufgrund von dessen Anfälligkeit für schwere Unfälle oder Katastrophen zu erwarten sind, soweit diese schweren Unfälle oder Katastrophen für das Vorhaben relevant sind. Wärmespeicher unterliegen laut Anlage 1 Liste „UVP-pflichtige Vorhaben“ ab einer Größe von 5.000 m³ der Umweltverträglichkeitsvorprüfung, wenn durch die Gewässerbenutzung erhebliche nachteilige Auswirkungen auf grundwasserabhängige Ökosysteme zu erwarten sind. Bei Fernwärmeleitungen muss die Prüfung individuell vorgenommen werden.

4. Gewässer- und Bodenschutz, Naturschutzrecht

Beim Einsatz wassergefährdender Stoffe muss laut Wasserhaushaltsgesetz (WHG) die Gefährdung durch einen möglichen Austritt der Medien verhindert werden, denn die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen.

Es darf keine schädliche Bodenveränderung hervorgerufen werden. Deshalb müssen nach § 17 Abs. 1 AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) alle Anlagen so geplant und errichtet werden, dass wassergefährdende Stoffe nicht austreten können.

Oberirdische Rohrleitungen sind nach § 21 AwSV zum Befördern flüssiger wassergefährdender Stoffe mit Rückhalteeinrichtungen auszurüsten. Das Rückhaltevolumen muss dem Volumen wassergefährdender Stoffe entsprechen, das bei Betriebsstörungen bis zum Wirksamwerden geeigneter Sicherheitsvorkehrungen freigesetzt werden kann.

Bei unterirdischen Rohrleitungen zum Befördern flüssiger oder gasförmiger wassergefährdender Stoffe sind lösbare Verbindungen und Armaturen in flüssigkeitsundurchlässigen Kontrolleinrichtungen anzuordnen, die regelmäßig zu kontrollieren sind. Dies kann beispielsweise bedeuten, dass diese Rohrleitungen doppelwandig ausgeführt werden müssen. Die Undichtheiten der Rohrwände müssen durch ein Leckanzeigesystem selbsttätig angezeigt werden.

Beispiel

.....

Das folgende Beispiel soll die Frage klären, wann eine Änderung an bestehenden Anlagen genehmigungsfrei (empfehlenswert ist eine Information an die Behörden, das geltende Baurecht ist immer einzuhalten), anzeigepflichtig oder eine Änderungsgenehmigung notwendig ist.

In einem einfachen Projektbeispiel soll in einem ersten Schritt (1.) Niedertemperatur-Abwärme aus einer genehmigten Anlage über einen neu zu installierenden Wärmetauscher ausgekoppelt werden. Im zweiten Schritt (2.) soll diese ausgekoppelte Niedertemperatur-Abwärme über eine elektrisch betriebene Großwärmepumpe auf das in einem Fernwärmenetz benötigte Temperaturniveau angehoben werden. Im letzten Schritt (3.) soll der Strom für die Wärmepumpe über ein leistungsstarkes Erdgas-BHKW erzeugt werden, das seine Wärme ebenfalls in das Fernwärmenetz einkoppelt. Genehmigungsseitig ist wie folgt vorzugehen.

1. Die Änderung in Schritt 1 ist eine Verbesserungsmaßnahme für die Umwelt: Durch den Einbau des Wärmetauschers wird sonst nicht nutzbare Abwärme vermieden und der Anlagenwirkungsgrad steigt.

>>> Diese Änderung ist genehmigungsfrei.
2. Die Änderung in Schritt 2 hat nur geringe nachteilige Auswirkungen auf die Umgebung: Die Wärmepumpe erzeugt zwar Lärm, allerdings ist die Anlage in einem Betriebsgebäude eingehaust, sodass nach außen kaum eine zusätzliche Belastung wirksam wird (ggf. Nachweis über Schallgutachten).

>>> Diese Änderung ist anzuzeigen, ggf. ist ein Schallgutachten beizubringen.

3. Die Änderung in Schritt 3 kann nachteilige Auswirkungen für die Umwelt verursachen: Das leistungsstarke Erdgas-BHKW erzeugt Lärm- und Luftemissionen.

>>> Diese Änderung ist nach BImSchG genehmigungspflichtig.

.....

Betrachtet man die Aufgaben der Antragssteller und der Behörden beim Genehmigungsverfahren, so lässt sich das Verfahren in drei wesentliche Teilschritte aufteilen. Dabei ist eine strikte Trennung der unterschiedlichen Phasen nicht möglich, sie gehen fließend ineinander über:

Projektierungsphase/Vorantragsphase

- Phase der Antragstellung
- Phase der Antragsprüfung
- Genehmigungsphase

Die Genehmigungsbehörde bestätigt dem Antragsteller den Eingang des Antrags und der Unterlagen schriftlich. An die Antragstellung schließt sich die umgehende Prüfung durch die Genehmigungsbehörde an. Diese beinhaltet die unverzügliche Vollständigkeitsprüfung und die Sachprüfung unter Einbindung zu beteiligender Fachbehörden. Der Gesetzgeber hat folgende maximale Zeiträume für die Dauer von Genehmigungsverfahren vorgegeben (§ 10 Abs. 6a und § 16 Abs. 3 BImSchG):

Neugenehmigung

- förmliches Genehmigungsverfahren: 7 Monate
- vereinfachtes Genehmigungsverfahren: 3 Monate

Änderungsgenehmigung

- förmliches Genehmigungsverfahren: 6 Monate
- vereinfachtes Genehmigungsverfahren: 3 Monate

Voraussetzung ist das Vorliegen sämtlicher, für eine Beurteilung notwendiger Unterlagen. Umfang und Detaillierungsgrad der erforderlichen Angaben und Unterlagen hängen stark von der Art des geplanten Vorhabens ab.

3.6.2 Preisgestaltung

Zu Beginn der Preisverhandlungen zwischen den Vertragspartnern sollte die Frage beantwortet werden: Gibt es einen Abwärmemarkt?

Für Abwärmeprojekte gibt es meist regional bedingt nur einen potenziellen Anbieter und einen potenziellen Abnehmer. Insofern gibt es explizit keinen Abwärmemarkt mit einer Vielfalt von Akteuren, sondern nur Preisspannen bereits realisierter Projekte. Daraus folgt, dass nur Übersichtspreise, aber keine festen Marktpreise für Abwärme existieren. Der mittlere Übersichtspreis wird oft fälschlich als „Marktpreis“ bezeichnet, trägt diesen Namen jedoch zu Unrecht und führt aufgrund überhöhter Preiserwartungen häufig zu einem frühen Scheitern von Abwärmeprojekten.

Die Nutzung von Abwärme in bestehenden Fernwärmenetzen ist technisch und organisatorisch aufwändig. Hauptgrund hierfür ist, dass Abwärme verschiedene Qualitäten aufweisen kann: Sie fällt auf unterschiedlichen Temperaturniveaus und mit unterschiedlicher Häufigkeit und Kontinuität an und führt somit zu unterschiedlichen Erschließungskosten. Grundsätzlich gilt: Je höher das Temperaturniveau und je häufiger, regelmäßiger und planbarer die Wärme zur Verfügung steht, umso besser kann sie vom Wärmeversorgungsunternehmen genutzt werden. Je geringer, unregelmäßiger und weniger planbar der Abwärmefall, desto höher der Bedarf an Wärmespeichern und thermischer Absicherung der Versorgung, etwa durch Verbundlösungen mit mehreren Wärmequellen, und desto aufwändiger die Wärmenetzführung.

Weitere Hürden liegen in der Ausgestaltung der Wärmepartnerschaften zwischen Abwärme produzierenden Unternehmen (Quelle) und Fernwärmeversorgungsunternehmen (Senke). In der Regel haben Abwärmeprojekte einen langen zeitlichen Planungsvorlauf, weil zahlreiche technische, rechtliche und vertragliche Fragen bedacht und geklärt werden müssen. Wegen hoher Investitionen mit langen Abschreibungszeiten sind die Geschäftsmodelle von Fernwärmeversorgungsunternehmen in der Regel auf mindestens 10 bis 20 Jahre angelegt. Da Industrieunternehmen typischerweise mit deutlich kürzeren Investitionszyklen rechnen bzw. Standortentscheidungen binnen kurzer Zeit fallen können, ergibt sich hier ein Konfliktpotenzial bzw. eine erhöhte Unsicherheit für die Fernwärmeversorger. Diese Unwägbarkeiten, insbesondere eine etwaige frühzeitige Unterbrechung der Abwärmebereitstellung durch die Quelle, bspw. die Aufgabe des Standortes, sollten frühzeitig zwischen den Vertragspartnern thematisiert und die Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet werden.²⁸

Sowohl der Aufwand für die Abwärmenutzung als auch die langen Laufzeiten führen dazu, dass die zukünftige Nutzung der vorhandenen Abwärmepotenziale auch maßgeblich von den politischen Rahmenbedingungen abhängt. Die Politik hat die Möglichkeit, beide Seiten – Abwärmequelle und Abwärmesenke – finanziell anzureizen und/oder ordnungsrechtlich die Abwärmenutzung zu veranlassen. Finanzielle Anreize senken die von den beteiligten Unternehmen zu tragenden Kosten und Risiken der Projekte, während ordnungsrechtliche Vorgaben (z. B. Quoten für CO₂-freie/klimaneutrale Wärme in Wärmenetzen oder eine Verpflichtung zur Abwärmenutzung) zwar ebenfalls zu einer verstärkten Abwärmenutzung führen können, allerdings den verpflichteten Partner zunächst benachteiligen und beim Fehlen von flankierenden Maßnahmen zu Wettbewerbsverzerrungen und Preiserhöhungen bei den Verbrauchern führen könnten. Die höhere Bepreisung des Ausstoßes von CO₂ ist eine Option, die beide Partner und Wettbewerber gleichmäßig belasten und der Nutzung von Abwärme und anderen alternativen Wärmequellen eine zusätzliche Dynamik verleihen würde.

Am Entstehungsort hat Abwärme zunächst keinen Wert – sie wird in der Regel mit finanziellem Aufwand an die Umwelt abgeführt. Einen Wert bekommt sie erst durch die Internalisierung externer Effekte (direkte Umweltschäden oder CO₂-Wirkung) und/oder die Investitionen zur Nutzbarmachung – durch Konzeptionierung, Investitionen, Betrieb der notwendigen Anlagen, Weiterverteilung und Verkauf. Dadurch entsteht eine Wertschöpfung, die einen Preis rechtfertigt.

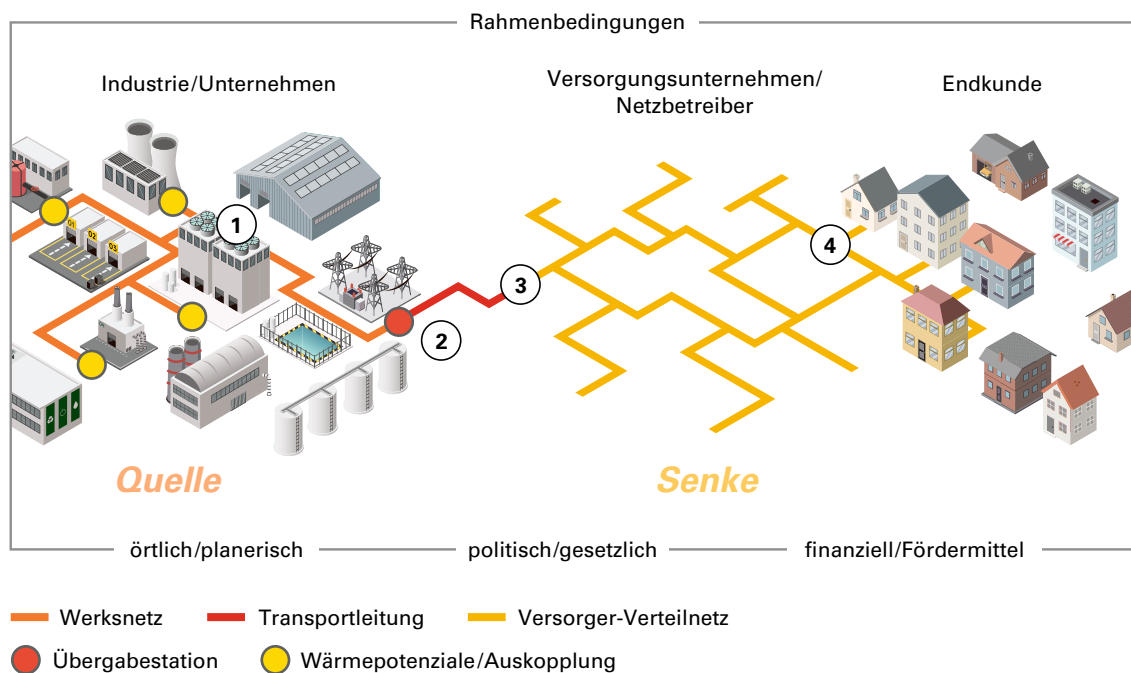
²⁸ Bspw. über Schadenersatzregelungen in Form der Begleichung des Restbuchwertes über die geplante verbliebene Vertragslaufzeit oder die Einrichtung einer staatlich getragenen Garantie hierüber.

In der aktuellen Diskussion wird häufig verallgemeinernd von den Kosten der Abwärme gesprochen. Demgegenüber wird vorgeschlagen, zwischen den Wertschöpfungsstufen zu unterscheiden und folgende Kostenbezeichnungen der Abwärme zu definieren:

- ① **Gestehungskosten** (enthält CAPEX²⁹, OPEX³⁰): Darunter fallen Stromkosten der Wärmenutzung bei Wärmepumpeneinsatz, Kosten der Technik, die Abwärme auszukoppeln sowie eine Marge für den Betrieb der Auskopplungsanlagen.
- ② **Nutzwärmekosten (Quelle)**: Gestehungskosten plus Kosten der Konzeptentwicklung und Kosten zum Einsammeln sowie zum Transport bis zur Übergabestelle (Werkstor). Hinzu kommt die Marge des Betreibers der Abwärmeanlagen, abzüglich der Erlöse, bspw. für eine CO₂-Wärmegutschrift für ETS-pflichtige Produktionsanlagen.
- ③ **Nutzwärmekosten (Senke)**: Nutzwärmekosten der Quelle plus Weiterverteilungskosten (z. B. Netzkosten, CAPEX und OPEX, Gestattungsentgelte an Kommune), Wärmenetzausbau und -verdichtung, Wärmeverluste, Pumpstrom sowie Marge des Weiterverteilers.
- ④ **Endkundenpreis**: Nutzwärmekosten der Senke plus Wärmeverteilungskosten im aufnehmenden Wärmenetz, Anschlusskosten des Gebäudes und Marge des Versorgers (inklusive der Gemeinkosten des Versorgers).

Die Kosten der Besicherung, auch wenn sie im bestehenden System bereitgestellt werden können, werden verursachergerecht zugerechnet (2 bis 4).

Abbildung 22: Wertschöpfungskette der Abwärme und Einflussfaktoren der Preisbildung



29 Investitionen in die Technik
 30 Kosten der Betriebsführung

Die Nutzwärmekosten der Senke bilden den für das Versorgungsunternehmen relevanten Wärmepreis ab, den es mit Wärmeprodukten aus anderen Quellen und identischer Umweltqualität zu vergleichen gilt. Die Umweltqualität der Wärme wird bestimmt durch den Primärenergiefaktor und die CO₂-Emissionen. Beide Parameter werden vom Gesetzgeber zunehmend beeinflusst, bzw. teilweise in Verordnungen festgelegt.

Aktuell liegen die Kosten, die bei der Bereitstellung und Nutzbarmachung entstehen, in der Regel über vergleichbaren variablen Kosten der Wärmeversorgungsunternehmen für eigene Erzeugungsalternativen. Diese betragen typischerweise bei heutigen Brennstoffkosten zwischen 10 €/MWh und 50 €/MWh. Daher sieht eine typische Vertragsgestaltung in einer Abwärmekooperation so aus, dass zunächst die Investitionen in die erforderlichen neuen Anlagenkomponenten refinanziert werden und somit die dominierende Komponente des Gestehungspreises sind. In der überwiegenden Zahl der heute zur Umsetzung anstehenden Abwärmeprojekte lassen die Investitions- und Betriebskosten keinen Spielraum für weitere Kostenbestandteile zu. Diese ergeben sich frühestens nach Abschreibung der Anlagenkomponenten. In der Fernwärmewirtschaft sind Amortisationszeiträume von zehn Jahren und mehr üblich. In der Industrie dagegen werden wesentlich niedrigere Amortisationszeiten angesetzt.

Grundsatz: Am eigentlichen Entstehungsort hat Abwärme noch keinen Wert. Einen Wert bekommt sie erst durch die Investitionen zur Nutzbarmachung.

Daraus ergibt sich, dass in der ersten Phase der Abwärmekooperation, die Investitionen in die erforderlichen neuen Anlagenkomponenten refinanziert werden und somit die dominierende Komponente des Gestehungspreises sind. In der überwiegenden Zahl der heute zur Umsetzung anstehenden Abwärmeprojekte lassen die Investitions- und Betriebskosten keinen Spielraum für weitere Kostenbestandteile.

Grundsatz: Verhandlungsspielräume für weitere Preisbestandteile ergeben sich frühestens nach Abschreibung der Anlagenkomponenten. In der Fernwärmewirtschaft sind Abschreibungszeiträume von 10-20 Jahren üblich.

