



BESTIMMUNG DES POTENZIALS VON ABWÄRME IN BERLIN

Abschlussbericht

Senatsverwaltung
für Mobilität, Verkehr,
Klimaschutz und Umwelt

BERLIN



Dunkelberg, Elisa; Acker, Yanik; Baerens, Tidian; Blömer, Sebastian; Weiß, Julika

Bestimmung des Potenzials von Abwärme in Berlin

Abschlussbericht

Beauftragt durch das Land Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (SenMVKU)

Berlin, September 2023



Impressum

Herausgeber

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig

Potsdamer Straße 105

D-10785 Berlin

Ansprechpartner*innen: Dr. Elisa Dunkelberg, Dr. Julika Weiß,

Tidian Baerens

Tel. +49 – 30 – 884 594-0

E-Mail: elisa.dunkelberg@ioew.de; julika.weiss@ioew.de;

tidian.baerens@ioew.de

www.ioew.de

Projektpartner

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH

Wilckensstraße 3

D-69120 Heidelberg

Ansprechpartner: Sebastian Blömer, Yanik Acker

Tel. +49 6221 4767-28

E-Mail: sebastian.bloemer@ifeu.de; yanik.acker@ifeu.de

Im Auftrag der

Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (SenMVKU)

Referat Klimaschutz und Klimaanpassung

Brückenstraße 6

10179 Berlin-Mitte



Bitte zitieren als:

Dunkelberg, Elisa; Acker, Yanik; Baerens, Tidian; Blömer, Sebastian; Weiß, Julika (2023): Bestimmung des Potenzials von Abwärme in Berlin. Beauftragt durch das Land Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klima- und Umweltschutz; Berlin

Die Autorinnen und Autoren

Dr. Elisa Dunkelberg ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz des IÖW. Sie ist Diplom-Ingenieurin für Technischen Umweltschutz und beschäftigt sich mit den Themenschwerpunkten ökologische Bewertung und Wärmewende.

Kontakt: elisa.dunkelberg@ioew.de

Tel. + 49 (0) 30 884 594 0

Yanik Acker ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Energie am ifeu. Er ist Physiker und beschäftigt sich mit Potenzialanalysen von erneuerbaren Wärmequellen, kommunalen Wärmeversorgungssystemen und netzgebundener Nutzung von Abwärme.

Kontakt: yanik.acker@ifeu.de

Tel. +49 (0) 6221 4767 108

Tidian Baerens ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz am IÖW. Er ist Nachhaltigkeitswissenschaftler und beschäftigt sich mit sozioökonomischen Fragestellungen der sozial-ökologischen Transformation, insbesondere im Bereich der kommunalen Wärmewende.

Kontakt: tidian.baerens@ioew.de

Tel. + 49 (0) 30 884 594 0

Sebastian Blömer ist Themenleiter im Fachbereich Energie am ifeu. Er ist Geograph und beschäftigt sich mit der technischen, ökologischen und ökonomischen Bewertung von Wärmeversorgungssystemen mit einem Forschungsschwerpunkt auf der netzgebundenen Nutzung von Abwärme.

Kontakt: sebastian.bloemer@ifeu.de

Tel.: +49 (0) 6221 4767 28

Dr. Julika Weiß ist Leiterin des Forschungsfelds Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz am IÖW. Sie ist Diplom-Ingenieurin für Technischen Umweltschutz und beschäftigt sich mit den Themenschwerpunkten energetische Sanierung und klimafreundliche Wärmeversorgung von Gebäuden.

Kontakt: julika.weiss@ioew.de

Tel. + 49 (0) 30 884 594 0

Unter Mitwirkung von Monika Orlowski (IÖW).

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	11
2	Einführung: Abwärme als Element der Wärmewende	18
3	Potenziale, Eigenschaften und Nutzungsperspektiven von Abwärme	21
3.1	Abwärmepotenziale.....	21
3.1.1	Definitionen und Abgrenzung	21
3.1.2	Eigenschaften zur Bewertung von Abwärmepotenzialen	23
3.1.3	Bewertung von Abwärmepotenzialen anhand von Prozessen und Branchen	26
3.2	Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme	33
4	Status quo der Abwärmenutzung in Berlin	36
4.1	Mögliche Wärmesenken in Berlin	36
4.1.1	Große Wärmenetze	36
4.1.2	Kleinere Wärmenetze	38
4.1.3	Neue Wärmenetze	39
4.1.4	Netzausbau und Nachverdichtung	40
4.2	Umgesetzte Projekte zur Abwärmenutzung in Berlin	40
5	Abwärmepotenziale in Berlin	42
5.1	Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands	42
5.2	Methodik zur Erhebung der Abwärmepotenziale	42
5.2.1	Unternehmensbefragung	44
5.2.2	Expertengespräche	47
5.3	Ergebnisse aus der Unternehmensbefragung und Hochrechnung	48
5.3.1	Rücklauf der Unternehmensbefragung.....	48
5.3.2	Verarbeitendes Gewerbe.....	49
5.3.3	Handels- und Dienstleistungssektor	62
5.3.4	Rechenzentren	63
5.3.5	Perspektiven für und Anforderungen an die Abwärmenutzung.....	66
5.4	Ergebnisse aus den Expertengesprächen und Hochrechnung	68
5.4.1	U-Tunnel und U-Bahnhöfe.....	68
5.4.2	Stromverteilung: Umspannwerke	70
5.4.3	Erzeugung von Wasserstoff	71
5.4.4	Restwärme aus der thermischen Abfallbehandlung.....	73
5.4.5	Wärme kraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplung.....	75
5.4.6	Abwasser und Abwasserentsorgung	78
5.5	Gesamtschau über die Abwärmepotenziale in Berlin und ihre zukünftige Entwicklung	80
6	Instrumente zur Steuerung der Abwärmenutzung.....	84
6.1	Auskunfts- und Nutzungspflichten für Abwärme	84
6.1.1	Bestehende und geplante Regelungen auf Bundes- und Landesebene.....	85
6.1.2	Mögliche Ansätze für das Land Berlin	89

6.2	Beratung und Vernetzung	90
6.2.1	Zentraler Webauftritt zum Thema Abwärme	91
6.2.2	Beratungsstelle und Beratungsangebote für Unternehmen	92
6.2.3	Einrichtung einer Informations- und Austauschplattform	92
6.2.4	Leitfäden zur Information und Motivation	94
6.2.5	Fachveranstaltungen und Weiterbildungen	95
6.2.6	Projektbezogene Runde Tische	95
6.2.7	Sonstige Maßnahmen	96
6.3	Finanzierung und Förderung	98
6.3.1	Abwärmefonds zur Abfederung von Ausfallrisiken	99
6.3.2	Förderungen für die Abwärmenutzung	102
6.3.3	Weitere Aspekte zu Finanzierung und Förderung	108
6.3.4	Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen	109
6.4	Erleichterung von Genehmigungsverfahren	110
6.4.1	Leitfäden, Checklisten und Beratungsangebote zur Orientierung	112
6.4.2	Stärkung des Personals in Genehmigungsbehörden	112
6.4.3	Digitalisierung und Flexibilisierung von Genehmigungsverfahren	112
6.5	Einsatz von Steuerungs- und Planungsinstrumenten	114
6.5.1	Stadtentwicklungspläne und Wirtschaftsflächenkonzepte	114
6.5.2	Ansiedlungskonzepte für Rechenzentren	115
6.5.3	Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Konzeptvergaben	116
7	Fazit und Ausblick	119
8	Anhang	121
8.1	Datengrundlage und Ergebnisse	121
8.2	Methodik zur Berechnung von Abwärme aus Wärmeströmen	127
9	Literaturverzeichnis	129

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und prognostizierte Entwicklung ..13
Abbildung 2:	Temperaturniveaus der Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und ihre prognostizierte Entwicklung.....14
Abbildung 3:	Eigenschaften zur Bewertung von Abwärmepotenzialen.....26
Abbildung 4:	Temperaturniveaus der Abwärmeströme von Prozessen und Branchen28
Abbildung 5:	Direkte und indirekte Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme33
Abbildung 6:	Versorgungsgebiete der drei großen Fernwärmebetreibenden in Berlin.....37
Abbildung 7:	Energieeinsatz für die Berliner Fernwärme im Status quo und geplante Entwicklung38
Abbildung 8:	Schema der Abschichtung von Abwärmepotenzialen.....42
Abbildung 9:	Befragte Unternehmensstandorte nach Wirtschaftszweig (Online-Umfrage)45
Abbildung 10:	Thematischer Aufbau der Unternehmensumfrage für das Verarbeitende Gewerbe, Handels- und Dienstleistungssektor, sowie für Rechenzentren46
Abbildung 11:	Abgleich des Energieverbrauchs aus der Unternehmensumfrage mit der Energiestatistik 2021 des Landes Berlin (verarbeitendes Gewerbe).....50
Abbildung 12:	Umfrageergebnis: Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes nach Wirtschaftszweigen und Energieträgern51
Abbildung 13:	Umfrageergebnis: Änderung des Einsatzes fossiler Brennstoffe bis 203052
Abbildung 14:	Umfrageergebnis: Änderung des Einsatzes weitere Energieträger bis 203053
Abbildung 15:	Umfrageergebnis: Theoretisches Potenzial gefasster Abwärmeströme in den jeweiligen Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes54
Abbildung 16:	Umfrageergebnis: Theoretisches Potenzial gefasster Abwärmeströme des verarbeitenden Gewerbes nach Temperaturniveau.....55
Abbildung 17:	Umfrageergebnis: Technisches Angebotspotenzial gefasster Abwärmeströme im verarbeitenden Gewerbe nach Wirtschaftszweigen56
Abbildung 18:	Umfrageergebnis: Unternehmensangaben zur Einschätzung der externen Nutzbarkeit der Abwärme der von ihnen angegebenen Abwärmequellen.....57
Abbildung 19:	Umfrageergebnis: Technisches Angebotspotenzial an Abwärme im Handels- und Dienstleistungssektor nach Branchen.....62
Abbildung 20:	Umfrageergebnis: Entwicklung der installierten Leistung in Bestands-Rechenzentren63
Abbildung 21:	Umfrageergebnis auf die Frage: Ordnen Sie bitte Ihre Bereitschaft Abwärme außerbetrieblich abzugeben ein.....66
Abbildung 22:	Umfrageergebnis auf die Frage: Wurde in Ihrem Unternehmen das Abwärmepotenzial bereits systematisch analysiert?67
Abbildung 23:	Umwandlungsbilanz der Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung 2020 75
Abbildung 24:	Anzahl und installierte Erzeugungskapazität der KWK-Anlagen nach Leistungsklassen in Berlin.....77
Abbildung 25:	Anzahl und installierte Erzeugungskapazität der KWK-Anlagen nach Hauptenergieträger in Berlin77
Abbildung 26:	Abwasserwärmeatlas Berlin79
Abbildung 27:	Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und prognostizierte Entwicklung ..81
Abbildung 28:	Temperaturniveaus der Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und ihre prognostizierte Entwicklung.....82
Abbildung 29:	Hemmnisse für die Erschließung von Abwärmepotenzialen.....84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Eigenschaften der Abwärmepotenziale im Dienstleistungssektor.....	30
Tabelle 5.2:	Übersicht über die Methodik der Potenzialermittlung nach Wirtschaftszweigen mit theoretischen Abwärmepotenzialen	43
Tabelle 5.3:	Rücklauf der Unternehmensbefragung nach Zielgruppen	48
Tabelle 5.4:	Übersicht über die Brennstoffeinsätze und die technischen Abwärmepotenziale der Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes aus den verschiedenen Datengrundlagen in dieser Potenzialanalyse	59
Tabelle 5.5:	Zusammenfassung des technischen Abwärmepotenzials des verarbeitenden Gewerbes in Berlin aus Umfrage und Hochrechnung	61
Tabelle 5.6:	Aktuelle und erwartete Anschlussleistung, Stromverbräuche und theoretische Abwärme von Rechenzentren in Berlin	65
Tabelle 5.7:	Unterirdische U-Bahnhöfe in Berlin und Abschätzung der Abwärme.....	69
Tabelle 5.8:	Umspannwerke in Berlin und Abschätzung der Abwärme	71
Tabelle 5.9:	Geplante Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse in Berlin	72
Tabelle 5.10:	Angenommene Erzeugung von Wasserstoff mittels Plasmalyse in Berlin.....	73
Tabelle 8.11:	Liste der Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes	121
Tabelle 8.12:	Energieverbrauch nach Energiestatistik 2021 und Brennstoffeinsatz nach 11. BImSchV 2016.....	122
Tabelle 8.13:	Angebotspotenzial an Abwärme aus Rauchgas/Abgas anhand von Emissionsdaten nach der 11. BImSchV 2016 für das verarbeitende Gewerbe in Berlin.....	123
Tabelle 8.14:	Quoten für das technische Angebotspotenzial an Abwärme nach Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes	124
Tabelle 8.15:	Unternehmensangaben auf die Frage: „Geben Sie bitte an, was Sie sich als Unternehmen an Rahmenbedingungen für erfolgreiche Abwärmennutzungsprojekte wünschen. Z. B. an Regulierungen, Förderungen, Initiativen anderer Akteure, Beratung.“	125
Tabelle 8.16:	Umfrage beim Fachworkshop: Wie schätzen Sie die Priorität der Maßnahmen ein?	126

Abkürzungsverzeichnis

AfS	Amt für Statistik
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEK	Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm
BENE	Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BSR	Berliner Stadtreinigung
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
BWB	Berliner Wasserbetriebe
EED	Energieeffizienzrichtlinie
EEW	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft
EnEfG	Energieeffizienzgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EWG Bln	Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz
FHW	Fernheizwerk Neukölln
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
Ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung
IHK	Industrie- und Handelskammer
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
JRC	Joint Research Centre

KEK	Koordinierungsstelle für Energieeffizienz und Klimaschutz im Betrieb
KPM	Königliche Porzellan-Manufaktur
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
MPS	Mechanisch-Physikalische-Stabilisierung
NTWS	Niedertemperaturwärmeströme
PtH	Power-to-heat
PUE	Power Usage Effectiveness
RED	Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (en.: Renewable Energy Directive)
RZ	Rechenzentrum
SenMVKU	Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt
StEP	Stadtentwicklungsplan
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VLH	Volllaststunden
WZ	Wirtschaftszweig

1 Kurzfassung

Berlin hat sich im Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) das Ziel gesetzt, bis spätestens 2045 klimaneutral zu werden. Auf den Wärmesektor (inklusive Prozesswärme) entfällt nach Verursacherbilanz im Status quo knapp die Hälfte der Berliner CO₂-Emissionen (Dunkelberg et al. 2021; Hirschl et al. 2021). Dieser muss grundlegend transformiert werden, um den Klimazielen gerecht zu werden. Eine klimaneutrale Wärmeversorgung in Berlin setzt eine umfassende Nutzung der lokalen erneuerbaren Wärme- und Abwärmepotenziale voraus.

Abwärme kann einen **Beitrag zur Defossilierung des Berliner Wärmesektors** leisten, vor allem über die Einbindung in bestehende und neue Wärmenetze. In der Fernwärme, die mit einem Drittel an der Wärmeversorgung für Berlin von großer Bedeutung ist und deren Anteil an der Wärmeversorgung zukünftig noch deutlich zunehmen soll, muss ein Wechsel von großen, fossil betriebenen Heiz(kraft)werken hin zu diversen, kleiner dimensionierten Wärmeerzeugern auf der Basis von erneuerbaren Energien und Abwärme erfolgen (Dunkelberg et al. 2021). Der mögliche Beitrag der Abwärme zur Wärmewende konnte bisher nicht beziffert werden, da die Potenziale an Abwärme in Berlin abseits von groben Schätzungen nicht bekannt waren. Dies betrifft neben der Abwärmemenge auch die Lokalität und die Eigenschaften der Abwärmepotenziale wie etwa Temperaturniveau und Jahresprofil, die die Nutzbarkeit der Abwärme beeinflussen.

Die Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (SenMVKU) hat das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) beauftragt, die Abwärmepotenziale in Berlin zu ermitteln. Ein Ziel der **Potenzialanalyse** war es, die **Berliner Abwärmepotenziale quantitativ zu bestimmen** und sofern möglich **zu georeferenzieren**. Damit wurde für den Bereich der Abwärme eine Grundlage für die Wärmeplanung erstellt, die in Berlin bis 2026 erarbeitet werden und aufzeigen soll, welche Wärmeversorgungslösungen bezogen auf Gebiete bzw. Quartiere jeweils Vorrang haben sollen. Ein weiteres Ziel des Vorhabens war es, ein **Maßnahmenset** zu entwickeln, mit dem das Land Berlin die **Erschließung der Abwärme** für die interne und externe Nutzung unterstützen kann. Im Zuge der Erarbeitung fanden zwei Fachworkshops statt mit Vertreter*innen aus Berliner Betrieben mit Abwärmepotenzialen, der Wärmenetzbetreibenden sowie aus der Verwaltung und aus dem Bereich der Energiedienstleistungen. Ziel dieser Workshops war es, für das Thema Abwärmennutzung zu sensibilisieren, die (Zwischen-)Ergebnisse der Potenzialerhebung und zum Maßnahmenset mit den Erfahrungen der Stakeholder zu spiegeln und Einschätzungen zur Maßnahmenpriorisierung einzuholen.

Berliner Abwärme: divers und kleinräumig verteilt

Abwärme kann generell in Betrieben verschiedener Wirtschaftszweige **des verarbeitenden Gewerbes** anfallen, aber auch in Betrieben des **Dienstleistungssektors** wie Großküchen, Kühlhäusern und Krankenhäusern. Außerdem entsteht Abwärme in **U-Bahn-Stationen** und -Tunneln, in **Umspannwerken** und zukünftig bei der **Wasserstofferzeugung**. Diese Abwärmequellen wurden in dem Vorhaben berücksichtigt. Zudem beleuchtete die Potenzialanalyse die Bereiche **Restwärme im Rauchgas** der **Müllverbrennung** und von **Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Anlagen** sowie **Abwasserwärme**, auch wenn diese Wärmequellen per Definition nicht als Abwärme gelten.

In der vorliegenden Potenzialanalyse wurde eine **Unternehmensbefragung** durchgeführt, um die Abwärmeströme der Betriebe aus verarbeitendem Gewerbe sowie aus Rechenzentren zu quantifizieren und zu qualifizieren. Die Abwärmeströme der restlichen Bereiche wurden durch Interviews und Abstimmungsgespräche mit den jeweils verantwortlichen Akteuren erhoben.

Infobox: Unternehmensbefragung

Ein zentrales Element der Potenzialerhebung war eine Unternehmensbefragung, die online im Zeitraum März bis Juni 2023 durchgeführt wurde. Die Unternehmensbefragung wurde an 575 Unternehmensstandorte versendet, davon 485 aus dem verarbeitenden Gewerbe. Mit 864 GWh/a wurde über den Rücklauf der Umfrage etwa ein Viertel des Gesamtenergieverbrauchs aus dem verarbeitenden Gewerbe in Berlin erfasst. Auswertbare Angaben zu Abwärmequellen liegen von zwölf Unternehmen aus dem verarbeitenden Gewerbe mit einem Brennstoffeinsatz von knapp 407 GWh/a vor. Diese besitzen ein technisches Angebotspotenzial an Abwärme von 176 GWh/a. Der größte Anteil mit über 80 % der Abwärme liegt auf einem niedrigen Temperaturniveau unter 65 °C und stammt aus Kühlprozessen und Abluft. Auch niedrig temperierte Abwärme kann sich für Wärmeversorgungs-lösungen für Gebäude eignen, wie in Niedertemperaturnetzen oder durch den Einsatz von Großwärmepumpen zur Fernwärmeerzeugung. Abwärme aus Rauchgas/Abgas über 65 °C ist hauptsächlich in der Nahrungsmittelindustrie vorhanden. Zudem konnte ein Abwärmepotenzial aus fünf Rechenzentren von insgesamt 50 GWh/a ermittelt werden. Aus dem Handels- und Dienstleistungssektor gibt es von vier Unternehmen auswertbare Angaben zu ihren Abwärmepotenzialen, welche sich auf 2 GWh/a summieren. Die relativ geringe Beteiligung der Unternehmen an der Befragung zeigt einen Informations- und Sensibilisierungsbedarf auf.

Die Quantifizierung der Abwärmepotenziale geht mit einigen Schwierigkeiten und Unsicherheiten einher. So konnte über die Unternehmensbefragung nur ein relativ geringer Anteil der Berliner Unternehmen mit Abwärmepotenzialen abgedeckt werden und in die Hochrechnung gehen eine Reihe von Annahmen ein. Ebenso ist die zukünftige Entwicklung der Branchen mit hohen Unsicherheiten behaftet. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten.

Im Ergebnis der hier durchgeführten Potenzialermittlung und Hochrechnung liegen die **angebotsseitigen Abwärmepotenziale im verarbeitenden Gewerbe** in Berlin im Status quo bei **mindestens 339 GWh/a**. Hohe Abwärmepotenziale gibt es vor allem in den Wirtschaftszweigen Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse und Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln. Hinzu kommen im Status quo ca. **120 GWh Abwärme aus Rechenzentren**, knapp **460 GWh aus U-Bahn-Stationen** sowie knapp **50 GWh aus Umspannwerken**. Zusätzlich fallen **225 GWh Restwärme in der Müllverbrennungsanlage** an, die an das Rauchgas gebunden ist. Die Werte beziehen sich auf die technisch anfallenden Abwärmeströme. Die nutzbaren Potenziale fallen aller Voraussicht nach deutlich geringer aus. Ein Grund hierfür liegt in den Jahresprofilen der Abwärmeströme sowie der Nachfrage nach Wärme. Während Abwärme häufig ganzjährig und teils sommerlastig anfällt, wird Wärme überwiegend in der Heizperiode im Winter und in den Übergangszeiten nachgefragt. Andere Gründe, die die Nutzbarkeit von Abwärme einschränken können, sind etwa fehlende Flächen für die erforderlichen Anlagen, fehlende Wirtschaftlichkeit oder auch rechtliche Aspekte. Auch ist nicht überall ein geeigneter Abnehmer für die Abwärme vorhanden. Aufgrund dieser Aspekte kann die Höhe der nutzbaren Abwärme im Rahmen dieser Potenzialanalyse nur grob geschätzt werden. Vermutlich liegt der extern in Wärmenetzen nutzbare Anteil der Abwärme nur bei etwa 25 bis maximal 50 % der ermittelten technischen Potenziale.

Im Status quo entfällt ein großer Teil der Abwärme auf die Bereiche U-Bahn-Stationen und -Tunnel, verarbeitendes Gewerbe sowie auf die Restwärme im Rauchgas der Müllverbrennungsanlagen in Ruhleben (s. Abbildung 1). Zukünftig sind zusätzliche Abwärmeströme vor allem aus neuen Rechenzentren sowie der Wasserstofferzeugung zu erwarten. Das Potenzial an Abwärme aus U-

Bahn-Stationen und -Tunneln und aus Umspannwerken ist vergleichsweise konstant, in den anderen Bereichen ist ein Rückgang zu erwarten. Hinter den Abwärmemengen verbergen sich **kleinräumig über die Stadt verteilte Standorte**. Gerade die Abwärme aus U-Bahn-Stationen ist mit standortbezogenen Potenzialen von < 1 MW sehr kleinräumig verteilt. Bei der Wasserstoffherzeugung und vor allem der Restwärme aus dem Rauchgas der Müllverbrennung handelt es sich dagegen um wenige Standorte mit jeweils großen Potenzialen. Im Bereich des verarbeitenden Gewerbes gibt es einige Standorte mit größeren Abwärmemengen, darüber hinaus fällt Abwärme im verarbeitenden Gewerbe ebenfalls eher kleinräumig an. Durch den hohen erwarteten Zubau bei Rechenzentren und bei der Wasserstoffherstellung und die damit einhergehenden Abwärmepotenziale ergibt sich ein Gelegenheitsfenster, in dem die Standorte der Betriebe von vornherein so gewählt werden können, dass die Abwärmepotenziale genutzt werden können.

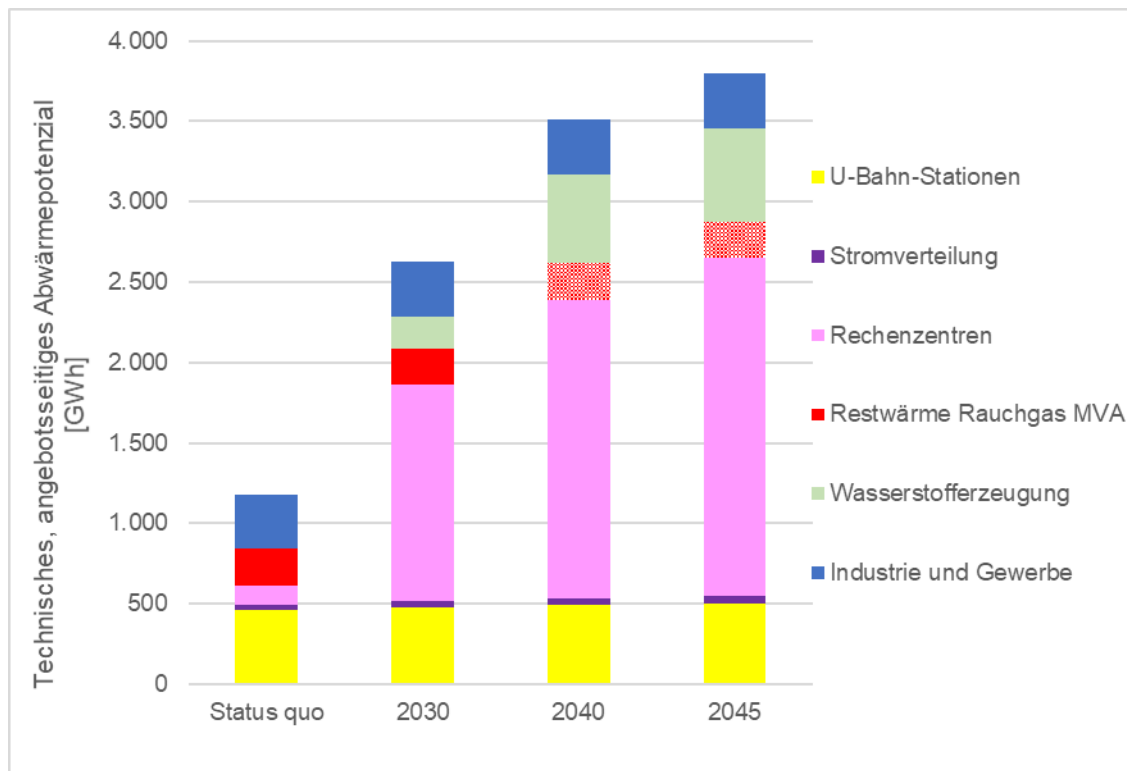


Abbildung 1: Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und prognostizierte Entwicklung
Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

Berliner Abwärme: Warm aber nicht heiß

Ein Großteil der Berliner Abwärmepotenziale liegt im Bereich der **Niedertemperatur** < 65 °C, ein nennenswerter Anteil sogar im Bereich < 25 °C (s. Abbildung 2). Eine externe Nutzung der Abwärme in Wärmenetzen ist dennoch möglich. Mit Großwärmepumpen und unter Einsatz von Strom kann die Abwärme auf ein für die Nutzung in Wärmenetzen geeignetes Temperaturniveau angehoben werden. Die Effizienz der Abwärmennutzung hängt dabei von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle, dem Abwärmestrom und Wärmesenke, meist einem Wärmenetz, ab. Somit ist es Voraussetzung für eine effiziente Nutzung von Abwärme, dass die Wärmenetze auf einem möglichst geringen Temperaturniveau betrieben werden. Neue Wärmenetze sollten von vornherein möglichst auf geringem Temperaturniveau geplant werden, bei Bestandsnetzen ist eine Temperaturabsenkung anzustreben. Auch Kalte Wärmenetze sollten für die Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme dort, wo es nachfrageseitig möglich ist, in Betracht gezogen werden.

Im Bereich der Abwärme aus dem verarbeitenden Gewerbe liegt ebenfalls ein großer Teil der Wärme im Niedertemperaturbereich. Die Umfrageergebnisse deuten darauf hin, dass einige Betriebe die externe Nutzbarkeit ihrer Abwärmeströme – gegebenenfalls wegen des geringen Temperaturniveaus – unterschätzen. Es gibt hier somit einen **großen Informationsbedarf**.

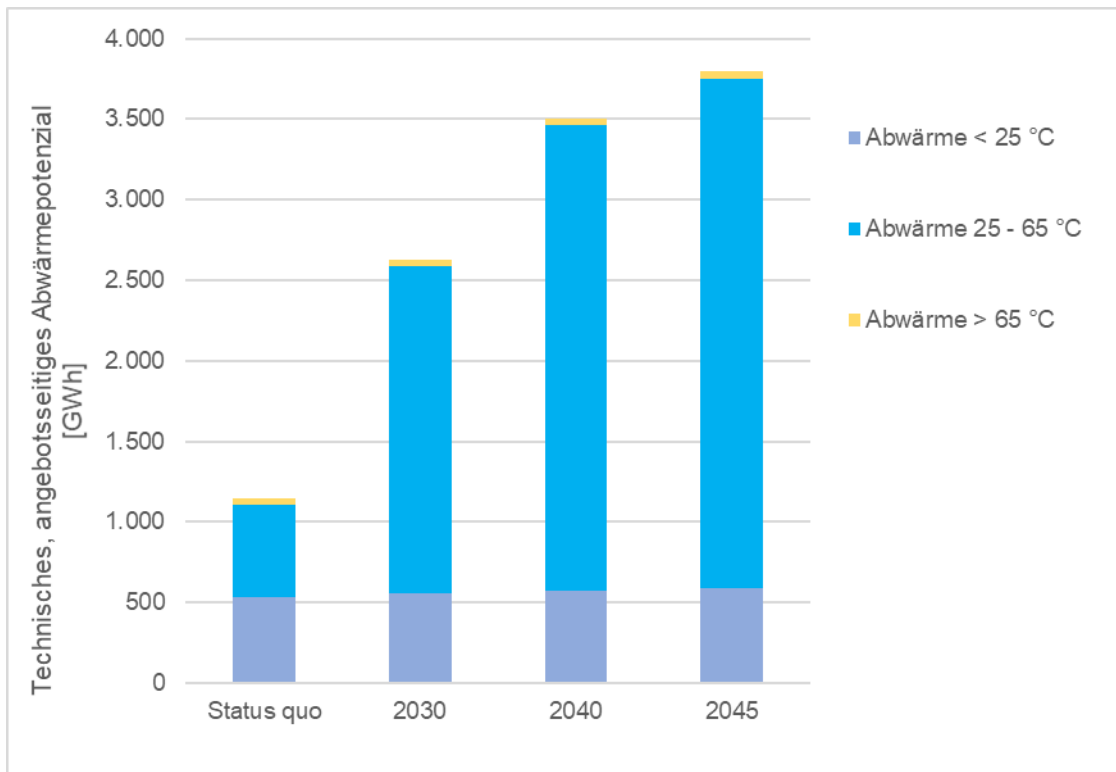


Abbildung 2: Temperaturniveaus der Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und ihre prognostizierte Entwicklung

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

Maßnahmenset zur Erschließung der Abwärmepotenziale

Die Nutzung von Abwärme ist kein Selbstläufer, dies zeigt die geringe Anzahl an bereits umgesetzten Projekten in Berlin. Hemmnisse für die Nutzung gibt es viele: Die Potenziale sind kleinräumig verteilt, haben ein vergleichsweise geringes Temperaturniveau und häufig sind die erforderlichen Investitionskosten in die Anlagen und die Erschließung hoch. Zugleich sind die Potenziale in der Summe für die Wärmewende in Berlin durchaus relevant. Der gesamte Wärmeverbrauch lag in Berlin im Jahr 2020 bei ca. 36,7 TWh/a (witterungsbereinigt) und soll der „Wärmestrategie für das Land Berlin“ zufolge deutlich auf 19,9 TWh/a sinken. Das Land Berlin kann in verschiedenen Bereichen unterstützende Rahmenbedingungen schaffen, um die Erschließung der Berliner Abwärme voranzubringen. Im Ergebnis empfiehlt das Vorhaben, einen ganzheitlichen Ansatz zu verfolgen, der von der Beratung über die Finanzierung bis zur konkreten Umsetzung verschiedene Bereiche abdeckt. Die vorgeschlagenen Maßnahmen lassen sich den folgenden Bereichen zuordnen:

- Auskunftspflicht und Nutzungspflicht,
- Beratung und Vernetzung,
- Finanzierung und Förderung,
- Erleichterung von Genehmigungsverfahren und
- Gezielter Einsatz von Steuerungs- und Planungsinstrumenten.

1. Auskunfts- und Nutzungspflicht

Die aktuelle Beschlussempfehlung zum Entwurf des Energieeffizienzgesetzes (EnEfG)¹ sieht für Unternehmen mit einem Gesamtenergieverbrauch von mehr als 2,5 GWh/a eine **Auskunfts- und Nutzungspflicht** für Abwärme vor. Die Potenziale sollen auf einer einsehbaren Plattform veröffentlicht werden. Diese Regelung ist zu begrüßen. Das Land Berlin sollte sich für die Realisierung des Entwurfs einsetzen. Zudem sollte frühzeitig eine **geeignete Schnittstellengestaltung** anvisiert werden, sodass die Daten, die die Betriebe dem Bund zur Verfügung stellen (müssen), auch direkt dem Land Berlin zugutekommen.

2. Beratung und Vernetzung

Das empfohlene Maßnahmenbündel enthält eine Vielzahl an Maßnahmen. Von großer Bedeutung ist die Einrichtung eines **zentralen Webauftritts**, der alle Informationen rund um Abwärme bündelt, sowie einer **Beratungsstelle für Abwärme**, an die sich primär Betriebe mit Abwärmepotenzialen, aber auch Wärmenetzbetreibende wenden können. Die Beratungsstelle sollte einen kostenlosen „**Abwärme-Check**“ anbieten, der gesprächsbasiert eine erste Einschätzung erlaubt, ob eine Potenzialermittlung sinnvoll ist. Fällt die Erstabschätzung positiv aus, sollte die Beratungsstelle die Betriebe an eine **geförderte Erstberatung** durch spezialisierte Ingenieurbüros zur Erhebung der Potenziale und Identifikation möglicher Maßnahmen zur internen und externen Abwärmenutzung weiterleiten.

Die Beratungsstelle sollte auch zu Fördermöglichkeiten und zur Genehmigungspraxis beraten und, sofern sinnvoll, **projektbezogene Runde Tische** koordinieren bzw. begleiten, um die für die Umsetzung erforderlichen Akteure seitens der Unternehmen (Wärmequelle, Wärmesenke, bei Bedarf weitere Infrastrukturbetreibende) aber auch Vertreter*innen der Verwaltung für Genehmigungen zusammenzubringen. **Leitfäden zur Abwärmenutzung** in den für Berlin relevanten Branchen mit Best-Practice-Beispielen und **Fachveranstaltungen** rund um Themen der Abwärmenutzung können zusätzlich zur Information und Motivation beitragen. **Kampagnen, Auszeichnungen oder Preise** sind ebenfalls gute Möglichkeiten, um Betriebe für die Möglichkeiten der Abwärmenutzung zu sensibilisieren.