Die langfristige Verfügbarkeit und Planbarkeit der Abwärmequelle sind entscheidende Faktoren, so stellt das sog. Adressenrisiko oftmals ein wesentliches Hindernis bei der Realisierung von Abwärmeprojekten dar. Es ergibt sich für den Fall der Schließung des Betriebs des Abwärmelieferanten und besteht, wenn der Abnehmer der Wärme Investitionen für die Abnahme tätigen muss oder im Schließungsfall keine ausreichende Zeit für eine Ersatzbeschaffung von Wärme hat. Das Adressenausfallrisiko ist für einen Abnehmer mit Investitionen oder Ausfallrisiko nur dann nach Abwägung tragbar, wenn die Amortisation der Investitionen oder die Ersatzbeschaffung hinreichend schnell erfolgen kann. Der Fernwärmeversorger wird dazu verpflichtet, Amortisationszeiten, wie sie in der Industrie üblich sind, anzustreben. Inwieweit es gelingt, damit das Adressrisiko zu minimieren, ist erfolgskritisch.

Grundsatz: Wenn die Abwärme so zuverlässig anfällt, dass sie als Grundlast in den Wärmenetzen dienen und Erzeugungsanlagen mit fossilen Energieträgern dauerhaft ersetzen kann, steigt die Attraktivität der Quelle und verbessert den Business Case.

Beim klassischen Modell von Abwärmeverträgen gibt es einen Leistungspreis für die fixen Kosten und einen Arbeitspreis, der vom Preis möglicher alternativer Erzeugungsanlagen abhängt. Die fixen Kosten der Nutzung von Abwärme sind die Investitions-, die Betriebs- und die Instandsetzungsaufwendungen der Anlagen, die für die Nutzung bzw. Veredelung der Abwärme erforderlich sind. Die Kostengleitung dieser Fixkosten ist üblicherweise an einen konstanten zinsbezogenen, einen lohnabhängigen und einen investitionsgüterabhängigen Anteil gekoppelt.

Die variablen Kosten der Abwärme sind üblicherweise nahe Null, da die Kosten der eingesetzten Energieträger dem erzeugten Produkt aus dem Hauptprozess zugeordnet werden. Der Abwärmelieferant erhält zudem eine Gratisallokation aus dem Emissionshandel für 30% der abgegebenen Wärme, d. h. sofern er am EU-Emissionshandel (ETS) teilnimmt. Im Falle einer notwendigen Veredelung der Abwärme durch Temperaturerhöhung, sind die anfallenden Energiekosten für diese Temperaturerhöhung variable Kosten der Abwärme. Die Kostengleitung dieser variablen Kosten der Nachheizung orientiert sich entweder an den Kosten des Brennstoffs für die Nachheizung oder an den Kosten für den Strom, bspw. für den Betrieb der Wärmepumpen. Der variable Preis von Abwärme wird dann wettbewerblich gebildet, im Markt des Wärmeverkaufs durch das Versorgungsunternehmen. Das bedeutet, dass Fernwärmepreisindizes in die Formel aufgenommen werden, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass bei allgemein höheren Fernwärmepreisen im Markt auch die Fernwärme aus Abwärme höhere Preise erzielen kann und somit die ökonomischen Chancen zwischen Wärmenetzbetreiber und Abwärmelieferant aufgeteilt werden.

Sollte durch den Anschluss der Abwärmequelle der Anschluss neuer Kunden an ein bestehendes Wärmenetz (Voraussetzung: Liefergarantie zu Spitzenlastzeiten) oder der Aufbau eines neuen Wärmenetzes (bzw. -abschnitts) möglich sein, kann sich der Wert der Abwärme für den FernwärmeverSORGER durch anteilige Berücksichtigung von zusätzlichen Erlösen aus dem Wärmegrundpreis erhöhen. Ist der FernwärmeverSORGER aus technischen oder gesetzlichen Gründen gezwungen, Bestandsanlagen zeitnah zu ersetzen, kann die Anrechnung der Einsparung von Ersatzinvestitionen den Wert der Abwärmeintegration für den FernwärmeverSORGER ebenfalls steigern.

Grundsatz: Die genannten Faktoren (Anschluss neuer Kunden, Notwendigkeit Ersatz Bestandsanlagen usw.) bilden die Erfolgsaussichten einer wirtschaftlich tragfähigen Abwärmeintegration.

Vertraglich sind mehrere Modelle möglich, die zwei wesentlichen (Nutzwärmebereitstellungs- und das Investorenmodell) sind im Folgenden beschrieben.

Beim **Nutzwärme-Bereitstellungsmodell** errichtet der Wärmelieferant die erforderlichen Anlagen zur Wärmeauskopplung bis zur Werksgrenze und berechnet dafür einen Preis. In der FW-Branche sind Leistungs- und Arbeitspreise üblich, die die Qualitäten der gelieferten Wärme widerspiegeln (siehe Kapitel 3.3 und 3.4). Der FernwärmeverSORGER holt die Wärme an der Werksgrenze ab, errichtet dort Pumpen, Zähler, ggf. einen Wärmespeicher und entrichtet den Leistungs- und Arbeitspreis (siehe Abbildung 19, S. 49).

Dem **Investorenmodell** liegt der Aspekt zugrunde, dass Industriebetriebe oft Investitionen außerhalb ihres Kerngeschäftes scheuen und sehr kurze Amortisationszeiten realisieren müssen. In diesem Fall kann auch der Wärmeabnehmer, der meist längere Kapitalrückflusszeiten berücksichtigt, in die Anlagen zur Wärmeauskopplung auf dem Werksgelände investieren. Das Investorenmodell erfordert gesonderte vertragliche Vereinbarungen.

Investiert der Abwärmeabnehmer (Wärmenetzbetreiber) und nicht der Industriebetrieb, wird häufig ein Amortisationsmodell angewendet. Hierbei zahlt der Abwärmeabnehmer einen wettbewerbsorientierten Arbeitspreis für die Abwärme und der Industriebetrieb die Gratisallokation von ETS Zertifikaten für die Wärme in einen gemeinsamen Finanzierungspool (siehe Kap. 3.6.4) ein. Aus dem Pool werden bspw. die Kosten des Abwärmetransfers (Pumpstrom, Betrieb, Instandhaltung) bezahlt. Der Industriebetrieb erhält zunächst allenfalls einen symbolischen bzw. niedrigen Preis für die Abwärme. Der Restbetrag aus dem Pool wird zur Tilgung der Investition des Abwärmeabnehmers eingesetzt. Sobald die Investition getilgt ist, teilen sich die Partner den Betrag aus dem Pool. Das Modell führt dazu, dass der Industriebetrieb, der nicht investiert hat, erst nach der Amortisationszeit Geld für die Wärme erhält und sich der Netto-Wärmepreis für den Abnehmer nach der Amortisation vermindert.

3.6.3 Liefer- und Geschäftsmodelle

In Abhängigkeit der (Be-)Sicherung der Abwärme, kann zwischen zwei Liefermodellen unterschieden werden: 1. Lieferung nach „Können und Vermögen“ (mit Unterkategorie) und 2. die besicherte Lieferung. Daneben gibt es noch eine Vielzahl an weiteren Modellen (Pooling, Abwärmensorgung, Verkauf von Kühlleistung, usw.). Diese werden im Folgenden beschrieben.

1. Lieferung nach „Können und Vermögen“

Die Lieferung von Abwärme ist in der Regel eine Lieferung nach Können und Vermögen, da Ausfälle der technischen Produktionsanlagen oder ihrer Wärmeabfuhr immer möglich sind. Bei Lieferungen nach Können und Vermögen ist die Vereinbarung einer Mindestmenge pro Jahr werterhöhend, da die tatsächliche Wahrscheinlichkeit bzw. Unwahrscheinlichkeit eines technischen Ausfalls in der Lieferung abgebildet wird. Ohne Mindestmenge kann eine Lieferung nach Können und Vermögen rechtlich auch ohne Wärmebereitstellung erfüllt sein.

Eine Lieferung nach Können und Vermögen ist zwar grundsätzlich technisch möglich, jedoch schließt diese Art der Kooperation eine sichere Vermarktbarkeit der Wärme für den Fernwärmesystembetreiber aus, da die nutzbare Wärmeleistung nur volatil zur Verfügung steht. Der Betreiber des Fernwärmenetzes muss diese Quelle daher mit einer dedizierten thermischen Besicherung koppeln oder hierfür eine eigene Erzeugungseinheit errichten, welche jedoch nur an wenigen Tagen im Jahr, während Revisionsarbeiten oder kurzfristigen Produktionsausfällen einspringt und die Wärmelieferung sicherstellt. Der Preis, der für Abwärme aus solchen Kooperationen gezahlt werden kann, muss so niedrig sein, dass er den erheblichen Mehraufwand für die vorgehaltenen Erzeugungskapazitäten refinanzieren kann.

Eine Unterkategorie der Lieferung nach Können und Vermögen ist die Lieferung mit Mindestmengen. Eine garantierte sowie zu jeder Zeit frei abrufbare Mindestmenge erlaubt es dem Wärmenetzbetreiber, die angebotene Wärmemenge seinen Kunden ohne (!) weitere

Besicherungsmaßnahmen anzubieten. Daher ist eine garantierte Mindestmenge für den Wärmenetzbetreiber attraktiver und bietet bessere Voraussetzungen für die Aufnahme von Abwärmemengen in den Erzeugungspark als die Lieferung nach Können und Vermögen.

2. Lieferung

Als besicherte Wärmelieferung, die für eine Wärmeversorgung von Kunden als erforderlich angesehen wird, gilt in der Wärmewirtschaft die Erzeugung der vereinbarten Höchstlast auch bei Ausfall der größten einzelnen Erzeugungsanlage (n-1). Ob der Lieferant oder der Abnehmer die Abwärme besichert, muss im Einzelfall entschieden werden, je nachdem, wer möglicherweise ohnehin über die erforderlichen Kapazitäten verfügt oder wer den Aufbau neuer Erzeugungskapazitäten tätigen kann. Die Besicherung ist ein Hauptkostenfaktor der Abwärme.

Damit sich die unterschiedlichen Amortisationszeiten von Industrie und Energieversorgungsunternehmen nicht zu einem unüberwindbaren Hindernis entwickeln, wurden weitere Modelle der Vertragsgestaltung entwickelt.

3. Pooling-Modell (Karlsruhe)

Beim Pooling-Modell werden in einer ersten Phase die notwendigen Investitionen vom Wärmenetzbetreiber übernommen. Die Verkaufserlöse der Wärme (erzielte Endkundenpreise abzüglich Netzkosten) werden in einen gemeinsamen Topf geworfen („Pooling“). Aus diesem Pool werden die Investitionskosten finanziert. Ziel dieses Modells ist, die Investitionen möglichst schnell zu refinanzieren (10 Jahre). Laufende Aufwendungen werden zuerst aus dem gemeinsamen Topf der Wärmeerlöse bezahlt. Erst wenn alle Investitionen und Betriebsausgaben bezahlt sind, werden die Gewinne aus der Abwärmeauskopplung nach einem festgelegten Verteilungsschlüssel auf beide Vertragspartner aufgeteilt. Durch dieses Modell werden Chancen und Risiken (z. B. fallende Wärmeerlöse und auftretende Reparaturen) zwischen den Vertragspartnern aufgeteilt. Für die Anwendung dieses Modells ist jedoch eine tiefe geschäftliche Vertrauensbasis notwendig, da die Abwärmeauskopplung quasi ein gemeinsames „Unternehmen“ darstellt. Im konkreten Fall in Karlsruhe wurde außerdem die Gefahr eines „Stranded Investment“ durch beide Vertragspartner paritätisch abgesichert. Durch das Pooling-Modell konnte so die größte Abwärmeauskopplung in ein Wärmenetz in Deutschland erfolgreich umgesetzt werden.

4. „Abwärmeentsorgung“

Die Grundidee des Angebots, Abwärme als Dienstleistung für Industrieunternehmen anzubieten, entspringt dem Umstand, dass Unternehmen einen Nutzen davon haben, wenn Abwärme nicht unter Einsatz von Energie über Kühler oder Kühlwasser abgegeben werden muss, sondern als Abwärme einer weiteren Verwendung zugeführt wird. In diesem Fall bekommen die Unternehmen eine Gutschrift beim ETS-Zertifikatehandel. Zudem können zu hohe Gewässertemperaturen eine weitere Nutzung von Flusswasser zur Kühlung einschränken. In diesen Fällen haben Industrieunternehmen ein Interesse daran, Abwärme in ein Wärmenetz abzuführen. Hier kann das Fernwärmeunternehmen die „Entsorgung“ als Dienstleistung anbieten. Der Vorteil für das Versorgungsunternehmen ist, dass der Preis für die abgeführte Wärme Null oder sogar negativ sein kann. Auf der anderen Seite ist damit zu rechnen, dass vereinbart wird, dass alle Investitionen vom Wärmenetzbetreiber getätigt werden und es eine Abnahmeverpflichtung von Wärme auch zu Zeiten gibt, in denen eine Einspeisung für den Wärmenetzbetreiber hydraulisch oder bedarfsbedingt nicht sinnvoll ist. Abschließende Aussagen zu diesem Geschäftsmodell können noch nicht gemacht werden, da es aktuell kein realisiertes Beispiel in Deutschland gibt.

5. Verkauf von Kühleistung

Ähnlich wie die Abwärmeentsorgung funktioniert der Verkauf von Kühleistung. Der zentrale Unterschied ist, dass keine Wärmemengen „entsorgt“ werden, sondern der Wärmenetzbetreiber bei einem vorgegebenen Temperaturniveau eine Abwärmeauskopplung mit einer bestimmten Leistung dem Abwärmelieferanten garantiert und ihn für die garantierte Bereitstellung dieser Kühleistung entsprechend vergütet.

6. Kompetitive Einspeisung im Erzeugungspark

Die Einspeisung im Zusammenspiel mit dem existierenden Erzeugungspark ist für jedes Abwärmeprojekt individuell zu betrachten. Wie in Kap. 3.4.3 dargestellt, sind grundsätzlich die gleichen Funktionen zu erfüllen, um eine Quelle anschließen zu können; jedoch sind die kostenbestimmenden Randbedingungen individuell und zeitlich verschieden. Ziel muss eine auskömmliche Lösung für Käufer und Verkäufer sein. Für den Verkäufer, der seine Abwärme bisher nicht genutzt hat, steht die gesicherte Refinanzierung notwendiger Investitionen im Vordergrund. Für den Käufer ist entscheidend, dass ein Einsatz oder Abruf der Quelle im Erzeugungspark vorteilhaft ist. Das kann durch überlegene CO₂- und primärenergetische Werte, einen kompetitiven – also günstigen – Preis der Abwärme oder durch das Zusammenspiel beider Faktoren erreicht werden.

3.6.4 Vertragsgestaltung

Bei der Vertragsgestaltung ist davon abzuraten, Musterbezugsverträge zu verwenden, da bei der Nutzung von Abwärme für Fernwärmesysteme ein passgenauer Zuschnitt des Bezugsvertrags auf den Einzelfall zu erfolgen hat.

1. Rechtsrahmen

Für die weiteren Ausführungen über die mögliche, besondere Ausgestaltung ist maßgeblich, welchem Rechtsrahmen der Vertrag unterfällt. Im Grundsatz gilt auch hier die Vertragsfreiheit der Parteien. Sollte man aber nicht darlegen können, dass es sich bei den Vertragsbedingungen um jeweils ausgehandelte Individualvereinbarungen handelt, so gelten diese als vorformuliert und könnten entweder dem AGB-Recht (§§ 305 ff. BGB) oder den Regelungen der Allgemeinen Versorgungsbedingungen für Fernwärme (AVBFernwärmeV) unterliegen und nach diesen zu prüfen sein. Sollte nach § 1 AVBFernwärmeV die Verordnung anwendbar sein, so haben die in der AVBFernwärmeV getroffenen Regelungen Vorrang vor denen der §§ 305 ff. BGB.

Nach der ständigen höchstrichterlichen Rechtsprechung ist Fernwärme jede gewerbliche Lieferung von Wärme, unabhängig von der Länge des Leitungsnetzes mit einem Mindestmaß an Investitionen (BGH, Urt. v. 21.12.2011, VIII ZR 262/09). Umfasst sind also die Eigenerzeugung und der Vorbezug von Wärme. Umstritten ist jedoch, ob auch die Versorgung von Weiterverteilern dem Anwendungsbereich der AVBFernwärmeV unterfallen soll. Sicherheitshalber empfiehlt es sich, die Vertragsbedingungen an beiden Rechtsrahmen, also den §§ 305 ff. BGB und der AVBFernwärmeV, auszurichten.

2. Technische Regelungen

Die oben bereits angesprochene Einzelfalllösung beruht auf der notwendigen technischen Einheit zwischen der Erzeugung und der Verteilung der Wärme. Hierfür gibt es keine standardisierbaren Werte, die man einem Muster zugrunde legen könnte, insbesondere, weil die Parameter der verwendeten Wärmequelle abhängig von der Art des technisch

eingesetzten Prozesses sind. Außerdem muss das Verteilnetz dazu in der Lage sein, diese Parameter aufzunehmen und an die Kunden weiter zu verteilen. Zu vereinbaren sind:

- die Art des Wärmeträgers,
- die Vorlauftemperatur,
- die Rücklauftemperatur und
- der Druck.

3. Regelung zur Bereitstellung der Wärme

Es sollten auch Regelungen bezüglich der Bereitstellung der Wärme getroffen werden. Hier ist es ebenfalls von Bedeutung, in welcher Art technischem Prozess die Abwärme erzeugt wird, da sich dies auf planmäßige und außerplanmäßige Unterbrechungen auswirkt. Ebenso ist die Erzeugungs- und Belieferungssituation des Fernwärmeunternehmens von Bedeutung.

- Dient der Bezug von Fernwärme nur der Erweiterung des Erzeugungsportfolios?
- Soll der Wärmebedarf vollständig durch die Abwärmequelle gedeckt werden?
- Oder sind Reservekapazitäten vorhanden, auf die zurückgegriffen werden kann?

Abzuraten ist von Formulierungen, die die Bereitstellung einer bestimmten Menge über einen Zeitraum beinhalten, denn hier wird nur vereinbart, dass eine gewisse Menge geliefert wird, jedoch nicht, wann genau.

Es wird empfohlen, sich an § 5 AVBFernwärmeV zu orientieren, der die Rechtspflicht einer ständigen Bereitstellung im vereinbarten Umfang regelt. Ausnahmen gelten nur bei nicht abwendbaren Ereignissen, höherer Gewalt oder betriebsnotwendigen Unterbrechungen, wie z.B. Wartung.

4. Vertragslaufzeit

Für die Vertragslaufzeit ist relevant, ob auf den jeweiligen Vertrag die AVBFernwärmeV anzuwenden ist oder §§ 305 ff. BGB. § 32 Abs. 1 AVBFernwärmeV regelt, dass höchstens eine Laufzeit von 10 Jahren vereinbart werden kann mit einer Verlängerungsoption von 5 Jahren für den Fall, dass keine der Vertragsparteien kündigt. Ohne Laufzeitvereinbarung und Anwendbarkeit der AVBFernwärmeV kann der Vertrag jederzeit von beiden Seiten gekündigt werden.

Sollte jedoch AGB-Recht anwendbar sein, so ist nicht auf die maximale Vertragsdauer von 2 Jahren für Verbraucher bzw. Betriebsführungs-Contracting nach § 309 Nr. 9 BGB abzustellen. Denn der BGH hat in seiner Rechtsprechung erkannt, dass Unternehmen ihren Wärmebedarf längerfristig abschätzen können und wissen, worauf sie sich einlassen. Somit sind sie nicht so schutzwürdig wie Verbraucher. Außerdem erkennt er an, dass die Vereinbarung von längeren Laufzeiten bei einem entsprechend begründeten Amortisations- und Planungsinteresse nötig ist.

Eine Erstvertragslaufzeit von 10 Jahren ist nach dem eben Beschriebenen unbedenklich und zu empfehlen. Sollte eine längere Erstvertragslaufzeit gewünscht sein, muss sichergestellt sein, dass die AVBFernwärmeV keine Anwendung findet (str., vgl. Rechtsrahmen) und ein anerkanntes Interesse an der längeren Vertragslaufzeit besteht oder es sich um eine darlegbare und beweisbare Individualvereinbarung handelt.

5. Preise und Preisbestandteile

Auch bei der Vereinbarung der Preise gilt der Grundsatz der Vertragsfreiheit. In der Praxis haben sich zwei mögliche Systeme der Preisbestandteile herausgebildet: Das eingliedrige System, welches aus einem Arbeits- bzw. Mengenpreis besteht oder das mehrgliedrige System, bei dem sich der Preis aus einem Arbeits- und einem Leistungs- oder Grundpreis und ggf. einem Messpreis zusammensetzt.

Hinsichtlich der Festlegung der Höhe des zu vereinbarenden Preises sind folgende Aspekte relevant:

- Verlässlichkeit der Wärmelieferung,
- vermiedene Kosten der Eigenerzeugung,
- Wert der Wärme für das belieferte Fernwärmeversorgungsunternehmen (Entwicklung der Brennstoffpreise auf dem Wärmemarkt; energetische Qualität der Wärme).

Wichtig ist jedoch, immer zu berücksichtigen, wie sich die in dem Vorbezugsvertrag getroffenen Vereinbarungen auf das Endkundengeschäft auswirken. Denn es handelt sich hier um einen langfristigen Vertrag mit Bindung an bestimmte Parameter. Auch ist daran zu denken, dass die Beschaffungskosten in den Preisgleitklauseln der Endkundenverträge abgebildet werden müssen. Dies muss identisch zu der Abbildung der Bezugsformel erfolgen.

6. Nutzungsrechte

Für die Regelung der Nutzungsrechte ist maßgeblich, in wessen Eigentum sich die Trasse und eventuell nötige Übergabestationen auf dem Gelände des Abwärmelieferanten befinden sollen. Sobald die AVBFernwärmeV nicht anzuwenden ist, entfallen auch die aus ihr hervorgehenden Duldungspflichten. Hierbei ist nicht nur die Regelung der Eigentumsverhältnisse zu bedenken, sondern auch, wer im Falle von Wartung oder Reparatur welche Kosten zu tragen hat. Außerdem gilt es, eventuell eine Vereinbarung von Nutzungsentgelten zu treffen oder diese explizit auszuschließen. Ebenso sollte bereits vor Abschluss des Vertrages über seine Beendigung nachgedacht werden. Konkret ist zu regeln, wer verantwortlich ist für den Rückbau, wer die Kosten trägt und in welchem Zeitraum der Rückbau zu erfolgen hat.

7. Zutrittsrechte

Zutrittsrechte für Bau, Wartung und Betrieb des Wärmenetzes sind stets zu vereinbaren. Selbst wenn die AVBFernwärmeV kraft Gesetzes gelten sollte, gewährt § 16 AVBFernwärmeV an sich kein gesetzliches Zutrittsrecht, sondern setzt voraus, dass dieses von den Parteien vorher vertraglich vereinbart wurde.

4 Geeignete Rahmenbedingungen zur Erschließung der nutzbaren Abwärmepotenziale

4.1 Politik und Gesetzgebung

Um die Nutzung von Abwärme signifikant zu erhöhen, sind unterstützende politische und gesetzliche Rahmenbedingungen erforderlich, die sowohl Abwärmelieferanten als auch Wärmeversorgungsunternehmen anreizen, Abwärmepotenziale zu nutzen.

1. Bekenntnis zur Bedeutung und Nutzung von Abwärme

Um die Abwärmepotenziale in Deutschland zu erschließen ist es dringend geboten, den ökologischen und volkswirtschaftlichen Wert der Abwärme politisch wahrzunehmen und in der Folge auch über entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen anzuerkennen. Das betrifft insbesondere auch die grundsätzliche Abwägung zwischen der Erschließung und Förderung ebenfalls begrenzter erneuerbarer Wärmequellen und der Nutzung von ohnehin anfallender Abwärme.

2. CO₂-Abgabe auf fossile Brennstoffe außerhalb des EU Emission Trading Systems (ETS)

Das EU-Emissionshandelssystem (ETS) ist ein wichtiges Instrument zur kostenwirksamen Verringerung der Treibhausgasemissionen im Energiewirtschafts- und Industriesektor. Andere Sektoren, wie beispielsweise der Gebäudesektor, werden derzeit nicht vom EU-System erfasst. Im Ergebnis führte das in der Vergangenheit zu einer Wettbewerbsverzerrung zwischen der Fernwärme und dezentralen Einzelheizungen in Gebäuden (erstes wird größtenteils im ETS erfasst, letzteres nicht). Der Einsatz von Abwärme in Wärmenetzen wird jedoch durch sinkende Zuteilungsmengen von freien Zertifikaten kontinuierlich weniger honoriert. Das 2021 in Deutschland in Kraft getretene Brennstoffemissionshandels-gesetz (BEHG) hat dieses Ungleichgewicht – zumindest für große KWK-Wärmesysteme – behoben und gleichzeitig die Wettbewerbsbedingungen den Einsatz von Abwärme in der Raumwärmeversorgung verbessert.

3. Gesetze und Zertifizierungssysteme

Ein Anreiz zur Einbindung von erneuerbaren Energien und klimaneutraler Abwärme könnte für Wärmenetzbetreiber von der Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) in nationales Recht ausgehen. Die EU-Richtlinie richtet sich erstmals direkt an den Wärmesektor. Um die langfristigen Dekarbonisierungsziele zu erreichen, soll der Anteil der Erneuerbaren in dem Sektor schrittweise erhöht werden (im Durchschnitt um 1,1 % pro Jahr). Grundsätzlich steigt dadurch der Wert von dekarbonisierter Wärme an. Die Anerkennung von Abwärme, als den erneuerbaren Energien gleichgestellt, ist im Kontext dieser Verordnung die wesentliche Voraussetzung für die Abwärmenutzung.

Für die Abwärme abgebenden Unternehmen stellen die ISO 50001 und das Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) geeignete Anreize zur Abwärmenutzung dar. Abwärmeerhebungen könnten perspektivisch als fester Bestandteil für Zertifizierungen größerer Unternehmen festgeschrieben werden. Eine systematische, regelmäßige und standardisierte Erhebung und Ausweisung anfallender Abwärme ist eine unerlässliche Voraussetzung für die Nutzung von Abwärme. Diese Erhebungen können auch für die Erstellung von Abwärmekatastern oder die Eintragung in ein öffentlich zugängliches Abwärmeregister genutzt werden.

Zusätzlich muss der Gesetzgeber die Überarbeitung der KNV-V³¹ zur Kosten-Nutzen-Vergleichsrechnung prüfen und über eine generelle Erhebungs-, Veröffentlichungs- und Nutzungspflicht entscheiden, insbesondere im Zusammenhang mit Erstgenehmigungen und größeren Änderungen an Bestandsanlagen. Dieser Zeitpunkt bietet sich für die Prüfung und Umsetzung von Abwärmenutzungskonzepten an.

4. Standardisierte regelmäßige Potenzialerhebung und Veröffentlichung von Abwärmepotenzialen

Standardisierte – und vor allem bundesweit einheitliche – sowie regelmäßige Potenzialerhebungen sollten den Unternehmen vorgegeben werden (vgl. Tabelle 4), d. h. eine Grob- und eine zweistufige Detailerhebung. Erstere umfasst das theoretische und technische Potenzial und sollte veröffentlichungspflichtig sein. Die Detailerhebung sollte in der ersten Stufe das wirtschaftliche Potenzial umfassen, als Bestandteil von Zertifizierungs- und Genehmigungsprozessen erhoben und für die Erstellung von Wärmekatastern zur Verfügung gestellt werden. In der zweiten Stufe sollte auch latente und sonstige Quellen erfasst werden. Diese Angaben sollten auf Anfrage einen berechtigten Personen- und Unternehmenskreis (Wärmeversorger, Kommunen und Stadtplaner), verpflichtend sowie unter Wahrung von Vertraulichkeit, zur Verfügung gestellt werden.

5. Verbindliche Erstellung von Wärmekatastern auf Ebene der Bundesländer sowie auf Bundesebene

Die Bundesländer sollten verpflichtet werden, Wärmekataster zu erstellen und zu veröffentlichen. Mittel- bis langfristig sollten diese in einem Bundeskataster zusammengeführt werden. Die Entwicklung entlang eines einheitlichen Standards und möglicherweise auf einer einzigen Datenplattform sollte angestrebt werden. Die Wärmealanten der Länder Bayern und NRW könnten als Vorbild und möglicherweise als Zielsystem dienen.

6. Unterstützende Maßnahmen – bspw. Gründung von Kompetenz-/Forschungszentren für Abwärmenutzung, regionale Koordinatoren/Cluster, Aufbau einer bundesweiten Datenbank

Die Einrichtung einer zentralen Forschungsstelle für die Nutzung von Abwärme und regionalen Abwärmekoordinatoren könnten den erforderlichen Know-how-Transfer maßgeblich unterstützen. Zusätzlich könnten regionale Kompetenz-/Forschungszentren bei der Entwicklung von Förderprogrammen, der Festlegung und Anpassung von (Technik-)Standards und bei der Beratung von Abwärmeprojekten eingebunden sein. Für Letzteres gilt es Stellen für Abwärmekoordinatoren zu schaffen. Auch könnten Abwärmecluster in jedem Bundesland die Nutzung der Abwärmepotenziale verbessern.

7. Anforderungen an eine zielgerichtete bundesweite Abwärmeerhebung mittels definierter Potenzialtypen

Für die Erschließung der Abwärmepotenziale ist vom Bund oder den Bundesländern dafür Sorge zu tragen, dass eine solide Datengrundlage geschaffen wird, mithilfe welcher man schnell lohnenswerte Potenziale für nähere Untersuchungen ausfindig machen kann.

31 Verordnung über den Vergleich von Kosten und Nutzen der Kraft-Wärme-Kopplung und der Rückführung industrieller Abwärme bei der Wärme- und Kälteversorgung

Ein Wärmekataster sollte einen soliden Überblick über die verschiedenen Potenzialtypen geben. Folgende Potenzialtypen wurden identifiziert. Die Erhebung erfolgt stufenweise und sollte aufeinander aufbauen können. Ein Vorschlag zur Standardisierung wird nachfolgend gegeben (Tabelle 4).

Tabelle 4: Tabellarische Übersicht aufeinander aufbauender Abwärmepotenzialerhebungen

Was	Informationsquelle/ Datenbasis	Sensibilität/ Öffentlichkeit	Zielsystem; Auftraggeber
1 Übersicht Potenzial Bundesweit z. B. IFEU Studie Nenia	Bundesweite Erhebung: BImSch-Genehmigungen, Energiebilanz (AGEB), Befragung der Unternehmen Theoretisches Potenzial	öffentlich	Bundesweiter Wärmeatlas; Bund
2 Übersicht Potenzial Landesweit z. B. Landeskataster Bayern, NRW	Landesweite Erhebung: Bundesdaten, Befragung/Plausibilisierung der Unternehmen, 80 % der Wärmemenge Technisches Potenzial Mit Klassifizierung Temperatur, unterteilt in aktives und passives Nutzungspotenzial (mit/ohne Wärmehaufwertung durch WP oder Nachheizung) ; Grenze z. B. 90° oder nach Klassen 130°, 90°, 60°, 35°	öffentlich	Landesweiter Wärmeatlas; Land
Studie „Abwärmennutzung in Unternehmen“, Baden-Württemberg	Landesweite Erhebung der genehmigungsbedürftigen Anlagen sowie Abschätzung über Wirtschaftsklassen, Bottom-up und top-down Schätzungen für zusätzlich erschließbares Potenzial inkl. Entwicklungspfad bis 2030 (BW)	Studie für Fach- Öffentlichkeit, Potenziale öffentlich im Energieatlas	Landeskonzept Abwärme (Ziel Sommer 2019); Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW
3 Unternehmenszertifizierung DIN 50001 DIN 50003: Verpfl. Verbesserung der Energieeffizienz	Unternehmensdaten mit überschaubarem Aufwand erhebbar Technisches und internes Potenzial (inklusive latenter Wärmemenge)	Quelle und Behörde Ggf. Rückkopplung in Landeskataster über skaliertes System	Interne Energiebilanz entspr. einheitl. Vorgabe, LBCBTT-Prüfung ist ab hier sinnvoll; Wärmequelle, Zertifizierer
4 Quelle/Senken- Abgleich Grobkonzept Latente und bisher nicht weiter analysierte interne Wärmequellen	Abgleich der Wärmedaten mit aktuellen oder zukünftigen Bedarfen Grobeinschätzung wirtschaftliches Potenzial: Variantenanalyse – Wirtschaftliches Potenzial – Wirtschaftlichkeitslücke (Förderbedarf) – Prüfung der Netzlänge; Einspeisevoraussetzungen	nicht öffentlich Bilateral Quelle, Senke, ggf. Behörde (Planung, Genehmigung, Förderung)	Förderantrag Unternehmens-Information; Wärmesenke, Kommune, Berater, Fördermittelgeber
5 Feinkonzept	Machbarkeitsstudie Teil 1, Machbarkeitsstudie Teil 2: Technik – Wirtschaftlich (ohne Förderung) – Vertraglich – Fördertechnisch Entscheidungsrelevantes Wirtschaftliches Potenzial inkl. Förderung	nicht öffentlich Bilateral Quelle, Senke, ggf. Behörde (Planung, Genehmigung, Förderung)	Förderantrag, Einzelantrag; Quelle, Senke, Kommune, Berater, Fördermittelgeber

Quelle: Ergebnisse des erweiterten Projektkreises „Abwärme“ des AGFW

4.2 Planungsrecht

Grundsätzlich ist zu prüfen, inwieweit das geltende Planungsrecht unterstützend zur Ermittlung und Nutzung von Abwärme verwendet und ausgestaltet werden kann. Hierbei ist zwischen industrieller Abwärme und Abwärme von Dienstleistungsunternehmen zu unterscheiden.

Die übergeordneten Planungswerke wie Regionalpläne oder Flächennutzungspläne regeln langfristige Entwicklungen der jeweiligen Planungsgebiete. Regionale Versorgungsfragen könnten in diese Planwerke aufgenommen werden, Wärmequellen und -senken quantifiziert und vor dem Hintergrund möglicher Lieferbeziehungen abgebildet werden.