Eine sinnvolle Ergänzung wäre eine **Informations- und Austauschplattform** als interaktive webbasierte Anwendung zur Vernetzung von Wärmequellen und -senken². Unternehmen mit Abwärmepotenzialen könnten dort ihre Abwärmepotenziale eintragen, sodass Wärmesenken schnell einen Überblick bekommen, welche Potenziale in ihrem Versorgungsgebiet vorhanden sind. Alternativ kann das Land Berlin über das Wärmekataster eine vermittelnde Rolle zwischen den Akteuren einnehmen. Nach dem Entwurf des EnEfG sollen Unternehmen mit einem Gesamtenergieverbrauch von mehr als 2,5 GWh/a verpflichtet werden, Auskunft über ihre Abwärmepotenziale zu geben. Diese sollten ins Wärmekataster übernommen und gegebenenfalls in einer öffentlichen Informationsplattform aufgeführt werden.

¹ Drucksache 20/7632 vom 5.7.2023 - Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Klimaschutz und Energie (25. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung – Drucksache 20/6872 – Entwurf eines Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes

² Eine solche Plattform existiert bereits in Bayern: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/abwaermeinformationsboerse (Zugriff: 15.5.2023).

3. Finanzierung und Förderung

Ein relevantes Hemmnis für die externe Nutzung von gewerblicher und industrieller Abwärme ist ein Ausfall durch Insolvenz oder Standortverlagerung des abwärmeliefernden Betriebs. Ein geeignetes Instrument zur Abdeckung dieses Risikos ist ein **Abwärmefonds**. Das Land Berlin sollte sich dafür einsetzen, dass ein solcher Fonds auf Bundesebene eingerichtet wird. Parallel sollte die Einführung eines Fonds auf Landesebene geprüft werden.

Die Umsetzung von Projekten zur Abwärmenutzung wird auf Bundesebene über die Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) (Wärmesenken) und die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) (Wärmequellen) gefördert. Ergänzend ist zu empfehlen, in Berlin ähnlich wie in Baden-Württemberg **Förderungen für Erstberatungen** einzuführen. In Baden-Württemberg wird eine Kombination aus kostenlosem Abwärme-Check und geförderter Erstberatung erfolgreich eingesetzt. Gerade da vielen Unternehmen bislang genauere Informationen über ihr Abwärmepotenzial zu fehlen scheinen, wird dieses Maßnahmenpaket für Berlin dringend empfohlen. Darüber hinaus sollten **Demonstrationsvorhaben** mit hohem CO₂-Reduktionspotenzial aus verschiedenen Branchen gefördert werden, insbesondere in Bereichen, in denen die Bundesförderungen nicht greifen. Geprüft werden sollte die Förderung der **Erschließung der Abwärmequellen**, sprich des Trassenbaus, bei besonders aufwendiger Erschließung, denn diese ist in städtischen Gebieten teilweise sehr kostenintensiv, etwa wenn Bahn- oder Kanalquerungen notwendig sind.

4. Erleichterung von Genehmigungsverfahren

Bis zur Umsetzung eines Vorhabens zu Abwärmenutzung müssen teils mehrere Genehmigungen eingeholt werden. Dies erfordert einen administrativen Aufwand, den Unternehmen teilweise scheuen. Zudem treten bei der Abwärmenutzung immer wieder neue technische Aspekte und weitere Fragestellungen auf, zu denen die Genehmigungsbehörden in manchen Fällen wenig Erfahrung haben. Zunächst sollte geprüft werden, ob es aktuell bestimmte Genehmigungsverfahren oder Prozessschritte gibt, bei denen Verzögerungen auftreten. Um Genehmigungsprozesse zu erleichtern, sollten außerdem **Leitfäden und Checklisten** erarbeitet werden, die sich an Unternehmen richten. Zudem sollte das Personal in den Genehmigungsbehörden über den **Ausbau von Personalstellen** gestärkt und über **Weiterbildungen** und Informationsangebote und -materialien qualifiziert werden. Zuletzt ermöglicht eine **Digitalisierung von Genehmigungsverfahren** Vereinfachungen, Beschleunigungen und eine Flexibilisierung bei der Bearbeitung durch mehrere Genehmigungsstellen.

5. Gezielter Einsatz von Steuerungs- und Planungsinstrumenten

Der erwartete Zubau an Rechenzentren und Anlagen für die Wasserstoffherzeugung in Berlin geht mit hohen Abwärmepotenzialen einher (s. Abbildung 1). Die Standortwahl ist ein einmaliges Gelegenheitsfenster, um eine möglichst umfassende und effiziente Abwärmenutzung von vornherein zu ermöglichen und einzuplanen. Steuerungs- und Planungsinstrumente auf Landes- und Bezirksebene können gezielt eingesetzt werden, um die Standortwahl zugunsten einer Abwärmenutzung zu beeinflussen. Der **Stadtentwicklungsplan (StEP) Wirtschaft 2030** auf Landesebene sowie die **Wirtschaftsflächenkonzepte** auf Bezirksebene bilden die Grundlage für die Bauleitplanung. Im Zuge der Wärmeplanung sollte eine Datenverschneidung von Gewerbegebieten und Wärmenetz- bzw. Wärmenetzausbaugebieten erfolgen, um Gebiete zu identifizieren, die eine externe Abwärmenutzung ermöglichen. Die Ergebnisse könnten in die Ausweisung von Eignungsflächen münden.

Etwas Vergleichbares erfolgt bereits in Frankfurt am Main im Zuge von **Ansiedlungskonzepten für Rechenzentren**. Unter Berücksichtigung von infrastrukturellen Aspekten wie Stromkapazitäten und auch der Flächenverfügbarkeit werden dort Eignungs- und Ausschlussgebiete für Rechenzentren ausgewiesen. Dies könnte unter Berücksichtigung des Aspektes der Abwärmenutzung auch für andere energieintensive Branchen umgesetzt werden. Eine **zentrale Anlaufstelle** sollte unabhängig von der Ausweisung von Eignungsflächen die Ansiedlung von Rechenzentren koordinieren und zur Vernetzung der relevanten Akteure (Wärmequellen und -senken, Stromnetz Berlin, Bezirke) beitragen. Grundlage hierfür sollte ein **abgestimmter Prozess** zwischen Senat und Bezirken sowie den Energieversorgern sein, wie die Ansiedlung von Rechenzentren zu erfolgen hat.

Zuletzt sollten im Zuge **städtebaulicher Verträge, der Bauleitplanung sowie bei Konzeptvergaben** Aspekte der Abwärmenutzung mitgedacht und berücksichtigt werden. Dies betrifft vor allem die Wärmeabnahmeseite, indem etwa Verpflichtungen für die Herstellung eines Wärmenetzanschlusses oder Verbrennungsverbote festgelegt werden.

Eine **zügige Umsetzung des Maßnahmensets** kann einen Beitrag zur schnellen Erschließung der Abwärmepotenziale in Berlin leisten. Eine sehr **hohe Priorität** wurde von den Berliner Stakeholdern der Einführung einer Erstberatung zur Potenzialermittlung in Unternehmen und deren Förderung sowie der Erleichterung von Genehmigungsverfahren zugewiesen. Zudem ist das Thema Einsatz von Steuerungs- Planungsinstrumenten prioritär, um eine gezielte Ansiedlung zu ermöglichen. Die Umsetzung der Maßnahmen sollte bereits vor der Fertigstellung der Wärmeplanung erfolgen.

Die im Zuge der Potenzialanalyse erhobenen Daten sollen außerdem in die **Wärmeplanung des Landes Berlin** eingebunden werden. Bei der Georeferenzierung der Abwärmepotenziale bestehen zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch einige Lücken, die perspektivisch geschlossen werden sollten. Eine **räumliche Verortung** kann zum jetzigen Zeitpunkt insgesamt für 33 Standorte des verarbeitenden Gewerbes, des Handels- und Dienstleistungssektors sowie von Rechenzentren erfolgen. Bei den U-Bahn-Stationen, den Umspannwerken sowie der Restwärme aus der Müllverbrennung kann vergleichsweise einfach ein Standortbezug hergestellt werden. **Nächste Schritte** für die weitere Georeferenzierung der Abwärmepotenziale sind es nun, zu den Standorten, für die aktuell nur berechnete Werte vorliegen, genauere Daten zu den Abwärmepotenzialen von den jeweiligen Unternehmen zu erhalten und die Datengrundlage zu ergänzen. Die im Entwurf zum EnEFG geplante Auskunftspflicht von Unternehmen ab einem Gesamtenergiebedarf von 2,5 GWh/a zu ihren Abwärmepotenzialen bietet die Möglichkeit die Datengrundlage auch in Berlin zu verbessern. Zudem sollte das Land Berlin die Erhebung der Abwärmepotenziale unter Einbindung von Verbänden weiterführen und die Berliner Unternehmen über Beratungs- und Informationsangebote bei der Datenerfassung und -bereitstellung unterstützen und sie für das Thema sensibilisieren.

2 Einführung: Abwärme als Element der Wärmewende

Berlin hat im Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) das **Ziel der Klimaneutralität** bis spätestens zum Jahr 2045 festgelegt. Die Machbarkeitsstudie „Berlin Paris-konform machen“ (Hirschl et al. 2021) zeigt, dass das Erreichen der Klimaneutralität, das heißt eine Reduktion der CO₂-Emissionen um mindestens 95 % gegenüber 1990, für das Land Berlin zwischen 2040 und 2050 möglich ist. Einige Studien und Akteure fordern eine noch deutlich frühere Klimaneutralität (z. B. Egelkamp et al. 2021; Projektgruppe Klimaneustart 2023). Die Entwicklung des **Wärmesektors** spielt für das Erreichen der Klimaneutralität eine entscheidende Rolle: Im Jahr 2020 entfielen auf Heizen, Warmwasser und Kühlung etwas über 40 % der Berliner CO₂-Emissionen, mit Prozesswärme waren es sogar 47 % (Dunkelberg et al. 2021; Hirschl et al. 2021).

Der **Wärmeverbrauch** in Berlin wurde in der Machbarkeitsstudie „Berlin Paris-konform machen“ für 2020 auf ca. 36,7 TWh/a (witterungsbereinigt) ermittelt. Dies umfasst die im Gebäudesektor benötigte Wärme für Heizen und Warmwasserbereitstellung sowie die Prozesswärme (Dunkelberg et al. 2021). Aktuell dominieren in der objektbezogenen Wärmeversorgung Erdgas und auch die in Berlin bedeutsame Fernwärme wird überwiegend durch fossile Energieträger erzeugt. Der Wärmeverbrauch soll der „Wärmestrategie für das Land Berlin“ zufolge deutlich sinken auf 19,9 TWh/a, um das Klimaschutzziel zu erreichen. Dies ist nur durch eine umfassende, ambitionierte Sanierung des Gebäudebestandes möglich. Der Anteil der Fernwärme soll zukünftig deutlich ansteigen und laut Wärmestrategie etwa 44 % des Endenergieverbrauchs im Wärmesektor erreichen (Dunkelberg et al. 2021). Zum Wärmeverbrauch kommt der **Kältebedarf**, vor allem im Segment der Nichtwohngebäude. Er wird von Steinbauer et al. (2022) auf 1,1 bis 3,0 TWh/a auf Basis verschiedener Annahmen und Ansätze geschätzt und ist somit deutlich geringer als der Wärmeverbrauch.

Damit das Klimaschutzziel erreicht werden kann, ist eine Defossilisierung der Wärmeversorgung erforderlich. Dafür ist es wichtig, lokale erneuerbare Wärmequellen und **unvermeidbare Abwärme** zu nutzen, auch, um ressourcenschonend eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen. Als unvermeidbar gilt Abwärme laut EWG Bln § 2, wenn sie nicht durch effizienzsteigernde Maßnahmen vermieden oder intern genutzt werden kann. Das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm für den Umsetzungszeitraum 2022 bis 2026 (BEK) zielt mit der Maßnahme E-2 darauf ab, Abwärme umfassend zu erschließen und nutzbar zu machen (Abgeordnetenhaus Berlin 2023). Für die Anrechenbarkeit zum Erreichen der Klimaschutzziele und in der Folge auch für die Förderfähigkeit der Nutzung von Abwärme im Wärmesektor ist dabei das Kriterium der Unvermeidbarkeit von großer Bedeutung (eine genaue Definition findet sich in Kapitel 3.1.1).

Ein wichtiger Abnehmer von Abwärme sind **Wärmenetze**, die zukünftig an Bedeutung gewinnen sollen. Aktuell macht Fernwärme, überwiegend auf Basis von fossilen Energieträgern, rund ein Drittel des Wärmeverbrauchs in Berlin aus. Zukünftig sollen die Wärmenetze ausgebaut werden (Dunkelberg et al. 2021; Hirschl et al. 2021), da sie über die Einbindung lokaler erneuerbarer Wärme und Abwärme einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten können. Damit die notwendige Transformation der netzgebundenen Wärmeversorgung Realität wird, soll laut EWG Bln bis 2030 ein Anteil von mindestens 40 % der transportierten Wärme aus erneuerbaren Energien (EE) oder unvermeidbarer Abwärme erreicht werden (EWG Bln). Das EWG Bln § 22 verpflichtete die Berliner Fernwärmebetreibende bis zum 30. Juni 2023 **Dekarbonisierungsfahrpläne** aufzustellen, die aufzeigen, wie dies erreicht werden soll. Den inzwischen öffentlich vorliegenden Dekarbonisierungsfahrplänen zufolge soll unvermeidbare Abwärme ein wichtiges Element für das Erreichen der

Klimaneutralität sein (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023). Auf Bundesebene sehen der Entwurf zur Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sowie das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung es vor, dass in Bestandnetzen bis 2030 mindestens 30 % der Wärme aus erneuerbaren Energien und Abwärme stammen müssen. Hierfür müssen die Betreibenden ebenfalls Transformationspläne vorlegen. Die Transformationspläne spielen auch in der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) als Voraussetzung für bestimmte Förderungen eine wichtige Rolle. Neue Wärmenetze, möglichst auf geringem Temperaturniveau, sollen ebenfalls zur Erschließung und zur effizienten Nutzung lokaler erneuerbarer Wärmequellen und von Abwärme beitragen (Dunkelberg et al. 2021) und müssen dem Entwurf des GEG zufolge mindestens 65 % Wärme aus erneuerbaren Energien und Abwärme transportieren.

Aus der Machbarkeitsstudie „Berlin Paris-konform machen“ und der „Wärmestrategie für das Land Berlin“ lässt sich ableiten, dass davon ausgegangen wird, dass Abwärme in einem zukünftigen klimaneutralen Energiesystem einen Anteil von bis zu knapp 10 % in der Fernwärme bereitstellen kann (Dunkelberg et al. 2021; Hirschl et al. 2021). Die Machbarkeitsstudie bezifferte das **Abwärmepotenzial in Berlin** auf etwa 600 GWh/a (Hirschl et al. 2021). Eine Studie des Fraunhofer IEE (2021) schätzte das Potenzial industrieller Abwärme in Berlin auf 30 MW (180 GWh bei 6.000 Volllaststunden)³. Hinzu kommen die Potenziale an Niedertemperatur-Abwärme aus dem Handels- und Dienstleistungssektor sowie die für die zukünftige Entwicklung relevanten Potenziale aus geplanten Rechenzentren und der Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse und Plasmapolymerisation (Egelkamp et al. 2021; Hirschl et al. 2021). Diese Abschätzung galt es im Zuge des Vorhabens zur Bestimmung der Abwärmepotenziale zu validieren und zu konkretisieren.

Voraussetzung für die Erstellung einer gesamtstädtischen Wärmeplanung, inklusive der Frage, wo neue Wärmenetze entstehen sollen, und auch für die Erstellung der Dekarbonisierungsfahrpläne der Fernwärmebetreibende, sind **Daten zu den Potenzialen an erneuerbarer Wärme und Abwärme** sowie zur Wärmeabnahme. Aktuell wird durch das Land Berlin ein Wärmekataster aufgebaut, das die Wärmenachfrage räumlich abbilden wird und das perspektivisch auch die Abwärmepotenziale ausweisen soll. Während zu Solarpotenzialen im Energieatlas sowie zu Abwasserwärme in Form des Abwasserwärmeatlas der Berliner Wasserbetriebe (Gürtler et al. 2022) bereits gute Datengrundlagen bestehen, steht die Bestimmung und Georeferenzierung der Potenziale für gewerbliche und industrielle Abwärme noch aus. Ziel der vorliegenden Analyse war es nun, die aktuellen und zukünftigen Potenziale an industrieller und gewerblicher Abwärme in Berlin zu ermitteln, einen georeferenzierten Datensatz für die Verwendung im Wärmekataster aufzubereiten und ein Instrumentenset zu erarbeiten, das die Erschließung der Abwärmepotenziale in Berlin unterstützen könnte.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Grundlagen zu Abwärmepotenzialen in Branchen und Prozessen sowie zu den Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme. Kapitel 4 geht darauf aufbauend auf die Situation in Berlin ein und beschreibt die Nutzungsoptionen und den Status quo der Abwärmeeinnahme in Berlin. Grundlage für die Erhebung der Potenziale an Abwärme war eine Unternehmensbefragung, die durch Interviews und Abstimmungsgespräche sowie theoretische Berechnungen ergänzt wurde. Das methodische Vorgehen und die Ergebnisse der Umfrage, der Interviews sowie der theoretischen Berechnungen sind in Kapitel 5 beschrieben. Die Höhe der zukünftig verfügbaren Abwärme hängt unter anderem davon ab, welche Effizienzgewinne die Unternehmen realisieren können und inwiefern sich weitere Betriebe in Berlin ansiedeln, bei denen mit unvermeidba-

³ Die Studie vom Fraunhofer IEE (2021) weist zusätzlich 120 MW im nahen Umland aus (720 GWh bei 6.000 Vlh). Abwärmepotenziale im Berliner Umland wurden in der vorliegenden Potenzialanalyse nicht ermittelt.

rer Abwärme zu rechnen ist. Ein Beispiel sind Rechenzentren, bei denen durch die Kühlung unvermeidbare Abwärme entsteht. Daher beinhaltet Kapitel 5 eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Abwärmepotenziale in Berlin. Damit die Potenziale möglichst zügig erschlossen werden können, bedarf es unterstützender Maßnahmen durch das Land Berlin. Kapitel 6 stellt diverse Instrumente zur Erschließung der Abwärmepotenziale und Steuerung des Dargebots auf Landesebene vor und mündet in einer Empfehlung zur Einführung der Instrumente.

Die Umsetzung des Vorhabens erfolgte unter **Einbindung relevanter Berliner Akteure und Stakeholder**. Die Ergebnisse zweier Fachworkshops mit Betrieben mit Abwärmepotenzialen, Wärmenetzbetreibenden als mögliche Abwärmennutzer*innen sowie Vertreter*innen der Berliner Verwaltung, Planer*innen, Projektierer*innen und Verbänden fanden Eingang in die Ergebniserarbeitung. Zudem fanden Gespräche mit ausgewählten Berliner Akteuren zu Daten und Informationen zu den Abwärmepotenzialen und zur aktuellen und geplanten Entwicklung der Abwärmennutzung statt.

Als **Produkte des Vorhabens** liegen dieser Endbericht sowie ein **Datensatz** vor, der die standortbezogenen Daten enthält und möglichst ins Wärmekataster integriert werden soll. Der Datensatz umfasst, sofern unternehmens- und standortscharf vorhanden, Informationen zur Lokalität, zur Höhe und zur Qualität der Abwärmepotenziale. Perspektivisch lässt sich über die Kombination mit Daten zu den bestehenden Wärmenetzen sowie mit den Informationen aus dem Wärmekataster zum einen die Höhe der nutzbaren Potenziale abschätzen und zum anderen lassen sich konkrete Standorte identifizieren, an denen eine Umsetzung möglich erscheint. Somit bildet die neu geschaffene Datengrundlage eine wichtige Basis für die Konkretisierung der Abwärmennutzung im Zuge der Wärmeplanung und somit für die Umsetzung der Berliner Wärmewende.

3 Potenziale, Eigenschaften und Nutzungsperspektiven von Abwärme

In vielen Industriebranchen, in der Stromerzeugung und auch im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) entsteht Abwärme, das heißt, es wird Wärme erzeugt, die am Ende eines Prozesses übrig und im eigentlichen Prozess des Unternehmens nicht mehr von Nutzen ist (Saena 2016). In der Regel wird diese Abwärme an die Umgebung abgegeben, gebunden an ein Medium bzw. einen Abwärmeträger. Träger für Abwärme sind in der Regel gasförmige oder flüssige Medien wie etwa Abgase, Abluft, Kühl- oder Prozesswasser (Hirzel et al. 2013).

Große Abwärmemengen auf hohem Temperaturniveau treten typischerweise im verarbeitenden Gewerbe auf, etwa in der Eisen- und Stahlindustrie, Zementindustrie, Papierindustrie, Glasindustrie und in der chemischen Industrie (Hirzel et al. 2013). Dies sind Wirtschaftszweige, die in Berlin und im nahen Umland vergleichsweise wenig vertreten sind (s. Kapitel 5.3). Neben der industriellen Produktion fällt aber auch in anderen Bereichen von Industrie und Gewerbe Abwärme an, die teilweise intern und/oder extern genutzt werden kann. Dies sind vor allem Rechenzentren, Kühlhäuser sowie zahlreiche kleinere Gewerbebetriebe mit teilweise manufaktuellem Charakter wie Röstereien, Großbäckereien und Wäschereien (Clausen et al. 2020; Dunkelberg et al. 2020).

Die folgenden Kapitel gehen auf die Begrifflichkeiten und die Abgrenzung des Begriffs der Abwärme in dieser Potenzialanalyse ein, um nachfolgend Eigenschaften zur Bewertung von Abwärmepotenzialen vorzustellen und diese auf verschiedene Branchen und Prozesse anzuwenden (s. Kapitel 3.1). Kapitel 3.2 geht danach auf die Nutzungsperspektiven ein. Somit legt das Kapitel die Grundlage für eine Bewertung der Abwärmepotenziale und ihrer Nutzungsmöglichkeiten in Berlin.

3.1 Abwärmepotenziale

3.1.1 Definitionen und Abgrenzung

Abwärme kann und muss neben den erneuerbaren Energien einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmesektors leisten. Damit die Nutzung von Abwärme jedoch anrechenbar ist für die Erreichung der Klimaschutzziele gemäß dem Pariser Abkommen, muss die jeweilige Abwärmequelle bzw. -menge der **Definition der Europäischen Union** entsprechen. Auf EU-Ebene beziehen sich die Energieeffizienzrichtlinie und die Erneuerbaren-Energien-Richtlinie⁴ (RED, RL 2018/2001/EU) auf den Begriff der Abwärme. Während in der Energieeffizienzrichtlinie die interne und externe Nutzung von Abwärme berücksichtigt wird, erkennt die RED nur die extern nutzbare und unvermeidbare Abwärme und -kälte zur Zielerreichung an. Die RED definiert Abwärme wie folgt:

⁴ Sowohl die Energieeffizienzrichtlinie als auch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED III befanden sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes in einer Novellierungsphase. Die RED III wurde im März 2023 beschlossen. Es waren keine Änderungen bestehender Begriffsdefinitionen von Abwärme und unvermeidbarer Abwärme vorgesehen. Allerdings wurden sektorspezifische Ziele auch im Wärmesektor für den Anteil erneuerbarer Energien am Wärmebedarf in Gebäuden festgelegt. (<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/03/20230330-durchbruchfur-ambitionierten-ausbau-erneuerbarer-energien-bis-2030.html>, Zugriff. 2.8.2023)

„unvermeidbare Wärme oder Kälte, die als Nebenprodukt in einer Industrieanlage, in einer Stromerzeugungsanlage oder im tertiären Sektor anfällt und die ungenutzt in Luft oder Wasser abgeleitet werden würde, wo kein Zugang zu einem Fernwärmesystem oder einem Fernkältesystem besteht [...]“ (Art. 2 RED II RL 2018/2001/EU)

Ein technischer Bericht des Joint Research Centre (JRC) präzisiert diese Definition und stellt klar, dass die interne Nutzung von Abwärme im Sinne des Prinzips „Energy Efficiency First“ Vorrang vor der externen Nutzung hat. Als **unvermeidbar** gilt Abwärme, wenn sie nicht durch eine effizientere Ausgestaltung bzw. Ausstattung reduziert oder vermieden oder innerhalb der Prozesse und des Betriebes genutzt werden kann. Nur die nach der Umsetzung von Effizienzmaßnahmen sowie einer internen Nutzung verbleibende Abwärme gilt als unvermeidbar und ihre Nutzung durch Dritte, etwa in der netzgebundenen Wärmeversorgung, kann zum Erreichen der Klimaschutzziele beitragen (Lyons et al. 2021). Auch der Entwurf zum EnEFG⁵ nimmt eine Unterscheidung zwischen technisch vermeidbarer und unvermeidbarer Abwärme vor und definiert letztere als „Teil der Abwärme, der aufgrund thermodynamischer Gesetzmäßigkeiten entsteht und nicht durch Anwendung des Standes der Technik, mit vertretbarem Aufwand, vermieden oder reduziert werden kann.“

Der Umfang der extern verfügbaren Abwärme eines Betriebes kann sich über die Zeit verändern. Für den Moment, mit den jeweils installierten Anlagen und Technologien, kann eine Abwärmemenge unvermeidbar sein, jedoch infolge eines **Technologiefortschritts** durch die Verfügbarkeit neuer Technologien geringer ausfallen oder wegfallen. Dies kann aus Sicht der Wärmenetzbetreibende ein **Versorgungs- bzw. Planungsrisiko** darstellen, ebenso wie Risiken, die etwa mit Produktionsausfällen und geringeren Auslastungen von Wirtschaftsbetrieben einhergehen.

Lyons et al. (2021) zufolge muss Abwärme, um anrechenbar für die Erreichung der Klimaschutzziele gemäß dem Pariser Abkommen zu sein, ein **Nebenprodukt** darstellen und darf nicht das Primärziel eines Prozesses sein, wie es etwa bei **Heizwerken, Kraft-Wärme-Kopplung- (KWK) oder Müllverbrennungsanlagen** der Fall ist. Beim Betrieb von KWK-Anlagen entweichen allerdings ca. 15 % des Brennstoffeinsatzes gebunden an den Abgasstrom als Restwärme an die Umgebung. Das Temperaturniveau der Restwärme ist mit ca. 40 °C relativ gering, kann jedoch mittels Wärmepumpen angehoben und die Wärme so nutzbar gemacht werden (s. z. B. FHW 2022; Vattenfall 2022a). In der vorliegenden Analyse wird dieses Restwärmepotenzial ausgewiesen.

Abwärme aus der **Stromverteilung** und aus **U-Bahn-Systemen** kann als Nebenprodukt gelten. **Abwasserwärme**, die aus den Abwasserkanälen entzogen werden kann, zählt als Umweltwärme und somit als erneuerbare Wärme. Für die Abwasserwärme in den Kanälen besteht in Berlin mit dem Abwasserwärmeatlas, erstellt durch die Berliner Wasserbetriebe, eine gute Datengrundlage. Die Wärmemengen wurden hier anhand von Kenngrößen wie etwa dem Durchmesser der Kanäle und Abwasserrohre sowie der Durchflussraten ermittelt (Gürtler et al. 2022). Kapitel 5.4.6 führt die Ergebnisse der Potenzialermittlung durch die Berliner Wasserbetriebe auf.

Die **Eigenschaft der Unvermeidbarkeit von Abwärme** ist auch im deutschen Recht und in der Förderlandschaft auf Bundesebene, etwa in den Richtlinien zur Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) und zur Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW), verankert. Als unvermeidbar wird im EWG Bln in § 2 Nr. 20 und Nr. 21 EWG Bln die Abwärme definiert, die in Prozessen oder Anlagen anfällt, welche technisch auf dem neuesten Stand sind, und die somit nicht durch

⁵ Drucksache 20/7632 - Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Klimaschutz und Energie (25. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung – Drucksache 20/6872 – Entwurf eines Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes

Effizienzgewinne vermieden werden kann. Eine ähnliche Formulierung findet sich auch in der Novelle der BEG und in der im Jahr 2022 in Kraft getretenen BEW.

Aus diesen Definitionen ergibt sich folgende **Fokussierung** und auch **Abgrenzung des Vorhabens**:

- Die Potenzialanalyse bezieht sich vor allem auf **Abwärme aus verarbeitender Industrie und Gewerbe** sowie aus dem **Dienstleistungssektor**, insbesondere **Rechenzentren**.
- Im Verkehrssektor fällt **Abwärme** vor allem in unterirdischen **U-Bahn-Stationen** durch Beschleunigung und Bremsen der Züge sowie die Passagiere an. Auf Grundlage erster Messungen der BVG konnte eine grobe Abschätzung dieser Potenziale erfolgen.
- Ebenfalls berücksichtigt über eine grobe Abschätzung ist Abwärme aus der **Stromverteilung**, wo Wärme in den Transformatoren der Umspannwerke entsteht.
- Abwärme aus der **Erzeugung von erneuerbaren Gasen**, insbesondere Wasserstoff aus Elektrolyse und Plasmalyse, spielt aktuell in Berlin noch keine nennenswerte Rolle. In Zukunft ist von einem Ausbau auch in Berlin auszugehen, weswegen anhand von Studien und Gesprächen Prognosen über die zukünftige Entwicklung getroffen und die sich daraus ergebenden Abwärmepotenziale anhand technischer Parameter der Verfahren abgeschätzt wurden.
- Zudem führt die Potenzialanalyse die Restwärme aus der **Müllverbrennung und Stromerzeugung** auf, die an den Abgasstrom gebunden ist und mittels Wärmepumpen genutzt werden kann.
- **Wärme** kann die Betriebe auch **gebunden an Abwasser** verlassen. Die Potenziale an Wärme, die aus den Abwasserkanälen entzogen werden kann, gelten per Definition nicht als Abwärme sondern als erneuerbare Energie⁶, und liegen für Berlin in Form des Abwasserwärmeatlas bereits vor⁷ (Gürtler et al. 2022). In Betrieben mit hohem Abwasseraufkommen und/oder hohen Temperaturen im Abwasser kann dennoch standortbezogen eine externe Nutzung der an Abwasser gebundenen Wärme sinnvoll sein und muss die Nutzung der Wärme aus der Kanalisation nicht beeinträchtigen, da der Abwasserwärmeatlas von mittleren Temperaturen ausgeht.
- Die **Abwärme aus der Beheizung und Kühlung von Gebäuden** wurde analog zu den Empfehlungen des JRC (Lyons et al. 2021) im Rahmen dieser Potenzialanalyse nicht erhoben. Ein Grund ist, dass die Abwärme kleinteilig und breit gestreut über das gesamte Stadtgebiet anfällt. Die Potenziale an Abwärme aus der Gebäudekühlung in Berlin wurden in einer Studie der Berliner Energieagentur auf 1.204 bis 3.245 GWh/a abgeschätzt (Steinbauer et al. 2022).

3.1.2 Eigenschaften zur Bewertung von Abwärmepotenzialen

Abwärme zeichnet sich durch eine Vielzahl unterschiedlicher **Eigenschaften** bzw. Merkmale aus. Diese lassen sich einer physikalischen, einer zeitlichen, einer räumlichen sowie einer regulatorischen, ökonomischen und ökologischen Dimension zuordnen (s. Abbildung 3).

Viele der Eigenschaften beeinflussen auch die Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme. In einigen **Branchen und Prozessen** fällt typischerweise Abwärme mit bestimmten Eigenschaften, etwa hohen Temperaturen, an, in anderen Branchen ist die Bandbreite der Eigenschaften der anfallenden

⁶ Definition nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Renewable Energy Directive (RED II)

⁷ <https://www.bwb.de/de/heizen-und-kuehlen-mit-abwasser.php> (Zugriff: 05.06.2023)

Abwärme groß. Bei der Erhebung von Abwärmepotenzialen mit dem Ziel der Nutzbarmachung bietet es sich an, eine Unterscheidung nach Branchen und Prozessen vorzunehmen. Dies ermöglicht es auch ergänzend zu einer Erhebung der Abwärmepotenziale über eine Unternehmensbefragung prozess- und kennzeichenbasierte Berechnungen zum Abwärmepotenzial vorzunehmen. Wichtige Eigenschaften und Kriterien für die Frage der Nutzbarkeit der Abwärme sind folgende:

Physikalische Dimension:

- Das **Temperaturniveau** von Abwärme ist von großer Bedeutung für die Nutzbarkeit. Dabei gilt: Umso höher die Differenz der Temperatur der abgegebenen Wärme zur Temperatur der Umgebungsluft, desto exergetisch hochwertiger ist die Abwärme. Wärmenetze sind ein wichtiger Abnehmer für Abwärme, wobei Wärmenetze in Nieder-, Mittel-, und Hochtemperaturnetze unterschieden werden. Bestehende Wärmenetze haben meist Vorlauftemperaturen von um die 100 °C (s. Kapitel 4.1). Abwärmeströme mit Temperaturen ab 90 °C können somit direkt in solche Netze eingespeist werden (Dehli 2020). Gleichwohl gewinnen Niedertemperaturwärmeströme (NTWS) mit Temperaturniveaus von unter 90°C an Bedeutung, da es erstens immer effizientere Möglichkeiten der exergetischen Aufwertung von NTWS durch Wärmepumpen gibt, zweitens in bestehenden Wärmenetze die Betriebstemperaturen perspektivisch gesenkt werden sollen und drittens neue Wärmenetze von vornherein mit geringeren Vorlauftemperaturen geplant werden (dena 2015; Funke et al. 2019; Sandrock et al. 2020).
- Ebenfalls relevant für die Nutzbarkeit ist der **Umfang des Abwärmestroms**. Aus dem Umfang des Abwärmestroms und der Temperaturdifferenz zwischen Abwärmequelle und Abwärmesenke lässt sich die für die **externe Nutzung abgebbare Wärmemenge** pro Jahr ableiten. Für eine Bewertung des nutzbaren Potenzials sollten daher auch die Wärmesenken, wie Wärmenetze, berücksichtigt werden (saena 2016, LfU 2012, Sandrock et al. 2020).
- Die Art der **Bündelung der Abwärme** ist ein weiterer wichtiger Aspekt zur Bewertung von Abwärme. Dabei wird unterschieden, ob Abwärme diffus, das heißt durch Strahlung oder Konvektion an Luft oder Bauteile in der Umgebung abgegeben wird, oder sich an einen Wärmeträger wie flüssige oder gasförmige Stoffe bindet (Schaefer 1995; Saena 2016). Die Materialdichte, Wärmekapazität, Zusammensetzung und der Aggregatzustand des jeweiligen Wärmeträgermediums gibt Aufschluss über die enthaltenen und nutzbaren Energiemengen. Dabei kann der **Verschmutzungsgrad** des Trägermediums relevant sein, da Schwebstoffe oder bestimmte giftige oder aggressive Bestandteile in Trägermedien die Abwärmennutzung stark beeinflussen können (LfU 2012; Saena 2016; Blömer et al. 2019; Hirzel et al. 2013).

Zeitliche Dimension:

- Eigenschaften, die der zeitlichen Dimension zuzuordnen sind, können ebenfalls einen Einfluss auf die Nutzbarkeit eines Abwärmepotenzials haben. Dabei kommt es darauf an, ob die Abwärme **konstant** oder mit Unterbrechungen anfällt und ob sie **zeitlich begrenzt**, etwa in bestimmten Monaten oder nur bis zu einem bestimmten Zeitpunkt auftritt. Die zeitliche Verfügbarkeit und der **zeitliche Verlauf** zwischen Wärmeangebot und -bedarf beeinflussen maßgeblich die Nutzbarkeit einer Abwärmequelle (Hirzel et al. 2013; LfU 2012). In einigen Branchen sollte daher auch der Schichtbetrieb oder eventuelle Urlaubs- und Ferienzeiten mit in den Blick genommen werden. Für Wärmenetzbetreibende ist dabei die Planbarkeit der Abwärmemengen, die in ein Wärmenetz abgegeben werden, ein wichtiges Kriterium (Stark et al. 2020), welches auch die Versorgungssicherheit aus Sicht des Wärmenetzbetreibenden beeinflusst.
- Ebenfalls der zeitlichen Dimension zuzuordnen, ist die Frage, welcher Anteil der Abwärme aus Abnehmersicht tatsächlich genutzt werden kann und soll. Grund ist **der saisonale Effekt**, dass

der Wärmeverbrauch vor allem in der Heizperiode anfällt, die meisten erneuerbaren Wärmepotenziale jedoch auch oder sogar vor allem im Sommer Wärme bereitstellen. Damit einher gehen Nutzungskonkurrenzen, sodass nicht alle Potenziale voll ausgeschöpft werden können.