Im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung könnten Informationen zu zukünftig erwartbaren Abwärmevorkommen der zu genehmigenden Gebäude und Anlagen verpflichtend eingefordert werden. Auch Wärmeversorgungskonzepte, die ökologische Qualität neuer Gebäude und Siedlungen sowie der erwartbare Gesamtwärmebedarf könnten Bestandteil der Bauleitplanung werden.

Ergebnisse von Potenzialerhebungen auf den unterschiedlichen Ebenen (siehe Tabelle 4) sollten in behördliche Planungsprozesse der Bauleitplanung integriert werden, sodass eine verpflichtende Befassung mit dem Thema Abwärmennutzung stattfindet.

4.3 Fördermittel

Abwärmeprojekte sind technisch und konzeptionell aufwändig und ohne Fördermittel unter den heutigen Rahmenbedingungen in der Regel nicht wirtschaftlich. Fördermittel sind nach Zuschussarten und Zuschussgeber zu unterscheiden: Folgende drei Zuschussarten sind relevant: fixe Darlehen und Zuschüsse sowie variable Ausschreibung.

Fördermittelgeber sind u. a. Bundesministerien, Landesministerien, die KfW-Bank und das BAFA. Darlehen und Fördermittel sind in der Vergangenheit oftmals und aus unterschiedlichen Gründen (u. a. geringe Bedarfsorientierung, mangelnde Transparenz, hohe Komplexität, fehlende Kontinuität usw.) nicht ausgeschöpft worden.

1. Darlehensförderungen (fix)

Hier wird den Unternehmen ein zinsvergünstigtes Darlehen angeboten, nicht selten verbunden mit einem festgelegten einmaligen Tilgungszuschuss.

Häufig kann diese Zuschussform von Energieversorgungsunternehmen nicht in Anspruch genommen werden. Zum einen, weil die Zinssätze ohnehin seit langer Zeit gering sind und zum anderen, weil Darlehen die Eigenkapitalquote der Unternehmen verringern, in bestehenden Krediten berücksichtigt werden müssten und damit die Unternehmensbilanz unerwünscht belasten. Die Fülle unterschiedlicher Förderprogramme mit unterschiedlichen Fördergegenständen führt möglicherweise zu der Situation, dass nur durch die Kombination verschiedener Programme alle Bestandteile ausreichend gefördert werden. Dadurch entsteht zusätzlicher Aufwand.

Interessant kann die Darlehensförderung allerdings werden, wenn über eine Ausfallversicherung der Öffentlichen Hand das Adressrisiko für die Unternehmen beseitigt oder verringert werden kann.

2. Zuschussförderung

Bei dieser Förderung wird ein Zuschuss zu den Investitionen für die Erschließung, das Einsammeln und den Transport der Abwärme gezahlt, nicht jedoch für den entstehenden betrieblichen Aufwand (bspw. Personalaufwand). Allerdings greift hier oftmals die sog. De-minimis-Regel. Sie erlaubt die Unterstützung von Unternehmen mit öffentlichen Mitteln, sofern eine bestimmte Obergrenze (200.000 Euro) nicht überschritten wird. Handelt es sich um einen Konzern, gilt dieser Betrag sogar als Summenobergrenze für alle Unternehmen und mehrheitlichen Beteiligungen. Im Ergebnis ist die Förderung damit ab einer bestimmten Unternehmens- oder Projektgröße unattraktiv, d. h. auch für die meisten Abwärmeprojekte.

Zuschussförderungen, die oberhalb der De-Minimis-Regel liegen, werden daher von den ausgebenden Behörden oftmals anders konzipiert. So wird als Zuschusshöhe in vielen Förderprogrammen die Wirtschaftlichkeitslücke³² als Maßstab für Abwärmeprojekte festgelegt. Diese Lücke muss unter detaillierter und aufwändiger Offenlegung zahlreicher unternehmensinterner Informationen nachgewiesen werden. Die erlaubte Eigenkapitalverzinsung liegt in der Regel deutlich unter den üblichen Renditeerwartungen der Unternehmen. Beide Aspekte lassen viele Unternehmen davor zurückschrecken, Fördermittel in Anspruch zu nehmen. Erschwerend kommt hinzu, dass oftmals Bürgschaften verlangt werden, deren Erbringung zusätzlichen Aufwand und Kosten verursacht, ohne dass dies bei solch langlebigen Investitionsgütern wie FW-Netzen dringend geboten erscheint.

3. Ausschreibung

Bei den im Jahr 2019 aufgelegten Förderprogrammen (Energieeffizienz und Prozesswärme aus erneuerbaren Energien in der Wirtschaft) werden Projektförderungen ausgeschrieben. Vergleichsgröße ist dabei die sogenannte Fördereffizienz, d. h. die Summe, die vom Fördermittelgeber aufgewendet werden muss, um eine Tonne CO₂ einzusparen. Interessant an diesem Verfahren ist, dass das Unternehmen durch die Wahl der Förderquote zwischen 0 und 50 % selbst entscheiden kann, wieviel Geld es benötigt, um eine Investition zu tätigen, ohne interne Wirtschaftlichkeitsberechnungen offenlegen zu müssen. Die Erwartung des Fördermittelgebers ist dabei, dass die Fördereffizienz stetig steigt und mit immer weniger öffentlichen Mitteln immer höhere CO₂-Einsparungen realisiert werden.

Empfehlungen zur Ausgestaltung von Förderprogrammen

- Die Laufzeit eines Programms sollte mindestens 5, besser 10 Jahre betragen, damit große Projekt ausreichend langen Vorlauf bei stabilen Rahmenbedingungen haben.
- Im Rahmen von Überprüfungen der bestehenden Förderprogramme sollten auch folgende Bestandteile regelmäßig auf Förderfähigkeit übergeprüft werden:

32 Die Differenz zwischen den positiven und negativen Zahlungsströmen einer Investition über den Kalkulationszeitraum X, die auf ihren Barwert abgezinst wird (in der Regel auf der Grundlage der Kapitalkosten). Hinweis: Finanzierungslücke (nach UEBLL Nr. 1.3. (19) (32), S. 9) ist gleichzusetzen mit der Wirtschaftlichkeitslücke eines Projektes. [AGFW FW704].

- Betriebskostenförderung für den stromnetzdienlichen Betrieb von effizienten Wärmepumpen, z. B. Umlagenbefreiung analog SINTEG³³ (EnWG § 13 6a) oder Förderung des Zukaufs von Ökostrom für PEF- und CO₂-neutrale Hilfsenergie; für den Betrieb der thermischen Einspeisesicherung
- Potenzialanalysen (unverbindlich) mit erhöhter Förderquote zur Minimierung von Einstiegshemmnissen (vgl. Wärmenetze 4.0)
- Anpassung der Wärmenetzstruktur zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit von Abwärme
- Investitionsförderung für Transport-/Anbindungsleitungen, Pumpen und Netzverstärkungsmaßnahmen, Speicher (zur Erhöhung der genutzten Abwärmemenge), Auskopplungsmaßnahmen
- Maßnahmen zur Temperaturabsenkung in den aufnehmenden Netzen oder bei den Kunden (Rücklauf Temperaturabsenkung)
- Installationen eines sekundären Heißwassernetzes auf dem Werksgelände als „multi-benefit“-Tool³⁴
- Anrechenbarkeit des internen Personalaufwands
- Bei Kommunen, als alleinige Antragsteller (vgl. NIK-Förderrichtlinie), sollte sichergestellt sein, dass diese über das notwendige Know-how verfügen oder einen Projektpartner hierfür ernennen können.
- Die Mindestgröße für förderwürdige Projekte sollte sich an absoluten oder relativen CO₂-Einsparungen orientieren, um kleine Abwärmeprojekte nicht von vornherein auszuschließen
- Gewährung von Versicherungsbeihilfen oder die Übernahme von Ausfallrisiken für Darlehen zur Abdeckung des Adressrisikos .

4.4 Ordnungsrecht

Sollten aktuelle gesetzliche Regelungen zur Schaffung von Anreizen zur Abwärmevermeidung und -nutzung nicht ausreichen, könnte auch das Ordnungsrecht genutzt werden, um die Abwärmennutzung zu forcieren. Ordnungsrechtliche Maßnahmen gehen allerdings oftmals mit wirtschaftlichen, wettbewerblichen und Akzeptanzproblemen einher und sollten daher als „Ultima Ratio“ verstanden werden. Im Folgenden werden beispielhaft zwei Möglichkeiten grob skizziert, die zu einer verbesserten Abwärmennutzung führen könnten.

1. Verpflichtung Industrie

Die Industrie könnte durch die Deklaration von Abwärme als einem anzeige- bzw. entsorgungspflichtigen Abfall oder einer zu vermeidenden Emission dazu motiviert werden, den eigenen Fokus stärker auf den effizienten Umgang mit Energie zu richten und interne

33 Das Forschungsprogramm Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG) ist aufgrund Beschlusses des deutschen Bundestags ein Förderprogramm des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

34 Neben der internen Wärmenutzung wird damit die Abwärmeauskopplung aus mehreren Produktionsstellen ermöglicht.

Energiekreisläufe zu schließen. Es wäre beispielsweise denkbar, dass Industrieunternehmen verpflichtet werden, die Quellen von Abwärmeströmen detailliert nachzuweisen, zu vermeiden oder diese entweder einer internen Nutzung oder einer Entsorgung (Lieferung an anderes Unternehmen) zuzuführen.

Abwärme dürfte dann nur noch geringfügig oberhalb des Temperaturniveaus des aufnehmenden Mediums (Vorfluter oder Umgebungsluft) ohne Einschränkungen abgegeben werden, alle über diesem Wert liegenden Abwärmemengen müssen vermieden oder eingesammelt und intern wiederverwendet oder zur Übergabe an einen Dritten am Werkszaun bereitgestellt werden. Die Bundes-Immissionsschutzverordnung könnte bspw. um solche Restriktionen zur Abgabe von Abwärme ergänzt werden.

Zusätzliche Kosten (oder Strafzahlungen) dürfen mit einer solchen Maßnahme nicht verbunden sein, sofern anfallende Abwärme nachweislich nicht durch Effizienzmaßnahmen reduziert, intern verwendet oder extern abgegeben werden kann.

Eine mögliche Ausgleichsmaßnahme könnte in diesem Fall sein, dass die erfassten Abwärmeströme in ein öffentliches Kataster aufgenommen und berechtigt Interessierten (Fernwärmenetzbetreiber, Stadtplanern usw.) auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

2. Verpflichtung Wärmeversorgungsunternehmen

Komplementär zur Verpflichtung der Industrie, könnten Wärmeversorgungsunternehmen zu einer Befassungspflicht mittels vereinfachter Wirtschaftlichkeitsrechnung entsprechend einer anzupassenden KNV-V angehalten werden, sofern die von der Industrie erhobenen Parameter, mit den Parametern des Wärmenetzes (gemäß technischen Anschlussbedingungen) grundsätzlich kompatibel sind.

Unter der Voraussetzung der Verfügbarkeit wirtschaftlich nutzbarer Abwärme, ihrer Gleichsetzung mit erneuerbarer Wärme und einer Befassungspflicht für Industrie und Wärmeversorgungsunternehmen, würde ein verstärkter Fokus auf den Einsatz von erneuerbarer und klimaneutraler Wärme zu einer deutlich höheren Ausschöpfung der verfügbaren Abwärmepotenziale in Deutschland führen.

5 Zusammenfassende Forderungen zur verbesserten Nutzung von Abwärme

Die Erschließung und Nutzung bestehender Abwärmepotenziale in Deutschland ist heute mit diversen Herausforderungen und Hemmnissen verbunden. Zentral sind einmal mehr die ökonomischen Herausforderungen, die gesetzlichen Rahmenbedingungen, aber auch fehlende Geschäftsmodelle, Standards sowie eine effiziente und angemessene Förderlandschaft.

Eine signifikante Steigerung der Abwärmenutzung erfordert:

- Eine eindeutige Definition von Abwärme, die auch Wärme aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen umfasst, ihren ökologischen Wert anerkennt und damit ihren ökonomischen Wert steigert.
- Ein klares Bekenntnis des Gesetzgebers zu Abwärme als Teil einer langfristigen Dekarbonisierungsstrategie der Fernwärme, die den erneuerbaren Energien gleichgestellt ist.
- Leicht zugängliche und für Wärmenetzbetreiber verwertbare Daten über direkte und latente Abwärmepotenziale.
- Rechtliche, politische und finanzielle Rahmenbedingungen, die Industrieunternehmen und Wärmeversorgungsunternehmen gleichermaßen veranlassen, Abwärme zu nutzen.
- Integration der Abwärme in kommunale und regionale Planungen als Bestandteil zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit im Wärmesektor.

Lassen Sie uns gemeinsam das Potenzial der Abwärme heben und sie als Quelle für mehr Energieeffizienz in der Industrie und die Dekarbonisierung der Wärmenetze nutzen.

6 Zusätzliche Detailuntersuchungen

6.1 Untersuchung: Lock-in-Effekte und zukünftiges Vorkommen bei Prozessumstellungen

Das Übereinkommen der Weltklimakonferenz von Paris im Dezember 2015 (COP 21) legt das Ziel fest, auf globaler Ebene eine Klimaneutralität bis spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu erreichen. In der EU und in Deutschland gelten Minderungsziele für die Reduktion von Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 von 80 bis 95 % (gegenüber dem Bezugsjahr 1990). Wissenschaftliche Studien legen nahe, dass global – und somit erst recht für eine Industrienation wie Deutschland – der obere Zielwert, also die 95-prozentige Reduktion, erforderlich ist, um irreversible Rückkopplungen durch Kippelemente im Erdsystem sicher zu verhindern³⁵. Die Minderungsverpflichtungen betreffen alle Sektoren, so dass sich insbesondere auch hohe Anforderungen an die (energieintensive) Industrie im Übergang zu einem weitgehend auf dekarbonisierten, erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem ergeben³⁶.

Mit dem nachfolgenden Exkurs soll dazu angeregt werden, über den kurz- und mittelfristigen Zeithorizont hinaus zu denken und – hinsichtlich der Abwärmenutzung – offene Forschungsfragen und Aufgaben zu formulieren:

- Welche Randbedingungen hinsichtlich der Nutzung von Abwärme ergeben sich aus Klimaschutz-Szenarien, die auch eine Dekarbonisierung der Industrie (bis 2050) abbilden?
- Welche Auswirkungen ergeben sich dadurch hinsichtlich der zukünftigen Abwärmepotenziale?
- Welche Aspekte und Trends bei Abwärmequellen, Abwärmesenken und Wärmenetzen (Dezentralisierung, Diversifizierung, Low-Ex, Speicher) müssen frühzeitig im Auge behalten werden? Wie läuft der Transformationsprozess in seiner Dynamik ab?
- Welche Alternativen (insbesondere PtH) können Abwärmepotenziale ergänzen und ggf. langfristig entfallende Potenziale ersetzen (Begegnung des Ausfallrisikos)?

6.1.1 Low-Carbon-Breakthrough-Technologien (LCBTT)

Insbesondere bei den prozessbedingten Emissionen in der energieintensiven Industrie lassen sich solch weitgehende Minderungen in Richtung Nullemissionen mit den bisher verwendeten Technologien und Prozessen in der Regel nicht realisieren. Daher sind umfangreiche, zum Teil auch radikale Innovationen sowohl bei Produkten als auch bei industriellen Produktionsprozessen erforderlich. In vielen Bereichen ist es daher notwendig, dass eine eher evolutionäre Entwicklung der schrittweisen Effizienzverbesserung aus der Vergangenheit durch eine revolutionäre Entwicklung in Form von vollkommen anderen Produktionsrouten, sogenannten Low-Carbon-Breakthrough-Technologien (LCBTT) abgelöst wird. Es ist davon auszugehen, dass dieser Ablösungsprozess mit einer starken Veränderung der Abwärmepotenziale einhergeht.

³⁵ Robiou du Pont e. a., 2017; Steffen et al., 2018; WBGU, 2009

³⁶ Wuppertal Institut, 2018a

Die wichtigsten Branchen, welche von LCBT-Technologien betroffen sein werden, sind die energieintensiven Branchen Stahl, Aluminium, Chemie sowie Zement. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht möglicher LCBT-Technologien für diese vier Branchen. Darüber hinaus ist mit den Raffinerien eine weitere Branche maßgeblich vom Wandel betroffen, allerdings voraussichtlich weniger durch neue LCBT-Prozesse als durch die Unsicherheit, wie sich Nachfrage und Produktion von Raffinerieprodukten in Deutschland perspektivisch entwickeln werden, die in hohem Maße abhängig ist von zukünftigen Entwicklungen im Verkehrssektor hinsichtlich Antriebsstrategien, Verkehrsleistungen und Modal Split.

Tabelle 5: Übersicht über zentrale LCBT-Technologien für die Branchen Stahl, Aluminium, Chemie, Zement

Branche	LCBT-Technologie
Stahlerzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • Primärstahl durch alkalische Eisenelektrolyse • Direktreduktion mit Wasserstoff • Elektrostahl per Lichtbogen- oder Induktionsofen • Schmelzreduktion mit Kohle (und optional CCS/CCU) • Hochofen mit CCS • HISarna® mit CCS
Aluminiumherstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilisierung der Elektrolyse zur Herstellung von Primäraluminium • Power-to-Heat als Option beim Schmelzen und Erwärmen
Chemiebranche	<ul style="list-style-type: none"> • Carbon Capture am Steam Cracker • Änderung des Ausgangsmaterials (Edukt) am Steam Cracker • Ablösung der Olefinproduktion im Steam Cracker durch andere Verfahren, z. B. auf Methanolbasis (MTO) • Nutzung von Membranverfahren zur Stofftrennung statt thermischer Trennverfahren • Power-to-Heat mit Schwerpunkt auf Dampferzeugung • Wasserstoff aus Elektrolyse als Edukt statt Steam Reforming bzw. partielle Oxidation
Zementbranche	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Capture Oxyfuel • Elektrifizierung des Wärmeeintrags (PtH) im Sinterprozess und/oder bei der Kalzinierung • Indirekt beheizter Kalzinator mit CCS (LEILAC) • Synergetische Konzepte: Oxyfuel-Verfahren & PtG • Alternative Zemente (mit alternativen Bindemitteln als Klinkersubstitut) • CO₂-neutraler (recycelter) Beton durch Rekarbonatisierung (Recycling, CCU & Reduktion Klinkerfaktor)

Quelle: (Wuppertal Institut, 2018b, S. 12), eigene Ergänzungen

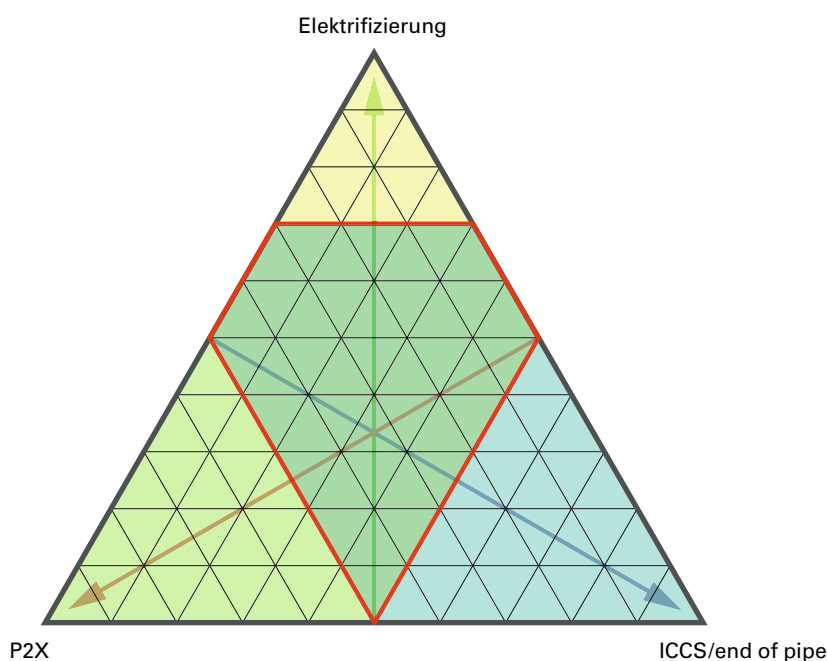
Beispiele für bahnbrechende Verfahren sind die Nutzung von regenerativem Wasserstoff in Produktionsprozessen, die Entwicklung von neuen Produkten wie Low-Carbon-Zemente oder die verstärkte Nutzung elektrochemischer und/oder biotechnologischer Verfahren. Die Wärmebereitstellung durch Strom kann in klassische KWK-Branchen vordringen, wie beispielsweise bei Raffinerien, bei der chemischen Industrie sowie der Papierindustrie. In der Stahlindustrie entfallen möglicherweise Hüttengaskraftwerke, wenn die Hochofenroute durch völlig neue („Game-Changer“) Prozesse ersetzt wird. Für diese Neuanlagen sollte dann bereits in der Planungsphase ein Nutzungskonzept für nicht vermeidbare Abwärme (auf ggf. verändertem Temperaturniveau) entwickelt werden³⁷. Insbesondere die Raffinerien und die Stahlindustrie werden sich voraussichtlich im Jahr 2050 unter der Annahme von ambitioniertem Klimaschutz im Hinblick auf Produktionsmengen und/oder Prozesse stark von heute unterscheiden.

³⁷ Robiou du Pont e.a., 2017

6.1.2 Szenarienanalyse für ein weitgehend dekarbonisiertes Energiesystem

Meta-Analysen, welche Klimaschutzszenarien für ein 80-prozentig dekarbonisiertes Energiesystem einem 95-prozentigem gegenüberstellen, zeigen, dass es robuste Pfade bzw. Strategien gibt, die in beiden Welten zum Tragen kommen³⁸. Dazu gehören insbesondere Strategien zur Effizienzverbesserung, der Ausbau erneuerbarer Energien und die direkte Elektrifizierung (Power-to-Heat). In manchen Bereichen kommt es jedoch in einem –95%-System gegenüber einem –80%-System zu einem Sprung: So kristallisieren sich beispielsweise die indirekte Elektrifizierung (Power-to-X), der Import von Wasserstoff bzw. synthetischen Energieträgern oder der Einsatz von CCS (oder CCU) zum Einfangen (oder Nutzen) von brennstoff- und insbesondere prozessbedingten CO₂-Emissionen von Industrieanlagen nur in einer fast vollständig dekarbonisierten Energiewelt als zentrale bzw. zusätzlich benötigte Klimaschutzstrategien heraus.

Abbildung 23: Technologischer Möglichkeitsraum für eine Low-Carbon-Industrie



Quelle: Wuppertal Institut, 2018b, S. 28

Letztendlich ergibt sich für die ambitionierten Klimaschutzszenarien, welche in Einklang mit den Zielen von Paris liegen, technologisch ein Möglichkeitsraum³⁹ der zwischen den Dekarbonisierungsstrategien der (1) Direkten Elektrifizierung, (2) Indirekten Elektrifizierung (PtX) und (3) Industriellem CCS/CCU liegt (iCCS). Um mögliche Lock-in-Effekte und Stranded Investments zu vermeiden, sollte diese Langfristperspektive u. a. auch bei der Planung von besonders langlebigen Infrastrukturen zur Abwärmenutzung im Blick behalten werden.

³⁸ Samadi, 2018; Wuppertal Institut, 2018a; S. 86 ff.

³⁹ Wuppertal Institut, 2018b; S. 129

Hinsichtlich der Abwärmenutzung wird insbesondere die Produktion (z. B. bei Raffinerien, der Stahlverarbeitung, der chemischen Industrie) sowie die Entsorgung (z. B. bei der thermischen Abfallbehandlung oder der Abwasserentsorgung) von den Veränderungen betroffen sein. Beim Pfad der Elektrifizierung kann in der Regel die Wärmeenergie gezielter in den Prozess eingebracht werden. Dabei entfallen Abwärmeströme zum Teil oder ganz (z. B. verlustbehaftete Abgasströme aus Verbrennungsprozessen). Sowohl der PtX-Pfad als auch der iCCS-Pfad würden hingegen weiterhin auf eine thermische Verbrennung von fossilen (CCS) bzw. synthetischen (PtX) Brennstoffen setzen. Dementsprechend blieben auch Abwärmenutzungspotenziale bestehen. Durch einen großtechnischen Einstieg in die Synthesegasproduktion würden möglicherweise neue Abwärmequellen hinzukommen, da es sich bei vielen Syntheseverfahren (z. B. Fischer-Tropsch, Methanolsynthese) um exotherme Prozesse handelt. Deren überschüssige Wärme wäre als Abwärme betriebsextern nutzbar, sofern sie nicht für interne Zwecke (z. B. für die Hochtemperatur-Elektrolyse) benötigt wird.

Eine weitere wichtige begleitende Strategie zur Dekarbonisierung ist die umfassende Steigerung der Materialeffizienz über die gesamten Wertschöpfungsketten hinweg⁴⁰. Der Circular-Economy-Ansatz (CE) impliziert eine weitgehende Abfallvermeidung bzw. Recyclierung anstelle der heute vorherrschenden Verbrennung und würde – bei erfolgreicher Umsetzung in größerem Maßstab – die verfügbaren Abwärmepotenziale in erheblichem Maße reduzieren.

6.1.3 Power-to-Heat als Absicherungsstrategie gegen das Ausfallrisiko

Die Szenarienanalyse zeigt, dass insbesondere in einem zukünftigen Klimaschutzpfad mit Fokus auf einer Direkt-Elektrifizierung bei Industrie starke Auswirkungen auf die Abwärmenutzung zu erwarten sind. Grundsätzlich kann es dabei sowohl zu Konkurrenzen als auch zu Synergien zwischen Abwärme und Power-to-Heat (PtH) kommen. Eine mögliche konkurrierende Nutzung ist eine Abwärmenutzung anstelle einer Wärmepumpe, z. B. Einspeisung industrieller Abwärme in ein Fernwärmenetz anstelle lokaler Geothermie- oder Solarenergienutzung in Neubauquartieren (oder umgekehrt eine Wärmepumpennutzung anstelle einer Abwärmenutzung). Es sind auch Synergien zu erwarten: Wenn Abwärme auf zu niedrigem Temperaturniveau zur Verfügung steht, können Wärmepumpen sie auf ein höheres Niveau heben. Die in der Entwicklung befindlichen Hochtemperatur-Wärmepumpen erweitern dabei den Anwendungsbereich in Richtung höherer Anwendungstemperaturen (> 140 °C). Mit nachgeschalteten Brüden-Verdichtern können strombasiert gewünschte Dampfparameter erreicht werden⁴¹.

Wenn der Einsatz von Effizienztechnologien bzw. neuartiger LCBT-Technologien dazu führt, dass Hochtemperaturprozesse durch Niedertemperaturprozesse abgelöst werden, steht mit der Wärmepumpe eine Technologie bzw. mit PtH eine Besicherungsstrategie bereit, welche technisch in der Lage ist, mögliche Ausfälle zu kompensieren. Ein Indiz für die Bedeutung der Wärmepumpe für eine zukünftige leitungsgebundene Wärmeversorgung ist der hohe Anteil dieser Technologie im BMWi-Modellvorhaben „Wärmenetzsysteme 4.0“: Im Förder-

40 Allwood e.a., 2012. Dazu zählen z. B. das Vermeiden von Materialverlusten in der Produktion, eine geringere Materialintensität von Produkten, längere Nutzungsdauern sowie eine intensivere Nutzung.

41 Görner, 2018, S. 99

zeitraum 2017/2018 wurden in den Projekten 61 % der primären und 20 % der sekundären Wärmeerzeuger zur Einspeisung in Wärmenetze als Wärmepumpen konzipiert⁴². Bei der Abwärme lagen die Werte bei 9 % (primär) bzw. 13 % (sekundär).

Die Wechselwirkungen zwischen Abwärme und PtH sind dynamisch. Die zeitlichen und kausalen Wirkzusammenhänge systematisch zu erschließen, ist dabei eine noch weitgehend offene Forschungsfrage. Dafür werden entsprechend detaillierte Szenarien benötigt, die plausible zukünftige Entwicklungspfade im Industriesektor beschreiben, welche mit den langfristigen Klimaschutzzielen in Einklang stehen. In einzelnen Case-Studies könnten beispielhaft Industriesektoren oder Industriecluster mit Fokus auf die Abwärmenutzung analysiert werden, die auf unterschiedliche Kombinationen von LCBT bzw. unterschiedliche Energieträger (Strom vs. H₂/PtX vs. fossile Energieträger mit CCS) setzen. Auf Grundlage eines Vergleichs der verschiedenen Szenarien bzw. Cases könnten dann Aussagen zu robusten Strategien bzw. zu sinnvollen schrittweisen Anpassungen getroffen werden. Dazu müssten mögliche Game-Changer- bzw. LCBT-Prozesse in den energieintensiven Branchen und in Abfallbehandlungsanlagen, im Zeitverlauf systematisch identifiziert und hinsichtlich der Änderungen im Temperaturniveau und in den (Ab-)Wärmemengen, im Vergleich zu den jeweiligen Referenzprozessen bewertet werden.

Eine besondere Bedeutung wird dabei zukünftig auch Wärmespeichern zukommen, die eine wichtige Aufgabe bei der Flexibilisierung und Sektorenkopplung industrieller Prozesse übernehmen können. Auch hier besteht für den bei Industrieprozessen relevanten Hochtemperaturbereich noch F&E-Bedarf⁴³.

Durch eine frühzeitige Analyse der Systemkompatibilitäten und Pfadabhängigkeit kann das Risiko für Lock-In-Effekte reduziert werden. Wo erforderlich, sollten rechtzeitig die Weichen gestellt werden für die Entwicklung bzw. Besicherung durch alternative Wärmequellen insbesondere mit Fokus auf PtH-Technologien.

6.2 Untersuchung: Potenzialerhebungen

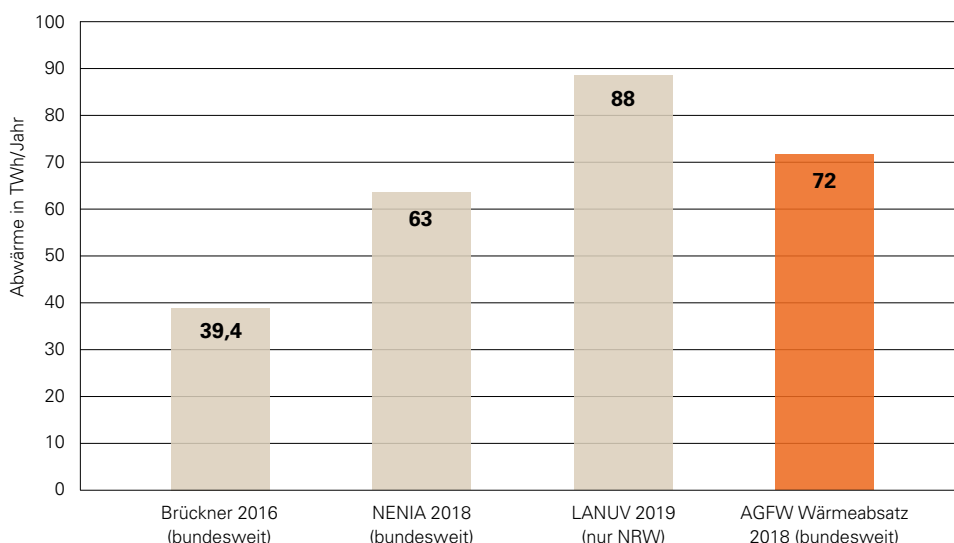
Die Erhebung von Abwärmepotenzialen ist aufwändig und die Ergebnisse aus verschiedenen Analysen auf Bundes- und Landesebene unterscheiden sich erheblich. Die Wahl der Randparameter und der untersuchten Dimension hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis. Bedauerlicherweise lassen sich die Ergebnisse der schon erstellten Studien häufig nicht vergleichen aufgrund uneinheitlicher Vorgehensweise und unterschiedlicher Datenquellen. Die folgende Übersicht zeigt die erhebliche Schwankung der ermittelten Abwärmepotenziale. Die Tendenz weist auf wachsende Potenziale hin, je genauer erhoben wird. Zur Verdeutlichung der Differenz der Ergebnisse wurde als Vergleichswert der Wärmeabsatz aller im AGFW vertretenen Fernwärmeunternehmen aufgetragen.

Da es bisher keine gesetzliche Notwendigkeit zur Erhebung gibt, fehlen verbindliche Standards. Zur Schaffung solcher Standards sind unterschiedliche Klassifizierungen möglich, die Hinweise zur Nutzbarkeit geben. Temperaturen der Abwärme und deren Auskühlbarkeit sowie die Beschaffenheit der Wärmesenke hinsichtlich nutzbarer Temperaturen sind

42 Lipka, 2018

43 FVEE, 2017

Abbildung 24: Erhobene Abwärmepotenziale in unterschiedlichen Studien



sinnvolle Bewertungskategorien (siehe Tabelle 6). Die nutzbaren Temperaturdifferenzen sind unter anderem stark von der Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes abhängig. Je niedriger die Temperatur des Wärmenetzes und je höher die Temperatur der Abwärmequelle ist⁴⁴, desto mehr Energie kann der Abwärme durch kostengünstige Wärmetauscher direkt entzogen werden.

Eine andere Differenzierungsmöglichkeit ist die Nutzbarkeit des anfallenden Gesamtpotenzials, die sich aus dem Aufwand der Sammlung, Verteilung und Einspeisung in ein Verteilnetz ableiten lässt. Bei der Ermittlung und Kommunikation von Potenzialen muss das Potenzial einer der folgenden Kategorien zugeordnet werden, um es zu beurteilen und mit Potenzialen anderer Quellen zu vergleichen. Da diese Kategorien derzeit nicht verbindlich

Tabelle 6: Einbindungsmöglichkeiten in Wärmenetze

Kategorie Einbindung	Temperaturen von Quelle und Senke	Auskühlung der der Abwärmequelle	Mögliche Wärmesenken (Netze)
1 Direkte Einbindung	Sowohl Rücklauf- (T_{RL}) als auch Vorlauftemperaturen (T_{VL}) liegen unterhalb der Temperatur der Wärmequelle (T_Q)	Auskühlung der Quelle erlaubt eine vollständige Erhitzung des Wärmenetzes	Übertragungsnetze und Bestandsnetze (uneingeschränkt)
2 Teildirekte Einbindung	Temperatur der Wärmequelle liegt zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperatur	Auskühlung der Quelle nicht vollständig möglich	Bestandsnetze, transformierte und Neubau-Wärmenetze (eingeschränkt mit Nacherwärmung)
3 Indirekte Einbindung durch Wärmepumpe	Temperatur der Wärmequelle liegt unterhalb von Vorlauf- und Rücklauftemperatur	Starke Auskühlung der Quelle möglich	Transformierte und Neubau-Wärmenetze (eingeschränkt mit Nacherwärmung); Niedrigtemperaturnetze (z. B. kalte Nahwärme)

⁴⁴ Vorzugsweise liegt die Temperatur der Wärmequelle oberhalb der Temperatur des Vorlaufs im Wärmenetz, welches die Wärme aufnehmen soll.

definiert sind, geschieht es immer wieder, dass „Äpfel mit Birnen“ verglichen werden und es daher an keiner Stelle einen allgemein anerkannten Überblick über nutzbare Potenziale gibt. Um das zu verhindern, müssten perspektivisch Kategorien verbindlich vereinbart werden und Eingang in einschlägige Regelwerke erhalten. Folgende Potenzial-Definitionen werden empfohlen (Tabelle 7).