Räumliche Dimension:

- Die **räumliche Distanz** zwischen der Abwärmequelle und -senke spielt ebenfalls eine große Rolle bei der Erschließbarkeit von Abwärmepotenzialen (Hirzel et al. 2013; Stark et al. 2020). Die Entfernung steht in direktem Zusammenhang mit dem baulichen Aufwand und den Kosten eines Projektes. Besonders bei der Versorgung von Wärmenetzen in Ballungsräumen wie Berlin, kann die räumliche Distanz zudem zu einem großen Hindernis werden, da der bauliche Aufwand häufig mit Einschränkungen, etwa für den Verkehr, einhergeht.
- Bei der räumlichen Dimension ist außerdem die **Platzverfügbarkeit** relevant. Für die externe Nutzung von Abwärme braucht es abhängig von der Wärmequelle bauliche Einrichtungen, die einen gewissen Platzbedarf aufweisen, etwa Wärmepumpen und Wärmenetzanschlüsse.

Regulatorische, ökonomische und ökologische Dimension:

- Die Frage der **Wirtschaftlichkeit** der Erschließung entscheidet ganz maßgeblich darüber, ob ein Potenzial tatsächlich genutzt wird. Viele der bereits genannten Kriterien beeinflussen dabei die Höhe der Investitions- und Betriebskosten der Abwärmenutzung sowie die Höhe des ökonomischen **Risikos** durch den möglichen Wegfall einer Abwärmequelle. Die Frage, ob in eine Abwärmenutzung investiert wird, ergibt sich letztlich aus dem technischen und baulichen Aufwand einerseits, dem finanziellen Anreiz durch Einnahmen andererseits sowie aus der Bewertung des ökonomischen Risikos (Stark et al. 2020). Einen Einfluss auf die ökonomische Bewertung haben unter anderem die Entwicklung der Energie- und CO₂-Preise, von Baukosten sowie die zu erwartende Markt- und Preisentwicklung in der Fernwärme.
- Ökologische Aspekte spielen bei der Frage der Nutzung ebenfalls eine Rolle. Relevant ist dabei vor allem die **Höhe der potenziellen CO₂-Vermeidung**, die durch die externe Nutzung von Abwärme erzielt werden kann. So ist es aus Sicht eines Wärmenetzbetreibenden attraktiv eine Abwärmequelle zu erschließen, die bezogen auf die durch den Energieversorger bereitgestellte Wärme eine möglichst hohe CO₂-Reduktion erzielt bzw. mit der der Anteil an erneuerbarer Wärme und Abwärme im Wärmenetz möglichst stark angehoben werden kann. Hierbei sind wiederum Aspekte wie die Wärmemenge und die Temperatur relevant.
- **Politische Instrumente** wie Anreize und Pflichten haben ebenfalls einen Einfluss darauf, ob eine Abwärmequelle genutzt wird. So sieht es der Entwurf des EnEFG⁸ es vor, Unternehmen zu verpflichten, entstehende Abwärme zu vermeiden, anfallende Abwärme wiederzuverwenden oder eine externe Nutzung der Abwärme zu ermöglichen (zum EnEFG s. Kapitel 6.1). Sofern ordnungsrechtliche Konsequenzen bei Nicht-Nutzung drohen, stellt dies einen Anreiz zur Abwärmenutzung dar. Zugleich gibt es Förderungen, die die Nutzung von Abwärme attraktiver machen (zu Förderungen, s. Kapitel 6.3.2).

⁸ Drucksache 20/7632 vom 5.7.2023 - Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Klimaschutz und Energie (25. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung – Drucksache 20/6872 – Entwurf eines Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes

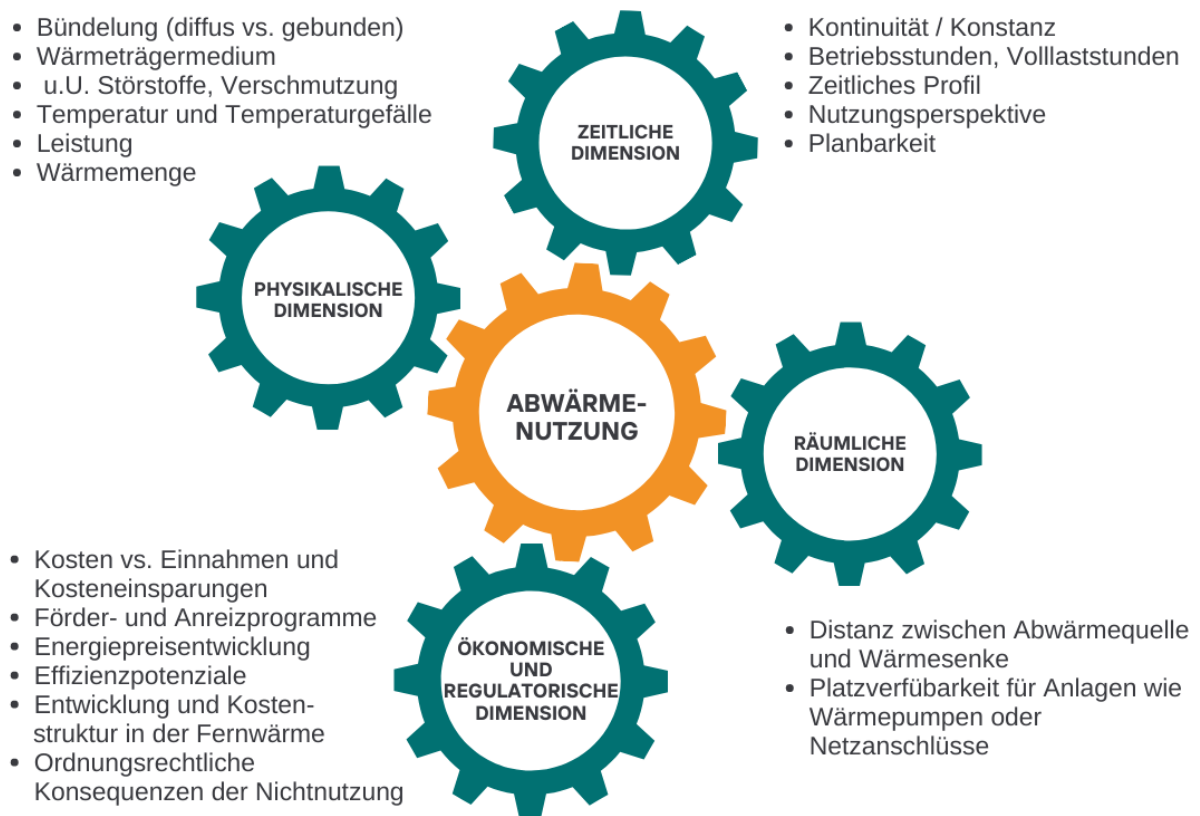


Abbildung 3: Eigenschaften zur Bewertung von Abwärmepotenzialen

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

Damit ein Projekt zur externen Nutzung von Abwärme tatsächlich zustande kommt, müssen verschiedene Aspekte aus den genannten Dimensionen zusammenkommen. Der Wert einer Abwärmequelle für eine externe Nutzung korreliert meist mit einer hohen Temperatur, einer großen Wärmemenge, einer hohen und konstanten zeitlichen Verfügbarkeit über einen längerfristigen Zeitraum und einer geringen räumlichen Distanz zum Wärmenetz. Bei günstiger Ausprägung mehrerer Merkmale kann jedoch auch eine Abwärmequelle mit relativ geringer Temperatur einen hohen Nutzen für den Klimaschutz erzielen und aus Sicht eines Wärmenetzbetreibenden attraktiv sein. Rechenzentren etwa haben den Vorteil, dass diese trotz vergleichsweise niedrigem Temperaturniveau der Abwärme konstante Wärmemengen über einen kontinuierlichen Zeitraum abgeben (s. Kapitel 3.1.3.3). Daher können auch niederkalorische Abwärmeströme ein wichtiges Element in der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung darstellen und sollten berücksichtigt werden.

3.1.3 Bewertung von Abwärmepotenzialen anhand von Prozessen und Branchen

Deutschlandweite Erhebungen der industriellen Abwärmepotenziale sind aufgrund der Komplexität von Abwärmeprozessen eher selten. Die ausgewerteten Studien basieren auf unterschiedlichen Methoden. So liegen teilweise theoretische Top-Down-Schätzungen vor, die die Abwärmepotenziale eines definierten Raumes anhand von allgemeinen Daten über Branchen und Prozesse abschätzen. Außerdem gibt es empirische Bottom-Up Erhebungen, die über Befragungen oder Messungen die Abwärmepotenziale in den jeweiligen Unternehmen ermitteln. Letztere kommen zu deutlich genaueren Resultaten, sind jedoch auch mit einem hohen Aufwand verbunden.

Eine häufig zitierte Top-Down Schätzung von Pehnt et al. (2010) errechnete für Deutschland ein technisches bzw. wirtschaftliches Abwärmepotenzial von 88 TWh/a (316 PJ/a) für den Temperaturbereich ab 140 °C und weiteren 44 TWh/a (160 PJ/a) für den Temperaturbereich zwischen 60 °C und 140 °C. Dies entsprach in etwa 12 % bzw. 6 % des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie in den jeweiligen Temperaturbereichen (Pehnt et al. 2010). Eine neuere, methodisch präzisere Bottom-Up Erhebung des Abwärmepotenzials von Brueckner et al. (2016) basiert auf den Emissionserhebungen im Rahmen der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV). Sie beziffert das Mindestpotenzial für nutzbare Abwärme im Bereich über 35 °C auf 35 TWh/a (127 PJ/a) für das Jahr 2008. Dabei handelt es sich um einen unteren Grenzwert, da die Erhebung nicht die Energieströme des gesamten verarbeitenden Gewerbes erfasst, sondern nur Abwärme im Abgas genehmigungsbedürftiger Anlagen nach der 11. BImSchV. Eine Extrapolation auf den nicht erfassten Anteil ergab ein Potenzial zwischen 61 TWh/a und 70 TWh/a (218 PJ/a – 252 PJ/a) (Brueckner et al. 2016). Eine methodisch darauf aufbauende Studie von Blömer et al. (2019), die die 11. BImSchV-Datengrundlage mit weiteren standortspezifischen Prozessstromesätzen in einer Datenbank mit etwa 4.000 Industriestandorten kombiniert, nähert sich den Ergebnissen von theoretischen Top-Down-Ansätzen und den extrapolierten Schätzungen aus Brueckner et al. (2016) an und kommt auf einen Wert von 52 TWh/a im Nieder- bis Mitteltemperaturbereich, das heißt für Temperaturen bis 300 °C, und 10,4 TWh/a im Hochtemperaturbereich, über 300 °C.

Die Bandbreite der Zahlen verdeutlicht, wie sich unterschiedliche Methodiken und Datengrundlagen auf das Ergebnis auswirken. Darüber hinaus ist zwischen dem theoretischen, dem technischen sowie dem tatsächlich nutzbaren Abwärmepotenzial zu unterscheiden. Bei letzterem spielen auch räumliche und ökonomische Aspekte eine Rolle, die die Nutzbarkeit einschränken können (Blömer et al. 2019). Insgesamt liegen die statistisch bzw. theoretisch berechneten Abwärmepotenziale und die von Unternehmen realisierbare Nutzbarmachung meist deutlich auseinander (Saena 2016). Dazu spielt neben den Potenzialen auf Seiten der Abwärmequellen auch die Eignung der Wärmesenken für eine Erschließung eine zentrale Rolle bei der Identifikation von tatsächlich nutzbaren Abwärmepotenzialen. Individuelle Erfahrungen und Einschätzungen von Industrie- und Gewerbebetrieben sowie Abwärmesenken über deren Abwärmepotenziale bzw. Aufnahmekapazitäten sind daher unbedingt im Zuge der Erhebung von Abwärmepotenzialen zu berücksichtigen.

Gleichwohl zeichnen sich bestimmte **Prozesse und Branchen** durch ein hohes Abwärmeaufkommen und auch durch eher günstige Eigenschaften der Abwärme für die Nutzbarkeit aus. Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Temperaturniveaus der Abwärmeströme relevanter Prozesse und Branchen. Anschließend folgt eine genauere Beschreibung ausgewählter Prozesse und Branchen, die verdeutlicht, dass viele Prozesse Abwärme über mehrere Temperaturniveaus liefern können. Somit gibt die Grafik nur eine grobe Orientierung zum Temperaturniveau der Prozesse.



Abbildung 4: Temperaturniveaus der Abwärmeströme von Prozessen und Branchen

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

Abwärmeströme lassen sich in die folgenden **typischen Kategorien** einteilen, die jeweils mit bestimmten Prozessen verbunden sind und die im Folgenden kurz charakterisiert werden:

- **Abgase oder Rauchgase** entstehen bei Verbrennungsprozessen. Diese können in Energieumwandlungsanlagen oder als Bestandteil von Produktionsprozessen stattfinden. Abgasen und Rauchgasen kann mit Wärmetauschern thermische Energie entzogen werden. Oft befinden sich Abgassysteme auf einem Temperaturniveau zwischen 130 °C und 300 °C, es können jedoch auch höhere Temperaturen auftreten. Bis zu 95 % der Wärme aus Abgasen kann genutzt werden (LfU 2012). Diese kann aufgrund des hohen Temperaturniveaus viele Anwendungsbereiche bedienen. So ist etwa eine direkte Einspeisung in ein Wärmenetz möglich.
- **Abluft** kann bei der Entlüftung **einzelner** Prozessmaschinen oder der Hallenentlüftung entstehen. Dabei treten Temperaturen zwischen 20 °C und mehreren 100 °C auf. Aus Abluft kann zwischen 30 % und 90 % der enthaltenen Energie zurückgewonnen werden (LfU 2012). Bei raumlüftungstechnischen Anlagen ist eine Wärmerückgewinnung Stand der Technik. Die Nutzung von Wärme durch Wärmerückgewinnung ist schon bei geringen Volumenströmen sinnvoll. Für die Nutzung der Abwärme muss die Abluft gebündelt in Kanälen vorliegen und kann direkt verwendet oder mit einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gehoben werden.
- Bei der Erzeugung von Kälte mit **Kühlprozessen**, etwa über eine Kälteanlage oder eine Maschinenkühlung, fällt Wärme als Nebenprodukt an. Diese Abwärme kann dem Kreislauf entzogen werden. Auch wenn das Temperaturniveau der Abwärme mit 25 °C bis 100 °C gering ist, ist eine Nutzung sinnvoll. Zwischen 35 % und 95 % der abzuführenden Kühlenergie können

zurückgewonnen werden (LfU 2012). Kühlprozesse sind meistens dauerhaft in Betrieb und somit steht Abwärme dauerhaft zur Verfügung. Mittels Wärmepumpen kann das Temperaturniveau noch erhöht werden. In vielen Branchen wie in der Gastronomie, der Lebensmittelbranche (wie Bäckereien), im Einzelhandel oder in Hotels bietet sich die interne Nutzung von Abwärme aus Kühlprozessen an, da Kältebedarfs- und Wärmebedarfsprofile gut übereinstimmen.

- Durch die Komprimierung eines Mediums entsteht Wärme. Bei der **Drucklufterzeugung** wird diese Wärme durch eine Kühlung der Druckluft und des Kompressors abgeführt. Als Kühlmedien werden Luft, Wasser oder Öl eingesetzt. Die Wärme kann direkt genutzt werden oder mittels Wärmetauscher entzogen werden. Somit sind bis zu 90 % der elektrischen Antriebsenergie der Kompressoren als Abwärme nutzbar. Bei Wasserkühlung sind Wassertemperaturen von bis zu 80 °C zu erreichen (LfU 2012).
- Warmes **Abwasser**, das in Industriebetrieben durch verschiedene Prozesse, wie z. B. Waschprozesse, entsteht, wird oft ungenutzt in die Kanalisation abgelassen. Die Energie des Abwassers kann durch einen Wärmetauscher im Abwassersystem ohne großen Aufwand sinnvoll genutzt werden. Selbst geringe Abwassertemperaturen unter 30 °C können mit einer Wärmepumpe auf ein für die Fernwärme nutzbares Niveau gehoben werden (LfU 2012).

Die Beschreibung der Prozesse sagt noch wenig darüber aus, in welchen Branchen diese Abwärmeströme anfallen, und ob sie für eine externe Nutzung geeignet sind. Die folgenden Kapitel gehen daher auf die Branchen ein, die in der vorliegenden Potenzialanalyse betrachtet wurden.

3.1.3.1 Abwärmepotenziale im verarbeitenden Gewerbe

Im **Verarbeitenden Gewerbe** (Wirtschaftszweige der Abteilungen C10-33) finden sich viele Prozesse, die mit hohen Abwärmepotenzialen einhergehen. Die höchsten Temperaturen fallen in **Schmelz-, Brenn-, oder Prozessöfen**, bei der Herstellung von Grundstoffen wie Roheisen oder Stahl sowie in der chemischen Industrie bei Nachverbrennungs- oder Wärmeprozessen an. Dabei liegen die Prozesstemperaturen häufig bei über 1.000 °C. Die daran anschließenden **Kühlprozesse** können nicht selten für die Abwärmegewinnung genutzt werden, wie z. B. bei Klinkerkühlanlagen in der Zementindustrie. Weiter unten auf dem Temperaturspektrum angesiedelt befindet sich die **Abwärme von Druck- oder Gießprozessen**, gefolgt von Abwärme von Querschnittstechnologien, wie sie in der Lebensmittel- und Textilindustrie verwendet werden: z. B. **Kochen, Pasteurisieren, Sterilisieren, Waschen, Trocknen**. Neben Betrieben wie Röstereien und Getränkeherstellung finden sich hier auch Bäckereien. Letztendlich ist auch die in vielen Industrien auftretende **Prozessabluft sowie Abluft aus raumluftechnischen Anlagen, Kühlprozessen und Druckluftsystemen** nicht unerheblich. Druckluftkompressoren erzeugen etwa Abluft, die ca. 20 °C wärmer ist als die Umgebungstemperatur – eine Wärmequelle, welche Unternehmen häufig bereits nutzen, um Raumwärme in den Fabrik- und Lagerhallen bereitzustellen (Wagner 2002; Pehnt et al. 2010; LfU 2012; Hirzel et al. 2013; dena 2015; Aydemir et al. 2019). Im Vergleich zu anderen deutschen Großstädten spielt das verarbeitende Gewerbe in Berlin eine eher kleine Rolle.

3.1.3.2 Abwärmepotenziale im Handels- und Dienstleistungssektor

Der in Berlin stark vertretene Dienstleistungssektor hat in den vergangenen Jahren in der Diskussion um die Erschließung von Abwärmequellen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Bei den meisten Abwärmeströmen handelt es sich um Niedertemperaturwärmeströme aus **Fort- und Abluft sowie Heiz-, Kühl-, oder Abwasser** bis zu einer Temperatur von 90 °C (Heizwasser von Kläranlagen) (Stark et al. 2020). Sofern die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung innerhalb der Betriebe bereits ausgeschöpft werden, steht die Abwärme nicht mehr für den externen Gebrauch zur

Verfügung. Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die für die externe Abwärmenutzung relevantesten Handels- und Dienstleistungsbranchen und ihre Zuordnung zu den Wirtschaftszweigen. Der Einsatz von Kühlhäusern kann in mehreren Wirtschaftszweigen etwa im Groß- und Einzelhandel (G45 - 47) und im Gastgewerbe (I55-56) angenommen werden. Nicht aufgeführt sind Wärmeströme aus Bürokomplexen, da letztere branchenübergreifend genutzt werden.

Tabelle 3.1: Eigenschaften der Abwärmepotenziale im Dienstleistungssektor

Quelle: Ergänzt auf Basis von Stark et al. (2020)

Branche (WZ08)	Abwärmemedium (Temperatur)	Typischer Leistungsbereich	Zeitliche Dynamik und Saisonalität
(Groß-) und Einzelhandel (G45 - 47)	Fortluft (5 – 30 °C)	100 – 500 kW	Öffnungszeiten meist Mo - Sa
	Kühlwasser (Sommer) (30 – 40 °C)		
	Abwasser (10 – 20 °C)	100 – 500 kW	Ganzjährig
U-Bahnschächte (H52213)	Fortluft (n/a)	Ca. 450 kW	Ganzjährig
Großküchen (I55-56)	Abwasser (20 – 30 °C)	< 100 kW	Je nach Anwendungsfall
Kühlhäuser (G46-47, H52, I55-56)	Kühlwasser (30 – 40 °C)	100 kW – 10 MW	Sommerlastig, Ausnahme Tiefkühlung
Rechenzentren (J631)	Kühlwasser (20 – 30 °C)	1 MW – 10 MW	Ganzjährig und durchgehend (jedoch sommerlastig)
Krankenhäuser (Q861)	Fortluft (5 – 30 °C)	100 kW – 1 MW	Ganzjährig (häufig Wärmerückgewinnung)
	Kühlwasser (30 – 40 °C)		Sommer
Wäschereien (S96010)	Abwasser (20 – 60 °C)	< 100 kW	Ganzjährig
	Abluft (20 – 40 °C)		
(Schwimm-) Bäder (S96040)	Abwasser (20 – 30 °C)	100 – 500 kW	Winterlastig, während Öffnungszeiten
	Fortluft (10 °C – 25 °C)		

Branche (WZ08)	Abwärmemedium (Temperatur)	Typischer Leistungsbereich	Zeitliche Dynamik und Saisonalität
Krematorien (S96032)			Unregelmäßig

3.1.3.3 Abwärmepotenziale in Rechenzentren

Im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie geht mit der **Kühlung von Rechenzentren** ein erhebliches Potenzial zur Bereitstellung von Abwärme einher. In Deutschland verbrauchten Rechenzentren im Jahr 2020 bereits etwa 16 TWh an Elektrizität (Clausen et al. 2020). Dies ist mehr als der gesamte Stromverbrauch der Stadt Berlin, der 2020 bei etwa 12 TWh lag (AfS BB 2021). Der in Rechenzentren verbrauchte Strom wird zur Kühlung in den Servern und in anderen Geräten in Wärme umgewandelt, die zu einem Großteil an die Umgebung abgegeben wird. Da die elektrische Energie nahezu vollständig in Wärme umgewandelt wird, steht diese theoretisch in vollem Umfang zur weiteren Nutzung zur Verfügung (Clausen et al. 2020; Grünwald und Caviezel 2022). Die Abwärme fällt in Rechenzentren ganzjährig an, allerdings kann häufig nicht die gesamte Abwärme genutzt werden, da der Wärmeverbrauch im Sommer gering ist.

Berechnungen von Hintemann (2021) zufolge könnte zukünftig der gesamte Wärmebedarf einer Großstadt wie Frankfurt am Main durch die in ihr erzeugte Abwärme aus Rechenzentren gedeckt werden. Allerdings ist die Dichte an Rechenzentren in Frankfurt am Main auch besonders hoch. Da Abwärme aus Rechenzentren nur eine Temperatur von etwa 30 °C aufweist, ist in der Regel eine Temperaturerhöhung vor der Nutzung erforderlich. Durch den **Einsatz von Wärmepumpen** mit hoher Arbeitszahl kann das Temperaturniveau angehoben und für eine externe Nutzung nutzbar gemacht werden. Diese Option wird zukünftig mit einer schrittweisen Absenkung der Wärmenetztemperaturen an Bedeutung gewinnen (Funke et al. 2019).

Für die weitere Entwicklung des Potenzials von Abwärme aus Rechenzentren ist die Weiterentwicklung der IT-Leistung von Rechenzentren entscheidend. In den letzten zehn Jahren hat sich die Kapazität von Rechenzentren in Deutschland auf etwa 2.100 MW in 2021 verdoppelt. Es wird weiterhin ein deutlicher Ausbau erwartet, wobei eine Expertenbefragung von Bitkom ergab, dass insbesondere die Bedeutung der Städte Frankfurt am Main und Berlin als Standorte für Rechenzentren zunehmen wird (Hintemann et al. 2022). Zudem ist davon auszugehen, dass vermehrt **Heißwasserkühlsysteme** eingesetzt werden (Weis 2017), die zu höheren Abwärmepotenzialen führen. So liegt im Falle der Heißwasserkühlung das Temperaturniveau der Abwärme bei 60 °C (Clausen et al. 2020), was teilweise eine direkte Nutzung ermöglicht (Funke et al. 2019). Bisher sind nach Einschätzung von Bitkom allerdings kaum Heißwasserkühlsysteme in Berlin im Einsatz.

Mehrere Entwicklungen wie etwa steigende Preise für fossile Brennstoffe und die geplante Erhöhung des CO₂-Preises führen dazu, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren verbessert und das Interesse von Rechenzentrenbetreibern an einer Abwärmenutzung steigt. Trotz dieses positiven Trends stellen hohe Anschlusskosten, weiterhin hohe Vorlauftemperaturen in Wärmenetzen sowie der Mangel an umfassenden Bestandsaufnahmen von Rechenzentren eine Hürde für eine flächendeckende Erschließung der Abwärmepotenziale in Rechenzentren dar (Clausen et al. 2020). Der zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts vorliegende Entwurf zum EnEFG sieht Stand Juli 2023 eine verpflichtende Nutzung von Abwärme in Rechenzentren vor (s. Kapitel 6.1).

3.1.3.4 Abwärmepotenziale in U-Bahntunneln und -stationen

In U-Bahntunneln und an **unterirdischen U-Bahnstationen** entsteht durch verschiedene Prozesse Wärme, etwa durch die Erdwärme des Untergrunds, durch das Anfahren und Abbremsen der Züge, Reibung sowie durch die Passagiere selbst (Davies et al. 2019; Suárez 2020). Die Wärme ist in der Luft diffus verteilt und kann über eine Bündelung der Abluft, etwa über Lüftungsschächte, erfasst werden. Die Temperatur im Winter liegt im Bereich von 8 bis 15 °C⁹ und damit deutlich über der Temperatur der Außenluft. Diese Wärme kann generell durch den Einsatz von Wärmetauschern und in Kombination mit einer Wärmepumpe nutzbar gemacht werden.

3.1.3.5 Abwärmepotenziale in der Elektrizitätserzeugung, -übertragung und -verteilung

Beim Betrieb von Gas- und Dampfturbinen, etwa in **KWK-Anlagen**, entweicht neben der gezielten Wärmeerzeugung mit dem Rauchgas eine niederkalorische Restwärme, die im Abgasstrom gebunden ist. Das Temperaturniveau liegt bei etwa 40 °C und kann über Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau angehoben werden (s. z. B. Braasch et al. 2017; FHW 2022; Vattenfall 2022a).

Die Höhe der jährlich auf diese Weise verlorenen Restwärme hängt von der Leistung und den Volllaststunden der Anlagen ab. Der Betrieb von KWK-Anlagen wird dabei stark durch die Entwicklung im Strommarkt bzw. den Ausbau erneuerbaren Energien und durch das Förderregime beeinflusst. Je höher der Anteil erneuerbarer Energien im Strommix wird, desto seltener sollen KWK-Anlagen laufen. KWK-Anlagen erhalten nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) in Form des KWK-Zuschlags eine Vergütung für den in der Anlage erzeugten Strom. Ab 2023 sind die förderfähigen Jahresvollbenutzungsstunden für neue, modernisierte und nachgerüstete KWK-Anlagen im KWKG auf 4.000 begrenzt, ab 2025 gelten 3.500 Vollbenutzungsstunden als Begrenzung. Ziel der Begrenzung ist es zu vermeiden, dass erneuerbarer Strom aus dem Netz gedrängt wird. Wegen des angestrebten Ausbaus der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist von einer weiteren Reduktion der förderfähigen Vollbenutzungsstunden auszugehen (Briem et al. 2020).

In der **Stromverteilung bzw. -übertragung** entsteht Abwärme beim Betrieb von Transformatoren in Umspannwerken, in der Stromverteilung oder -übertragung fällt beim Senken der Spannung im Kühlkreislauf Abwärme an, die üblicherweise an die Umgebungsluft abgegeben wird. Mit einem Wärmetauscher kann die Wärme dem Kühlmittel entzogen und auf einen Wärmeträger wie Wasser übertragen werden. Das Abwärmepotenzial ist abhängig von der Leistung der Transformatoren.

3.1.3.6 Abwärmepotenziale in der Gaserzeugung

Die Verfahren zur Erzeugung **von erneuerbaren Gasen** und dabei vor allem die Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse und Plasmalyse gehen mit der Bereitstellung von unvermeidbarer Abwärme einher. Bei der Elektrolyse wird Wasserstoff aus Strom und Wasser erzeugt, bei der Plasmalyse aus Strom und Stickstoffverbindungen wie etwa Ammonium. Aktuell spielt die Wasserstoffherstellung noch keine nennenswerte Rolle, es ist aber für die Zukunft, auch in Berlin, von einem Zubau an Anlagen zur Wasserstoffherstellung auszugehen. Die damit einhergehende Abwärme fällt auf einem Temperaturniveau von 60 bis 65 °C an und ist somit in Wärmenetzen nutzbar.

⁹ <https://www.reuseheat.eu/berlin/> (Zugriff: 17.05.2023)

3.2 Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme

Abwärme kann thermisch, vor allem für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, oder auch zur Bereitstellung anderer Energieformen, etwa für die Kälte- oder Strombereitstellung genutzt werden (s. Abbildung 5). Der Fokus der vorliegenden Analyse liegt auf der **thermischen Nutzung von Abwärme**. Sofern eine direkte thermische Nutzung von Abwärme wegen des Temperaturniveaus der Abwärme nicht möglich ist, kommt eine indirekte Nutzung in Frage, bei der das Temperaturniveau der Abwärme unter Energiezufuhr etwa mittels Wärmepumpen erhöht wird. Die Bereitstellung anderer Energieformen aus Abwärme zählt ebenfalls zur indirekten Nutzung (Hirzel et al. 2013). Abwärme kann prinzipiell intern, also innerhalb des Betriebs, oder extern bzw. betriebsübergreifend genutzt werden. Bei der internen Nutzung werden die prozessinterne und die betriebsinterne Nutzung unterschieden, wobei es sich im ersten Fall um eine Wärmerückgewinnung handelt, das heißt die Abwärme wird dem Prozess, der die Abwärme hervorbringt, erneut zugeführt. Bei der betriebsinternen Nutzung wird die Abwärme innerhalb des Betriebs für andere Prozesse verwendet, etwa für Raumwärme oder Warmwasser (Hirzel et al. 2013).

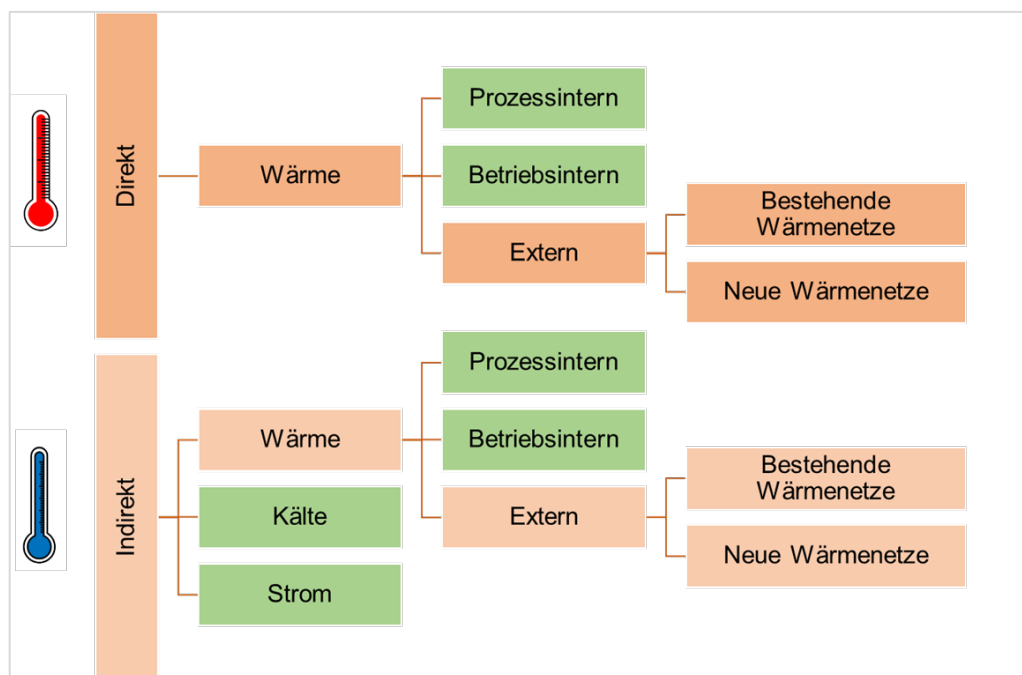


Abbildung 5: Direkte und indirekte Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

Die vorliegende Potenzialanalyse legt den Fokus auf die **externe bzw. betriebsübergreifende Nutzung**. Hier wird Abwärme über ein Wärmenetz zu den Verbraucher*innen transportiert, die sich abhängig von der Länge des Wärmenetzes am gleichen Standort oder auch weiter entfernt befinden können. Zudem stellen neue Wärmenetze einen potenziellen Wärmeabnehmer dar. Abhängig von der Temperatur der Abwärme sowie der Vorlauftemperatur des Wärmenetzes kann die Abwärme direkt genutzt werden oder die Temperatur der Abwärme muss zunächst über eine Wärmepumpe angehoben werden. Abwärme ist in Wärmenetzen eine Wärmequelle von vielen, neben Geothermie, Biomasse und Wärme aus Oberflächengewässern. Für die Versorgungssicherheit müssen Redundanz-Anlagen vorgesehen werden. Gerade bei Abwärmequellen können kurzfristige betriebsbedingte Stillstände auftreten, für deren Ausgleich Redundanzen erforderlich sind.

Soll die externe Nutzbarkeit von Abwärme bewertet werden, so ist einzuschätzen, ob ein Unternehmen auch zukünftig am jeweiligen Standort wirtschaften wird. Außerdem sind die **zukünftigen Möglichkeiten der betriebsinternen Nutzung** von Abwärme zu beachten, da diese zu einem Rückgang oder Wegfall der Abwärmepotenziale für die externe Nutzung führen könnten.

Um Abwärme nutzbar zu machen, muss sie in der Regel mit einem **Wärmeübertrager** bzw. Wärmetauscher¹⁰ auf einen sogenannten Nutzwärmeträger übertragen werden. Der Abwärmeträger, etwa ein Gas oder eine Flüssigkeit, übergibt seine Wärmeenergie mithilfe des Wärmeübertragers an den Nutzwärmeträger und heizt diesen auf. Wärmeübertrager sind somit meist ein zentraler Bestandteil aller Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme. Es gibt viele verschiedene Wärmeübertrager, die abhängig von dem Medium, der Temperatur des Abwärmestroms sowie weiterer Eigenschaften, etwa Verschmutzungen jeweils für unterschiedliche Anwendungen geeignet sind, etwa Plattenwärmeübertrager, Rohrbündelwärmeübertrager, Doppelrohrwärmeübertrager und Spiralwärmeübertrager. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in Saena (2016).

Je nach Qualität der Abwärme, der lokalen Situation und der Nutzungsoption sind neben dem Wärmeübertrager weitere Technologien wie Wärmespeicher und Wärmepumpen erforderlich.