Tabelle 7: Vorschlag einheitlicher Potenzialdefinitionen

Potenzial	Definition
Theoretisches Potenzial	Am Ausgang des Unternehmens, aus vorliegenden Daten ermittelbar, BImSchG + AGEB-Energiebilanz bei der Auskühlung des Abwärmeträgermediums auf 20°C (trockene Abluftströme ausreichend)
Technisches Potenzial	Theoretisches Potenzial unter Berücksichtigung von festgelegten maximalen Wirkradien (10 km?) oder ein Verhältnis von Abwärmemenge/-temperatur und Abstand zu einem vorhandenen oder möglichen Wärmenetz
Wirtschaftliches Potenzial	Entscheidungsrelevantes, tatsächlich wirtschaftlich nutzbares Potenzial. Hinterlegung von Netzbaukosten und den Kosten für den Bau von thermischen Besicherungsmaßnahmen und angelegtem Fördervolumen von ca. 30-50 %
Latentes Wärmepotenzial	Beim Phasenwechsel frei werdendes Abwärmepotenzial (z. B. in Rauchgaskondensation von feuchten Abgasen)
Weitere interne Wärmequellen	Möglicherweise zusätzlich vorhandenes Potenzial, z. B. in Kühlwasserströmen vorhandenes Potenzial, kann 50 bis 100 % umfassen. Muss zur Bestimmung des wirtschaftlichen Potenzials zwingend mitberücksichtigt werden.

Die Erhebung und Bewertung von Abwärmepotenzialen kann grundsätzlich auf drei Ebenen erfolgen: überregional, regional und standortspezifisch (Tabelle 8).

Entsprechend der Informationskaskade bieten Potenzialabschätzungen auf der **überregionalen Ebene** einen ersten Überblick über den möglichen Stellenwert von Abwärme als Energieträger in der Fernwärme. Je nach Auflösung der verfügbaren Datengrundlage und Modelle müssen mehr oder weniger differenzierte Statistiken oder Abwärmepotenzialkataster erstellt werden.

Auf dieser Ebene werden allgemeine Merkmale (Mittelwerte) auf individuelle Objekte bzw. Datengrundlagen übertragen und hochgerechnet oder statistisch ausgewertet.

So werden erste Quantifizierungen möglich, wenn keine ausreichend aufgelösten Datengrundlagen zur Verfügung stehen. Beispiele sind Hochrechnungen des bundesweiten technisch-wirtschaftlich nutzbaren Abwärmepotenzials in der Industrie und dem Dienstleistungssektor anhand spezifischer Faktoren der verfügbaren Abwärmemengen bezogen auf den Primärenergieeinsatz in verschiedenen Sektoren des verarbeitenden Gewerbes⁴⁵. Diese Ansätze eignen sich auch für eine initiale Potenzialbewertung auf **regionaler Ebene** einzelner Bundesländer, indem typische spezifische Abwärmemengen bezogen auf Mitarbeiterzahl, Jahresumsatz oder Primärenergieeinsatz einzelner Wirtschaftszweige aus Sekundärliteratur auf Daten der statistischen Landesämter übertragen werden.⁴⁶

⁴⁵ Pehnt e.a. 2010 und Groß & Tänzer 2010

⁴⁶ Arbeiten zur Ableitung sektorspezifischer Energiekennzahlen wurden u. a. durchgeführt von: Pehnt et al. 2010, Groß & Tänzer 2010, Blesl et al. 2008, Schlomann et al. 2013.

Tabelle 8: Erhebung und Bewertung von Abwärmepotenzialen

Potenziale	Relevanz	Zielgruppe
Überregional	Auf Bundes- oder Landesebene relevant für die grundsätzliche Bewertung von Einsparpotenzialen, bzw. zur Bereitstellung von Datenbanken oder Abwärmekatastern sowie politische Rahmensetzung.	Bundes- und Landesministerien und -regierungen
Regional	Bezug auf eine Kommune oder auf den Einzugsbereich eines Wärmenetzsystems: relevant für die konkrete Potenzialermittlung auf kommunaler oder (Energie-) Unternehmensebene, meist in Verbindung mit der Bewertung lokaler Wärmesenken und Netzinfrastrukturen oder als Teil kommunaler bzw. regionaler Wärmepläne.	Kommunale Entscheidungsträger sowie Projektentwickler
Standortspezifisch	Relevant für die Bewertung der Machbarkeit konkreter Umsetzungsschritte, meist auf Ebene eines Industrie- oder Gewerbeunternehmens (oder eines Standortbetreibers), bei externer Nutzung meist in Verbindung mit einem Fernwärmeversorgungsunternehmen.	Unternehmensintern und externe Wärmenetzbetreiber

Vor-Ort-Untersuchungen auf regionaler Ebene oder **Standortebene** verfolgen eine weitgehend empirische Erhebung von Abwärmepotenzialen, etwa über die Auswertung vorhandener unternehmensspezifischer Daten, Befragungen oder Messungen. Der Aufwand für umfassende Befragungen oder Messungen ist hoch, sodass oftmals nur ein Ausschnitt erfasst werden kann und bei Erhebungen insbesondere in größeren räumlichen Gebietsumgriffen mit Datenlücken gerechnet werden muss. Einem kombinierten Erhebungsansatz folgend werden aus empirischen Teilerhebungen Kennwerte abgeleitet und auf die Grundgesamtheit übertragen, um so auch Aussagen für Bereiche treffen zu können, für die keine empirischen Daten vorliegen. Ein Beispiel dafür ist die Quantifizierung des theoretischen Abwärmepotenzials an Standorten des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland anhand von Daten zu Brennstoffeinsätzen und Abgasparametern aus den Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV⁴⁷. Für Potenzialbewertungen auf Landesebene eignet sich mitunter ein paralleler Abgleich der Ergebnisse einer Auswertung der 11. BImSchV-Daten mit spezifischen Abwärmemengen aus Länderstatistiken.

Für eine Bewertung nutzbarer Abwärmepotenziale in Wärmenetzen spielt die räumliche Verortung eine zentrale Rolle. Diese Informationsebene wird durch die Erstellung von geodatenbasierten Abwärmekatastern adressiert, die über eine Verschneidung mit weiteren räumlichen Informationen zum Wärmebedarf bzw. zu bestehenden Wärmenetzinfrastrukturen einen Abgleich potenziell nutzbarer Wärmeüberschüsse mit vorhandenen Wärmesenken ermöglichen. Als Grundlage können diverse Datenquellen herangezogen werden.

Bei der Erstellung von Abwärmekatastern wird in der Regel auf eine möglichst räumlich hochauflösende Verortung theoretisch nutzbarer Abwärmepotenziale an einzelnen Standorten des verarbeitenden Gewerbes, von kommunalen Betrieben oder Betrieben aus dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen abgestellt. Dafür kommen, auch in Abhängigkeit der Größe des Untersuchungsgebiets und den verfügbaren Ressourcen – etwa für Befragungen oder Messungen – verschiedene Datenquellen zur Quantifizierung von Abwärmepotenzialen in Betracht.

47 Brückner 2016

Im Folgenden werden zur Erhebung und Quantifizierung von (industriell-gewerblichen)⁴⁸ Abwärmepotenzialen nutzbare Datenquellen aufgeführt und kurz beschrieben. Dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Generell sei angemerkt, dass die Eignung einer Datenquelle bzw. deren Nutzbarkeit hinsichtlich Informationsgehalt, Qualität und Quantität usw. grundsätzlich vom spezifischen Anwendungskontext (bspw. Untersuchungsraum, Aggregationsebene, Detaillierungsgrad, Zielsetzung) abhängt und insofern in jedem Fall vorab individuell geprüft werden sollte.

6.2.1 Übergeordnete Statistiken

Zur überschlägigen „Abschätzung“ von Abwärmepotenzialen können auf einer Auswertung geeigneter Statistiken (bspw. auf Länder- oder Bundesebene verfügbare Energiebilanzen) beruhende Kennzahlen dienen. Diese Kennzahlen lassen sich in Abhängigkeit der Datenlage nach Branche/Wirtschaftszweig, Unternehmensgröße oder weiteren, für eine technisch-wirtschaftliche Bewertung der Abwärmepotenziale relevanten Parametern (bspw. Temperaturniveau) aufschlüsseln. Stellvertretend wird an dieser Stelle auf die Arbeiten von Pehnt (e.a. 2010) sowie Groß & Tänzer (2010) verwiesen.

Tabelle 9 enthält die Darstellung des Endenergieeinsatzes für Prozesswärme, aufgeschlüsselt nach Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes sowie Temperaturniveaus der Produktionsprozesse nach IFEU (2019).

6.2.2 Emissionserklärungen, Schadstoffregister

Zusätzlich lassen sich aus Angaben zu Schadstoffmengen und weiteren Parametern industrieller Prozesse, die einer Berichts- und Veröffentlichungspflicht unterliegen, die Abwärmemengen zum Teil quellenscharf quantifizieren⁴⁹, da auch innerhalb eines Betriebes die einzelnen Emittenten exakt angegeben werden müssen.

Im Folgenden werden zum einen die Daten der Emissionserklärungen nach der 11. Bundes-Immissionsschutzverordnung (11. BImSchV), die über BUBE-Online⁵⁰ verwaltet werden, und zum anderen die Daten des europäischen Schadstoffregisters „Pollutant Release and Transfer Register“ (E-PRTR), die über das Datenportal „Thru.de“ abgerufen werden können, in Anlehnung an IFEU (2019) kurz erläutert.

Nach der 11. BImSchV sind die Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen ab einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW zur Abgabe einer Emissionserklärung an die zuständigen Landesbehörden für Immissionsschutz verpflichtet. Seit 2008 werden die Angaben der Betreiber im Vierjahresabstand erhoben und über BUBE-Online verwaltet. Hiermit steht

48 Über die in (groß-)industriellen Prozessen anfallenden Abwärmemengen hinaus können u. a. in kleineren, jedoch zahlreichen und flächiger verteilten (KMU-)Betrieben aus den Bereichen des verarbeitenden Gewerbes, des Handwerks sowie des Dienstleistungssektors (z. B. Rechenzentren, Großwäschereien) relevante Potenziale erschlossen werden, sodass sich auch hierzu in Abhängigkeit des spezifischen Anwendungskontexts (s. u.) eine detaillierte Analyse als sinnvoll erweisen kann (vgl. zur weitergehenden Ausdifferenzierung relevanter Wirtschaftszweige die europäische Wirtschaftsklassifikation „Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft“ [Eurostat, 2008]).

49 Vgl. weiterführend IFEU, 2019 und Brückner 2016

50 Betriebliche Umweltdatenberichterstattung online, eine Anwendung zur elektronischen Übermittlung und Veröffentlichung der erklärungsspflichtigen Daten.

Tabelle 9: Endenergieeinsatz für Prozesswärme aufgeschlüsselt nach Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes sowie Temperaturniveaus der Produktionsprozesse

Wirtschaftszweig	Prozesswärmeeinsatz				Anteile nach Temp.-Niveaus in PJ/a			
	Brennstoffe* in PJ/a	Strom in PJ/a	Gesamt in PJ/a	Anteil von Gesamt	< 100°C	100 - 500°C	500 - 1.000°C	> 1.000°C
Eisen- und Stahlerzeugung	447,7	24,7	472,4	29%	2,6	8,0	93,8	368,1
Grundstoffchemie	312,9	44,8	357,7	22%	53,4	83,1	177,4	43,8
Verarbeitung von Steinen und Erden	158,3		158,3	10%	2,2	3,3	49,8	103,0
Papiergewerbe	150,2		150,2	9%	32,0	118,2	0,0	0,0
Ernährung und Tabak	125,1	8,7	133,8	8%	69,1	64,7	0,0	0,0
Sonstiges verarbeitendes Gewerbe	76,3	8,5	84,8	5%	23,6	47,6	3,6	10,0
Nicht-Eisen-Metalle und Gießereien	44,5	34,6	79,1	5%	0,4	1,3	15,7	61,6
Glas und Keramik	63,7		63,7	4%	0,9	1,3	20,0	41,5
Sonstige chem. Industrie	57,7	0,2	57,9	3%	8,6	13,4	28,7	7,1
Metallbearbeitung	30,8	6,3	37,1	2%	11,4	9,0	4,9	11,7
Fahrzeugbau	25,9	6,5	32,4	2%	10,3	7,8	3,7	10,6
Gummi- u. Kunststoffwaren	16,9	2,4	19,3	1%	4,0	15,3	0,0	0,0
Maschinenbau	4,1	3,9	8,0	0%	2,5	1,9	0,9	2,6
Gesamt	1514,1	140,6	1654,7	100%	220,9	375,1	398,7	660,0

* inkl. Fernwärme

Quelle: Blömer, Sebastian et al., 2019

eine bundesweite und homogene Datenquelle zur Erfassung und Analyse genehmigungsbedürftiger Anlagen und Prozesse, die einen beträchtlichen Anteil des Abwärmeargebots in Industrie und Gewerbe repräsentieren, zur Verfügung.

Mit der Zielsetzung der Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV, Informationen über Ort und Umfang der Freisetzung von Schadstoffen in die Atmosphäre zu erhalten, werden emissionsverursachende Vorgänge festgelegt und genehmigungsbedürftigen Anlagen zugeordnet. Letztere werden mit einem individuellen Schlüssel, geografischen Punktkoordinaten, einer Beschreibung der Anlagenart, Angaben zu Leistung und Einheit sowie einer Anlagennummer gemäß der 4. BImSchV in BUBE-Online hinterlegt. Die Betreiber werden einem Wirtschaftszweig (vgl. Eurostat, 2008) zugeordnet, wobei der primäre Einsatzzweck der Anlagen aus Betreibersicht zugrunde gelegt wird⁵¹.

51 Abhängig von Struktur und Untergliederung einzelner Unternehmensstandorte können Anlagen trotz ihrer Zusammengehörigkeit im technischen Sinne unterschiedlichen Wirtschaftszweigen zugeordnet sein. Ebenso ist es möglich, dass Anlagen ungeachtet stark unterschiedlicher Einsatzzwecke und Funktionsweisen dem gleichen Wirtschaftszweig zugeordnet werden (z. B. in Chemieparks).

Neben der Erklärungspflicht nach der 11. BImSchV werden auf Grundlage des Gesetzes zur Ausführung des Protokolls über Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister vom 21. Mai 2003 sowie zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 166/2006 (SchadRegProtAG) im E-PRTR jährliche CO₂-Emissionen von Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes, die einen für jeden Wirtschaftszweig spezifisch festgesetzten Grenzwert von in der Regel 100.000 t überschreiten, standortscharf erfasst. Seit 2009 sind die entsprechenden Daten über das Portal „Thru.de“ in Form einer georeferenzierten SQLite-Datenbank abrufbar.

Bei einer Weitergabe der Ergebnisse empirischer Erhebungen an Dritte sind umfassende Datenschutzbestimmungen zu beachten. Publikationsformen, die Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen mit Abwärmepotenzialen zulassen, wie frei zugängliche WebGIS-Anwendungen als Informationsinstrumente, müssen entsprechend rechtlich geprüft werden. Dies gilt mitunter auch bei der Verarbeitung von Informationen aus den Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV.

6.2.2.1 Unternehmensspezifische Erhebungen

Insbesondere im Fall einer detaillierten und umsetzungsnahen Untersuchung im regionalen oder lokalen Kontext (bspw. zur Erstellung eines Quartiersversorgungskonzepts, einer Abwärme-Potenzialstudie auf Unternehmensebene oder auch eines städtischen Wärmequellen- und -senkenkatasters) kann die gezielte Abfrage von abwärmebezogenen Informationen bei einzelnen Unternehmen anstelle von bzw. in Ergänzung zu vorstehend aufgeführten Datenquellen vorteilhaft sein und als erster Schritt hin zur möglichen Erschließung und Nutzung der Abwärmepotenziale erachtet werden. Demgegenüber stehen u. a. ein je nach Unternehmensanzahl und Detaillierungsgrad nicht unerheblicher Aufwand zur Datenbeschaffung und -plausibilisierung sowie zu berücksichtigende datenschutzrechtliche Anforderungen.