Wärmespeicher dienen der zeitlichen Entkopplung von Abwärmeangebot und Wärmenachfrage, indem die Wärme über einen gewissen Zeitraum eingespeichert wird (Hirzel et al. 2013). Es gibt verschiedene Speichertechnologien, die sich hinsichtlich der Temperatur und der Speicherleistung unterscheiden, etwa sensible, latente und sorptive Wärmespeicher (Saena 2016). Ist ein Wärmenetz der Abnehmer für die Abwärme, so ist ein Wärmespeicher am Standort der Abwärmequelle meist nicht erforderlich, da das Wärmenetz teils selbst oder die an anderer Stelle an das Wärmenetz angebotenen Speicher die erforderliche Flexibilität bereitstellen. Im Zusammenhang mit Wärmenetzen sind saisonale Speicher von Relevanz, die es ermöglichen Wärmemengen in der Heizperiode nutzbar zu machen, da viele erneuerbare Wärme- und Abwärmequellen ganzjährig oder sogar primär im Sommer Wärme liefern, wohingegen die Wärmeverbräuche gerade im Herbst und Winter hoch sind (Dunkelberg et al. 2020). Saisonale Wärmespeicher sind jedoch dem Wärmenetz und seinem Erzeugerpark zuzuordnen und nicht einer einzelnen Abwärmequelle.

Wärmepumpen ermöglichen es, die Temperatur des Abwärmestroms durch einen Energieinput zu variieren. Eine Temperaturanhebung ist dann erforderlich, wenn die Temperaturanforderung auf Seiten des Wärmeabnehmers höher ist als die der Abwärme. Während einige industrielle Produktionsprozesse Abwärme mit Temperaturen von deutlich über 100 °C liefern, liegt die Temperatur von Abwärme aus Rechenzentren bei 25 bis 35 °C (Luftkühlung) oder ca. 60 °C (Heißwasserkühlung) (Clausen et al. 2020), die Abwärme aus U-Bahnstationen bei ca. 25 °C und die Abwärme aus der Elektrolyse bei ca. 60 °C (s. Kapitel 3.1.3). Die Temperaturen von Bestandwärmenetzen betragen meist um die 100 °C¹¹. Somit ist bei vielen Abwärmeströmen eine Wärmepumpe erforderlich.

Es können nach ihrer Funktionsweise verschiedene Wärmepumpen wie **Kompressionswärmepumpen, Ab- bzw. Adsorptionswärmepumpen** und **Rotationswärmepumpen** unterschieden

¹⁰ Saena (2016) klärt über die Begrifflichkeiten Wärmetauscher wie folgt auf: „In der Planung wird häufig der Begriff „Wärmetauscher“ genutzt. Er wird als missverständlich angesehen, weil er Wärmeströme in beide Richtungen suggeriert. Außerdem schließt er Bauarten aus, die gerade für die Abwärmenutzung in Betracht kommen, häufig aber außer Acht gelassen werden – vielleicht weil sie nicht als typische „Wärmetauscher“ ins Auge springen.“

¹¹ In Berlin liegen die Vorlauftemperaturen der Wärmenetze der drei großen Fernwärmebetreibende im Bereich 70 bis 135 °C, wobei die hohen Temperaturen nur in einzelnen Netzen und an sehr kalten Wintertagen auftreten (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023).

werden. Kompressionswärmepumpen werden in der Regel elektrisch betrieben. Sie erreichen vergleichsweise geringe Temperaturen von bis zu 65 °C, wobei es auch Lösungen mit höheren Temperaturen gibt. Adsorptionswärmepumpen werden im kleineren Leistungsbereich von bis zu 500 kW betrieben und erreichen Temperaturen von etwa 90 °C. Absorptionswärmepumpen decken einen großen Leistungsbereich bis 20 MW ab und können hohe Temperaturen von bis zu 300 °C bereitstellen. Der Wirkungsgrad ist deutlich geringer als bei Kompressionswärmepumpen (Hirzel et al. 2013; Saena 2016). Rotationswärmepumpen erreichen ebenfalls relativ hohe Temperaturen von bis zu 150 °C und können somit auch Prozesswärme aus industrieller und gewerblicher Abwärme bereitstellen (Erneuerbare Energien 2022). Die Eignung der jeweiligen Wärmepumpe hängt vom Anwendungsfall, dem Temperaturniveau der Wärmequelle und der Wärmesenke ab, und muss für den Einzelfall bewertet werden. Die Bandbreite an verfügbaren Technologien zeigt dabei auf, dass es für sehr viele unterschiedliche Anwendungsfälle geeignete Wärmepumpen gibt.

4 Status quo der Abwärmenutzung in Berlin

4.1 Mögliche Wärmesenken in Berlin

Eine geeignete Wärmesenke für Abwärme sind bestehende und neue Wärmenetze. Generell und auch in Berlin können große sowie kleinere Wärmenetze unterschieden werden, wobei letztere teilweise nur einen Block oder wenige Gebäude mit Wärme versorgen. Das Bundeskartellamt unterscheidet auf der Grundlage der Netzlänge vier Gruppen von Wärmenetzen: Großnetze mit einer Länge von mehr als 100 km, Mittelnetze mit einer Länge von 10 bis 100 km, Kleine Netze mit einer Länge von 1 bis 10 km und Kleinstnetze von einer Länge von weniger als 1 km (BKartA 2012).

In Berlin existieren die Wärmenetze der Betreibenden Vattenfall Wärme Berlin AG, BTB Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin und FHW Fernheizwerk Neukölln AG, die in die Kategorie der Großnetze fallen, sowie zahlreiche kleinere Wärmenetze. Da zu den Berliner Wärmenetzen, die den drei Kategorien kleinerer Wärmenetze zuzuordnen sind, nur wenige Informationen vorliegen, nimmt die vorliegende Analyse analog zur Wärmestrategie nur eine Unterscheidung zwischen großen Wärmenetzen mit einer Netzlänge von mindestens 100 km und kleineren Wärmenetzen, die alle anderen Wärmenetze umfassen, vor (Dunkelberg et al. 2021).

4.1.1 Große Wärmenetze

Berlin verfügt über **drei große Fernwärmenetze**: die Wärmeverbundnetze der Vattenfall Wärme Berlin AG (Vattenfall) und die Wärmenetze der Fernheizwerk Neukölln AG (FHW) sowie der BTB GmbH. Das größte Wärmenetz ist mit Abstand das Verbundwärmenetz der Vattenfall mit mehr als 2.000 km, das sich somit über große Gebiete des Berliner Stadtgebiets zieht. Die Netze von der BTB GmbH sowie der Fernheizwerk Neukölln AG sind mit 155 und 120 km Netzlänge deutlich kleiner (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023). Sie tragen jedoch ebenfalls zu der insgesamt hohen räumlichen Abdeckung des Berliner Stadtgebiets durch Fernwärme bei (s. Abbildung 6). Das Wärmenetz der Fernheizwerk Neukölln AG besitzt über eine Übergabestation eine physikalische Schnittstelle zum Verbundnetz der Vattenfall.

Zu den großen Wärmenetzen liegen vergleichsweise viele Informationen vor. So sind etwa die **räumliche Abdeckung** der Wärmenetze sowie die Fernwärmeverbräuche pro Bezirk, Gebäudeblock und Postleitzahl in den Berliner Energieatlas integriert. Auch zu wichtigen Eigenschaften wie den Vor- und Rücklauftemperaturen und dem Brennstoffeinsatz gibt es Daten und Informationen.

Das **Temperaturniveau** der Wärmenetze von Vattenfall variiert im Jahresverlauf zwischen 80 und 110 °C (West) bzw. zwischen 80 und 135 °C (Ost) im Vorlauf, wobei die hohen Temperaturen nur an sehr kalten Wintertagen auftreten (Vattenfall Wärme Berlin AG 2023). Die Temperaturniveaus in den beiden anderen Wärmenetzen liegen im Bereich zwischen 70 und 115 °C (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023). Die Rücklauftemperaturen variieren üblicherweise zwischen 45 und 65 °C. Die Einspeisung vieler Abwärmequellen in die Fernwärme, insbesondere der NTWS, erfordert somit eine Temperaturanhebung, sofern eine Einspeisung in den Vorlauf erfolgen soll.

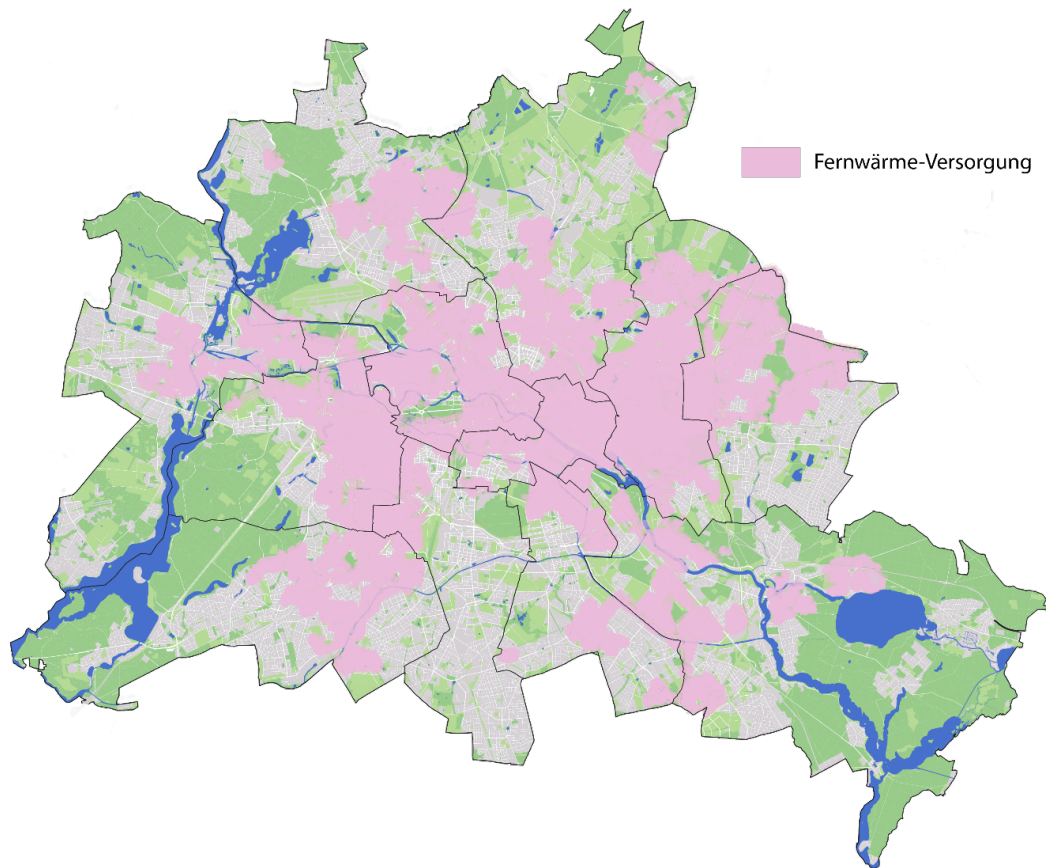


Abbildung 6: Versorgungsgebiete der drei großen Fernwärmebetreibenden in Berlin

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW; auf Datengrundlage des Energieatlas Berlin (Stand 2020)

Der **Energieträgereinsatz** für die Berliner Fernwärme ist in der Energie- und CO₂-Bilanz des Amtes für Statistik (AfS) Berlin-Brandenburg erfasst (AfS BB 2022). Im Jahr 2021 wie auch in den Jahren zuvor dominierte Erdgas als Energieträger (s. Abbildung 7). Steinkohle war in 2021 ebenfalls ein mengenmäßig relevanter Energieträger. Hinzu kommen erneuerbare Energien, vornehmlich in Form von Biogas und Biomasse, sowie „Andere“, wobei es sich vor allem um Wärme aus der Abfallverbrennung (Müllverbrennungsanlage Ruhleben, s. auch Kapitel 5.4.4) handelt. Bislang wurden einige wenige Projekte zur Nutzung industrieller und gewerbliche Abwärme und deren Einspeisung in die Fernwärme umgesetzt (s. Kapitel 4.2). Ein Großteil der Fernwärme wird aktuell in KWK erzeugt. Die mit Gas, Steinkohle und Biomasse betriebenen Heizkraftwerke tragen auch zur Berliner Stromversorgung bei. Im Jahr 2017 fand der Einsatz von Braunkohle in Berlin ein Ende, im EWG Bln ist der **Kohleausstieg** bis spätestens 2030 verbindlich festgelegt. Die Fernwärmeversorger streben größtenteils einen früheren Ausstieg aus der Steinkohleverbrennung an. Nach EWG Bln mussten die Fernwärmeversorger außerdem bis spätestens 30. Juni 2023 **Dekarbonisierungsfahrpläne** erstellen, die aufzeigen, dass und wie bis 2030 ein Anteil von mindestens 40 % der transportierten Wärme aus erneuerbaren Energien (EE) oder unvermeidbarer Abwärme erreicht wird (EWG Bln). Die drei großen Fernwärmebetreibenden haben die Dekarbonisierungsfahrpläne inzwischen veröffentlicht (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023) und stehen nun vor der Aufgabe, die vorgesehene Transformation umzusetzen.

Die Bundesregierung strebte es laut Koalitionsvertrag an, dass Wärmenetze bis 2030 einen Anteil von 50 % erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme aufweisen sollen (SPD et al. 2021). Der Entwurf zur Novellierung des GEG sowie das Gesetz für die Wärmeplanung und zur

Dekarbonisierung der Wärmenetze sehen jedoch nun vor, dass in Bestandnetzen bis 2030 nur mindestens 30 % der Wärme aus erneuerbaren Energien und Abwärme stammen müssen.

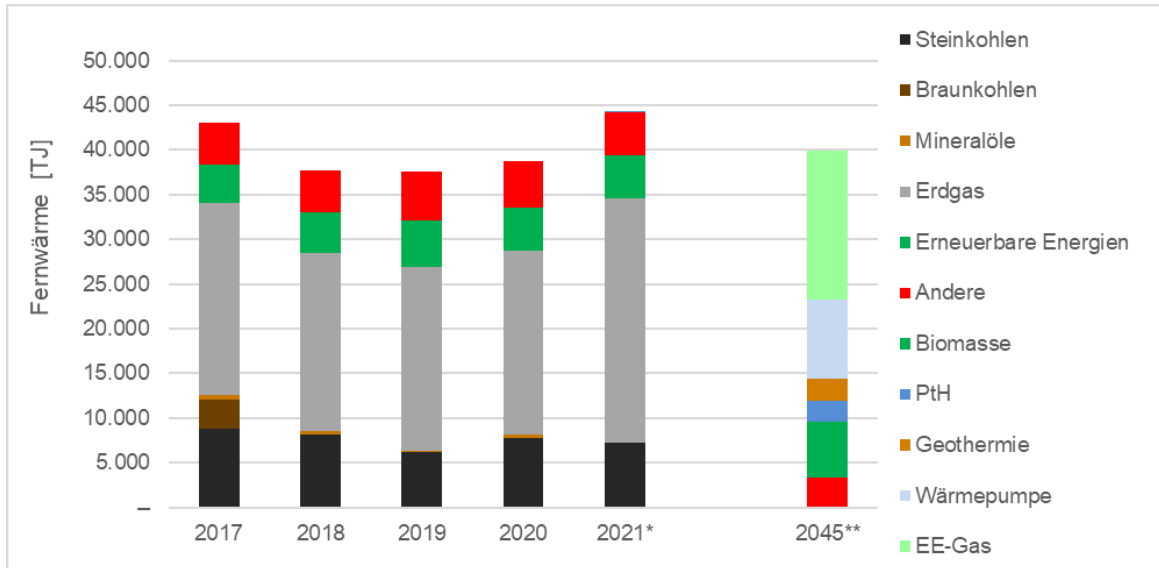


Abbildung 7: Energieeinsatz für die Berliner Fernwärme im Status quo und geplante Entwicklung

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW. Bis 2021: Daten aus der Energie- und CO₂-Bilanz von Berlin (AfS BB 2021), *2021 sind vorläufige Daten, *2045: Werte aus den Dekarbonisierungsfahrplänen von Vattenfall und BTB (BTB GmbH 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023), detaillierte Werte für die Wärmebereitstellung für das Wärmenetz der FHW AG lassen sich aus dem Dekarbonisierungsfahrplan nicht ableiten. Somit fehlen für die Darstellung der gesamten Fernwärme in 2045 643,7 GWh bzw. 2.317 TJ (FHW AG 2023).

Abbildung 7 verdeutlicht den großen Handlungsbedarf für die Transformation der Fernwärmeerzeugung in Berlin. Der Ausbau der Nutzung industrieller und gewerblicher Abwärme ist neben dem Ausbau der Biomassennutzung, dem Einsatz von Geothermie, von Power-to-heat (PtH) und von erneuerbaren Gasen eine wichtige Maßnahme, die die Fernwärmebetreibende verfolgen, um die erforderlichen Anteile an erneuerbaren Energien und Abwärme zu erreichen. Die Einbindung der Abwärme ist wegen der geringen Temperaturen der Abwärmequellen über den Einsatz von Wärmepumpen geplant. Zudem liegen Pläne zur Nutzung von Abwasserwärme, Flusswasserwärme und Geothermie vor (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023). Für die Integration von industrieller und gewerblicher Abwärme in Fernwärme sind wegen der betriebsspezifischen Besonderheiten meist individuelle Lösungen erforderlich. Es gibt jedoch deutschlandweit und auch in Berlin **einige erfolgreich umgesetzte Projekte**, die technische und auch wirtschaftlich attraktive Lösungen aufzeigen (Engelmann et al. 2021).

4.1.2 Kleinere Wärmenetze

Neben den großen Wärmenetzen gibt es eine Reihe kleinerer Wärmenetze, die von Akteuren wie den städtischen Wohnungsbaugesellschaften bzw. ihren Energiedienstleistungs-Tochterunternehmen und diversen Energieversorgungsunternehmen betrieben werden. Sie versorgen teilweise wenige Gebäude oder einzelne Blöcke bzw. Quartiere mit Wärme. Zu diesen Wärmenetzen, ihrer Lage und dem Technologie- und Brennstoffeinsatz liegen für Berlin wenige Informationen vor.

Im Zuge der Erstellung der Wärmestrategie erfolgte eine Befragung von 40 potenziellen Betreibern. Neun der 40 angefragten Betreiber stellten Informationen zu insgesamt 65 kleineren Wärmenetzen und ihrem Energieträgereinsatz bereit. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Anzahl an kleineren Wärmenetzen in Berlin insgesamt deutlich größer ist. Die Befragung ergab ein heterogenes Bild zu den kleinen Wärmenetzen, was die Netzlänge (bis zu 6.000 m), die Anzahl der versorgten Wohnungen pro Wärmenetz (zwischen 40 und 2.700 Wohnungen), die Netztemperatur im Vorlauf (40 bis 110 °C) und die eingesetzten Energieträger anbelangt. Fossile Energieträger und darunter Erdgas dominieren mit 84 % der bereitgestellten Wärme klar, knapp 7 % der Wärme resultiert aus Biomasse bzw. Biogas (Dunkelberg et al. 2021).

Bekannt sind außerdem noch die etwa zehn Inselnetze, die Vattenfall betreibt und die in der Summe etwa 120 km Netzlänge aufweisen und in 2021 einen Wärmeabsatz von 400 GWh abdecken. Überwiegender Energieträger in den Inselnetzen ist Gas (Vattenfall Wärme Berlin AG 2023).

Die bestehenden kleineren Wärmenetze tragen somit bislang kaum dazu bei, das Potenzial lokaler erneuerbarer Wärme- und Abwärmequellen auszuschöpfen. Inwiefern sie zur Einbindung von industrieller und gewerblicher Abwärme geeignet sind, hängt vor allem von der räumlichen Entfernung zur Wärmequelle sowie von den Angebots- und Verbrauchsprofilen ab.

4.1.3 Neue Wärmenetze

Neben den bestehenden Wärmenetzen können neue Wärmenetze eine mögliche Wärmesenke für industrielle und gewerbliche Abwärme sein. Neue Wärmenetze haben gegenüber bestehenden Wärmenetzen den Vorteil, dass sie bei entsprechender Abnehmerstruktur (Neubau bzw. sanierter Altbau) bereits von vornherein mit geringen Vorlauftemperaturen als **Niedertemperatur- bzw. LowEx-Wärmenetze** geplant und umgesetzt werden können. Dies führt dazu, dass auch Niedertemperatur-Wärmequellen etwa aus dem Gewerbe effizient und mit geringen Wärmeverlusten in die Wärmeversorgung eingebunden werden können (Sandrock et al. 2020).

Eine Alternative zu Niedertemperaturwärmenetzen sind **Kalte Wärmenetze**, teilweise auch als Wärmenetze 5.0 bezeichnet. Kalte Wärmenetze weisen geringe Vorlauftemperaturen von 5 °C bis 35 °C auf, sodass in den angeschlossenen Gebäuden eine dezentrale Temperaturerhebung über Wärmepumpen erforderlich ist. Neben Wärme können Kalte Wärmenetze auch Kälte für die angeschlossenen Gebäude bereitstellen. Aus der Kühlung entsteht wiederum Abwärme, die in das Wärmenetz gespeist werden kann. So ist es möglich die Wärme- und Kältebedarfe im Quartier teilweise auszugleichen. Wegen der geringen Vorlauftemperaturen in Kalten Wärmenetzen können NTWS wie etwa Abwärme aus Rechenzentren oder Abwasserwärme eingebunden werden. Zudem kann Wärme aus dem Erdreich über die ungedämmten Rohre von Kalten Wärmenetzen aufgenommen werden. Wärmeverluste treten wegen der geringen Temperaturen kaum auf. Besonders geeignet für Kalte Wärmenetze sind Neubaugebiete, aber auch Bestandsgebiete mit sanierten Gebäuden können sich eignen (RWTH Aachen et al. 2021).

Die Entwicklung und Umsetzung von **Quartierswärmenetzen**, ob als Niedertemperaturnetze oder Kalte Wärmenetze, ist gerade in Bestandsgebieten kein Selbstläufer. Herausforderungen für die Umsetzung sind etwa die häufig hohe Diversität in der Eigentumsstruktur der Gebäude, die unterschiedlichen Sanierungszustände der Gebäude, fehlende Erfahrungen bei der Ausschreibung und Koordination von Vorhaben. Dunkelberg et al. (2022) zeigen auf, dass öffentliche Gebäude, inklusive der Gebäude der städtischen Wohnungsbaugesellschaften, geeignete Keimzellen für neue

Wärmenetze darstellen. Über eine Verschneidung von Daten zu öffentlichen Gebäuden oder anderen Verbrauchern mit Informationen zu Wärmequellen wie Abwasserwärme oder auch industrielle und gewerbliche Abwärme können im Zuge der Wärmeplanung geeignete Quartiere für Wärmenetze identifiziert werden (Dunkelberg et al. 2022; Gürtler et al. 2022). Die Aufgabe, geeignete Quartiere zu finden, können die Bezirke, aber auch andere Akteure wie die Energieversorger oder die Wohnungswirtschaft übernehmen. Daten- und Kartenmaterial zu den Wärmeabnehmer*innen und -verbräuchen sowie zu den lokalen Wärmequellen sind hierfür eine Voraussetzung. Die vorliegende Potenzialanalyse stellt somit ein Element für die Erarbeitung des erforderlichen Datenmaterials dar.

4.1.4 Netzausbau und Nachverdichtung

Eine Studie von Riechel und Koziol (2022) hat die Potenziale zur Ausweitung der netzgebundenen Wärmeversorgung untersucht. Dabei unterscheidet die Studie drei Strategien: die Verdichtung in bestehenden Netzen über die Akquise zusätzlicher Kunden, die Erweiterung vorhandener Wärmenetze durch den Bau neuer Leitungen zur Anbindung neuer Kunden und durch die Errichtung neuer quartiersbezogener Inselnetze. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass etwa 30 % aller Wohngebäude in Berlin für eine zentrale Wärmeversorgung über Wärmenetze geeignet sind. Dies entspricht wegen des hohen Anteils an Mehrfamilienhäusern in Berlin etwa 80 % des Gesamtwärmebedarfs der Berliner Wohngebäude, sofern von einer energetischen Sanierung nach Modernisierungszustand 1 des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU 2015) ausgegangen wird. Die Ergebnisse bestätigen somit, dass der in der Machbarkeitsstudie „Berlin Paris konform machen“ und der „Wärmestrategie für das Land Berlin“ anvisierte Ausbau der netzgebundenen Wärmeversorgung auf 44 % bezogen auf den zukünftigen Endenergieverbrauch im Wärmesektor¹² möglich ist und sogar weitreichendere Potenziale für Wärmenetze bestehen (Riechel und Koziol 2022).

4.2 Umgesetzte Projekte zur Abwärmenutzung in Berlin

In Berlin gibt es einige wenige erfolgreich umgesetzte Projekte zu Abwärmenutzung und Integration der Abwärme in die netzgebundene Wärmeversorgung. Beispielhaft zu nennen sind folgende:

- **Abwärme der Königlichen Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM)**
Seit 2017 werden jährlich ca. 80 MWh¹³ Abwärme aus der Porzellanherstellung der Königlichen Porzellan-Manufaktur Berlin (KPM) in das Fernwärmenetz von Vattenfall eingespeist. Vier Brennöfen der KPM wurden hierfür mit einer Wärme-Rückgewinnungsanlage gekoppelt, mit der Wasser auf 110 °C erhitzt und in die Fernwärme eingebunden wird (Vattenfall 2020).
- **Abwärme des Rechenzentrums von NTT in Marienfelde**
In Marienfelde ist im Jahr 2022 ein neues Rechenzentrum in Betrieb genommen worden. Ein Teil der durch die Kühlung entstehenden Abwärme soll in ein von der GASAG betriebenes Wärmenetz eingespeist werden und den benachbarten Gewerbepark Marienpark sowie weitere sich in der Nähe befindende Abnehmer*innen mit Wärme versorgen.

¹² Hirsch et al. (2021) und Dunkelberg et al. (2021) gehen für die meisten Gebäude von einem höheren Sanierungsniveau aus, sodass die Prozentwerte nicht in Gänze vergleichbar sind.

¹³ Der Wert stammt aus der Präsentation während des ersten Fachworkshops zur Bestimmung der Abwärmepotenziale in Berlin durch Vattenfall Wärme Berlin AG.

- **Qwark3: Quartiers-Wärme-Kraft-Kälte-Kopplung am Potsdamer Platz**
Am Potsdamer Platz wollen die Unternehmen Vattenfall und Siemens Energy eine Großwärmepumpe errichten, um die Abwärme aus der Kältezentrale, die dort für die Kühlung der Gebäude betrieben wird, für das Wärmenetz nutzbar zu machen. Es sollen mit der Wärmepumpe Temperaturen von 85 bis 120 °C erreicht werden (Vattenfall 2022b)
- **Penta Infra: Abwärme aus Rechenzentrum für die Mikroalgenproduktion**
Die Unternehmen Penta Infra und Scale Up Technologies planen die Nutzung der Abwärme eines Rechenzentrums in Mahlsdorf für die Mikroalgenproduktion. Die Blaualgen binden CO₂ aus der Außenluft und können als Nahrungsergänzungsmittel oder in der Kosmetikproduktion genutzt werden (Scale Up Technologies 2022).

Darüber hinaus gibt es **Beispiele für die Nutzung der Restwärme**, die beim Betrieb von Blockheizkraftwerken (BHKW) im Rauchgas enthalten ist. Es handelt sich hier definitionsgemäß nicht um Abwärme, technologisch ist es jedoch vergleichbar zu Nutzung von Abwärme in Abgasströmen.

- **Vattenfall: Nutzung der Restwärme der Dampf- und Gasturbine in Buch**
Beim Betrieb der Dampf- und Gasturbinen in Buch fällt Restwärme mit einer Temperatur von 40 °C an. Mit einer Wärmepumpe wird das Temperaturniveau dieses Wärmestroms erhöht und über einen Kondensator letztlich die Rücklauftemperatur des Wärmenetzes auf 65 °C angehoben. Diese Wärmeenergie muss nicht mehr durch die fossil betriebenen KWK-Anlagen bereitgestellt werden, die den Vorlauf auf 80 bis 135°C erhitzen (Vattenfall 2022a).
- **FHW Neukölln: Restwärme der BHKW**
In 2023 wird ein neues BHKW mit einer Leistung von 10 MW, sowohl elektrisch als auch thermisch, Strom und Wärme in Neukölln bereitstellen. Kombiniert wird das BHKW mit einer Großwärmepumpe mit einer Leistung von 1,3 MW, die die Restwärme im Rauchgas ähnlich wie in Buch über das Fernwärmenetz nutzbar macht (FHW 2022).

Die meisten der umgesetzten und konkret geplanten Vorhaben zur Abwärme speisen Wärme in bestehende oder in neue, geplante Wärmenetze ein. Nicht zu allen Projekten zur Abwärmenutzung in Berlin ist bekannt, welche Wärmemengen pro Jahr bereitgestellt werden, es ist aber davon auszugehen, dass die Wärmemengen in der Summe unter 150 GWh/a liegen. Im Verhältnis zu der gesamten Berliner Fernwärme von etwa 12 TWh/a (Dunkelberg et al. 2021) ist dies ein bislang fast zu vernachlässigender Anteil. Die bereits umgesetzten Projekte zeigen aber die Chancen und die verschiedenen Möglichkeiten der Abwärmenutzung in Berlin auf.

5 Abwärmepotenziale in Berlin

Primäre Ziele des Vorhabens waren die Erhebung der Berliner Abwärmepotenziale im Status quo, soweit möglich ihre Georeferenzierung sowie eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklung der Potenziale. Dieses Kapitel beschreibt die Methodik zur Erhebung sowie die Ergebnisse unterteilt nach Bereichen und Branche und mündet in einer Gesamtschau über alle Abwärmepotenziale.

5.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands

Bei der Erhebung und Ausweisung von Abwärmepotenzialen sind das theoretische, das technische und das nutzbare Abwärmepotenzial zu unterscheiden. Bei letzterem spielen vor allem ökonomische, aber auch räumliche und weitere Aspekte eine Rolle, die die Nutzbarkeit einschränken können (Blömer et al. 2019). Die Zielgrößen der durchgeführten Potenzialabschätzung waren das theoretische Abwärmepotenzial und weiterführend das technische Angebotspotenzial (s. Abbildung 8).

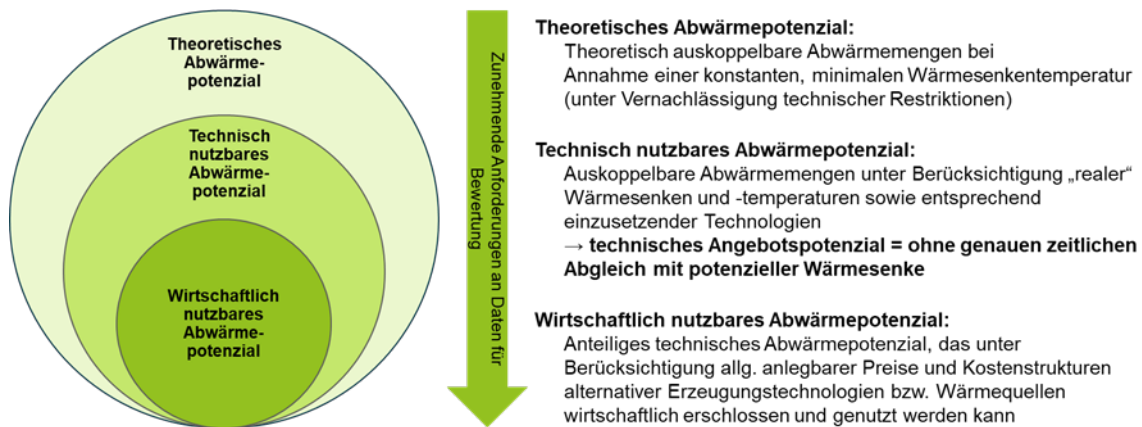


Abbildung 8: Schema der Abschichtung von Abwärmepotenzialen

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu

In der Potenzialanalyse wurden das theoretische und das technische Angebotspotenzial berechnet. Dafür wurden im Wesentlichen die Annahmen zur möglichen Höhe der Auskühlung des jeweiligen Abwärmestroms variiert (geringere Auskühlung beim technischen Potenzial) und beim technischen Potenzial zusätzlich normative Restriktionen berücksichtigt (Wärme aus KWK-Anlagen wird nicht als Abwärme gewertet). Bei der Potenzialerhebung wurden die in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Kategorien von Abwärmeströmen 1. Abgase oder Rauchgase, 2. Abluft, 3. Abwärme aus der Erzeugung von Kälte mit Kühlprozessen, 4. Abwärme aus der Komprimierung eines Mediums (Druckluft) und 5. warmes Abwasser berücksichtigt.

Eine genaue Beschreibung der Berechnungsmethode und der Annahmen für die Bestimmung des theoretischen und technischen Angebotspotenzials ist im Anhang (s. Kapitel 8.2) zu finden.

5.2 Methodik zur Erhebung der Abwärmepotenziale

Die Ermittlung der Abwärmepotenziale in Berlin erfordert wegen der Diversität der potenziellen Quellen verschiedene methodische Ansätze (vgl. Kapitel 3.1). Ziel dieses Vorhabens war es, eine empirische Datengrundlage zur Abschätzung der bisher ungenutzten Abwärmemengen in Berlin zu schaffen. Für die Erhebung der Abwärmepotenziale wurden eine Online-Umfrage konzipiert und

Expertengespräche durchgeführt. Als Grundlage für die Erhebungen wurde eine Zusammenstellung von Wirtschaftszweigen mit erwarteten theoretischen Abwärmepotenzialen erstellt und dem jeweiligen Wirtschaftszweig eine Erhebungsmethodik zugeordnet (s. Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2: Übersicht über die Methodik der Potenzialermittlung nach Wirtschaftszweigen mit theoretischen Abwärmepotenzialen

Wirtschaftszweige (Systematik WZ 08)	Erhebungsmethodik
Verarbeitendes Gewerbe (C10-C33)	Online-Umfrage
Elektrizitätserzeugung, -übertragung und -verteilung (E35.11-E35.13)	Expertengespräch
Gaserzeugung und Gasverteilung durch Rohrleitungen (E35.21, E35.22)	Expertengespräch
Abfallbehandlung und -beseitigung (E38.2)	Expertengespräch
(Groß-) und Einzelhandel (G45 - 47)	Online-Umfrage
U-Bahnschächte (H52.213)	Expertengespräch
Großküchen (I55-56)	Expertengespräch
Rechenzentren (J63.1)	Online-Umfrage, Expertengespräch
Krankenhäuser (Q86.1)	Online-Umfrage
Wäschereien (S96.010)	Expertengespräch
Krematorien (S96.032)	Online-Umfrage

Der Fokus des quantitativen Teils der Potenzialanalyse lag auf der Erhebung der Abwärmepotenziale in Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes, da bisher keine Unternehmensangaben zu den prozess- und standortspezifischen Abwärmepotenzialen in Berlin vorlagen, und der Abwärmepotenziale in Rechenzentren, da diese als Abwärmequellen zukünftig an Bedeutung gewinnen könnten. Zielgrößen waren das theoretische und das technische Angebotspotenzial an Abwärme (vgl. Kapitel 5.1).

Um eine Hochrechnung der Abwärmepotenziale für das verarbeitende Gewerbe durchzuführen, wurde im Anschluss an die empirischen Erhebungen eine Input-Output-Analyse durchgeführt. Dafür wurden vorhandene statistische Daten des Landes Berlin zum Energieverbrauch nach Wirtschaftszweigen ausgewertet. Außerdem wurde eine Sekundärliteraturanalyse zu typischen, branchenspezifischen Abwärmequoten, das heißt der Abwärmemenge im Verhältnis zum Energieeinsatz, durchgeführt, um Lücken in den empirisch erhobenen Daten zu füllen. Die Ergebnisse der empirischen Erhebungen zu den Abwärmepotenzialen und der Hochrechnung sind in Kapitel 5.3 dargestellt. Da für die Hochrechnung der Abwärmepotenziale im verarbeitenden Gewerbe auch auf

Ergebnisse der Unternehmensbefragung zurückgegriffen wurde, wird das Verfahren der Hochrechnung in Kapitel 5.3.2.2 genauer beschrieben. Auch die Konzeption und die Durchführung der Online-Umfrage und der Expertengespräche werden nachfolgend genauer beschrieben.

5.2.1 Unternehmensbefragung

Ziel der Unternehmensbefragung war es, detaillierte Daten zu den real verfügbaren Abwärmeströmen in ausgewählten Branchen und an einzelnen Standorten in Berlin zu erhalten. Für die Umfrage wurde zunächst eine Liste der zu befragenden Unternehmen erstellt und ein angepasstes Umfragedesign mittels eines Online-Fragebogens entwickelt.

5.2.1.1 Auswahl befragter Unternehmen

Für die Unternehmensbefragung wurde eine Liste von Unternehmensstandorten des verarbeitenden Gewerbes, Teilen des GHD-Sektors und von Rechenzentren in Berlin erstellt. Von der Sen-MVKU wurde eine Standortliste bereitgestellt, die eine Zusammenstellung aus verschiedenen Datensätzen darstellte. Sie beinhaltete Daten zu Anlagen mit CO₂-Emissionen nach dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG), genehmigungsbedürftige Anlagen und Nebenanlagen nach § 4 BImSchG, genehmigungsbedürftige Anlagen – Betriebsstätten, sowie genehmigungsbedürftiger Feuerungsanlagen im Jahr 2016 aus dem Umweltatlas Berlin und zusätzliche Erhebungen bzw. Ableitungen aus den bestehenden Daten. Weiterhin wurden Vorarbeiten zu den Abwärmepotenzialen in einzelnen Gebieten der Stadt, wie dem Versorgungsgebiet VG 1 des Verbundnetzes von Vattenfall aus der Machbarkeitsstudie „Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“ (BET 2019) und für das Versorgungsgebiet der Fernheizwerk Neukölln AG (FHW) aus dem Forschungsprojekt „Urbane Wärmewende“ (Dunkelberg et al. 2020) berücksichtigt und zusätzliche Unternehmen in die Liste integriert. Über eine Internetrecherche und telefonische Kontaktaufnahme wurden Kontaktdaten ergänzt sowie geschlossene Standorte aussortiert.

Der Fokus bei der Vervollständigung der Standortliste wurde auf das verarbeitende Gewerbe gelegt, da hier mit größeren thermisch relevanten Energieumsätzen pro Standort zu rechnen ist, als in anderen Branchen des Handels- und Dienstleistungssektors. Auch Rechenzentren als zukünftig bedeutender werdende Abwärmequellen wurden priorisiert berücksichtigt. Aus dem GHD-Sektor wurden zudem Krankenhäuser, Krematorien sowie Groß- und Einzelhandel in die Standortliste aufgenommen. Hierzu wurden aus der Online-Datenbank der Industrie- und Handelskammer (IHK) Berlin nach Unternehmensgröße gefilterte Stichproben als Datengrundlage verwendet. Es wurden 22 Krankenhäuser und 21 Unternehmen des Groß- und Einzelhandels in die Standortliste aufgenommen. Für alle andere Branchen wurden Experteninterviews durchgeführt (vgl. Kapitel 5.2.2).

Abbildung 9 zeigt die Verteilung der Unternehmensstandorte nach Wirtschaftszweigen in der finalen Liste für die Befragung. Alle Betriebe in der Liste wurden eingeladen zu allen Standorten, sofern es mehrere in Berlin gibt, Auskunft zu geben. Für Rechenzentren wurde das Umfragedesign speziell auf Rechenzentren angepasst.

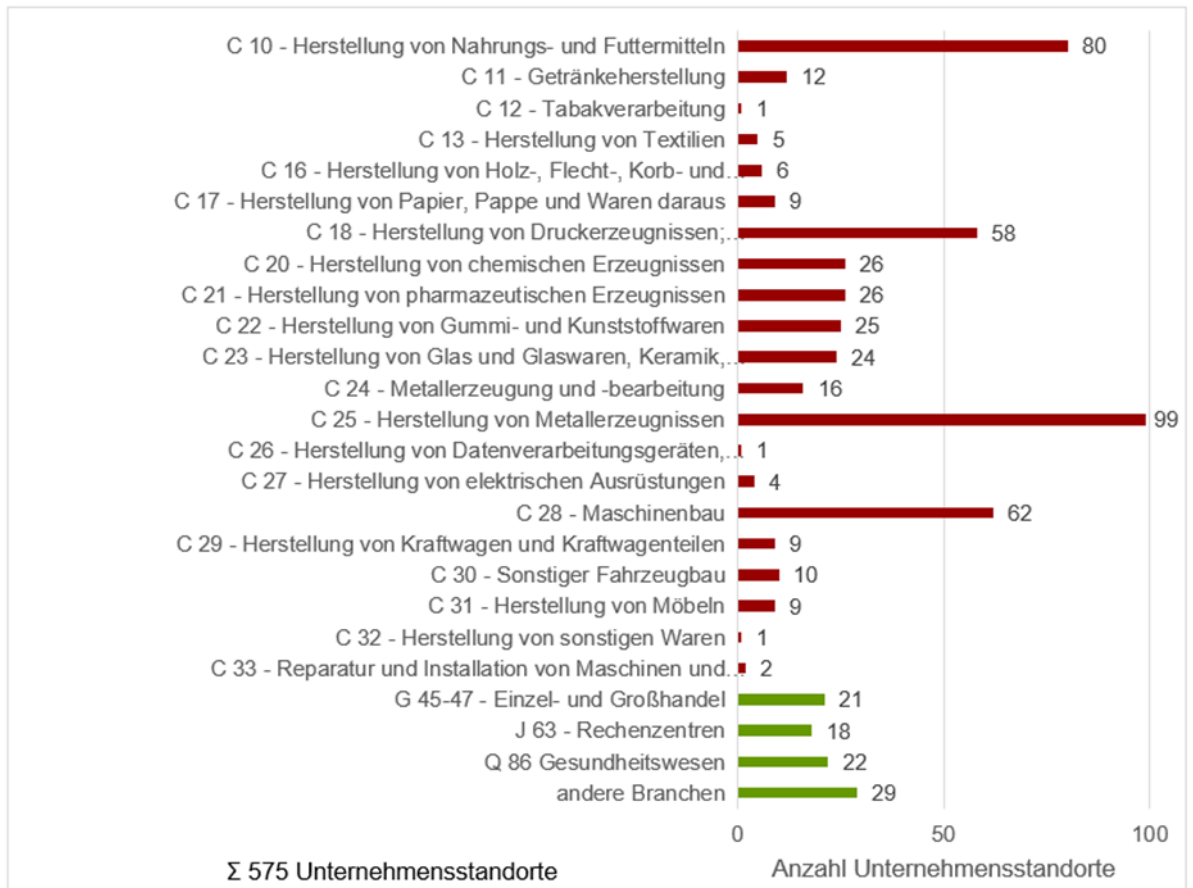


Abbildung 9: Befragte Unternehmensstandorte nach Wirtschaftszweig (Online-Umfrage)

In Rot sind die Unternehmensstandorte des Verarbeitenden Gewerbes dargestellt und in Grün die Unternehmen des GHD-Sektors. Quelle: Eigene Darstellung, ifeu

5.2.1.2 Umfragedesign

Ziel des Umfragedesigns war es, eine detaillierte, aber intuitiv handhabbare Abfrage von Energieeinsätzen, Daten zu einzelnen Abwärmeströmen und Einschätzungen der Nutzungsmöglichkeiten zu ermöglichen. Gleichzeitig sollte der Zugang zur Umfrage niederschwellig und die Daten schnell digital auswertbar sein. Um diese Zwecke zu erfüllen, wurden zwei Online-Umfragen erstellt, eine für Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und des GHD-Sektors und eine zweite speziell für Rechenzentrenbetreibende. Die Umfragen konnten innerhalb der Unternehmen weitergegeben, an unterschiedlichen Rechnern bearbeitet und zwischengespeichert werden. Für die Online-Umfrage wurde das Online-Tool „Lime-Survey“ verwendet.¹⁴ Der Aufbau der Online-Umfrage bzw. der Online-Fragebögen ist in Abbildung 10 schematisch dargestellt.

¹⁴ <https://www.limesurvey.org/> (Zugriff: 20.07.2023)

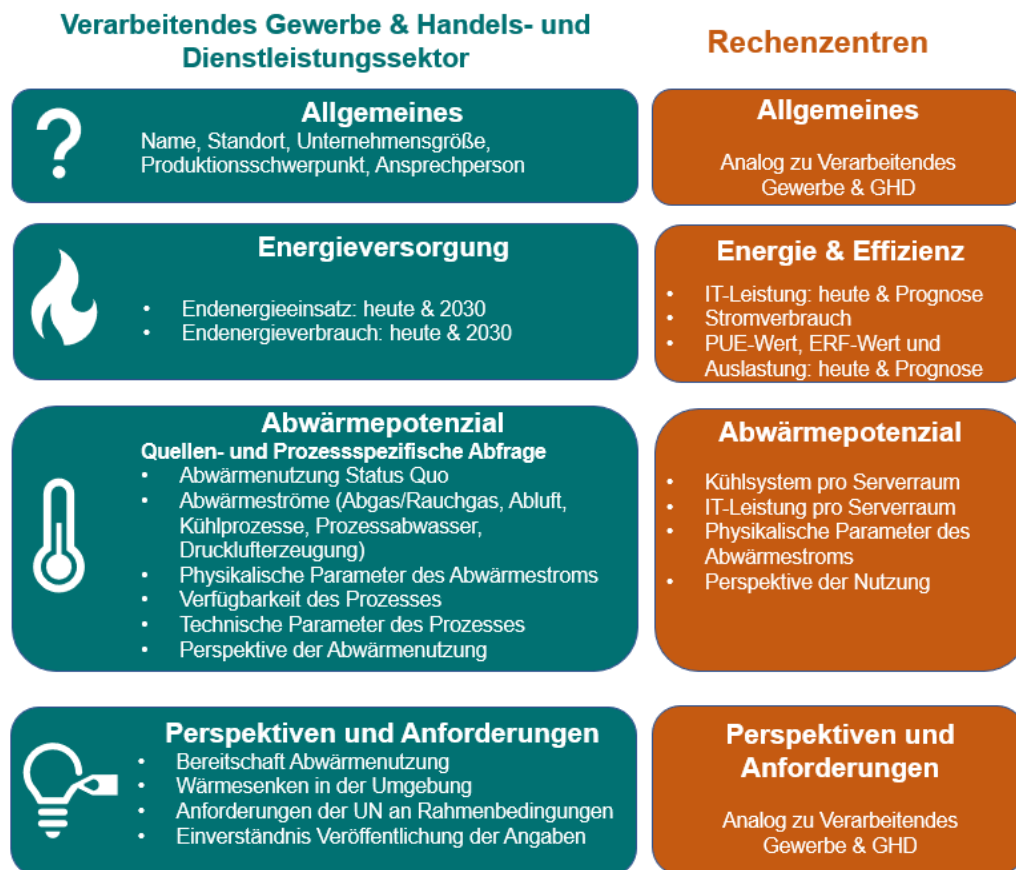


Abbildung 10: Thematischer Aufbau der Unternehmensumfrage für das Verarbeitende Gewerbe, Handels- und Dienstleistungssektor, sowie für Rechenzentren

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu

Die Umfrage untergliederte sich in vier Themengebiete. Zunächst wurden allgemeine Informationen zum Unternehmen abgefragt. Im zweiten Teil wurde die Energieversorgung behandelt. Hier wurden Fragen zum Jahresverbrauch und Energieträgereinsatz gestellt und Perspektiven abgefragt. Im Fragebogen für Rechenzentren wurden im zweiten Teil neben Stromverbrauch und IT-Leistung auch technische Kennwerte zur Effizienz wie die Power Usage Effectiveness (PUE) und der Energy Reuse Factor (ERF) sowie die jährliche Auslastung erfragt.¹⁵

Im dritten Teil sollten die Abwärmepotenziale möglichst genau identifiziert und quantifiziert werden. Für Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und des GHD-Sektors werden Abwärmeströme gemäß der Kategorisierung in Kapitel 3.1.3 eingeteilt in 1. Abgas/ Rauchgas, 2. Abluft, 3. Kühlprozesse, 4. Prozessabwasser, 5. Drucklifterzeugung. Zu jedem im Unternehmen verfügbaren Abwärmestrom konnten detaillierte und prozessspezifische Angaben gemacht werden. Hierbei wurden sowohl technische Parameter zum Prozess wie Prozessart und Energieinput als auch physikalische Parameter zur Abwärme wie Temperatur und Volumenstrom abgefragt. Je nachdem, welche Daten im Unternehmen zur Verfügung standen, konnten aus beiden Angaben Abwärmepotenziale abgeleitet werden. Zudem wurde die zeitliche Verfügbarkeit der Abwärmeströme abgefragt. Es

¹⁵ Der PUE gibt das Verhältnis des gesamten Stromeinsatzes eines Rechenzentrums zum Stromeinsatz speziell für die Informationstechnologie wieder. Je niedriger zusätzliche Aufwände v.a. für die Kühlung der IT-Geräte, desto näher liegt der PUE am Wert 1 und desto effizienter wird der Strom im Rechenzentrum genutzt. Der ERF gibt den Anteil der rückgewonnenen und genutzten Energie aus Abwärme wieder.

konnten diverse Jahreslastprofile des Abwärmeangebots (sommerlastig, winterlastig, gleichbleibend, saisonal) ausgewählt werden und Auslastungen des Prozesses auf Tages-, Wochen- und Jahresebene. Waren in einer Kategorie keine Abwärmeströme vorhanden, konnte die Abfrage übersprungen werden. Im Fragebogen für Rechenzentren wurden Informationen zum Kühlsystem (u. a. Kühlleistung, Volumenströme und Temperaturniveaus im Kühlkreislauf) abgefragt.

Im vierten Teil der Umfrage wurden qualitative Fragen zur Perspektive der Abwärmennutzung gestellt. Es wurden die Bereitschaft der Unternehmen, Abwärme zu nutzen bzw. abzugeben, und mögliche Hemmnisse sowie die unternehmerische Sicht auf die Rahmenbedingungen erfragt.

Allen Unternehmen aus der erstellten Standortliste wurde ein individualisierter Zugangslink zur Online-Umfrage zugesandt. Zudem wurde ein offener Link für eine Registrierung weiterer Unternehmen über Netzwerke und Multiplikatoren der IHK Berlin und Berlin Partner sowie über die jeweilige Wirtschaftsförderung der Berliner Bezirke versandt.

5.2.2 Expertengespräche

Ergänzend zur Erstellung der Standortliste und zur Unternehmensbefragung wurden Expertengespräche mit Vertreter*innen ausgewählter Branchen mit Abwärmepotenzial durchgeführt. Dies betrifft die Bereiche U-Bahn-Tunnel und -Stationen, Rechenzentren, Stromverteilung und Stromerzeugung, Müllverbrennung und Abwasserentsorgung, sowie die Erzeugung erneuerbarer Gase bzw. von Wasserstoff. Gespräche wurden geführt mit:

- Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) (U-Bahnschächte (H52.213)),
- Berliner Stadtreinigung (BSR) (Abfallbehandlung und -beseitigung (E38.2)),
- Berliner Wasserbetriebe (BWB) (Abgrenzung Potenzialerhebung/Abwasserwärmeatlas),
- Stromnetz Berlin, 50Hertz (Elektrizitätsverteilung (D35.13)),
- H2Berlin, hh2e, Vattenfall, Gasag (Gaserzeugung D35.21),
- Bitkom, Stromnetz Berlin (Rechenzentren (J63.1)),
- Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft Berlin (BTB), Fernheizwerk Neukölln (Elektrizitätserzeugung (D35.11)).

Zusätzlich wurde die Wirtschaftsvereinigung der Ernährungsindustrie in Berlin und Brandenburg e.V. (WVEB) für die Vervollständigung der Unternehmensliste im verarbeitenden Gewerbe (WZ C 10 – Nahrungs- und Futtermittel) und zu möglichen Datengrundlagen zu Großküchen oder Groß- und Einzelhandel angefragt. Ebenso wurde das Energiesparnetzwerk des Berliner Handels zu möglichen Datengrundlagen zum Groß- und Einzelhandel angefragt. Für weitere Recherchen zum Potenzial an Abwärme in Autowaschanlagen, Wäschereien und Hallenbädern sind die Berliner Bäder-Betriebe und der Deutsche Textilreinigungsverband e.V. angefragt worden, jedoch gab es hier keine inhaltliche Rückmeldung.

Die Interviews wurden primär genutzt, um ergänzend zu einer Sekundärliteraturanalyse und zur Online-Umfrage Daten und Informationen zu technischen Kennzahlen der potenziellen Abwärmquellen zu erheben bzw. sie zu validieren und um die Abwärmepotenziale in Berlin in diesen Bereichen bzw. Branchen hochzurechnen. Darüber hinaus wurden Hemmnisse abgefragt und gemeinsam Vorschläge für Maßnahmen zur Erschließung der Abwärmepotenziale identifiziert.

5.3 Ergebnisse aus der Unternehmensbefragung und Hochrechnung

5.3.1 Rücklauf der Unternehmensbefragung

Die Online-Umfrage wurde insgesamt an 575 Unternehmen versendet und hatte einen Bearbeitungszeitraum von drei Monaten (15.03.2023 bis 15.06.2023). Während dieses Zeitraums wurden Unternehmen kontinuierlich sowohl per E-Mail als auch telefonisch nachgeführt. Die Umfrage war für eine offene Teilnahme ausgelegt und wurde über verschiedene Verteiler und Newsletter beworben. Somit haben auch Unternehmen teilgenommen, die nicht den Zielgruppen verarbeitendes Gewerbe, Einzel- und Großhandel, Rechenzentren oder Krankenhäusern zugeordnet werden können.

Die Rücklaufquote der Umfrage ist in Tabelle 5.3 dargestellt. Umfänglich teilgenommen haben Unternehmen, die in jedem der vier Frageblöcke (vgl. Abbildung 10 in Kapitel 5.2.1.1) mehr als eine Frage beantworteten. Unter dieser Bedingung ergibt sich eine Rücklaufquote von 6 %, welche zielgruppenspezifisch von keinem Rücklauf bei Einzel- und Großhandel bis 22 % bei Rechenzentren reicht. Die Rücklaufquote kann je Thema weiter differenziert werden. Der Energieeinsatz, der bei vielen Unternehmen leicht zugänglich ist, wurde für Unternehmen an 47 Standorten erhoben, was einem Rücklauf von 8 % entspricht. Detaillierte Angaben zu den Abwärmequellen sind in vielen Unternehmen nicht oder nicht gebündelt bekannt, sodass eine Beantwortung einen größeren Arbeitsaufwand für die Unternehmen bedeutet. Dieser Faktor zeigt sich in der Rücklaufquote von Unternehmen, die Angaben zu Abwärmequellen angegeben haben. Von den 37 Standorten mit Angaben zu Abwärmequellen sind mit 21 etwas weniger als die Hälfte auswertbar. Die anderen 16 Angaben sind unvollständig und nicht quantitativ auswertbar. Bei den Rechenzentren haben fünf Unternehmen Daten zum Energieinput und ihren Abwärmemengen angegeben, jedoch nur vier Unternehmen den letzten Teil der Umfrage zu den Perspektiven und Anforderungen bearbeitet.

Tabelle 5.3: Rücklauf der Unternehmensbefragung nach Zielgruppen

Quelle: Eigene Darstellung

	eingeladen	umfänglich teilgenommen	Energieeinsatz angegeben	Abwärmequellen angegeben	Auswertbare Angaben zur Abwärme
Versand Umfrage gesamt	575	34 (6 %)	47 (8 %)	37 (6 %)	21 (4 %)
davon					
Verarbeitendes Gewerbe (C 10-33)	485	22 (5 %)	35 (7 %)	27 (6 %)	12 (2 %)
Einzel- & Großhandel (G 45-47)	21	0	0	0	0
Rechenzentren (J 63)	18	4 (22 %)	5 (27 %)	5 (27 %)	5 (27 %)
Krankenhäuser (Q 86)	22	2 (9 %)	2 (9 %)	2 (9 %)	1 (5 %)

Im Folgenden sind die inhaltlichen Ergebnisse der Umfrage für verarbeitendes Gewerbe, für den Handels- und Dienstleistungssektor sowie für Rechenzentren dargestellt.

5.3.2 Verarbeitendes Gewerbe

5.3.2.1 Energieeinsatz

Das verarbeitende Gewerbe ist eine Bezeichnung für alle Industriebetriebe, die Rohstoffe und Zwischenprodukte weiterverarbeiten und dabei auch Endprodukte erzeugen.¹⁶ In der Systematik der Wirtschaftszweige (WZ 08) werden 24 übergeordnete Branchen des verarbeitenden Gewerbes (WZ 10-33) unterschieden (Destatis 2008). Eine Übersicht über alle WZ des verarbeitenden Gewerbes ist im Anhang zu finden (s. Tabelle 8.11).

Für die Produktion werden große Mengen an Energie für diverse Prozesse benötigt, die – je nach Prozess und Betriebsstandort – zu mehr oder weniger großen Teilen als Abwärme an die Umgebung abgegeben wird (Blömer et al. 2019; Manz et al. 2018; Stark et al. 2020). Daten zum Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes werden von dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg¹⁷ (AfS BB) nach WZ und Energieträgern erhoben, jedoch aus Datenschutzgründen nicht vollständig bzw. nur in aggregierter Form publiziert. So werden bei einer kleinen Zahl an Unternehmen pro WZ keine Energieverbräuche separat für diesen WZ ausgewiesen, die Verbräuche sind aber in der Gesamtsumme über alle WZ enthalten.

In der genannten Statistik wurde für das Jahr 2021 der Energieverbrauch von 745 Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes erfasst.¹⁸ Dieser belief sich in Summe auf 3.175 GWh/a, davon 1.471 GWh/a Strom, 1.403 GWh/a Erdgas und 268 GWh/a Fernwärme, 32 GWh/a verbleiben als Differenz zwischen der ausgewiesenen Gesamtsumme des Energieverbrauchs und der Summe der genannten drei Energieträger.¹⁹ Der Energieverbrauch verteilt sich in Berlin auf 22 WZ. Die Herstellung von Nahrungs- und Futtermittel (C 10) mit 784 GWh/a und die Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) mit 415 GWh/a weisen den größten Endenergieverbrauch auf (vgl. Tabelle 8.12 im Anhang). Im bundesweiten Vergleich ist in Berlin die Grundstoffindustrie – z. B. C 19 Kokerei und Mineralölerzeugung, C 20 Chemische Erzeugnisse, C 23 Herstellung v. Glaswaren, Keramik und Verarbeitung von Steinen und Erden, C 24 Metallerzeugung und -bearbeitung – bezogen auf den Energieeinsatz weniger stark vertreten (Vogel et al. 2023). In diesen WZ ist aufgrund der energieintensiven thermischen Prozesse das Abwärmepotenzial besonders hoch.

Eine weitere Datenquelle stellen die Emissionserklärungen nach der 11. Bundesimmissionsschutzverordnung (11. BImSchV) dar, die für Anlagen ab einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW abgegeben werden müssen. Hier wurden im Berichtsjahr 2016 Brennstoffeinsätze in Höhe von 717 GWh/a, verteilt auf 22 Standorte, ausgewiesen (vgl. Tabelle 8.12 im Anhang). Neuere Emissionsdaten nach 11.BImSchV standen nicht in einem geeigneten Datenformat zur Verfügung.

¹⁶ <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/21094/verarbeitendes-gewerbe/> (Zugriff: 21.07.2023)

¹⁷ https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/47a8ce84afb36177/ae168aeb9a7e/SB_E04-03-00_2021j01_BE.pdf (Zugriff 02.08.2023)

¹⁸ Neben dem verarbeitenden Gewerbe ist in der Statistik auch noch Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden enthalten. Da dieser Sektor in Berlin sehr klein ist, wird er hier vernachlässigt.

¹⁹ Der Verbrauch an Biomasse oder Heizöl kann einen Teil dieser Differenz erklären, er liegt aber wahrscheinlich real deutlich über 32 GWh/a, wie auch die Umfrageergebnisse zum Energieeinsatz im verarbeitenden Gewerbe zeigen.

Auch hier sind die WZ Nahrungs- und Futtermittel (C 10) und die Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) maßgeblich in Berlin, wobei durch die insgesamt deutlich geringere Anzahl an Standorten im Vergleich zur Energiestatistik noch einmal die starke Konzentration der Brennstoffeinsätze auf wenige Anlagenstandorte deutlich wird.

Diesen Energiedaten gegenüber steht der in der Unternehmensumfrage angegebene Energieverbrauch. Abbildung 11 stellt die in der Energiestatistik des Landes Berlins angegebenen Energieträgereinsätze für das verarbeitende Gewerbe und die in der Umfrage angegebenen Energieträgereinsätze dar. Die Auswertung der Umfrage zeigt, dass Angaben von 47 Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes mit in Summe 864 GWh/a Endenergieverbrauch erfasst wurden. Damit werden rund 27 % des gesamten Endenergieeinsatzes des verarbeitenden Gewerbes nach Energiestatistik abgedeckt. Bezogen auf den Brennstoff Erdgas, der oftmals in für Abwärme relevanten thermischen Prozessen eingesetzt wird, werden 36 % über die Unternehmensbefragung abgedeckt (s. Abbildung 11). Diese Abdeckung ist deutlich höher als die Rücklaufquote bezogen auf die Anzahl an befragten Unternehmen, die bei 2 % der angefragten Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes liegt (s. Tabelle 5.3). Das zeigt, dass mit der Unternehmensbefragung vor allem Unternehmen mit hohem Energieverbrauch gut erfasst worden sind.

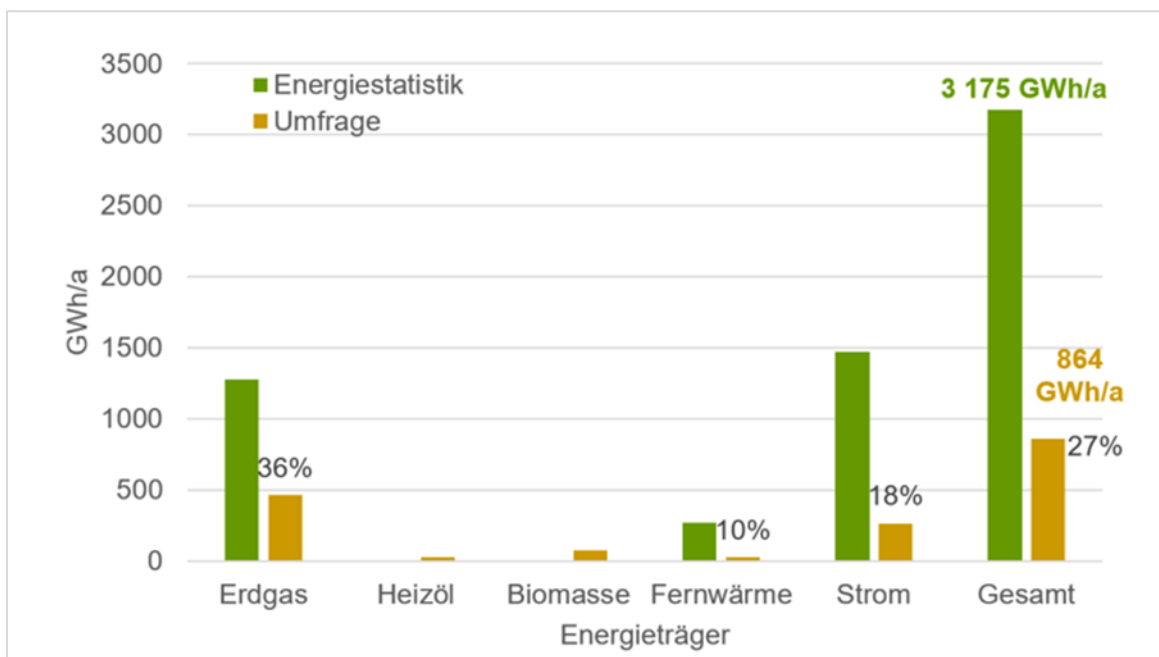


Abbildung 11: Abgleich des Energieverbrauchs aus der Unternehmensumfrage mit der Energiestatistik 2021 des Landes Berlin (verarbeitendes Gewerbe)

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu

Aufgeteilt nach den WZ und Energieträgern ist der in der Umfrage erfasste Endenergieverbrauch in Abbildung 12 dargestellt. Etwa die Hälfte der insgesamt 864 GWh/a Energieverbrauch entfällt auf den Einsatz von Erdgas (53 %) und etwa ein Drittel auf den Einsatz von Strom (31 %), Biomasse macht ca. 9 % aus, Fernwärme liegt mit 3 % auf dem gleichen Niveau wie Heizöl. Es ist eine Konzentration des Energieverbrauchs auf drei WZ festzustellen: Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) mit 338 GWh/a, Herstellung von Nahrungs- und Futtermittel (C 10) mit 258 GWh/a und sonstiger Fahrzeugbau (C 30) mit 144 GWh/a. Der restliche Energieverbrauch von 124 GWh/a verteilt sich auf neun weitere WZ des verarbeitenden Gewerbes. In Abbildung 12 sind auch die sich hinter den Werten befindliche Anzahl an Unternehmensstandorten angegeben.

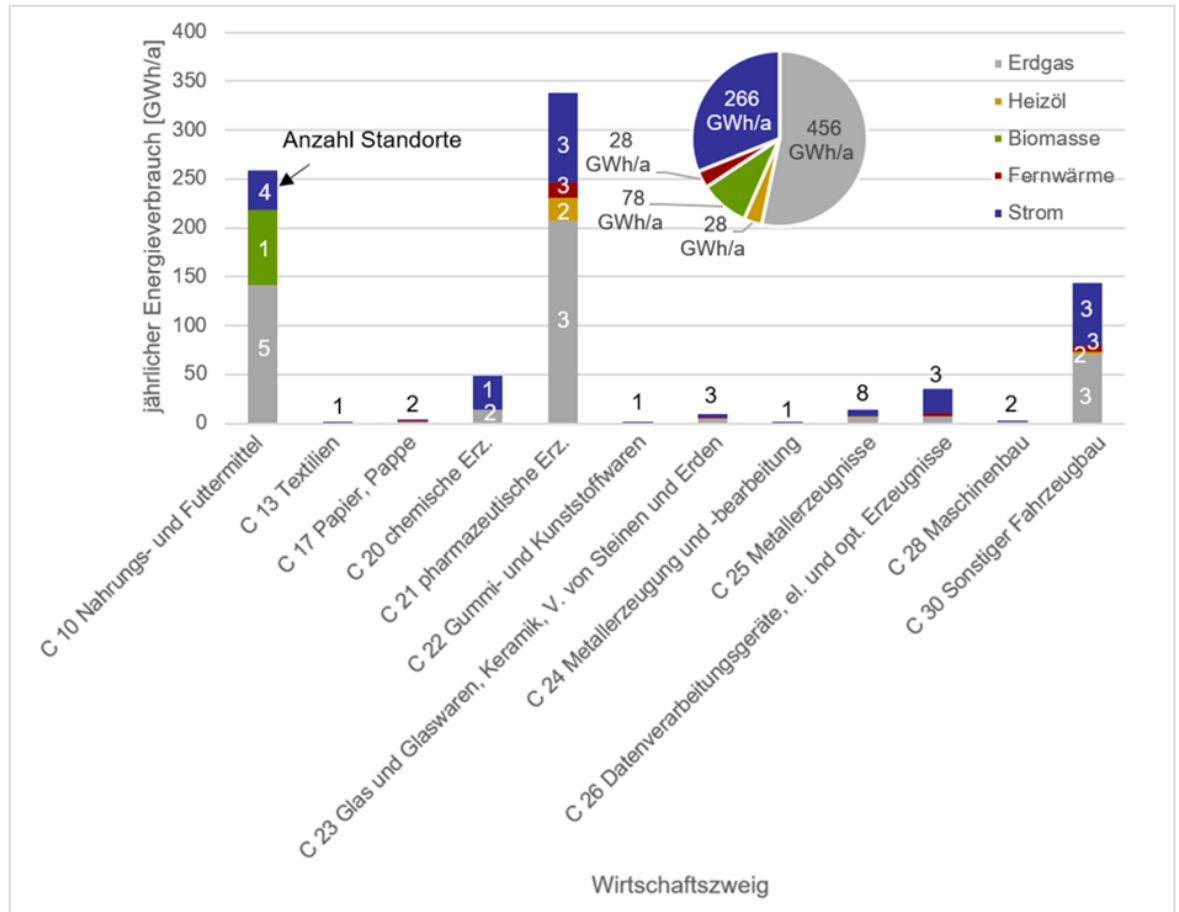


Abbildung 12: Umfrageergebnis: Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes nach Wirtschaftszweigen und Energieträgern

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu

Für die Abwärmenutzung in der Wärmeversorgung des Landes Berlin ist nicht nur der Status Quo von Bedeutung, sondern auch die zukünftigen Entwicklungen in den Betrieben. Um diesen Aspekt zu beleuchten, wurde in der Online-Umfrage nach der perspektivischen Entwicklung der Energienutzung 2030 gefragt. In Abbildung 13 ist die Änderung des Einsatzes von Erdgas und Heizöl bis 2030 in verschiedenen WZ dargestellt. Insgesamt haben 25 Unternehmen Angaben zur perspektivischen Nutzung von Erdgas im Jahr 2030 angegeben und neun Unternehmen zu Heizöl.

Gegenüber dem Energieverbrauch zum Status Quo soll der Einsatz von fossilen Brennstoffen deutlich zurückgehen. Der Einsatz von Heizöl soll bis 2030 in allen Unternehmen, die Antworten auf diese Fragen gegeben haben, fast vollständig eingestellt werden. Auch der Einsatz von Erdgas soll in den befragten Unternehmen zurückgehen, nach Unternehmensangaben um etwa 29 %.

In der Nahrungsmittelindustrie (C 10), die in Berlin einen sehr hohen Energieverbrauch hat, ist der erwartete Rückgang der fossilen Brennstoffe sehr gering. Die Entwicklung des Einsatzes nicht fossiler Brennstoffe ist in Abbildung 14 dargestellt.