Bezüglich Aufbau, Struktur und Inhalt einer unternehmensspezifischen Erhebung wird beispielhaft auf die im Rahmen von „EnEff: Wärme – NENIA“ [IFEU, 2019] und „Potenzialstudie Industrielle Abwärme in NRW“ erarbeiteten Fragebögen verwiesen. Neben systematischen Erhebungen mittels Fragebögen sind ab einem bestimmten Konkretisierungsgrad Vor-Ort-Erhebungen sinnvoll, bei der lokal verortete Abwärmequellen anhand ihrer wesentlichen Eigenschaften erfasst werden. Dies sind:

- Medium (Abgas, Luft, Abwasser, Kühlwasser, Thermoöl, Produkte)
- Temperaturen (Medieneintrittstemperatur und maximale Auskühlung)
- Massenstrom
- Ort der Quelle
- Saisonalität und Zeitprofile (z. B. Batchbetrieb oder 24/7 Betrieb)
- Mögliche Einbausituation für Wärmetauscher oder ähnliche Komponenten

Diese Informationen liegen in der Regel nicht gebündelt vor und müssen aus betrieblichen Daten (z. B. Prozessleitsystem, Einzelmessungen) herausgefiltert und durch Massen- und Energiebilanzen plausibilisiert bzw. ergänzt werden. Auf betriebliche Energie- oder Umweltmanagementsysteme muss dabei zurückgegriffen werden, um die Plausibilität der Ergebnisse zu gewährleisten.

6.2.2.2 Sonstige Datenquellen

Firmendatenbanken können als ergänzende Datenquelle genutzt werden. Sie enthalten neben Adress- und Kontaktinformationen Angaben zum Wirtschaftszweig, weitere wirtschaftliche Kennzahlen (bspw. Jahresumsatz und Mitarbeiterzahlen). In Verbindung mit aus übergeordneten Statistiken abgeleiteten Kenngrößen können damit Abwärmquellen

Tabelle 10: Mögliche Datenquellen zur Erstellung von Abwärmekatastern

Datenquelle	Max. räuml. Abdeckung	Datenpunkte	Erfassungsgrenzen/ zeitlicher Bezug	Kosten/Zugang/ Weitergabe
European Pollutant Release and Transfer-Register (E-PRTR)	EU	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftszweig Jahresfracht CO₂ (kg/a) 	<ul style="list-style-type: none"> Berichtspflichtige Unternehmen (i.d.R. ab Jahresemissionen von 100.000 t CO₂) Jahresturnus 	<ul style="list-style-type: none"> Kostenfrei THRU-Portal Umweltbundesamt Weitergabe möglich
Emissions-erklärungen nach 11. BImSchV	BRD	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftszweig Menge gehandhabter Stoffe (kg/a) Heizwert (MJ/kg) Betriebsstunden (h/a) Mittl. Volumenstrom Abgase (m³/h) Mittl. Temperatur Abgase (°C) 	<ul style="list-style-type: none"> Berichtspflichtige Anlagen nach 11. BImSchV (i.d.R. FWL > 1 MW) Standortspezifische Datenlücken aufgrund von Datenschutz Vierjahres-Turnus (2008, 2012, 2016 ...) 	<ul style="list-style-type: none"> Kostenfrei/geringe Bearbeitungsgebühr Länderspezifische Abfrage BUBE-Datenbank Publikation standortspezifischer Daten rechtlich abzusichern
Unternehmensdatenbanken (IHK, Bisnode)	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Mitarbeiterzahl Jahresumsatz 	<ul style="list-style-type: none"> Variabel Erfassungsgrenzen/ Datenquellen von Privatanbietern intransparent I.d.R. Jahresturnus 	<ul style="list-style-type: none"> Kostenpflichtig Einzelabfrage bei verschiedenen Anbietern Weitergabe beschränkt
Sekundärliteratur (Unternehmensberichte, sektor-/prozessspezifische Energiekennzahlen)	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftszweig Produktionsmenge (t/a) Sektorspezif. Energieeinsatz (GJ/t) Sektorspezif. Abwärmquoten 	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftszweige Einzelne Unternehmen oder Verbände Unregelmäßiger Zeitbezug 	<ul style="list-style-type: none"> Kostenfrei Internet/Literaturdatenbanken Weitergabe abgeleiteter Modelle möglich
Energiemanagement-Daten Unternehmen	Einzelne Standorte	<ul style="list-style-type: none"> Energieeinsätze nach Energieträger Prozessdaten 	Einzelne Standorte	<ul style="list-style-type: none"> Begrenzter Zugang I.d.R. nur für standortinterne Analysen
Unternehmensbefragungen	Variabel	Individuelle Gestaltung leifadengestützter Interviews oder Fragebögen	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Aufwand für Erhebung Spezialis. Dienstleister/Institute Weitergabe unterliegt Datenschutzvereinbarung
Messungen	Variabel	Individuell	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Aufwand für Erhebung Spezialis. Dienstleister/Institute Weitergabe unterliegt Datenschutzvereinbarung

validiert und weitere Potenziale überschlägig quantifiziert werden. Darüber hinaus können die hinterlegten Kontaktdaten ggf. als Anlaufstelle für unternehmensspezifische Erhebungen oder die Anbahnung konkreter Nutzungskonzepte herangezogen werden.

Neben privaten Anbietern wie der Bisnode Deutschland GmbH⁵² können bspw. örtliche Gewerbeämter, Industrie- und Handelskammern oder Umweltämter mögliche Anlaufstellen für die Beschaffung von Firmendaten sein. Um erste Einschätzungen zu Prozessen, Rückkühlanlagen oder Schornsteinen zu gewinnen, können auch Luftbilder ausgewertet werden. Jedoch besteht hier das Risiko, dass es sich um Anlagen handelt, die nicht mehr in Betrieb sind.

In Tabelle 10 sind mögliche Datenquellen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) auf allen Ebenen noch einmal zusammengefasst.

6.2.2.3 Fazit Datenerhebung

Bisher ist die Erhebung von verlässlichen Abwärmedaten aufwändig. Jede neue Untersuchung kommt aufgrund der Datenquellenvielfalt sowie unterschiedlicher Potenzialdefinitionen zu neuen abweichenden Ergebnissen. Alles deutet jedoch darauf hin, dass die Potenziale bisher systematisch unterschätzt wurden. Unberücksichtigt blieb bislang auch, dass mit der Weiterentwicklung von Großwärmepumpen und der Senkung der Netztemperaturen die nutzbaren Potenziale weiter ansteigen.

Von zentraler Bedeutung für die Nutzbarkeit ist die regelmäßige Erhebung und Veröffentlichung der Daten, auch um über mehrere Jahre hinweg die Sicherheit von Abwärmequellen beobachten und dokumentieren zu können. Dazu sollten alle ohnehin vorhandenen Berichtspflichten genutzt und daraufhin untersucht werden, ob sie um Abwärmeinformationen erweitert werden können. Im Rahmen des BImSchG für Neuanlagen sowie Schadstoffregister für Bestandsanlagen könnten die Daten verbindlich eingefordert, dokumentiert und veröffentlicht werden. Auch in den relevanten Geschäfts- und Umweltberichten sowie in Nachhaltigkeitsberichten sollten Angaben zur anfallenden Abwärme als verbindliche Berichtspflichten aufgenommen werden, genauso wie andere Freisetzungen in die Atmosphäre und Abfall- und Abwassermengen und ihre Beschaffenheit. Gerade weil Abwärme vielerorts gekühlt werden muss, um bspw. in Gewässer eingeleitet zu werden, ist die Nutzung doppelt vorteilhaft und anderen Wärmequellen, die extra erzeugt werden müssen, immer vorzuziehen. In der öffentlich zugänglichen Datenbank wie beispielsweise Thru.de könnten Abwärmepotenziale leicht integriert und damit ohne einen größeren Aufwand zugänglich gemacht werden.

6.2.3 Erhebung von Abwärmepotenzialen auf Länderebene

Räumlich gesehen tritt die meiste industrielle Abwärme in den industriell geprägten Bundesländern NRW, Baden-Württemberg und Bayern auf. In diesen und anderen Bundesländern wurden systematische Erhebungen auf Landesebene durchgeführt, die online in Form von geografisch codierten Abwärmekatastern verfügbar sind.

52 Diese vertreibt die Bisnode-Firmendatenbank (s. <https://www.bisnode.de/produkte/bisnode-firmendatenbank/>, letzter Zugriff am 22.05.2019).

Mit der Abwärmebörse im Energieatlas des Freistaats Bayern, der Abwärmebörse des Freistaats Sachsen und dem Energieatlas des Landes Nordrhein-Westfalen bestehen drei länderspezifische Web-GIS-Anwendungen als Informationsportale zur räumlichen Verfügbarkeit von Abwärme aus Industrieprozessen und weiteren Quellen. Die Daten zu Menge, Temperatur und zeitlicher Verfügbarkeit wurden und werden auf freiwilliger Basis eingetragen und in den Portalen durch umfassende Informationsmaterialien bzw. Leitfäden zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung verschiedener Abwärmenutzungsoptionen und zu verfügbaren Förderprogrammen ergänzt⁵³.

Zusätzlich wurde im Jahr 2016 von der thüringischen Energieagentur ThEGA ein Abwärmekataster basierend auf den Daten der 11. BImSchV etabliert und eine landesweite Abwärmestrategie erstellt⁵⁴. Auf EU-Ebene wurde im Rahmen des Projektes „HotMaps“ eine Verortung industrieller Abwärmepotenziale basierend auf Daten des Emissionsregisters E-PRTR durchgeführt, die 2019 veröffentlicht worden ist⁵⁵.

Weitere aktuelle Initiativen zur räumlichen Erfassung von Abwärmepotenzialen bestehen in Form von Abwärme-Studien des Landes Nordrhein-Westfalen und des Landes Baden-Württemberg sowie eines Forschungsprojektes zur Wärmeplanung in Hamburg, in dessen Folge sukzessive ein Wärmekataster als Web-GIS-Anwendung aufgebaut werden soll (Freie und Hansestadt Hamburg 2018). Auch im Land Brandenburg soll nach Informationen des Landesamtes für Umwelt ein Abwärmekataster, u. a. basierend auf den Daten der 11. BImSchV entstehen und im Saarland wird ebenfalls an Wärmekatastern gearbeitet. Die Ergebnisse der laufenden Abwärmestudie in Baden-Württemberg sollen ebenfalls in den bereits vorhandenen Energieatlas eingepflegt werden.

Zusätzlich zu den Aktivitäten auf Landesebene gibt es mit dem Portal PlnA im Landkreis Osnabrück, dem Energieatlas Bodenseeregion im Landkreis Konstanz, dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt am Main und der Region Münsterland regionale bzw. kommunale GIS-Portale bzw. Kartenmaterialien über Abwärmepotenziale⁵⁶.

Beispiel Potenzialstudie Industrielle Abwärme NRW

In der Potenzialstudie Industrielle Abwärme NRW wurde für Nordrhein-Westfalen die Abwärmenutzung hinsichtlich des Status quos sowie der Potenziale untersucht. Grundlage bildet eine groß angelegte Befragung von Industrieunternehmen im Jahr 2018 sowie die Auswertung von Daten der 11. BImSchV mit Stand 2012. Bei der Befragung wurden 1.857 Unternehmen angeschrieben und um Teilnahme an der Studie gebeten. Insgesamt konnte ein Rücklauf von 526 Unternehmen (über 28 %) erzielt werden, wovon 242 Unternehmen auch Angaben zu insgesamt 588 Einzelprozessen von Energie- und Produktionsanlagen machten. Doch auch die 284 Unternehmen, die sich „nur“ auf den qualitativen Teil des Fragebogens zurückmeldeten, haben durch Einschätzungen ihrer Anlagen- und Standortsituation dazu beigetragen, ein Bild über den Status quo, Chancen und Hemmnisse der (externen) Abwärmenutzung zu erhalten. Außerdem wurden Wünsche bezüglich Unterstützung und Beratung zum Thema Abwärme formuliert, sodass Förderprogramme besser auf die Bedürfnisse der Unternehmen abgestimmt werden können.

53 SAENA, 2018 und LfU-Bayern, 2018

54 ThEGA, 2018

55 Pezzutto et al. 2018

56 Osnabrück 2018; Energieagentur-Kreis-Konstanz 2018; Stadt-Frankfurt-am-Main 2018; FH-Münster 2017

Besonders hoch war der Fragebogenrücklauf aus den Branchen, deren Verbandsvertreter in der projektbegleitenden Arbeitsgruppe beteiligt waren. Zusätzlich zu den 526 genannten Unternehmen wurde auch die Abwärmenutzung von 17 der insgesamt 18 thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen gesondert erfasst. Grundsätzlich zeigt die hohe Beteiligung über alle Branchen hinweg, dass das Thema Abwärmenutzung in der gesamten Industrielandschaft NRW große Beachtung findet, in den Unternehmen jedoch oftmals weder zu konkreten Abwärmemengen noch zu Förderprogrammen zur Hebung dieser Potenziale die benötigten Informationen vorhanden sind.

Darüber hinaus deckt die Befragung auf, dass von den 242 Unternehmen, die zu mindestens einem Prozess konkrete Abwärmeströme im Fragebogen angaben, 73% nach DIN EN ISO 50001 zertifiziert sind. Dies unterstreicht, dass diese Firmen durch Ihr Energiemanagementsystem eine bessere Übersicht über die betriebsinternen Energieströme haben als nicht zertifizierte Teilnehmer. Des Weiteren zeigt sich, dass von den in der Befragung bestimmten Abwärmeströmen lediglich 10% tatsächlich gemessen wurden. Die Wärmemengen der restlichen Prozesse konnten durch Hilfsparameter und Abschätzungen bestimmt werden. Die Erfassung und Veröffentlichung⁵⁷ der Abwärmemengen sollten in einer zukünftigen Anpassung der DIN EN ISO 50001 in die Kriterien eines Energiemanagements mit aufgenommen werden. Diese Anpassung stellt eine erhebliche Verbesserung für zukünftige Abwärmepotenzialanalysen dar und ist dringend geboten.

6.2.4 Erhebung von Abwärmepotenzialen auf Unternehmensebene (Bottom-Up)

Zur Identifikation von Möglichkeiten einer überbetrieblichen Abwärmenutzung reichen in der **ersten Phase „Potenzialermittlung“** grobe Daten für eine erste Vermittlung zwischen potenziellen Abwärmequellen und Abwärmesenken. Trotzdem werden bereits in dieser Phase evtl. vertrauliche Informationen ausgetauscht, was den Abschluss entsprechender Vertraulichkeitsvereinbarungen notwendig macht. Im Rahmen der Arbeit von Energieeffizienz-Netzwerken ist der Umgang mit vertraulichen Informationen geregelt, weshalb die Zusammenarbeit in Energieeffizienz-Netzwerken sich gut für die Identifikation von Möglichkeiten der überbetrieblichen Abwärmenutzung eignet.

Eine besondere Situation bei der Ermittlung von Abwärmepotenzialen zur überbetrieblichen Nutzung besteht darin, dass die Temperaturspreizung der evtl. Nutzung unbekannt ist und die Abwärmeleistung nur für einen beispielhaften Anwendungsfall ermittelt werden kann. Soweit der Aufwand vertretbar ist, kann es zweckmäßig sein, neben der Abwärmeleistung für einen beispielhaften Anwendungsfall die zur Berechnung herangezogenen Parameter so weit zu erfassen, dass für andere Anwendungsfälle eine Berechnung der Abwärmeleistung mit den vorliegenden Daten erfolgen kann.

Die gleichzeitige Erfassung von Potenzialen der Abwärmebereitstellung und der Abwärmenutzung kann in der ersten Phase die Akzeptanz für den erforderlichen Aufwand erhöhen. Auch eine grafische Aufbereitung der Daten, z. B. in Kartendarstellungen, hilft dabei, den Fortschritt der Erfassung sichtbar zu machen.

57 Mindestens in aggregierter Form für die Öffentlichkeit und in detaillierter Weise für die Wärmenetzbetreiber.

In der **zweiten Phase „Kontaktvermittlung“** zwischen potenziellen Partnern der Abwärmenutzung sind die Daten zu Abwärmetemperatur und Abwärmeleistung im Hinblick auf den potenziellen Anwendungsfall zu überprüfen und ggf. anzupassen. Die Datenabschätzungen sind dabei auf Plausibilität zu prüfen und ggf. zu ergänzen. In dieser Phase sind Eckdaten der Abwärmenutzung und der Technik der Abwärmeübertragung zu skizzieren. Hilfreich ist es, wenn solche groben Informationen bereits in der ersten Phase der Datenerfassung vorliegen.

Erst in der **dritten Phase „Konkretisierung“** erfolgt eine detaillierte individuelle Betrachtung der zu verknüpfenden Wärmequellen und Wärmesenken. Je nach Art der Abwärmequellen kann dabei eine detaillierte verfahrenstechnische Betrachtung des Prozessschrittes der Abwärmeauskopplung erforderlich werden. Nicht ungewöhnlich ist, dass mit der Bearbeitung der Fragestellung einer überbetrieblichen Abwärmenutzung die Suche nach einer innerbetrieblichen Nutzung Impulse erhält und die Abwärmepotenziale zur überbetrieblichen Nutzung sich ändern.

Wesentlicher Schritt ist die Zusammenstellung und Definition der Parameter für die Datenerfassung, wie z. B. Geokoordinaten, Art des Wärmeträgers (Kühlwasser, Kondensat, Prozessstrom etc.), Temperatur, Massestrom, thermische Leistung, für die Leistungsermittlung angesetzte Temperaturspreizung, ggf. Kondensationstemperatur, Saisonalität der Leistung und Saisonalität der Temperatur.