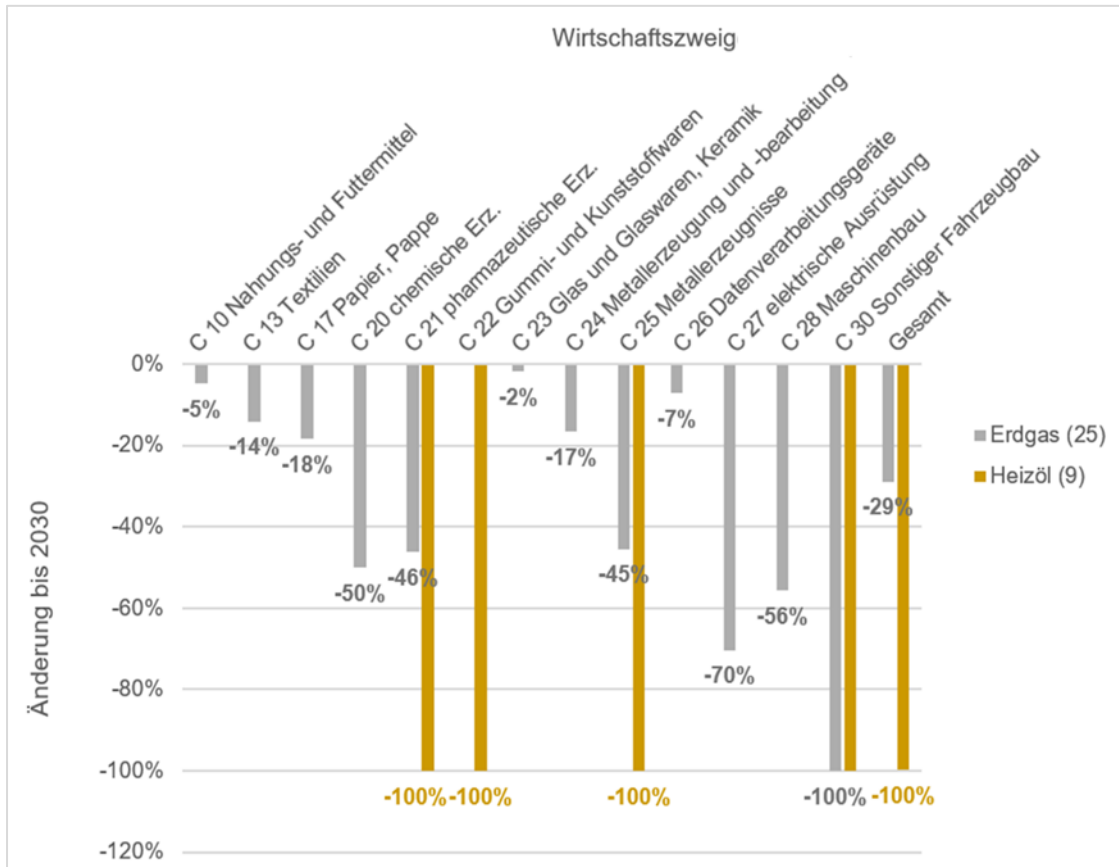


Abbildung 13: Umfrageergebnis: Änderung des Einsatzes fossiler Brennstoffe bis 2030

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu. Die Anzahl der Unternehmensstandorte ist in Klammern hinter den Energieträgern angegeben.

Der Einsatz von Strom erhöht sich bei den 31 Unternehmen, deren Angaben hier ausgewertet wurden, um 7 %. Jedoch ist hier kein eindeutiger Trend über die verschiedenen WZ zu erkennen. Gleiches gilt für die Fernwärmenutzung bei den 12 Unternehmen. Zwar nimmt die gesamte Nutzung von Fernwärme um 83 % zu und verdoppelt sich somit fast, jedoch ist dieser Effekt hauptsächlich durch den WZ Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) getrieben. In anderen Branchen vermuten die Unternehmen einen Rückgang der Fernwärmenutzung. Die Biomassennutzung bleibt nach Angaben der zwei Unternehmen gleich.

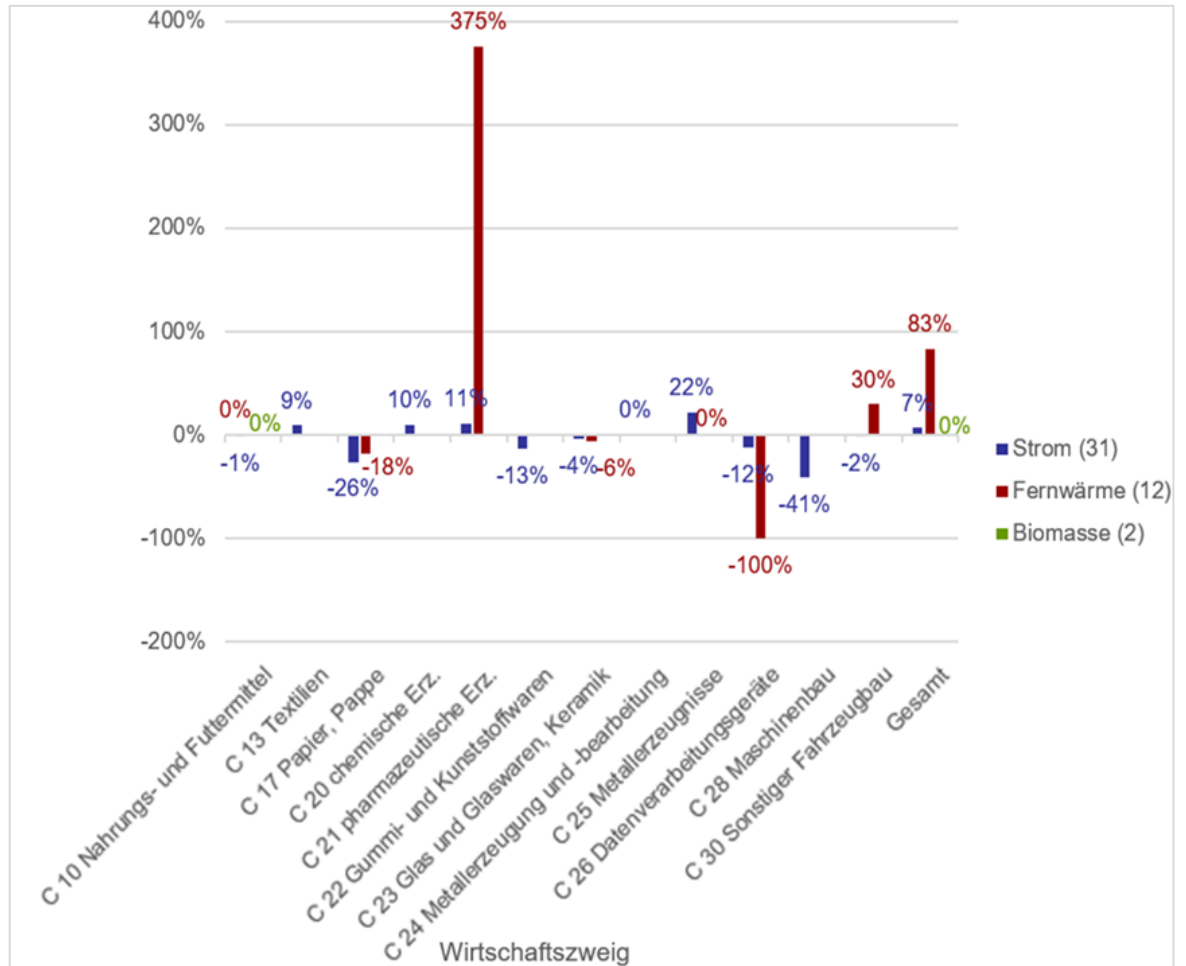


Abbildung 14: Umfrageergebnis: Änderung des Einsatzes weitere Energieträger bis 2030

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu. Die Anzahl der Unternehmensstandorte ist in Klammern hinter den Energieträgern angegeben.

5.3.2.2 Abwärmepotenzial nach Unternehmensbefragung

Zur Potenzialanalyse werden verschiedene Abstufungen des Abwärmepotenzials angenommen. In einer ersten Stufe wird das theoretische Angebotspotenzial bestimmt. Dieser Wert gilt als obere Grenze (Annahmen zur Berechnung vgl. Anhang 8.2).

Theoretisches Potenzial

Aus den Umfrageergebnissen kann für zwölf Standorte des verarbeitenden Gewerbes mit einem Energieverbrauch von knapp 550 GWh/a das theoretische Potenzial gefasster Abwärmeströme ermittelt werden. Auf diese Standorte entfällt 17 % des gesamten Energieverbrauchs des verarbeitenden Gewerbes in Berlin. Die Aufteilung nach Abwärmeströmen ist in Abbildung 15 dargestellt. Insgesamt umfasst das erfasste theoretische Potenzial 259 GWh/a. Der größte Teil hiervon ist der Abwärme aus Kühlprozessen zuzuordnen. Die Potenziale von Abwärme aus Abluft (70 GWh/a) und Rauchgas (52 GWh/a) sind ähnlich groß, wobei bei Rauchgas 23 GWh/a des Potenzials aus KWK-Anlagen stammt. Druckluftherzeugung und Abwasser besitzen kleinere Potenziale an Abwärme.

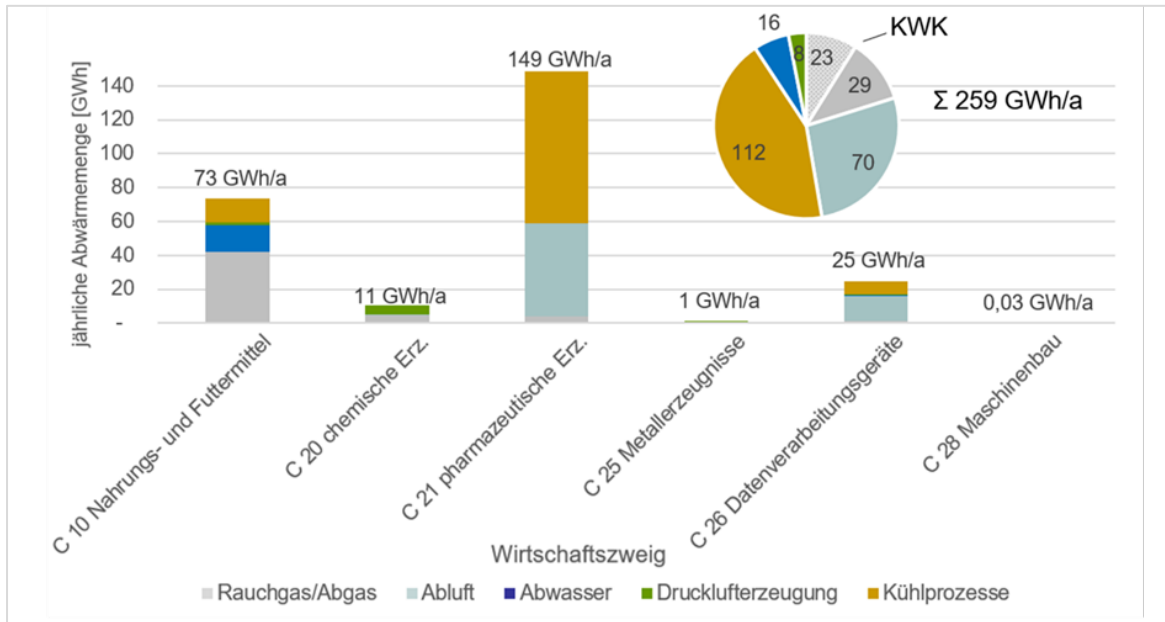


Abbildung 15: Umfrageergebnis: Theoretisches Potenzial gefasster Abwärmeströme in den jeweiligen Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=12

Dieses Ergebnis resultiert aus der kleinen Stichprobe von zwölf Standorten, wovon einige Unternehmen über sehr kleine Abwärmepotenziale verfügen. Dennoch ist in Abbildung 15 zu erkennen, dass in den WZ Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (C 10) und Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) die größten Abwärmepotenziale bei den erfassten Standorten bestehen. Diese WZ sind auch die WZ mit dem höchsten Energieverbrauch nach Energiestatistik (s. Abbildung 11), sodass die Häufung der Abwärmepotenziale auf diese WZ vermutlich auch auf die Grundgesamtheit an Unternehmen in Berlin zu übertragen ist.

In der Nahrungsmittelherstellung ist der größte Anteil des theoretischen Abwärmepotenzials der Kategorie Rauchgas zuzuordnen, während dieser Teil in den anderen WZ eine deutlich geringere Rolle einnimmt. In den WZ Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) und Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (C 26) entstehen die größten Abwärmemengen aus Kühlprozessen und Abluft. Diese Abwärme liegt auf einem deutlich geringeren Temperaturniveau als das Rauchgas. Für die Nutzung der Abwärme speziell zur netzgebundenen Wärmeversorgung ist das Temperaturniveau ein wichtiges Kriterium.

In Abbildung 16 sind die Abwärmeströme in verschiedene Temperaturniveaus eingeteilt. Bei einer Temperatur über 65 °C kann angenommen werden, dass die Abwärme direkt in ein Wärmenetz eingespeist werden kann. Abwärme > 65 °C stammt aus Rauchgas, das meist eine Temperatur deutlich über 100 °C besitzt, aber auch aus der Druckluftherzeugung. Wird die Druckluftherzeugungsanlage mit Wasser oder Öl gekühlt, sind Temperaturen über 65 °C gut zu erreichen. Bei einer luftgekühlten Anlage zur Druckluftherzeugung liegt die Abwärme auf einem geringeren Niveau und wird dem Bereich < 65 °C zugeordnet.

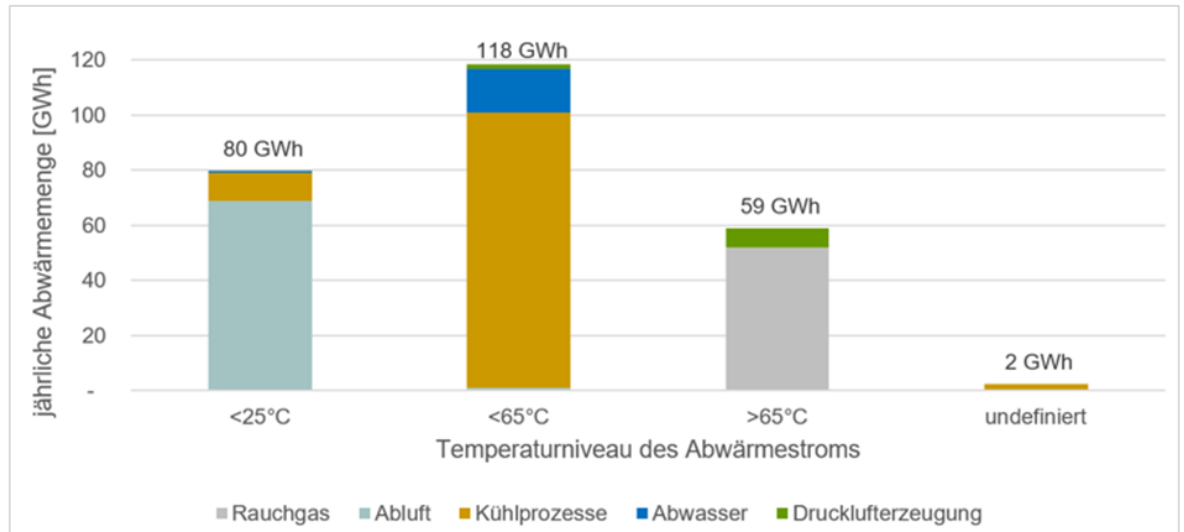


Abbildung 16: Umfrageergebnis: Theoretisches Potenzial gefasster Abwärmeströme des verarbeitenden Gewerbes nach Temperaturniveau

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=12

Das größte Abwärmepotenzial, das in der Unternehmensumfrage im verarbeitenden Gewerbe erfasst wurde, liegt im Temperaturbereich zwischen 25 und 65 °C. Prozessabwasser fällt dem Befragungsrücklauf zufolge in den Unternehmen bei Temperaturen zwischen 45 und 55 °C an. Bei Kühlprozessen wird in den meisten Fällen mit Kühlwasser als Medium gearbeitet, welches im Vorlauf des Abwärmestroms Temperaturen zwischen 12 und 40 °C besitzt, in den meisten Fällen jedoch über 30 °C. Ein Prozess mit 2 GWh/a Abwärmepotenzial, zu dem Informationen vorliegen, kann durch lückenhafte Angaben keinem Temperaturniveau zugeordnet werden.

Das geringste Temperaturniveau der untersuchten Abwärmeströme hat Abluft. Hierbei handelt es sich meist um Abluftströme aus Lüftungsanlagen und Klimatisierung. Hier liegt die Temperatur zwischen 20 und 22 °C. Prozessabluft hat ein höheres Temperaturniveau zwischen 37 und 40 °C, wobei die Volumenströme dieser Abluftquellen gering sind. In der Berechnung des theoretischen Potenzials wird angenommen, dass die Abluft auf eine Temperatur von 11 °C abgesenkt wird, was der Jahresdurchschnittstemperatur von Berlin entspricht. Diese vereinfachte Annahme ist insbesondere bei Abluft als Wärmequelle fehlerbehaftet. Bei Lüftungsanlagen können sehr hohe Volumenströme entstehen, was zur Folge hat, dass die Abwärmemenge nach Gleichung 1 (vgl. Anhang Abschnitt 8.2) sehr sensibel auf Variationen in der Temperaturdifferenz reagiert. Um die Abwärmemengen hier valide zu bestimmen, wäre ein Abgleich des Jahreslastgangs der Ablufttemperatur mit dem Jahresverlauf der Außentemperatur erforderlich. Dieser Detailgrad war in der Unternehmensumfrage nicht gegeben.

Technisches Angebotspotenzial

Das theoretische Potenzial kann in der Praxis aufgrund technischer Restriktionen nicht vollständig genutzt werden. Im folgenden Abschnitt wird deshalb weiterführend das technische Angebotspotenzial der in der Unternehmensumfrage angegebenen Abwärmequellen, basierend auf den im Anhang Abschnitt 8.2 dargestellten Annahmen, abgeschätzt. Durch die in Kapitel 5.1 beschriebenen Annahmen zum technischen Angebotspotenzial verringert sich das theoretische Potenzial von 259 GWh/a auf 176 GWh/a. Das Potenzial reduziert sich vor allem durch das Wegfallen von Abwärme aus Rauchgas aus KWK-Anlagen und die geringere angenommene Abkühlung von Abluft und Abwasser. Die Verteilung auf die WZ bleibt qualitativ bestehen. Auf den WZ Herstellung von

pharmazeutischen Erzeugnissen (C 21) entfallen mit 115 GWh/a knapp zwei Drittel des gesamten in der Umfrage erfassten Potenzials. Abwärme aus Rauchgas und aus Abluft weist im Vergleich zum theoretischen Potenzial eine weniger große Bedeutung auf (s. Abbildung 17).

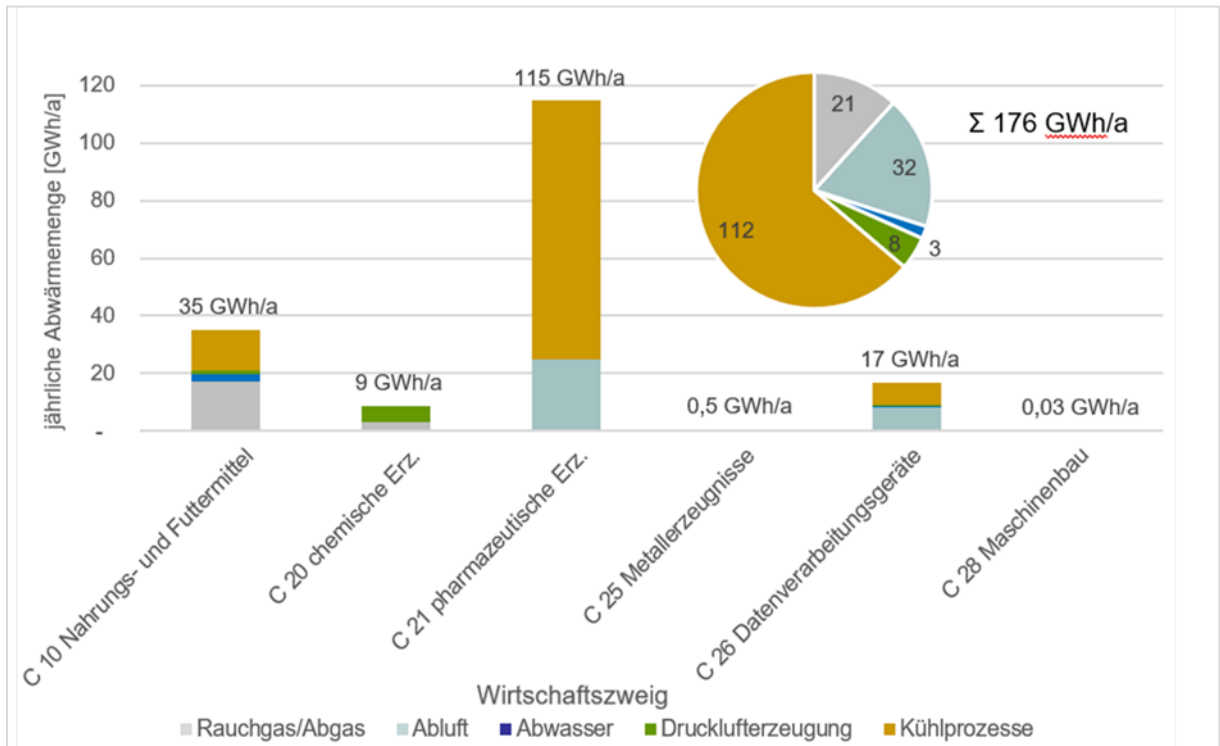


Abbildung 17: Umfrageergebnis: Technisches Angebotspotenzial gefasster Abwärmeströme im verarbeitenden Gewerbe nach Wirtschaftszweigen

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=12

In der Befragung konnten die Unternehmen die Nutzungsmöglichkeiten der einzelnen Abwärmeströme einschätzen. Jeder Abwärmestrom konnte in den Kategorien „Vermeidung der Abwärme“, „betriebsinterne Nutzung der Abwärme“, „externe Nutzung der Abwärme“ jeweils mit „nicht möglich“, „zum Teil möglich“ oder „sehr gut möglich“ bewertet werden. Die Bewertung der Unternehmen zur externen Abwärmennutzung ist in Abbildung 18 grafisch dargestellt.

Die von den Unternehmen selbst als sehr gut nutzbar bewerteten Abwärmepotenziale liegen mit 31 GWh/a deutlich unter dem technischen Angebotspotenzial, auch die Einschätzungen „zum Teil nutzbaren“ Abwärmemengen sind mit 11 GWh/a sehr gering. Ein möglicher Grund für die Diskrepanz zwischen dem technischen Angebotspotenzial und dem von den Unternehmen in Eigeneinschätzung angegebenen nutzbaren Potenzial ist neben in diesem Vorhaben nicht untersuchten Restriktionen der Abwärmennutzung vor Ort eine systematische Unterschätzung der Nutzbarkeit von Abwärme seitens der Unternehmen. Eine solche Unterschätzung kann aus dem mehrheitlich geringen Temperaturniveau der einzelnen Abwärmeströme resultieren. Ein hoher Anteil der Abwärme kann nicht direkt extern genutzt werden, aber über Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gehoben und somit nutzbar gemacht werden. Ein weiterer Grund kann sein, dass ein Teil der Abwärme nicht extern nutzbar ist, da er sinnvollerweise betriebsintern genutzt oder gar vermieden werden kann. Diese beiden Varianten sind der externen Nutzung stets vorzuziehen.

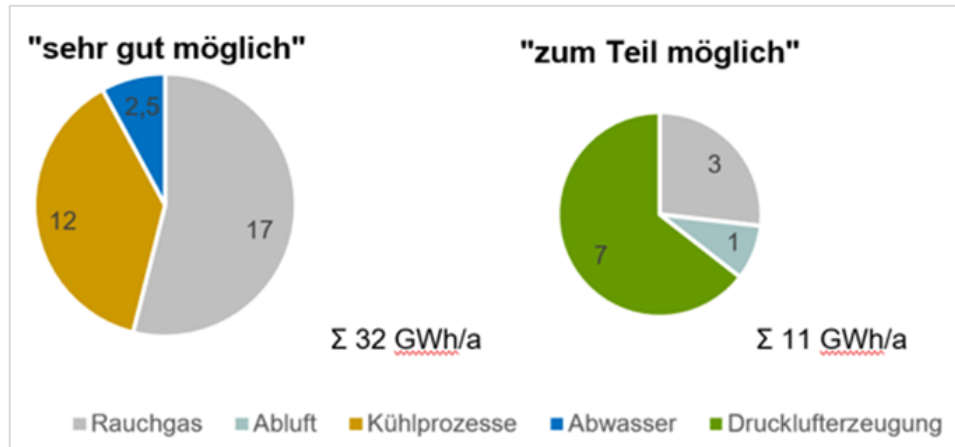


Abbildung 18: Umfrageergebnis: Unternehmensangaben zur Einschätzung der externen Nutzbarkeit der Abwärme der von ihnen angegebenen Abwärmequellen

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Abwärmequellen (Standorte) N=13 (3)

5.3.2.3 Abschätzung der Gesamtpotenziale des verarbeitenden Gewerbes in Berlin

Bis hierhin wurden die Ergebnisse aus der Unternehmensbefragung dargestellt, das heißt die Potenziale, die durch die Angaben der Unternehmen direkt erfasst wurden. Das aus der Unternehmensumfrage abgeleitete Abwärmepotenzial erfasst eine kleine Stichprobe des verarbeitenden Gewerbes in Berlin, für eine Abschätzung des Gesamtpotenzials ist dementsprechend eine Hochrechnung erforderlich. Für die **Hochrechnung eines technischen Angebotspotenzials** an Abwärme im verarbeitenden Gewerbe in Berlin wurden drei Datenquellen verwendet:

1. Ergebnis der Unternehmensumfrage: Technisches Angebotspotenzial der teilnehmenden Unternehmen,
2. Emissionsdaten nach 11. BImSchV: Technisches Angebotspotenzial im Rauchgas/Abgas genehmigungspflichtiger Anlagen für die in 1. nicht abgedeckten Unternehmen,
3. Hochrechnung mit spezifischen Abwärmequoten des technischen Angebotspotenzials im Rauchgas/Abgas pro Wirtschaftszweig (WZ) bezogen auf den Brennstoffeinsatz für den verbleibenden, in 1. und 2. nicht abgedeckten Brennstoffeinsatz.

Die Qualität der Datenquellen ist bei 1. am höchsten und bei 3. am geringsten. Zudem kann mit 2. und 3. nur eine Teilmenge des technischen Angebotspotenzials bestimmt werden.

Das technische Angebotspotenzial, das durch die Unternehmensumfrage ermittelt wurde, beläuft sich auf 176 GWh/a und verteilt sich auf sechs WZ des verarbeitenden Gewerbes (s. Abbildung 17). Ergänzend wurden die Emissionsdaten nach der 11. BImSchV des verarbeitenden Gewerbes Berlins von 2016 ausgewertet. Mit den dort vorhandenen Angaben zu Volumenstrom, Temperatur und jährlichen Betriebsstunden lässt sich eine Teilmenge des technischen Angebotspotenzials an Abwärme – die sensible Abwärme im Rauchgas/Abgas – für insgesamt 21 Standorte in Berlin abschätzen. Die Methodik ist analog zur Berechnung des technischen Angebotspotenzials aus

Rauchgas/Abgas aus den Umfrageergebnissen (vgl. Anhang 8.2).²⁰ Im Anhang sind der Brennstoffeinsatz und die technischen Angebotspotenziale an sensibler Abwärme im Rauchgas/Abgas aus den Emissionsdaten nach 11. BImSchV für die einzelnen WZ dargestellt (s. Tabelle 8.12).

Der Betrachtungsraum des Abwärmepotenzials aus den Emissionsdaten unterscheidet sich von dem der Unternehmensumfrage. Während in der Unternehmensumfrage ein umfassendes Abbild der Abwärmequellen dargestellt wurde, werden in den Emissionserklärungen nur gefasste Rauch- bzw. Abgasströme betrachtet. Abwärme aus nicht emissionsrelevanter Abluft, Kühlprozessen, Druckluftherzeugung und Abwasser sind nicht abbildbar. Die Unternehmensbefragung zeigt allerdings, dass diese Abwärmequellen in den betrachteten Unternehmen sehr relevant sind. Daten aus der Unternehmensumfrage sind deshalb qualitativ den Emissionsdaten nach 11. BImSchV bei einer Dopplung der Unternehmensstandorte vorzuziehen. Gleichzeitig erlaubt die im Rücklauf der Unternehmensbefragung erreichte geringe Stichprobenzahl und die Beschränkung auf wenige WZ keine Extrapolation der Ergebnisse auf die Gesamtheit des verarbeitenden Gewerbes in Berlin. Um dennoch eine untere Abschätzung des gesamten technischen Angebotspotenzials an Abwärme zu erhalten, wurden die Ergebnisse der Unternehmensumfrage um Abwärmemengen im Rauchgas/Abgas aus den Emissionserklärungen nach 11. BImSchV erweitert.

Insgesamt ergibt sich ein technisches Abwärmepotenzial aus Rauchgas nach 11. BImSchV von 133 GWh/a. Davon entfallen 37 GWh/a auf Unternehmensstandorte, die ihre Abwärmequellen quantifizieren konnten. Die Unternehmensangaben in der Umfrage sind den Emissionsdaten nach 11. BImSchV vorzuziehen, deshalb bleibt nach einem Abgleich mit der Unternehmensumfrage ein Potenzial von 96 GWh/a. In Tabelle 5.4 ist sowohl der Brennstoffeinsatz als auch das technische Angebotspotenzial an Abwärme, den WZ und den einzelnen Datenquellen zugeordnet.

Durch diese beiden Datenquellen können 47 % (676 GWh/a) des Brennstoffeinsatzes des verarbeitenden Gewerbes abgedeckt werden. Für 758 GWh/a des Brennstoffeinsatzes sind keine unternehmensscharfen Daten zu Abwärmeströmen verfügbar. Zur Potenzialermittlung wurde daher eine Hochrechnung durchgeführt mit spezifischen Abwärmequoten des technischen Angebotspotenzials im Rauchgas/Abgas pro WZ bezogen auf den Brennstoffeinsatz.

In dem Projekt „EnEff:Wärme - netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA)“ (Blömer et al. 2019) wurde deutschlandweit das Abwärmeangebot untersucht. Hierzu wurden u. a. die gesamten Emissionsdaten nach der 11. BImSchV des Berichtsjahres 2012 in Deutschland ausgewertet. Aus diesen Daten lässt sich nach einer Bereinigung für gut 2.700 Unternehmensstandorte in Deutschland das technische Angebotspotenzial nach den in Anhang 8.2 dargestellten Bedingungen bestimmen und mit dem Brennstoffeinsatz abgleichen.

²⁰ Angaben nach der 11. BImSchV liegen nach den Bundesländern im Normalzustand der gehandhabten Stoffe bzw. Abgase vor. So ist der Volumenstrom bezogen auf einen trockenen Gasstrom bei 273 K. Unter dieser Voraussetzung kann die Dichte des Gases als konstant angenommen werden. Sollten Unternehmen die Angaben fälschlicherweise nicht bezogen auf den Normzustand machen, sondern bezogen auf die tatsächliche Temperatur, sollte die Dichte nicht mehr als konstant angenommen werden. Bereits in anderen Studien wurde diese Sensibilität untersucht, da begründeter Zweifel an der korrekten Angabe aller Rauchgas/Abgas Ströme besteht (Brückner 2016), (LANUV 2019). In der Literatur zeigt sich, dass sich die die Variation der Dichte vor allem auf die Abwärmemengen auswirkt (Berechnung mit konstanter Dichte bezogen auf den Normalzustand führt zu höheren Abwärmemengen) und nur gering auf den Brennstoffeinsatz (Brückner 2016). Für diese Untersuchung wurden die Abwärmepotenziale aus den Emissionserklärungen nach 11. BImSchV bezogen auf den Normalzustand der Gase berechnet.

Tabelle 5.4: Übersicht über die Brennstoffeinsätze und die technischen Abwärmepotenziale der Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes aus den verschiedenen Datengrundlagen in dieser Potenzialanalyse

Quellen: Eigene Darstellung; *in der Umfrage konnte ein Abwärmepotenzial zugeordnet werden; **in der Umfrage konnte kein Abwärmepotenzial zugeordnet werden; ***nach Abgleich Ergebnis aus der Umfrage, BImSchV und Energiestatistik; ****ermittelt über Abwärmequoten aus dem verbleibender Brennstoffeinsatz

Wirtschaftszweige	Brennstoffeinsatz aus Umfrage* [GWh/a]	Brennstoffeinsatz aus BImSchV 2016** [GWh/a]	Verbleibender Brennstoffeinsatz*** [GWh/a]	Brennstoffeinsatz gesamt [GWh/a]	techn. Abwärmepot. aus Umfrage* [GWh/a]	techn. Abwärmepot (Rauchgas) aus BImSchV** [GWh/a]	techn. Abwärmepot. (Rauchgas) aus Abwärmequoten**** [GWh/a]	techn. Abwärmepot. Gesamt [GWh/a]
10	187	81	230	498	35,7	25,8	10,7	72,2
13			27	27			4,7	4,7
16			1	1			0,0	-
17	-	1	2	3		0,3	0,1	0,4
18		1	15	17		0,8	4,6	5,4
20	8	-	30	38	8,7		1,7	10,4
21	199	-	84	283	114,8		5,5	120,3
22			29	29			1,3	1,3
23		38	6	43		1,9	0,6	2,5
24	-	13	0	13		2,3		2,3

Wirtschaftszweige	Brennstoff- einsatz aus Umfrage* [GWh/a]	Brennstoff- einsatz aus BlmSchV 2016** [GWh/a]	Verbleiben- der Brenn- stoffein- satz*** [GWh/a]	Brennstoff- einsatz ge- samt [GWh/a]	techn. Ab- wärmepot. aus Um- frage* [GWh/a]	techn. Ab- wärmepot (Rauchgas) aus Blm- schV** [GWh/a]	techn. Ab- wärmepot. (Rauchgas) aus Abwärme- quoten**** [GWh/a]	techn. Ab- wärmepot. Gesamt [GWh/a]
25	4	2	71	77	0,5	0,02	6,2	6,6
26	7		26	33	16,7		0,9	17,6
27		50	0	50		47,6		47,6
28	2		33	35	0,0		13,8	13,8
29	-	48	0	48		1,8	0,0	1,8
30		37	37	74		15,2	2,6	17,8
32		-	11	11			0,9	0,9
33		-	6	6			0,5	0,5
nicht zuordenbar		-	151	151			12,6	12,6
SUMME	407	269	758	1.435	176,3	95,8	66,7	338,8

Für jeden WZ wurde aus den Daten eine **Abwärmequote** als Summe des technischen Angebotspotenzials an Abwärme im Rauchgas geteilt durch die Summe des Brennstoffeinsatzes bestimmt (s. Anhang Tabelle 8.13). Über die Verschneidung mit Brennstoffeinsatz pro WZ kann diese Abwärmequote eine grobe Indikation zu weiteren vorhandenen Abwärmepotenzialen in Berlin, beschränkt auf Abgase/Rauchgase, liefern.²¹ Der Brennstoffeinsatz pro WZ wurde aus der Energiestatistik Berlins übernommen. In der Energiestatistik sind aufgrund von Datenschutz manche Daten nicht veröffentlicht. Deshalb wurden die veröffentlichten Daten aus der Energiestatistik durch Daten zum Brennstoffeinsatz aus der Umfrage und den Emissionsdaten nach der 11. BImSchV ergänzt. Ein Brennstoffeinsatz von 151 GWh/a kann keinem WZ zugeordnet werden und wird daher dem verarbeitenden Gewerbe allgemein zugeordnet. Von dem gesamten Brennstoffeinsatz je WZ wurde jener Brennstoffeinsatz der Unternehmen, dessen Abwärmepotenzial bereits anderweitig bestimmt worden ist, abgezogen. Über den verbleibenden Brennstoffeinsatz wurde mit den Abwärmequoten ein technisches Potenzial von insgesamt 67 GWh/a ermittelt.

Tabelle 5.5 gibt einen Überblick über die mit dieser Methode ermittelten Abwärmepotenziale im gesamten verarbeitenden Gewerbe in Berlin.

Tabelle 5.5: Zusammenfassung des technischen Abwärmepotenzials des verarbeitenden Gewerbes in Berlin aus Umfrage und Hochrechnung

Quelle: Eigene Darstellung

Datenquelle		Anzahl Unternehmensstandorte	Abwärmepotenzial	Brennstoffeinsatz
Unternehmensdaten	<i>Aus Umfrage</i>	12	176 GWh/a	407 GWh/a
Unternehmensdaten	<i>Aus 11. BImSchV Berlin</i>	21	133 GWh/a*	717 GWh/a
Zusammengefasst (Dopplungen entfernt)		29	272 GWh/a	676 GWh/a
Sekundärliteratur	Zusätzlich über Abwärmequoten pro WZ extrapoliert	716	67 GWh/a*	758 GWh/a
Gesamt		745	339 GWh/a	1.435 GWh/a

* nur Abgas/Rauchgas

Die über die Umfrage ermittelten Werte für das Abwärmepotenzial pro eingesetzter GWh Brennstoff sind im Vergleich zu den anderen Datenquellen bzw. Methoden am höchsten. Hauptgrund

²¹ Bei der Analyse der bundesweiten Emissionsdaten nach 11. BImSchV konnten u. a. KWK-Anlagen nicht eindeutig identifiziert werden und sind in der Berechnung der Abwärmequote enthalten.

hierfür ist, dass in der Umfrage auch Abwärmequellen abseits von Rauch- oder Abgas betrachtet wurde. Vor allem Abwärmeströme auf geringem Temperaturniveau unter 65 °C besitzen in den betrachteten Unternehmen ein hohes Potenzial. Insgesamt beläuft sich das so geschätzte technische Abwärmepotenzial im verarbeitenden Gewerbe auf mindestens 339 GWh/a.

5.3.3 Handels- und Dienstleistungssektor

Für den Handels- und Dienstleistungssektor in Berlin ist keine quantitative Datengrundlage verfügbar, die etwa den Energieverbrauch dieses Sektors WZ-bezogen für Berlin umfassend erfasst. Um das Potenzial an Abwärme abschätzen zu können, wurden einzelne Branchen stichprobenartig in die Unternehmensumfrage aufgenommen. Zudem wurden Interviews mit Branchenvertreter*innen geführt. Zuletzt wurden branchenspezifische Kennwerte aus Sekundärliteratur zur Analyse genutzt.

In der Online-Umfrage wurden Unternehmen der WZ Gesundheitswesen (Q86) und Groß- und Einzelhandel (G45-47), aber auch einige wenige Unternehmen anderer Branchen wie Krematorien (S96.032) angeschrieben (vgl. Tabelle 5.2, Seite 43). Zusätzlich konnten sich Unternehmen durch einen offenen Link an der Online-Umfrage beteiligen. Von 21 angeschriebenen Unternehmen des WZ Groß- und Einzelhandel (G45-47) hat keines an der Online-Umfrage teilgenommen. Zwei Unternehmen des WZ Gesundheitswesen (Q86 Krankenhäuser) haben auswertbare Angaben zum Energieverbrauch getätigt und Abwärmepotenziale angegeben, quantitativ auswerten ließen sich die Abwärmepotenziale von einem Krankenhaus. Zudem wurde jeweils ein auswertbarer Fragebogen von Unternehmen der Abwasserentsorgung, der Abfallbeseitigung und sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen ausgefüllt. Insgesamt konnten über die Unternehmensumfrage auswertbare Daten von vier Unternehmensstandorten in vier unterschiedlichen WZ des Handels- und Dienstleistungssektors analysiert werden (zur Rücklaufquote: vgl. Tabelle 5.3, Seite 48).

Mit der in Kapitel 5.2 beschriebenen Methodik wurde das technische Angebotspotenzial dieser Standorte bestimmt. Es beläuft sich auf insgesamt 2 GWh/a. Der größte Anteil beläuft sich auf Abwärme aus Abluft und Kühlprozessen (s. Abbildung 19). Das Temperaturniveau der Abwärme liegt somit unter 65 °C und zum großen Teil sogar unter 25 °C (s. Kapitel 3.1.3). Aufgrund der geringen Rücklaufquote und der damit einhergehenden niedrigen Gesamtheit der Stichprobe kann das Ergebnis der Unternehmensumfrage **nicht als repräsentativ** gewertet werden. Eine Hochrechnung ist wegen der fehlenden Datengrundlage zur Grundgesamtheit des Sektors nicht möglich.



Abbildung 19: Umfrageergebnis: Technisches Angebotspotenzial an Abwärme im Handels- und Dienstleistungssektor nach Branchen

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=4

Branchentypische Abwärmepotenziale des Handels- und Dienstleistungssektors finden sich in Kapitel 3.1.3.2. Hierbei werden die vorhandenen Abwärmemedien mit typischen Temperaturniveaus dargestellt, zudem ist ein Leistungsbereich und die zeitliche Verfügbarkeit analysiert worden.

5.3.4 Rechenzentren

In Rechenzentren wird der Energieinput in Form von Strom in den Servern in Wärme umgewandelt. Dabei können große Mengen an Abwärme entstehen, was sie für die außerbetriebliche Abwärmennutzung interessant macht. Das Potenzial an Abwärme wurde durch die **Unternehmensumfrage** erfasst und mit **Literaturangaben und Experteninterviews** ergänzt.

Da sich Rechenzentren grundlegend von Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes unterscheiden, wurde ein explizit auf Rechenzentren angepasster Fragebogen entworfen (s. Kapitel 5.2.1.2) und an insgesamt 18 Unternehmensstandorte verschickt.

Mit einer Rücklaufquote von 27 % bei der Angabe von Daten zur Abwärme konnte eine **installierte IT-Leistung** von 15,2 MW an fünf Standorten identifiziert werden. Dies entspricht bei einem PUE-Wert²² von 1,47, der sich aus den Unternehmensangaben im Durchschnitt für 2023 ergab, einer Anschlussleistung von 22,3 MW. Die befragten Unternehmen planen für die kommenden Jahre, **die installierte IT-Leistung** auszubauen (s. Abbildung 20). Bis zum Bezugsjahr 2027 wurde ein Ausbau auf ein Niveau von ca. 26 MW angegeben, was fast einer Verdopplung entspricht. Gleichzeitig planen die Rechenzentrumsbetreibenden ihre Effizienz weiter zu steigern. So soll sich der PUE-Wert nach Unternehmensangaben bis 2027 leicht auf 1,45 verringern.

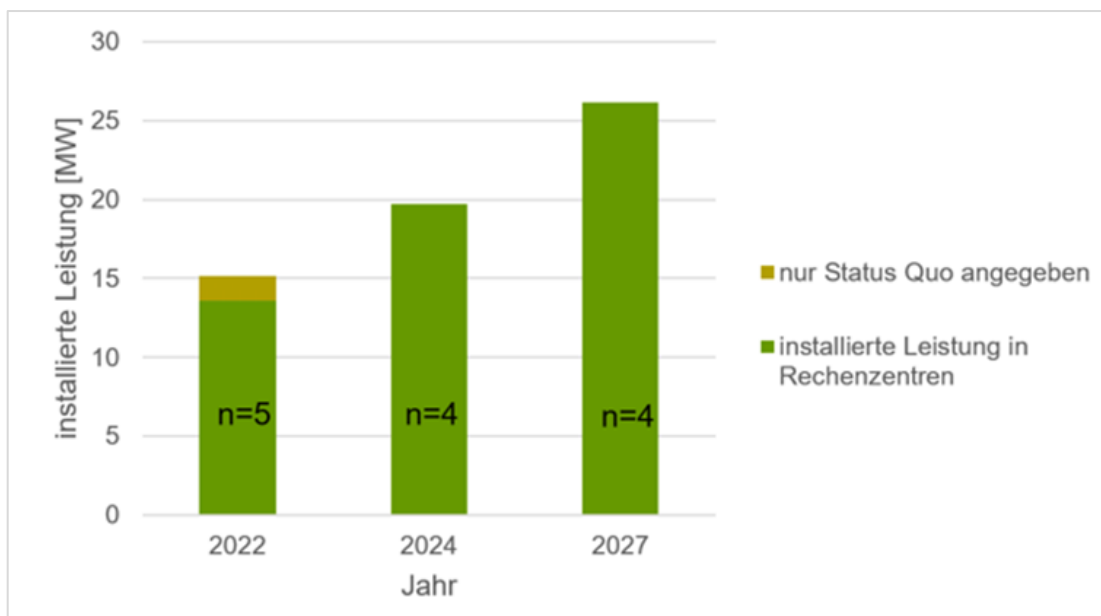


Abbildung 20: Umfrageergebnis: Entwicklung der installierten Leistung in Bestands-Rechenzentren

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=5

²² Der PUE-Wert (engl. Power Usage Effectiveness) ist ein Kennwert für die Effizienz von Rechenzentren. Er gibt das Verhältnis des Gesamtenergieverbrauchs des Rechenzentrums zum Energieverbrauch der IT an.

Die **Art der Kühlung eines Rechenzentrums** ist relevant für die Abwärmenutzung. Die gängigste Art der Kühlung ist eine Luftkühlung, die entweder durch eine Kältemaschine der Abluft Wärme entzieht oder bei genügend geringer Außentemperatur als freie Kühlung Außenluft einsetzt. Weniger verbreitet ist eine Wasserdirektkühlung. Hierbei wird nicht der Serverraum klimatisiert, sondern Wärme direkt an den Servern durch Wasser abgeleitet. Das Wasser kann so Temperaturen über 60 °C annehmen, was für die Abwärmenutzung ein attraktives Temperaturniveau darstellt. In der Umfrage wurde das eingesetzte Kühlsystem abgefragt. Zu fünf Rechenzentren liegen Angaben vor. In diesen Rechenzentren wird mittels Luft gekühlt. Die Kühlarbeit beläuft sich auf 34 GWh/a über Luftkühlung und 16 GWh/a über freie Kühlung. Die der Luft entzogene Wärme, die der Kühlarbeit entspricht, kann als Abwärme genutzt werden. Somit entspricht das durch die Unternehmensumfrage in Rechenzentren erfasste technische Angebotspotenzial an Abwärme 50 GWh/a.

Die Abwärme ist ganzjährig verfügbar und liegt auf einem Temperaturniveau von ca. 30 °C. Für die netzgebundene Wärmeversorgung abseits von kalten Wärmenetzen muss die Abwärme auf ein höheres Temperaturniveau gehoben werden. An zwei Rechenzentrumstandorten kann sich der Betreibende unverbindlich vorstellen, eine zu diesem Zweck installierte Wärmepumpe selbst zu betreiben, während ein weiterer Rechenzentrumsbetreibende den Betrieb der Wärmepumpe als „originäre Aufgabe des Wärmenetzbetreibenden“ sieht. Die **Bereitschaft zur Abwärmenutzung** ist bei den befragten Rechenzentren, wie in Abbildung 21 auf Seite 66 zu sehen, hoch. In der Umfrage wurden die Rechenzentrumsbetreibenden nach ihren Wünschen an Rahmenbedingungen für erfolgreiche Abwärmenutzungsprojekte gefragt. Folgende Aspekte wurden von den Unternehmen genannt²³:

- „Kein regulatorischer Zwang zur (externen) Abwärmenutzung“
- „Jedes neue RZ sollte jedoch die grundsätzlichen Voraussetzungen für umfassende Abwärmenutzung im Design vorbereitet haben (z. B. Platz für Verrohrung und Wärmetauscher)“
- „Praxisbezogene technische kompetente Beratungen“
- „Förderungen und/oder zinslose Darlehen, um notwendige Investitionen zu tätigen“
- „Beratung und Begleitung bei der Umsetzung. Fundierte Analyse von Sicherheitsaspekten und Risikominimierung“.

In einem nächsten Schritt erfolgte eine **Hochrechnung** der anfallenden Abwärme auf die Grundgesamtheit aller Rechenzentren in Berlin. Die Höhe der Abwärme hängt dabei, wie beschrieben, vor allem von der IT-Anschlussleistung, der tatsächlichen Auslastung und der Energieverbrauchseffektivität, ausgedrückt über den PUE, ab. Für die Hochrechnung musste zunächst die Anzahl und die Anschlussleistung der aktuell in Berlin ansässigen Rechenzentren ermittelt werden. Es gibt für Berlin verschiedene Quellen mit Daten zur Anschlussleistung, wobei teilweise unterschiedliche und nicht transparente Definitionen zugrunde liegen, was als Rechenzentrum gilt und was nicht. Neben Daten des Stromnetzbetreibenden zur Anschlussleistung wurde auf veröffentlichte Daten in Studien und Einschätzungen von Branchenkennern zurückgegriffen, um zu einer möglichst validen Einschätzung zur Anschlussleistung im Status quo und ihrer zukünftigen Entwicklung zu kommen.

²³ Antworten auf die Frage: „Geben Sie bitte an, was Sie sich als Unternehmen an Rahmenbedingungen für erfolgreiche Abwärmenutzungsprojekte wünschen. z. B. an Regulierungen, Förderungen, Initiativen anderer Akteure, Beratung.“

Für den Status quo liegen verschiedene Zahlen zur in Berlin installierten Anschlussleistung für Rechenzentren vor. Der Stromnetzbetreiber gibt für 2023 eine bereits angeschlossene Anschlussleistung von 30 MW an. Eine Studie von Ströder und Holfert (2021) bezifferte die in 2021 installierte IT-Leistung auf 37 MW. Diese Zahlen umfassen vorwiegend Rechenzentren, die ihre Services Firmen, Institutionen und Behörden anbieten. Hinzu kommen meist kleinere, unternehmens-eigene Rechenzentren. Eine Studie von Cushman und Wakefield (2020) ging 2020 von einem kurzfristigen Zuwachs der in Berlin installierten Leistung von 45 MW auf 200 MW aus.

Somit kann schätzungsweise im Status quo von **30 bis 50 MW Anschlussleistung** ausgegangen werden. In der Unternehmensumfrage konnte somit eine Abdeckung zwischen 45 % bis 74 % erreicht werden. Die vorliegende Potenzialanalyse nimmt einen Wert von 40 MW Anschlussleistung für den Status quo und einen Ausbau auf 430 MW bis 2030 an. Der Annahme zur zukünftigen Entwicklung liegen Werte des Stromnetzbetreibenden zu beauftragten Anschlussleistung und zu verbindlichen Anschlussangeboten zu Grunde. Der Verband Bitkom e.V. rechnet ebenfalls im Zuge der weiter zunehmenden Digitalisierung mit einem deutlichen Zubau an Rechenzentren. Unklar ist, ob die im EnEFG vorgesehenen Anforderungen an Rechenzentren in Deutschland, die im Ländervergleich relativ hoch sind, den Zubau mäßigen könnten. Für die über 2030 hinausgehende zukünftige Entwicklung geht die vorliegende Analyse von einer jährlichen Zunahme der Anschlussleistung um 2,5 % aus, sodass bis 2045 ca. 624 MW Anschlussleistung erreicht werden.

Allerdings sind die meisten Rechenzentren nicht voll ausgelastet, sondern beginnen nach Inbetriebnahme mit einer geringen **Auslastung**, die mit der Nutzungsdauer über die Jahre zunimmt. Im Mittel kann nach Einschätzung von Fachleuten von einer Auslastung von 50 % bei kontinuierlichem Betrieb (8.760 h) ausgegangen werden. Über den Stromverbrauch, der sich aus diesen Annahmen ergibt, und dem PUE lässt sich die Abwärmemenge ermitteln. Bizo et al. (2021) zufolge lag der **PUE-Wert** in 2021 über alle Rechenzentren im Mittel bei 1,57 und ist in den vergangenen Jahren gesunken. Perspektivisch wird der PUE aufgrund von weiteren Effizienzsteigerungen weiter sinken. Der Entwurf des EnEFG sieht es vor, dass der PUE neuer Rechenzentren ab 2030 kleiner oder gleich 1,3 sein soll (Drucksache 20/7632). Die vorliegende Potenzialanalyse nimmt einen PUE von 1,47 für den Status quo (basierend auf der Unternehmensumfrage) an, von 1,4 für 2030 und von 1,3 in 2040 und 2045. Mit diesen Werten ergeben sich die in Tabelle 5.6 dargestellten Anschlussleistungen, Stromverbräuche und Abwärmemengen in 2030, 2040 und 2045.

Tabelle 5.6: Aktuelle und erwartete Anschlussleistung, Stromverbräuche und theoretische Abwärme von Rechenzentren in Berlin

Quellen: Eigene Annahmen basierend auf: (Cushman & Wakefield 2020; Ströder und Holfert 2021; Hintemann et al. 2022) sowie Gespräche mit Bitkom e.V. und Stromnetz Berlin (Mai / Juli 2023).

Kennzahlen von Rechenzentren in Berlin	Status quo	2030	2040	2045
Anschlussleistung (MW)	40	431	552	624
Stromverbrauch (GWh)	175	1.888	2.417	2.734
Abwärme (GWh)	119	1.348	1.859	2.103

Bei den ausgewiesenen Abwärmemengen handelt es sich um ein technisches Potenzial. Die tatsächliche Erschließbarkeit hängt, je nach Nutzungsfall, davon ab, ob geeignete Wärmesenken

und/oder Abnehmer*innen mit Kühlungsbedarf vorhanden sind. Geeignete **Standorte für Rechenzentren** müssen dabei mehrere Anforderungen, vor allem seitens der Infrastrukturen, erfüllen. So müssen sie eine hinreichende Stromanbindung aufweisen, sich möglichst an Internetknotenpunkten befinden und es muss die erforderliche Fläche zur Verfügung stehen. Zudem gelten hohe Sicherheitsanforderungen, etwa in Bezug auf den Hochwasserschutz. Der Entwurf zum EnEg sieht vor, dass Rechenzentren die anfallende Abwärme für eine externe Nutzung zur Verfügung stellen müssen, indem sie sich etwa in räumlicher Nähe zu Wärmenetzen ansiedeln. Eignen könnten sich unter Umständen die Standorte der Heizkraftwerke, da hier eine ausreichende Stromanbindung sowie eine Anbindung an die bestehenden Wärmenetze vorliegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Abwärme von Rechenzentren ein Temperaturniveau von nur 30 bis 40 °C aufweist und die Temperatur bei Einspeisung in die Fernwärme mit einer Wärmepumpe angehoben werden muss. Der Einsatz von Heißwasserkühlsystemen geht dabei mit höheren Abwärmemetemperaturen von ca. 60 °C einher. Diese werden nach Einschätzung von Bitkom bisher kaum in Rechenzentren eingesetzt.

5.3.5 Perspektiven für und Anforderungen an die Abwärmenutzung

Für das Land Berlin und die Wärmenetzbetreibenden ist vor allem die zukünftig erwartete und mögliche Entwicklung der Abwärmenutzung in Berlin von großem Interesse. Daher wurden die Unternehmen aus den Bereichen verarbeitendes Gewerbe, Handels- und Dienstleistungssektor und Rechenzentren im Zuge der Unternehmensbefragung nach ihrer Bereitschaft gefragt, Abwärme außerbetrieblich abzugeben. Das Ergebnis zu dieser Frage zeigt Abbildung 21.

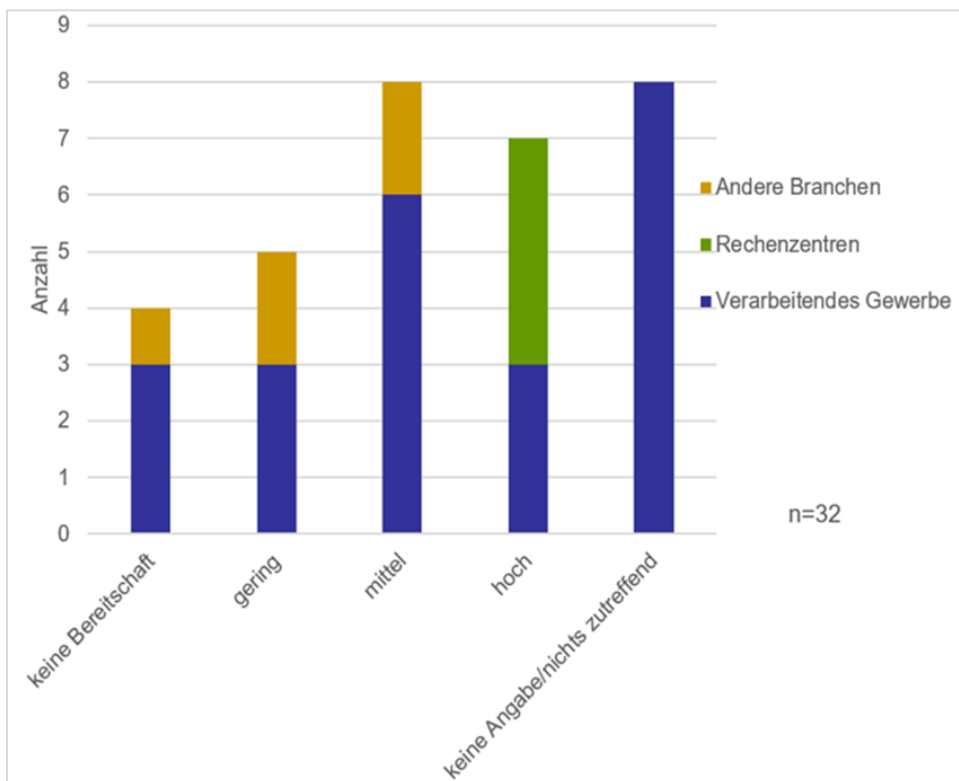


Abbildung 21: Umfrageergebnis auf die Frage: Ordnen Sie bitte Ihre Bereitschaft Abwärme außerbetrieblich abzugeben ein

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=32

Im verarbeitenden Gewerbe ist die Bereitschaft der befragten Unternehmen divers und es lässt sich kein eindeutiger Trend ableiten. Allerdings stuften lediglich drei der 15 Unternehmen, die aussagekräftig antworteten, ihre Bereitschaft als hoch ein. Hingegen stuften alle hier antwortenden Rechenzentrenbetreibende ihre Bereitschaft als hoch ein. In den anderen Branchen des Handels- und Dienstleistungssektors ist die Bereitschaft zur außerbetrieblichen Abwärmenutzung gering.

Um die Bereitschaft in Zukunft zu steigern und die Abwärmenutzung aus Unternehmenssicht attraktiver zu machen, wurden die Unternehmen nach den wichtigsten „Hebeln“ für eine außerbetriebliche Abwärmenutzung gefragt. Es wurden sechs Antwortmöglichkeiten vorgegeben, die die Unternehmen in einer Rangliste priorisieren sollten. Die über die 15 teilnehmenden Unternehmen gemittelte Rangliste der wichtigsten „Hebel“ zur außerbetrieblichen Abwärmenutzung ergibt von prioritär zu weniger prioritär folgendes Ergebnis:

1. Informationen zu Abwärmenutzung, Förderung und technischen Voraussetzungen,
2. Bessere Vernetzung zwischen Unternehmen und Wärmeabnehmer*innen,
3. Kontinuierliche Erhebung von Abwärmedaten,
4. Ausbau personeller Ressourcen im Unternehmen,
5. Lückenloses Zusammenspiel verschiedener Förderprogramme (BEW, EEW, KWKG) und
6. Einführung eines Abwärmefonds zur Absicherung von finanziellen Risiken.

Somit sehen die Unternehmen, die diese Frage beantworteten, Informationen und Vernetzung als die wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Abwärmenutzung in Unternehmen an. Die hohe Bedeutung dieser Maßnahmen wird dadurch gestärkt, dass die Mehrheit der Unternehmen angab, dass die Abwärmepotenziale in ihrem Unternehmen bislang noch nicht systematisch analysiert wurden (s. Abbildung 22).

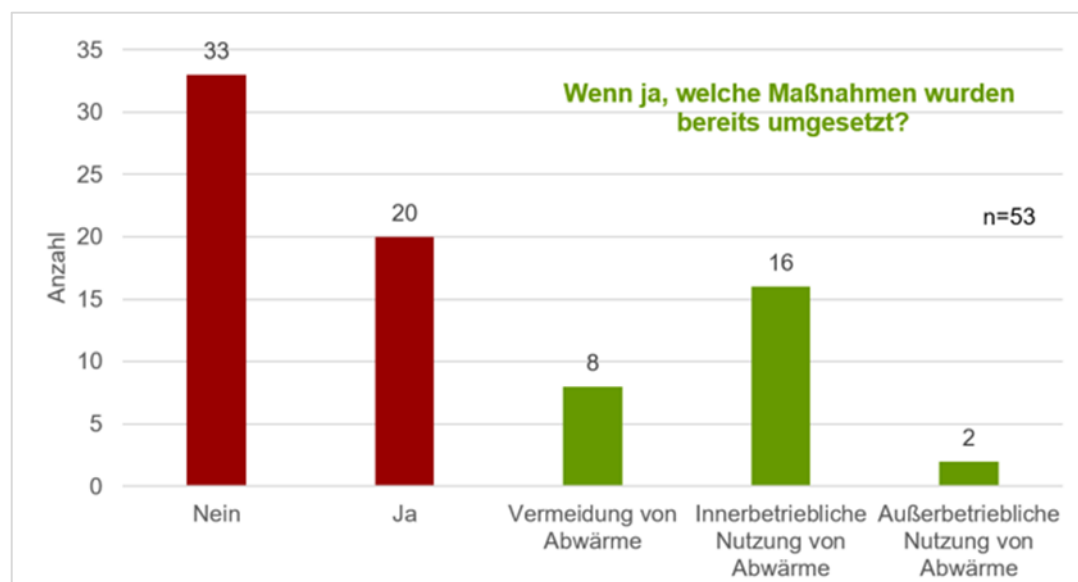


Abbildung 22: Umfrageergebnis auf die Frage: Wurde in Ihrem Unternehmen das Abwärmepotenzial bereits systematisch analysiert?

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu, auswertbare Fälle N=53

Neben den vorgegebenen Maßnahmen konnten die Unternehmen weitere in ihren Augen wichtige Faktoren für eine erfolgreiche Abwärmenutzung angeben. Die Kommentare von Unternehmen sind im Anhang zu finden (s. Tabelle 8.15). Aus den Angaben wird ersichtlich, dass zunächst ein Bedarf an externer Beratung seitens der befragten Unternehmen besteht, wohl auch, um fehlende personelle Kapazitäten und teilweise fehlendes Know-how in den Unternehmen auszugleichen. Dies geht einher mit dem Wunsch nach einer Förderung und der Prüfung von Abwärmenutzungsmaßnahmen und den für eine Nutzung erforderlichen Investitionskosten. Es wird sich auch eine Koordination der externen Abwärmenutzung gewünscht.

Die Erfahrungen aus zwei Fachworkshops mit Vertreter*innen aus Berliner Betrieben mit Abwärmepotenzialen, der Wärmenetzbetreibenden sowie aus der Verwaltung und aus dem Bereich der Energiedienstleistungen, die im Rahmen dieses Projektes stattgefunden haben, bestärken ebenfalls den Wunsch nach Informationen, Beratung und Vernetzung. Die Erkenntnisse zur Abwärmenutzung aus der Unternehmensbefragung und dem ersten Fachworkshop wurden in der Erarbeitung des Maßnahmensets berücksichtigt (s. Kapitel 6). Im zweiten Fachworkshop wurden vor allem die Einrichtung einer Beratungsstelle für Unternehmen, die Förderung von Erstberatung und Projektanbahnung, die Förderung der Erschließung von Abwärme (Trassenbau), die Erstellung von Leitfäden und Checklisten sowie die Stärkung des Personals in Genehmigungsbehörden mit hoher Priorität bewertet. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse von Umfragen während des Workshops finden sich in Tabelle 8.16 im Anhang.

5.4 Ergebnisse aus den Expertengesprächen und Hochrechnung

Bei einigen Abwärmequellen ist eine Ermittlung der Potenziale über eine online-Unternehmensbefragung nicht geeignet, etwa da einzelne Akteure Informationen über eine Vielzahl an vergleichbaren Standorten halten und die Nutzung der anfallenden Abwärme besonderen Einschränkungen unterworfen ist oder da die Produktionsprozesse erst zukünftig relevant werden. Für die Ermittlung der Potenziale derartiger Abwärmequellen wurden Expertengespräche mit den jeweiligen Akteuren geführt. Dieses Kapitel beschreibt die Ergebnisse der Erhebung mittels Expertengesprächen.

5.4.1 U-Tunnel und U-Bahnhöfe

Die in **U-Bahn-Tunneln entstehende Wärme** ist an die Luft gebunden und kann durch den Einsatz von Wärmetauschern und in Kombination mit einer Wärmepumpe nutzbar gemacht werden. Durch den Zugverkehr und die damit einhergehenden Strömungen entstehen teilweise große Verwirbelungen, die eine Nutzung der Abwärme erschweren können. An den meisten U-Bahn-Stationen in Berlin wäre laut Aussagen der BVG eine **aktive Lüftung** über Ventilatoren erforderlich, um einen stetigen und ausreichend großen Luftzug für eine effiziente Nutzung der Wärme in der Abluft zu erreichen. Als Erschließungspunkte eignen sich Standorte direkt vor oder nach den U-Bahnstationen. Ein Einbau innerhalb der Stationen erscheint wegen einer möglichen Auskühlung des Bahnsteigbereichs weniger geeignet. Bislang wurde in Berlin noch kein Vorhaben zur Nutzung von Wärme in der Abluft aus U-Bahn-Tunneln und -Stationen umgesetzt. Es liegen jedoch aus anderen Städten **Konzepte** mit verschiedenen technischen Ansätzen vor (Davies et al. 2019; Peltier et al. 2019; Suárez 2020). In London wurde ein Projekt zur Nutzung von Abwärme aus U-Bahn-Tunneln bereits erfolgreich umgesetzt. Für Lausanne sieht ein Konzept es vor, in regelmäßigen Abständen Wärmetauscherrohre in die Betonkonstruktion eines neu zu errichtenden U-Bahntunnels einzubringen. Zur Wärmeerzeugung ist eine Kombination mit einer Wärmepumpe vorgesehen (Suárez

2020). In London kommt bereits ein neu eingerichtetes Luftabsaugsystem an einem stillgelegten Bahnhof zum Einsatz. Eine Wärmepumpe erhöht das Temperaturniveau der überschüssigen Wärme in der Abluft auf 70 °C, bevor sie in das Wärmenetz eingespeist wird (Davies et al. 2019)²⁴.

In Berlin kommen die vorhandenen sowie gegebenenfalls die neu zu errichtenden unterirdischen U-Bahnstationen für eine Abwärmenutzung in Betracht. Insgesamt gibt es in Berlin 163 unterirdische U-Bahnstationen. Bislang wurden an wenigen U-Bahnstationen Messungen über die jeweiligen Temperaturen in der Abluft erstellt. Bei der Übertragung der Messergebnisse von einer Station auf eine andere ist nach den Aussagen der BVG mit größeren Abweichungen von etwa 50 % zu rechnen. Aus den exemplarischen Messungen ergeben sich erwartbare Wärmeleistungen für die Wärmepumpe von 200 bis 800 kW, wobei als erste Annäherung im Mittel eine Wärmeleistung von 450 kW angenommen werden kann. Mit diesen Informationen und Abschätzungen lassen sich die theoretischen Abwärmepotenziale aus U-Bahnstationen grob ermitteln (s. Tabelle 5.7).

Tabelle 5.7: Unterirdische U-Bahnstationen in Berlin und Abschätzung der Abwärme

Quellen: Austausch mit BVG im Mai 2023, Annahme COP der Wärmepumpe: 3,5

Kennzahlen U-Bahnstationen in Berlin	Status quo	2030	2040	2045
Anzahl unterirdischer U-Bahnstationen	163	169	174	179
Potenzielle Heizleistung Wärmepumpen [MW]	73	76	78	81
Wärmemenge bei 8.760 Vollbenutzungsstunden [GWh/a]	643	666	686	706
Abwärmemenge ohne Wärmepumpenstrom [GWh]	459	476	490	504

Die Nutzung der Abwärme kann unter anderem dadurch limitiert sein, dass es nicht an allen **Standorten** geeignete Aufstellflächen gibt, auch um eine zu starke Auskühlung des Bahnsteigbereichs zu verhindern. Um das theoretische und das nutzbare Abwärmepotenzial genauer quantifizieren zu können, bedarf es einer Messkampagne, die alle unterirdischen U-Bahnstationen möglichst an den konkreten Erschließungspunkten abdeckt, inklusive einer Prüfung, ob die erforderlichen Aufstellflächen vorhanden sind. Alternativ oder ergänzend könnte eine Lorenfahrt mit einer Laser-/Thermographie-Kamera durchgeführt werden²⁵. Außerdem sollten Vorhaben zur Abwärmenutzung aus U-Bahnstationen an konkreten Standorten erprobt werden, um Erfahrungen etwa bezüglich geeigneter oder kritischer Standortfaktoren zu sammeln. Aus den aus einer Messkampagne resultierenden Ergebnissen sowie den Erfahrungen konkreter Erprobungen könnte ein Input für das Wärmekataster generiert werden, sodass die Auswahl geeigneter Standorte für eine Nutzung von Abwärme aus U-Bahnstationen durch die BVG sowie andere Stakeholder wie die Energieversorger und Wärmenetzbetreiber sehr viel schneller und effizienter erfolgen könnte.

²⁴ <https://polis-magazin.com/2019/08/london-ungenutzte-waerme-aus-u-bahn-tunnel-zur-erwaerung-hunderter-gebaeude-verwendet/> (Zugriff: 23.05.2023)

²⁵ Die Kosten für eine Lorenfahrt können auf ca. 50.000 bis 100.000 Euro geschätzt werden (Einschätzung von Mitarbeitenden der BVG).

5.4.2 Stromverteilung: Umspannwerke

Beim Betrieb von **Transformatoren in Umspannwerken** in der Stromverteilung oder -übertragung fällt beim Senken der Spannung Abwärme an. Das Abwärmepotenzial ist dabei abhängig von der Leistung der Transformatoren. Es kann von einem Wärmeverlust von 0,5 bis 1 % der Transformator-Leistung ausgegangen werden²⁶. Petrovic et al. (2019) ermittelten eine Abwärmemenge von knapp 1 GWh bei 135 kV-Transformatoren und von 4,3 GWh bei 400 kV-Transformatoren. Interne Untersuchungen von Stromnetz Berlin ergaben geringere Potenziale von jährlich 0,5 GWh pro Umspannwerk auf der Verteilnetzebene, wobei üblicherweise an einem Umspannwerk zwei Transformatoren in Betrieb sind. Dieser Wert berücksichtigt, dass die Transformatoren über den Jahresverlauf hinweg unterschiedlich ausgelastet sind und dass regionale Unterschiede bestehen.

Im **Kühlkreislauf** werden in der Regel Mineralöle oder Ester als Isolier- und Kühlmedium eingesetzt. Die Abwärme wird üblicherweise an die Umgebungsluft abgegeben. Um die Wärme nutzbar zu machen, bedarf es eines Wärmetauschers, der dem Kühlmittel die Wärme entzieht und sie auf einen Wärmeträger wie Wasser überträgt²⁷. Bestehende Transformatoren verfügen in der Regel nicht über einen Wärmetauscher. Neue Transformatoren können jedoch von vornherein so geplant werden, dass eine Abwärmenutzung möglich ist, indem ein Wärmetauscher am Kühlkreislauf des Transformators eingebaut wird. Somit sollte das Thema Abwärmenutzung bei neu zu errichtenden Umspannwerken von vornherein mitgedacht und in der Planung berücksichtigt werden.