Zur Prüfung der Vollständigkeit der Parameter und der zutreffenden Interpretation der Definitionen durch die zu Befragenden sind erste beispielhafte Erfassungen in einem Piloten hilfreich.

Wegen der einfachen Anpassbarkeit erfolgen Datenerfassung, Auswertung und Diagramm-erstellung, z. B. Blasendarstellungen auf Lageplänen, in einem MS-Excel-Werkzeug.

Die Qualität der erfassten Daten ist über Plausibilitätsrechnungen und Darstellung in Diagrammen für jeden Fall zu prüfen.

Bei der Nutzung von Abwärme sind innerbetriebliche Möglichkeiten zu bevorzugen. Dabei kommen je nach Höhe der erforderlichen Nutztemperatur unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten in Betracht, wie z. B. die direkte Nutzung über Wärmetauscher, der Einsatz von Wärmepumpen oder bei sehr hohen Nutztemperaturen zur Vorwärmung oder der Einsatz von Hochtemperaturwärmepumpen. Kann die Abwärme nicht im näheren Umfeld des Anfalls genutzt werden, besteht die Möglichkeit der Nutzung zur Kälteerzeugung oder die Möglichkeit der Stromerzeugung per ORC (Organic Rankine Cycle).

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist der überbetriebliche Austausch bzw. die Abgabe an eine Nutzung im Umfeld. Diese Nutzungsmöglichkeit ist mit einem hohen Abstimmungsaufwand zwischen mehreren Beteiligten verbunden. Sie erfordert zusätzlich zur Errichtung der Infrastruktur zur Übergabe der Abwärme von der Quelle an die Senke die Vorhaltung von Infrastruktur für die Fälle, dass der Abwärmeabgeber keine Abwärme bereitstellen oder der Abwärmenutzer keine Abwärme aufnehmen kann (z. B. bei Betriebsstillstand). Der hohe Abstimmungsaufwand und die Notwendigkeit der doppelten Infrastruktur ist eine Barriere bei der überbetrieblichen Abwärmenutzung.

6.2.5 Hinweis zu Potenzialerhebungen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Aufwand der Potenzialerhebung derzeit auf allen dargestellten Erfassungsebenen hoch ist und es den interessierten Unternehmen dadurch erschwert wird, Abwärme zu nutzen. Diese Hindernisse sowie datenschutzrechtliche Hürden sollten beseitigt werden. Vorhandene Daten sollten systematisch zusammengeführt werden, Abwärmedaten sollten verpflichtend erfasst und in unterschiedlicher Granularität überregional und regional veröffentlicht sowie standortscharf auf Anfrage bereitgehalten werden.

Literatur

- AGEB, 2020 AGEB – Zusammenfassung Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren 2008 bis 2019; Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Stand: 10/2020
- AGFW, FW309-6 Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1 „Energetische Bewertung von Fernwärme“, Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 6 „Energetische Bewertung von Fernwärme – CO₂-Emissionen der Wärmelieferung“
- AGFW, FW510 Arbeitsblatt AGFW FW 510; Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeheizanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb; 12/2013
- AGORA, 2018 Agora Energiewende, „Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt“, 09/2018
- Allwood e.a., 2012 Allwood, J. M., Cullen, J. M., & Carruth, M. A. (2012). Sustainable materials: with both eyes open ; [future buildings, vehicles, products and equipment – made efficiently and made with less new material]. Cambridge: UIT Cambridge
- Blesl et al. 2008 Blesl, M., S. Kempe, M. Ohi, U. Fahl, A. König, T. Jenssen und L. Eltrop (2008): Wärmetatlas Baden-Württemberg Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen. S. 122 ff
- BMU, 2016 Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung; BMU; 11/ 2016
- Brückner 2016 Brückner, Industrielle Abwärme in Deutschland – Bestimmung von gesichertem Aufkommen und technischer bzw. wirtschaftlicher Nutzbarkeit; TU München 2016
- Bundesregierung, 2019 Bundesregierung (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013
- EA Konstanz, 2018 Energieagentur-Kreis-Konstanz (2018): Abwärme-Kataster Landkreis Konstanz. Online unter: <http://www.energieagentur-kreis-konstanz.de/industrie-gewerbe/abwaerme-kataster/> (zugegriffen 10.10.2018).
- Eikmeier, 2006 Eikmeier, Bernd et al. (2006). Analyse des nationalen Potenzials für den Einsatz hocheffizienter KWK, einschließlich hocheffizienter Kleinst-KWK, unter Berücksichtigung der sich aus der EU-KWK-RL ergebenden Aspekte. Herrsching: Energie und Management.
- Enervis, 2017 Ecke, J. und Göke, L. (2017). Energie aus Abwasser: Das bislang unentdeckte Potenzial für die Wärmewende, eine Enervis-Studie im Auftrag der Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH
- EON, 2019 <https://www.eon.com/de/ueber-uns/presse/press-releases/2019/2019-12-10-new-study-sees-drastring-increase-in-data-center-energy.html>
- EU-Consult und bifa
Umweltinstitut, 2008 EU-Consult, GmbH; Umweltinstitut bifa: Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen/Bayerisches Landesamt für Umwelt; http://www.lfu.bayern.de/energie/co2_minderung/doc/leitfaden_abwaermenutzung.pdf, 200
- Eurostat, 2008 Eurostat. (2008). NACE Rev. 2 – Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft.

FH Osnabrück, 2018 FH Osnabrück, IP Syscon, Enable und EWAS (2018): Potenzialstudie „Industrielle Abwärme“.

FH-Münster, 2017 FH-Münster (2017): Hot-Spot Analyse. Online unter: <http://www.wiefm.eu/startseite/ergebnisse/hotspot-analyse/> (zugegriffen 10.10.2018).

FVEE, 2017 Forschungsziele 2017 – Gemeinsam forschen für die Energie der Zukunft [Broschüre]. Abgerufen von Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE); www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Programmbroschuere/fz2017/fz2017.pdf

Görner, 2018 Görner, K., & Lindenberger, D. (2018). Virtuelles Institut „Strom zu Gas und Wärme“, Band II Pfadanalysen: Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System, Abschlussbericht des Hauptprojekts (2015 – 2017) (S. 99). Abgerufen von GWI, EWI; <http://strom-zu-gas-und-waerme.de/wp-content/uploads/2018/10/Virtuelles-Institut-SGW-Band-II-Pfadanalyse.pdf>

Groß & Tänzer 2010 Industrielle Abwärme. Eine Potenzialstudie für Deutschland. Saarbrücken: IZES gGmbH

Hamburg, 2018 Freie und Hansestadt Hamburg (2018): Wärmekataster; <https://www.hamburg.de/energiewende/waermekataster/> (zugegriffen 10.12.2018).

Hering, 2018 Hering, Dominik et al. (2018). Industrielle Abwärmenutzung in Deutschland – Potenziale zur externen Nutzung in Wärmenetzen. EuroHeat & Power, 47(10), S. 14-19.

IER, 2011 Wolf, S., Lambauer, J., und Fahl, U. (2011). Nahwärmenetz Kanal, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

IFEU, 2010 Ifeu e.a. 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“, Heidelberg, Karlsruhe, 2010

IFEU, 2018 ifeu, 2018, Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende?

IFEU, 2019 Blömer, S., D. Hering, P. Thomassen, S. Jäger, C. Götz, M. Pehnt, S. Ochse, S. Hespeler, S. Richter, G. Grytsch, C. Zopff und B. Huber (2019): EnEff : Wärme – netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA). Kombinierte räumlich-zeitliche Modellierung von Wärmebedarf und Abwärmeangebot in Deutschland. Heidelberg: BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Schlussbericht_EnEffWärme-NENIA.pdf.

IZES, 2019 Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik (IPM), Institut für Demoskopie Allensbach (IfD), IZES gGmbH (Institut für Zukunftsenergie- und Stoffstromsysteme). Forschungsbericht Erhebung, Abschätzung und Evaluierung von industrieller Abwärme in Deutschland – Potenziale und Forschungsbedarf, Februar 2019

IZM & Borderstep, 2015 Stobbe, L., Proske, M., Zedel, H., Hintemann, R., Clausen, J. & Beucker, S. (2015). Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut.

LfU, 2008 Bayerisches Landesamt für Umwelt; „Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen“, Augsburg, 2008

- LfU-Bayern, 2018 LfU-Bayern (2018): Abwärmeinformationsbörse; https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/abwaermeinformationsboerse.html (zugegriffen 19.10.2018).
- Lipka, 2018 Lipka, R., & Kay, R. (2018, Oktober). Wärmenetze im Wandel Erfahrungen aus den neuen Förderprogrammen Wärmenetze 4.0 und Abwärmeprogramm, Novelle der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED II). Gehalten auf der 4. BMU-Fachtagung Klimaschutz durch Abwärmenutzung, Berlin. Abgerufen von www.izes.de/de/content/4-bmu-fachtagung-klimaschutz-durch-abwaermenutzung
- Meyer, 2000 Meyer, Franz; Informationsdienst, BINE (Hrsg.): Energieeffiziente Industrieöfen/Bine Informationsdienst. 3 2000 (03/00).
- Pehnt e.a. 2010 Pehnt, M., J. Bödeker, M. Arens, E. Jochem und F. Idrissova (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Heidelberg; https://www.ifeu.de/energie/pdf/Nutzung_industrieller_Abwaerme.pdf.
- Pezzutto 2018 Pezzutto, S., S. Zambotti, S. Croce, P. Zambelli, C. Scaramuzzino, R. P. Pascuas, A. Zubaryeva, D. E. Eurac, A. Müller, M. H. Tuw, A. L. Klingler, M. Kühnbach, P. Manz, S. Marwitz, J. Steinbach, E. Popovski, F. Isi, L. Kranzl und S. F. Tuw (2018): HotMaps. D2.3 WP2 Report – Open Data Set for the EU28.
- PlnA, 2018 Osnabrück, L. (2018): PlnA – Planungsportal industrielle Abwärme; <https://www.landkreis-osnabrueck.de/bauen-umwelt/klima-energie/so-profitiere-ich/projekt-pina> (zugegriffen 10.10.2018).
- Prognos, 2019 Evaluierung der Kraft-Wärme-Kopplung – Analysen zur Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Prognos 2019
- Robiou du Pont e.a., 2017 Robiou du Pont, Y., Jeffery, M. L., Gütschow, J., Rogelj, J., Christoff, P., & Meinshausen, M. (2017). Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals. *Nature Climate Change*, 7(1), 38–43; <https://doi.org/10.1038/nclimate3186>
- Rohde, 2017 Rohde, C. (2017). Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2013 bis 2016 – Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB). Karlsruhe.
- SAENA, 2018 SAENA (2018): Abwärmenutzung; <http://www.saena.de/projekte/waermeatlas.html> (Stand/Abruf: 19.10.2018).
- Samadi, 2018 Samadi, S., Fishedick, M., & Lechtenböhmer, S. (2018). Vergleich der BDI-Klimapfadstudie mit anderen Energieszenarien für Deutschland. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 68(6), 52 – 57.
- Schlomann et al. 2013 Schlomann, B., T. Fleiter, S. Hirzel, W. Eichhammer, A. Hassan, M. Arens, C. Rohde, F. Cebulla, D. Fehrenbach, F. Reitze, E. Jochem, F. Toro und F. Idrissova (2013): Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Karlsruhe: Fraunhofer Verlag.
- Stadt-Frankfurt-am-Main, 2018 Stadt-Frankfurt-am-Main (2018): Neues Abwärme-Kataster für Frankfurt am Main; [https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=3076&ffmpar\[_id_inhalt\]=33557962](https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=3076&ffmpar[_id_inhalt]=33557962) (Stand/Abruf: 10.10.2018).

Steffen et al., 2018	Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. <i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i> , 115(33), 8252–8259; https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115
ThEGA 2018	ThEGA (2018): Abwärme; https://www.thega.de/abwaerme/ (Stand/Ab-ruf: 10.10.2018).
UBA, 2018	UBA 2018 (https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen)
VKoopUIS, 2013	Bund-/Länder Kooperation VKoopUIS ePRTR. (2013), Fachhilfe für BUBE-Online – Betriebliche Umweltdatenberichterstattung Emissions-spektren und Emissionsfaktoren für die Berechnung von Emissionen 11. BImSchV.
Waldhoff, 2014	Waldhoff, C. und M. Reckzügel (2014): ReWIn. Osnabrück; https://www.kompetenzzentrum-energie.de/fileadmin/HSOS/Homepages/Kompetenz-zentrum-Energie/ZBH/PDF/ReWIn_2014.pdf .
WBGU, 2009	WBGU. (2009). Kassensturz für den Weltklimavertrag – der Budgetan-satz: Sondergutachten 2009. Abgerufen von www.wbgu.de/wbgu_sn2009.html
Wuppertal Institut 2018b	Low-Carbon Infrastructure NRW Dekarbonisierungsstrategien und -technologien für energieintensive Industrien (Projektbericht Nr. 151322; S. 129). Abgerufen von https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7197
Wuppertal Institut, 2018a	Wuppertal Institut. (2018a). Landscaping – Untersuchungen der Anforderung an die energieintensive Wirtschaft und den Standort NRW im Übergang zu einem weitgehend auf erneuerbaren Energien basie-renden Energiesystem der Zukunft: Abschlussbericht (S. 208) [Projekt-bericht]. Abgerufen von Wuppertal Institut: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7233

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Verdrängung von Brennstoff durch Abwärme → S. 13
Abbildung 2	Die Sektorziele im Klimaschutzplan 2050 → S. 17
Abbildung 3	Heutige und zukünftige Wärmeerzeuger in der Fernwärme → S. 19
Abbildung 4	Bereitstellung der Endenergie im Gebäudebereich → S. 20
Abbildung 5	Zusammensetzung der Nettowärmeerzeugung für die Versorgung über Wärmenetzsysteme im Jahr 2050 → S. 21
Abbildung 6	Übersicht über zukünftig möglichen Fernwärme-Erzeugungsstrukturen → S. 22
Abbildung 7	Kategorisierungsmöglichkeiten von Abwärmequellen → S. 31
Abbildung 8	Verteilung des Abwärmeaufkommens nach Sektoren → S. 32
Abbildung 9	Aufteilung der jährlich anfallenden Abwärmemengen nach Temperaturbereichen, aufgeschlüsselt nach Referenztemperatur bzw. Auskühlungszieltemperatur der Abwärmeströme → S. 33
Abbildung 10	Gasströme in einem Keramikbrennofen → S. 34
Abbildung 11	Energieeinsatz im Dienstleistungssektor/GHD 2015 → S. 36
Abbildung 12	Typische Temperaturbereiche von Abwärme im Dienstleistungssektor → S. 38
Abbildung 13	Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen bei unterschiedlichen Temperaturspreizungen → S. 39
Abbildung 14	Fall 1 – Hochtemperierte Abwärme in einem Bestandsnetz → S. 42
Abbildung 15	Fall 2 – Niedertemperierte Abwärme aus dem Dienstleistungssektor in einem Neubaugebiet mit Niedertemperaturnetz und Neubauten mit geringem Wärmebedarf → S. 43
Abbildung 16	Funktionsschema einer Wärmepumpe → S. 46
Abbildung 17	Funktionsschema eines Wärmetransformators → S. 47
Abbildung 18	Funktionsschema einer Nachheizung → S. 47
Abbildung 19	Zusammenspiel von industrieller Abwärme und Fernwärmeversorgung → S. 49
Abbildung 20	Überblick über Strukturierung der rechtlichen Vorgaben → S. 55
Abbildung 21	Genehmigungsentscheidung bei neuen oder bestehenden Anlagen → S. 55
Abbildung 22	Verschiedene Ebenen bei der Integration von Abwärme → S. 60
Abbildung 23	Technologischer Möglichkeitsraum für eine Low-Carbon-Industrie → S. 78
Abbildung 24	Erhobene Abwärmepotenziale in unterschiedlichen Studien → S. 81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Vergleich der verschiedenen EE-Optionen eines Fernwärmesystems in einer mittelgroßen oder großen Stadt → S. 27
Tabelle 2	Abgastemperaturen aus verschiedenen Sektoren → S. 33
Tabelle 3	Nutzbare Abwärmequellen im Dienstleistungssektor → S. 37
Tabelle 4	Tabellarische Übersicht sinnvoll aufeinander aufbauender Abwärmeerhebungen → S. 70
Tabelle 5	Übersicht über zentrale LCBT-Technologien für die Branchen Stahl, Aluminium, Chemie und Zement → S. 77
Tabelle 6	Einbindungsmöglichkeiten in Wärmenetze → S. 81
Tabelle 7	Vorschlag einheitlicher Potenzialdefinitionen → S. 82
Tabelle 8	Erhebung und Bewertung von Abwärmepotenzialen → S. 83
Tabelle 9	Endenergieeinsatz für Prozesswärme aufgeschlüsselt nach Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes sowie Temperaturniveaus der Produktionsprozesse → S. 85
Tabelle 10	Mögliche Datenquellen zur Erstellung von Abwärmekatastern → S. 87



Ein Leitfaden des AGFW | Der Energieeffizienzverband
für Wärme, Kälte und KWK e. V.

Stresemannallee 30 | 60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6304-1 | Telefax: +49 69 6304-391
info@agfw.de | www.agfw.de