In **Berlin** gibt es aktuell 75 Umspannwerke im Stromverteilnetz von Stromnetz Berlin (Stromnetz Berlin 2022) sowie einige weitere im Übertragungsnetz von 50Hertz (s. Tabelle 5.8). Aus den Umspannwerken auf der **Verteilnetzebene** lässt sich ein Abwärmepotenzial von ca. 37,5 GWh/a abschätzen. Eine Abwärmenutzung in bereits bestehenden Transformatoren ist nur schwer integrierbar, sodass für eine Abwärmenutzung die noch zu errichtenden Umspannwerke relevanter sind. In den nächsten zehn Jahren kann auf Grundlage des aktuellen Netzausbauplans von Stromnetz Berlin (2022) von einem Neubau von insgesamt sieben Umspannwerken ausgegangen werden. Hinzu kommen Ersatzneubauten und Umbauten von bestehenden Umspannwerken (Stromnetz Berlin 2022). Für die weitergehende Entwicklung wird als eigene grobe Schätzung der Autor*innen ebenfalls von einem Zubau von jeweils sieben Umspannwerken pro Jahrzehnt ausgegangen. Erste Ideen für eine Abwärmenutzung in kleinen Wärmenetzen werden für neue Umspannwerke bei Stromnetz Berlin in die Planungen mit einbezogen. Beim Neubau von Umspannwerken wird die Standortwahl durch verschiedene Faktoren bestimmt, die sich primär durch den Stromverbrauch im jeweiligen Gebiet und seine prognostizierte Entwicklung ergeben.

Tabelle 5.8 führt die in Berlin installierten und für 2030, 2040 und 2045 erwarteten Transformatoren sowie die sich durch die Energieverluste ergebenden Abwärmemengen auf.

²⁶ <https://www.energie-lexikon.info/transformator.html> (Zugriff: 25.5.2023)

²⁷ <https://www.industr.com/de/spezielle-transformatoren-st%C3%A4dte-1678501> (Zugriff: 26.5.2023)

Tabelle 5.8: Umspannwerke in Berlin und Abschätzung der Abwärme

Quellen: Austausch mit Stromnetz Berlin und 50Hertz im Juni 2023, *eigene Prognose, **die Abwärmemengen sind geschätzt auf Basis der Angaben zum Status quo

Kennzahlen Transformatoren in Berlin	Status quo	2030	2040	2045
Umspannwerke auf Verteilnetzebene				
Anzahl Umspannwerke	75	79	86*	89*
Abwärme (GWh)	37,5	39,5**	43**	44,5**
Umspannwerke auf ÜN-Ebene				
Anzahl	23	25*	27*	28*
Abwärme (GWh)	34,4	37,4**	40,4**	41,9**

Das angebotsseitige, theoretische Potenzial wird sich keinesfalls vollständig erschließen lassen, etwa da es sich überwiegend um bereits bestehende Umspannwerke handelt und sich nicht immer geeignete Verbraucher in räumlicher Nähe befinden, da saisonale Differenzen bestehen in Wärmeangebot und -nachfrage und da eine wirtschaftliche Umsetzung nicht immer möglich sein wird. Die nutzbare Abwärme aus Umspannwerken auf Verteilnetzebene ist als gering einzuschätzen.

Bei den Umspannwerken auf **Übertragungsnetzebene** sind trotz geringerer Anzahl in Berlin ähnlich hohe Abwärmepotenziale aufgrund der höheren absoluten Verlustleistung vorhanden. Die Situation bei den Umspannwerken auf Übertragungsnetzebene ist regulatorisch bedingt allerdings komplexer. Gemäß des Unbundlings, das im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) geregelt ist, dürfen Übertragungsnetzbetreiber weder Energieerzeugung noch -handel betreiben und sie dürfen somit nicht als Energieversorger auftreten. Dies umfasst nicht nur die Stromerzeugung, sondern auch die Wärmeerzeugung. Dass Dritte, etwa die Wärmenetzbetreiber selbst, als Betreiber der Anlagen auftreten, um die Abwärme der Umspannwerke zu erschließen, erscheint nicht als möglich, da es sich bei den Umspannwerken um eine kritische Infrastruktur handelt. So bleibt nach aktuellem rechtlichem Stand nur die interne Abwärmennutzung. Allerdings gibt es auch hier erhebliche Hemmnisse, da die Bereitstellung der Abwärme lastabhängig ist, weshalb eine Versorgung eines oder weniger Einzelgebäude nur oder überwiegend über Abwärme nicht möglich ist.

5.4.3 Erzeugung von Wasserstoff

Eine Abwärmequelle, die in Berlin zukünftig an Relevanz gewinnen wird, ist die Erzeugung von **synthetischen Gasen**, insbesondere von Wasserstoff aus Strom mittels der Verfahren Elektrolyse und Plasmalyse. Während die Elektrolyse Wasserstoff aus Strom und Wasser erzeugt, greift die Plasmalyse auf Stickstoffverbindungen wie etwa Ammonium (NH₄) als Wasserstoffquelle zurück. Aktuell gibt es in Berlin keine nennenswerte Wasserstoffproduktion aus Elektrolyse oder Plasmalyse. Am BER wurde zeitweise ein kleiner **Elektrolyseur** betrieben und an der Kläranlage Waßmannsdorf gibt es eine Pilotanlage für die Schmutzwasser-Plasmalyse (Schimek et al. 2020).

Zur möglichen **zukünftigen Entwicklung** machen die Studie „Wasserstoffpotenzial in Berlin 2025“ (Schimek et al. 2020) sowie die Machbarkeitsstudie „Berlin Paris-konform machen“ (Hirschl et al.

2021) eine Aussage. Um die aktuellen Pläne für Berlin zu berücksichtigen, fand im Rahmen der vorliegenden Potenzialanalyse ein Austausch mit H2Berlin statt, einem Netzwerk Berliner Unternehmen im Bereich der Wasserstoffproduktion sowie mit hh2e AG, einer Firma, die an einem konkreten Standort eine großskalige Wasserstoffproduktion mit Elektrolyse in Berlin plant.

Aus der Studienauswertung und den projektbegleitenden Gesprächen ergeben sich die in Tabelle 5.9 dargestellten Werte an **installierter Elektrolyseurleistung**, erzeugtem Wasserstoff und entstehender Abwärme. Bis 2025 sollen zwei kleinere Elektrolyseure mit einer Leistung von jeweils 10 MW am BER und in Reuter West entstehen. Bis 2030 plant das Unternehmen hh2e im Gewerbegebiet für CleanTech in Marzahn-Hellersdorf eine Elektrolyse-Anlage aufzubauen, die modular entwickelt wird, beginnend mit einer Kapazität von 100 MWel und einem Ausbau auf 300 MWel bis möglichst 2035. Der elektrische Wirkungsgrad der Elektrolyse kann vereinfacht auf 70 % und der Anteil der nutzbaren Abwärme mit 25 % angenommen werden (Hirschl et al. 2021). Dies entspricht etwa 0,092 kWh Abwärme/MJ H₂ (Barei et al. (2019), zitiert in Dunkelberg und Katner 2022). Bei einer Vollaststundenzahl von 6.500 h, von denen die Unternehmen in ihren Planungen durch eine Kombination der Nutzung von Windstrom mit einem Batteriespeicher ausgehen, ergeben sich die in Tabelle 5.9 dargestellten Wasserstoff- und Abwärmemengen. Die aufgeführten Kapazitäten umfassen nur die konkreten Planungen der Netzwerkvertretenden und von hh2e. Es ist wahrscheinlich, dass weitere Akteure eine Wasserstoffproduktion in Berlin planen, sodass die dargestellten Werte eine eher konservative Abschätzung darstellen. Die Werte stimmen in etwa mit der in der Machbarkeitsstudie „Berlin Paris-konform machen“ angegebenen Elektrolyseur-Leistung von 300 MW bis zum Erreichen der Klimaneutralität überein (Hirschl et al. 2021). Mitglieder von H2Berlin sehen für den zukünftigen Ausbau die Verfügbarkeit von Wasser als begrenzende Ressource.

Tabelle 5.9: Geplante Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse in Berlin

Quellen: (Hirschl et al. 2021; H2Berlin 2020), Austausch mit H2Berlin und HH2E im Mai 2023

Kennzahlen Elektrolyse in Berlin	Status quo	2025	2030	2040	2045
Leistung (MWel)	0	20	120	320	320
Erzeugter Wasserstoff (GWh)	0	91	546	1.456	1.456
Potenzielle Abwärmeleistung [MW]	0	5	30	80	80
Abwärme (GWh)	0	33	195	520	520

Geeignete **Standorte für Elektrolyseure** müssen einige infrastrukturelle Anforderungen erfüllen. So müssen sie eine entsprechend gute Stromanbindung aufweisen, sich in räumlicher Nähe zu den Verbraucher*innen, etwa den zukünftig mit Wasserstoff befeuerten Heizkraftwerken und/oder in räumlicher Nähe zu den zukünftigen Wasserstoffnetzen befinden. Somit eignen sich etwa die Standorte der Heizkraftwerke, die Wärme für die Fernwärme bereitstellen. Denn voraussichtlich werden auch zukünftig gasbetriebene Heizkraftwerke für die Spitzenlast in der Fernwärme eingesetzt. Bei den geplanten Vorhaben zur Elektrolyse ist eine Nutzung der Abwärme vorgesehen. Die Abwärme weist dabei ein Temperaturniveau von 60 bis 65 °C auf, sodass die Temperatur bei Einspeisung in die Fernwärme mit einer Wärmepumpe angehoben werden muss.

Mit der **Schmutzwasser-Plasmalyse** steht ein Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus dem Zentralwasser von Kläranlagen zur Verfügung. Die Potenziale an Wasserstoff aus Klärwasser können auf ca. 550 Tonnen pro Jahr geschätzt werden. Weitere mögliche Inputströme für die Plasmalyse können aus dem Papierrecycling, der Pharmaindustrie, der Rauchgasreinigung von Industrieprozessen und aus Biogasanlagen kommen. Die Firma Graforce GmbH schätzt die Potenziale inklusive dieser Inputströme für Berlin auf etwa 12.000 t H₂ ab (Bergmann et al. 2022). Das Verhältnis von extern nutzbarer Abwärme zu erzeugtem Wasserstoff liegt bei 0,0413 kWh/MJ H₂ (Dunkelberg und Katner 2022). Somit ergibt sich bei umfassender Erschließung der Potenziale eine Abwärmemenge von 60 GWh/a aus der Schmutzwasser-Plasmalyse. Geeignete Standorte für die Schmutzwasser-Plasmalyse sind neben den Berliner Kläranlagen die Standorte der Industrieprozesse, die diese Inputströme bereitstellen. Die Möglichkeiten der Abwärmennutzung an den Standorten sollte frühzeitig geprüft und eine bestmögliche Nutzung in den Planungen angestrebt werden. Die Frage, in welchem Umfang und wann die möglichen Inputströme für die Plasmalyse genutzt werden, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt kaum beantworten. Die vorliegende Analyse geht davon aus, dass bis 2030 die Potenziale aus Klärwasser genutzt werden und bis 2045 Schritt für die Schritt die Potenziale aus den industriellen Inputströmen genutzt werden.

Tabelle 5.10: Angenommene Erzeugung von Wasserstoff mittels Plasmalyse in Berlin

Quellen: Eigene Annahmen auf Basis von (Bergmann et al. 2022; Dunkelberg und Katner 2022)

	Status quo	2030	2040	2045
Angenommene H₂-Produktion [t]	0,05	550	6.275	12.000
Angenommene H₂-Produktion [MJ]	0,06	66	753	1.440
Potenzielle Abwärme [GWh]	0,002	2,7	31,1	59,5

In der Summe lassen sich Abwärmemengen aus der Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse und Plasmalyse auf etwa **580 GWh/a** schätzen, die voraussichtlich bis 2045 anfallen. Bei den hier aufgeführten Wärmemengen handelt es sich um ein theoretisches Potenzial. Die Nutzbarkeit des Potenzials hängt davon ab, ob Standorte mit geeigneten Wärmesenken in räumlicher Nähe erschlossen werden. Die erforderlichen Stromkapazitäten, Wärmenetzverfügbarkeit sowie zukünftig auch die Wasserstoffbedarfe sind z. B. an Standorten von Heizkraftwerken gegeben.

5.4.4 Restwärme aus der thermischen Abfallbehandlung

Die Berliner Stadtreinigung (BSR) betreibt in Berlin diverse Entsorgungs- und Aufbereitungsanlagen wie das Müllheizkraftwerk und die Biogasanlage in Ruhleben, mehrere Sperrmüllaufbereitungsanlagen, Recyclinghöfe und Anlagen zur Mechanisch-Physikalischen-Stabilisierung (MPS). Abgesehen vom Müllheizkraftwerk fällt nach Aussage der BSR keine extern nutzbare Abwärme an.

Die Wärme, die durch die Müllverbrennung am **Müllheizkraftwerk am Standort Ruhleben** (MVA Ruhleben) entsteht, wird in das Fernwärmenetz von Vattenfall eingespeist. Im Durchschnitt der vergangenen Jahre konnten aus den jährlich ca. 1,2 Mio. t gelieferten Hochdruck-Dampf 700 GWh

Fernwärme und ca. 230 GWh elektrischer Strom erzeugt werden. Das im Abfallverbrennungsprozess entstehende Rauchgas enthält eine Restwärmemenge, die mit einer Großwärmepumpe gewonnen und ebenfalls in die Fernwärme eingespeist werden könnte. Die Effizienz des Anlagenparks würde hierdurch steigen. In der Machbarkeitsstudie „Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“ ist für das Müllheizkraftwerk eine Rauchgas-Wärmepumpe mit einer Wärmeleistung von 48 MWth angenommen worden (BET 2019). Neuere Untersuchungen zeigen ein Wärmepotenzial von bis zu 80 MWth. Wird von 4500 Volllaststunden ausgegangen, so ergibt sich eine Wärmemenge von 360 GWh, die in die Fernwärme integriert werden könnte²⁸.

Generell ist es sinnvoll, eine **möglichst hohe Effizienz bei der Müllverbrennung** durch eine Nutzung der Restwärme zu erreichen. Allerdings sollte eine langfristig angelegte Nutzung und ein Verkauf der Restwärme den Zero Waste Ansatz des Landes Berlin nicht beeinträchtigen. Dem aktuellen Abfallwirtschaftskonzept für Berlin zufolge liegt die im Ökoszenario in 2030 erwartete Restabfallmenge bei 673.000 Mg/Jahr (SenUMVK 2021) und damit oberhalb der für das Müllheizkraftwerk aktuell genehmigten Jahres-Durchsatzmenge von 580.000 Mg/Jahr²⁹. In diesem Szenario sind im Vergleich zum Status quo deutliche Verbesserungen in Bezug auf die stoffliche Verwertung und auf Wiederverwendung und Recycling sowie Veränderungen im Konsumverhalten angenommen. Somit steht eine Nutzung der Restwärme einer Verbesserung der getrennten Müllfassung und des Recyclings zumindest mittelfristig nicht entgegen. Allerdings sollte auch die über 2030 hinausgehende, zu erwartende Entwicklung der Restabfallmengen in die Planung eingebunden werden, da eine Wärmepumpe eine längere Nutzungsdauer und Amortisationszeit als 2030 hätte.

Das Vorhaben zur Nutzung der Restwärme im Rauchgas am Müllheizkraftwerk Ruhleben konnte bislang nicht umgesetzt werden. Hauptgrund dafür sind neben den hohen Kapitalkosten hohe Betriebskosten, da Strom aktuell in der Beschaffung und wegen der Entgelte, Umlagen und Steuern teuer ist. Zudem konnte bisher keine passende Förderung für das Vorhaben gefunden werden. Eine Förderung über die BEW inklusive Betriebsförderung der Wärmepumpe ist nicht möglich, da es sich um Wärme aus der Müllverbrennung handelt. Eine Förderung über BENE2 ist ebenfalls nicht ohne Weiteres möglich, da das Vorhaben als Großprojekt bei der EU beantragt werden müsste (s. Kapitel 6.3.2). Das Land Berlin sollte die beteiligten Akteure bei der Identifikation geeigneter Fördermöglichkeiten und bei der Beantragung unterstützen sowie prüfen, ob es ergänzender Förderungen auf Landesebene bedarf, um eine Umsetzung zu ermöglichen.

In Neukölln am BSR Standort Gradestraße soll bis 2030 ein **Biomasseheizkraftwerk** zur Verbrennung von Brennstoff, gewonnen aus Sperrmüll und Altholz (Kategorien 1 bis 3), entstehen. Die so gewonnene Wärme soll in das Wärmenetz der Fernheizwerk Neukölln AG integriert werden. Die Feuerungsleistung soll bis zu 90 MWth betragen und der jährliche Brennstoffeinsatz bei ca. 120.000 Tonnen liegen. In dem Heizkraftwerk wird ebenfalls im Rauchgas eine Restwärme verbleiben, die über den Einsatz einer Wärmepumpe auf die notwendige Fernwärmeverlauftemperatur gebracht werden kann. Die Anlagen sollten von vornherein so effizient wie möglich, das heißt inklusive einer Nutzung der Restwärme über eine Wärmepumpe, geplant werden.

²⁸ Abzüglich der Wärmemenge aus dem Stromeinsatz der Wärmepumpe resultiert bei einem COP von 2,7 eine nutzbare Wärmemenge aus der Restwärme im Rauchgas von 225 GWh.

²⁹ Information eines Mitarbeiters der BSR.

5.4.5 Wärmekraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplung

Überschusswärme aus thermischen (Heiz-)Kraftwerken entspricht nicht der Definition unvermeidbarer Abwärme im engeren Sinne (s. Kapitel 3.1.1 und 3.1.3.4). Gleichwohl liegt in der optimierten Brennstoffausnutzung ein Effizienzpotenzial für den Wärmesektor. Dieser Bereich wird deshalb in diesem Vorhaben über eine Darstellung des Status Quo und Experteneinschätzungen der lokalen Energieversorgungsunternehmen zur zukünftigen Entwicklung gesondert behandelt.

Im Jahr 2020 wurden in Berlin in reinen Wärmekraftwerken der allgemeinen Versorgung rund 3,4 TWh Brennstoff eingesetzt und 1,4 TWh Strom generiert. Dies entspricht einem mittleren Jahresnutzungsgrad von 41 %. 2 TWh bzw. 59 % des umgesetzten Heizwerts wurden demnach aus ungekoppelter Stromerzeugung als Überschusswärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben. In KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung wurden 16,4 TWh Brennstoff bzw. Wärme aus benachbarten Anlagen eingesetzt und 5,4 TWh Strom sowie 8,7 TWh Wärme generiert. Damit wurde in den KWK-Anlagen ein mittlerer Jahresnutzungsgrad von knapp 86 % erreicht. Rund 2,3 TWh bzw. 14 % des umgesetzten Heizwerts wurden demnach aus KWK-Anlagen als Überschusswärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben (s. Abbildung 23).

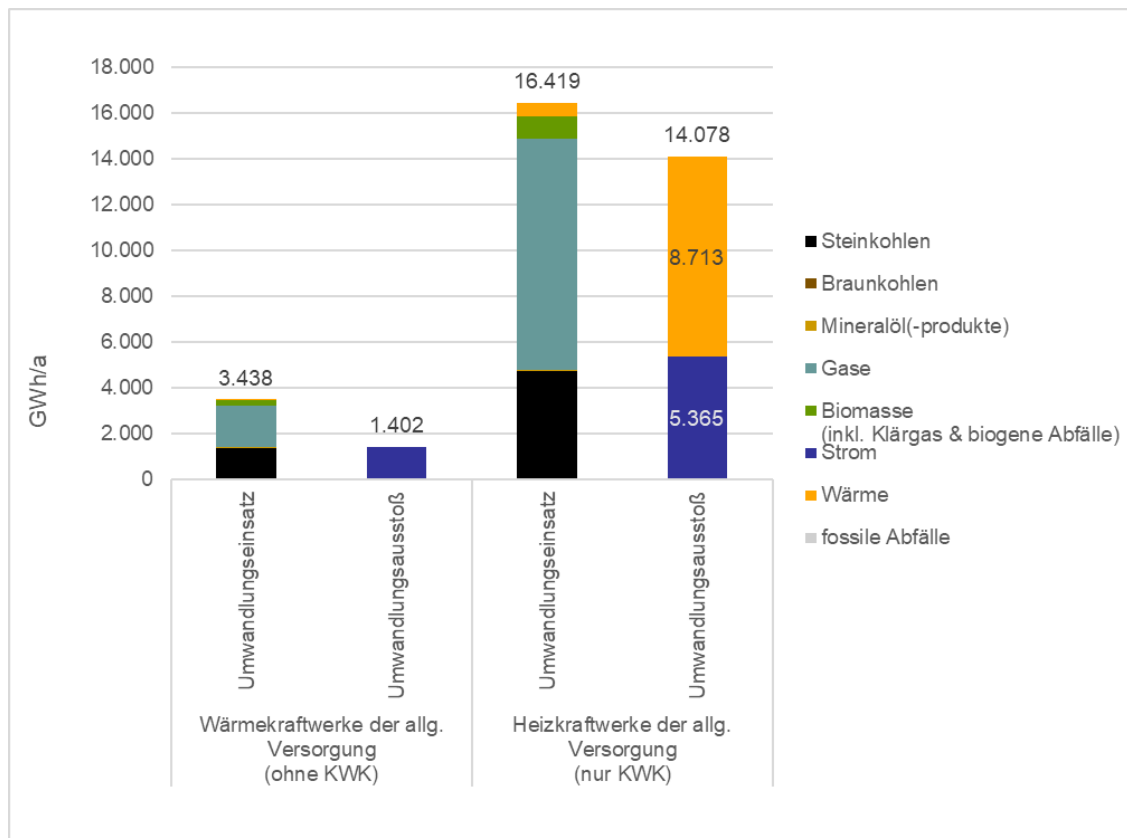


Abbildung 23: Umwandlungsbilanz der Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung 2020

Quelle: Eigene Darstellung, ifeu auf Grundlage des Marktstammdatenregisters

Der überwiegende Teil der Stromerzeugung in Berlin erfolgt in KWK-Anlagen. Die Standorte der Anlagen inklusive Leistung, Energieträger und weiteren Daten, basierend auf einer Auswertung des Marktstammdatenregisters, sind bereits im Energieatlas des Landes enthalten. Insgesamt sind hier 1.543 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 2.319 MW_{el} und einer thermischen Leistung von 4.000 MW_{th} gelistet. Dabei zeigt sich eine starke Konzentration der Anzahl auf kleine Anlagen < 50 kW_{el} und der installierten Erzeugungskapazitäten auf acht Großanlagen der Leistungsklasse

> 50 MW_{el} (s. Abbildung 24). Rund 95 % der KWK-Anlagen werden mit Erdgas als Hauptenergieträger betrieben. In Bezug auf die installierten elektrischen und thermischen Erzeugungskapazitäten entfallen jeweils rund 62 % auf Anlagen mit Erdgas als Hauptenergieträger. Die niedrigeren Anteile von Erdgas bei den Erzeugungskapazitäten im Vergleich zur Anzahl sind im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass bei einigen der sehr großen Anlagen andere Energieträger eingesetzt werden. Dies sind die noch vorhandenen Steinkohle-Anlagen, ergänzt durch den Hauptenergieträger „Wärme“, der primär Wärmelieferungen in das Heizkraftwerk Reuter (wahrscheinlich aus der thermischen Abfallbehandlungsanlage der BSR) widerspiegelt. Im Bereich Biomasse werden zwei große Holzheizkraftwerke der Leistungsklasse > 5-50 MW_{el} betrieben, während im Segment < 2.000 kW_{el} einige Biomethan-BHKWs betrieben werden. Auf Biomasse-KWK-Anlagen entfallen ca. 1,7 % der elektrischen KWK-Erzeugungskapazität und rund 6 % der thermischen KWK-Erzeugungskapazität. Andere Energieträger spielen keine signifikante Rolle (s. Abbildung 25).

Die Überschuss- oder Restwärme aus Wärmekraftwerken und KWK-Anlagen kann über Wärmepumpen nutzbar gemacht werden. An wenigen Standorten in Berlin wurde diese Maßnahme zur Effizienzsteigerung bereits umgesetzt (s. Kapitel 4.2). An Standorten, die auch zukünftig betrieben werden, sowie an neuen Standorten bzw. Anlagen sollten ebenfalls Wärmepumpen zur Effizienzsteigerung umgesetzt werden. Allerdings ist die **zukünftige Entwicklung** der Erzeugung von Wärme und Strom aus Wärmekraftwerken und KWK-Anlagen einer hohen Dynamik unterworfen. Dies ergibt sich aus den Dekarbonisierungsfahrplänen (BTB GmbH 2023; FHW AG 2023; Vattenfall Wärme Berlin AG 2023) sowie aus den Gesprächen mit den Fernwärmebetreibenden. Die steinkohlegeführten sowie einige ältere mit Gas betriebene Anlagen werden im Zuge der Dekarbonisierung der Fernwärme stillgelegt werden. Andere Standorte werden umgerüstet werden, etwa von Erdgas zu Wasserstoff. Welche thermische und elektrische Leistung an Wärmekraftwerken und KWK-Anlagen jeweils in den Bezugsjahren 2030, 2040 und 2045 installiert sein soll und mit wie vielen Volllaststunden die Anlagen betrieben werden, lässt sich aus den Dekarbonisierungsfahrplänen nicht genau ableiten. Langfristig und in der Summe ist davon auszugehen, dass die installierte KWK-Leistung sowie der aus KWK erzeugte Strom geringer ausfallen werden als im Status quo, sodass auch die Überschusswärme geringer sein wird. Ein Grund ist, dass Technologien wie PtH einen Teil der Spitzenlast der Wärmeerzeugung übernehmen werden. In der Grundlast werden Technologien wie Geothermie und Wärmepumpen wesentliche Beiträge leisten. Die Nutzung der Restwärme an den verbleibenden sowie gegebenenfalls neuen KWK-Anlagen sollte dabei im Sinne einer effizienten Brennstoffnutzung umfassend umgesetzt werden.

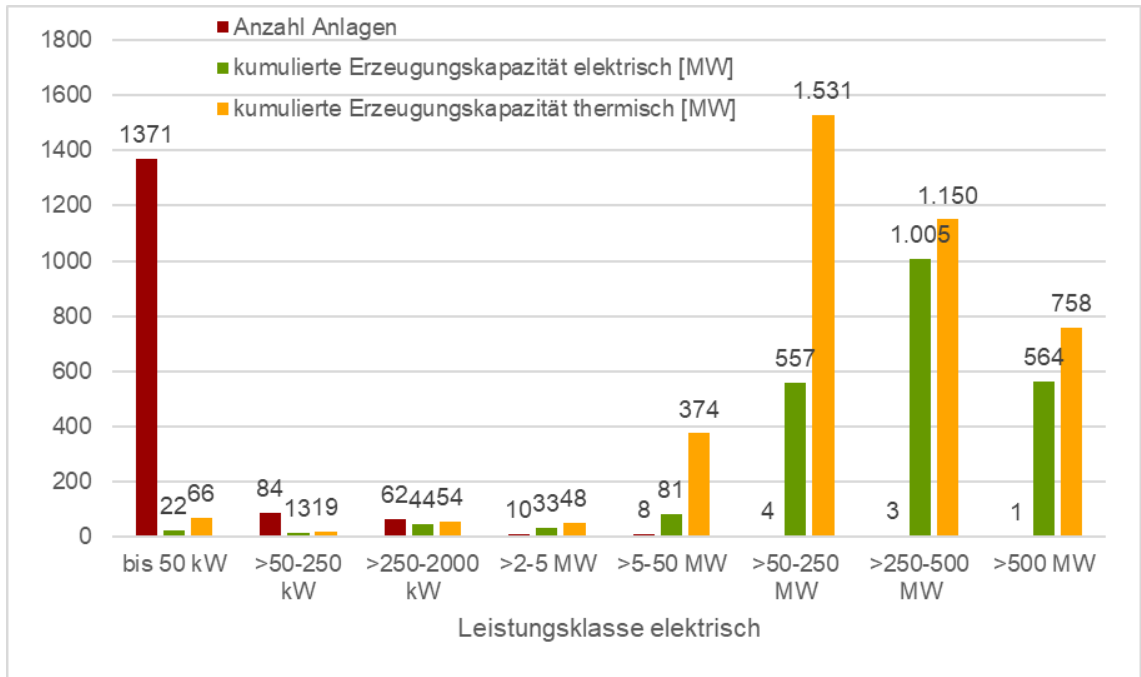


Abbildung 24: Anzahl und installierte Erzeugungskapazität der KWK-Anlagen nach Leistungsklassen in Berlin

Quelle: Geoportal Berlin / Bundesnetzagentur 2023

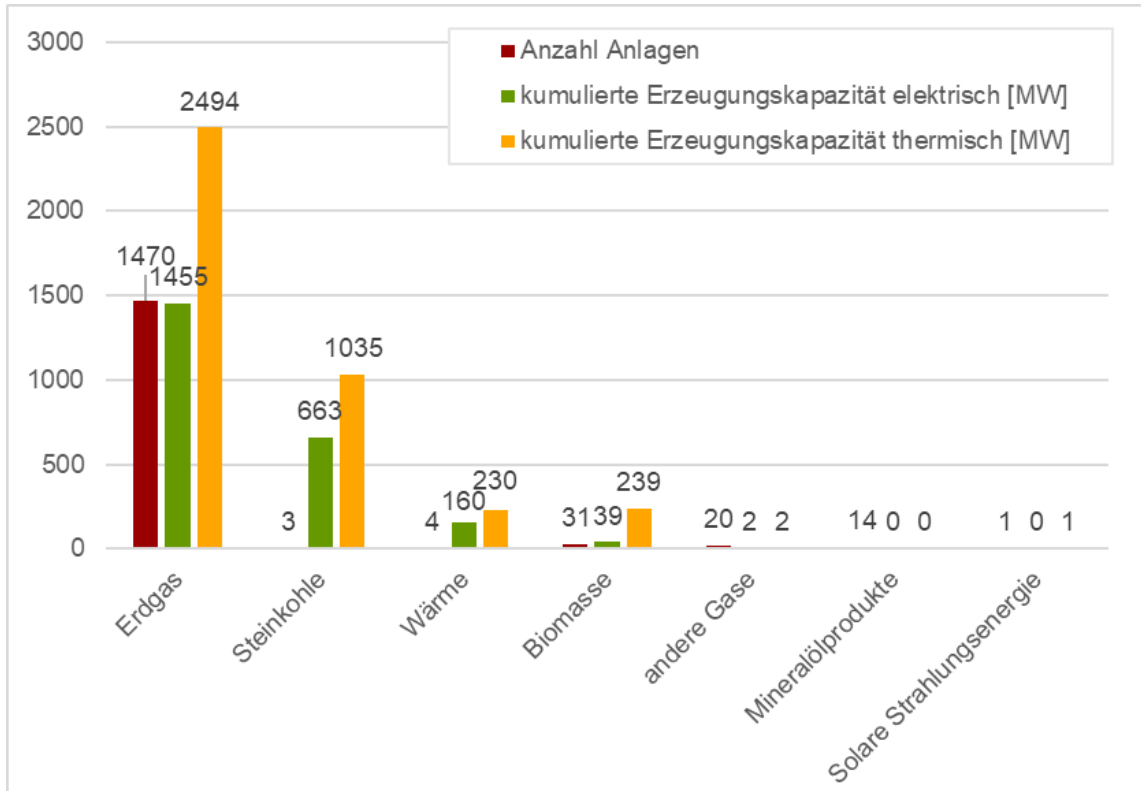


Abbildung 25: Anzahl und installierte Erzeugungskapazität der KWK-Anlagen nach Hauptenergieträger in Berlin

Quelle: Geoportal Berlin / Bundesnetzagentur 2023

5.4.6 Abwasser und Abwasserentsorgung

Wärme aus industriellen und gewerblichen Prozessen kann ein Unternehmen auch gebunden an das Abwasser verlassen. Dabei gilt Abwasserwärme den Regularien zufolge als erneuerbare Energie und nicht als unvermeidbare Abwärme³⁰. Die im Abwasser gebundene Wärme aus Haushalten und Betrieben landet im Entwässerungssystem der Berliner Wasserbetriebe (BWB).

In den Abwasserkanälen stellt sich eine mittlere Temperatur von 12 bis 15 °C im Winter und 17 bis 20 °C im Sommer ein (Gürtler et al. 2022), sodass Abwasserwärmepumpen deutlich effizienter betrieben werden können, als wenn die Außenluft als Wärmequelle dient. Mittels Wärmetauschern in der Kanalisation und nahegelegenen Wärmepumpen können große Gebäude oder über Wärmenetze ganze Quartiere mit Abwärme beheizt werden. Durch die notwendige Einhaltung einer Mindesttemperatur im Klärwerkszulauf von 12 °C ist der Wärmeentzug jedoch auf wenige Kelvin begrenzt. So kann Abwasserwärme vor allem in großen **Abwasserkanälen** und in **Abwasserdruckleitungen** nutzbar gemacht werden und steht auf dem nachfolgenden Fließweg nur noch eingeschränkt zur Verfügung. Die Abläufe der **Kläranlagen** sind ebenfalls ein möglicher Standort für eine Wärmenutzung. So plant Vattenfall eine Wärmepumpenanlage mit einer Gesamtleitung von ca. 75 MWth am Standort Reuter West, um einen Teil der Wärme aus dem geklärten Wasser vor Einleitung in die Spree zu entnehmen und in das Wärmenetz einzuspeisen³¹.

Die BWB haben mit dem **Abwasserwärmeatlas** ein digitales Tool entwickelt, welches die Potenziale an Abwasserwärme im Kanalsystem standortspezifisch ausweist (s. Abbildung 26). Der Atlas enthält Informationen zur theoretischen Entzugsleistung in fünf Kategorien, zur Art und Dimension des Kanals, zu Durchflussraten und zum abgeschätzten Sanierungsbedarf der Infrastruktur. Die Informationen im Abwasserwärmeatlas basieren auf hydrodynamischen Kanalnetz-Simulationen, die durch betriebliche Daten ergänzt wurden (Gürtler et al. 2022).

Sofern ein Betrieb **Abwasser mit hoher Temperatur** in die Abwasserkanäle einleitet, ist dieses nicht im Atlas ausgewiesen, da im Abwasserwärmeatlas eine Durchschnittstemperatur von 15 °C angenommen ist. Bei Betrieben mit höheren Abwassertemperaturen stünde daher ein zusätzliches Potenzial an Wärme bis zur Abkühlung auf 15 °C zur Verfügung. Wärmemengen, die Betriebe ans Abwasser gebunden auf hohem Temperaturniveau verlassen, wurden über die Unternehmensbefragung miterfasst und sind in Kapitel 5.3.2.2 beschrieben.

Abwärme mit Temperaturen unterhalb dieser Grenze findet sich bereits in den im **Abwasserwärmeatlas** aufgeführten Potenzialdaten wieder. Die im Folgenden ausgewiesenen Potenziale an Abwasserwärme stützen sich auf den Abwasserwärmeatlas als Datengrundlage. Die auf Grundlage des Abwasserwärmeatlas ermittelte gesamte Entzugsleistung beläuft sich auf 100 bis 270 MW (Gürtler et al. 2022). Die Wärmemenge, die sich letztlich daraus ergibt, hängt maßgeblich auch davon ab, wie viele Volllaststunden die Wärmepumpen im jeweiligen Wärmeversorgungskonzept erreichen und wie effizient die Wärmepumpen betrieben werden können. Es kann nach eigenen Schätzungen von einer Bandbreite von 250 GWh bis 1.500 GWh ausgegangen werden.

³⁰ Definition nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Renewable Energy Directive (RED II)

³¹ <https://wärme.vattenfall.de/energie-news/abwasserwaermenutzung/> (Zugriff 1.6.2023)

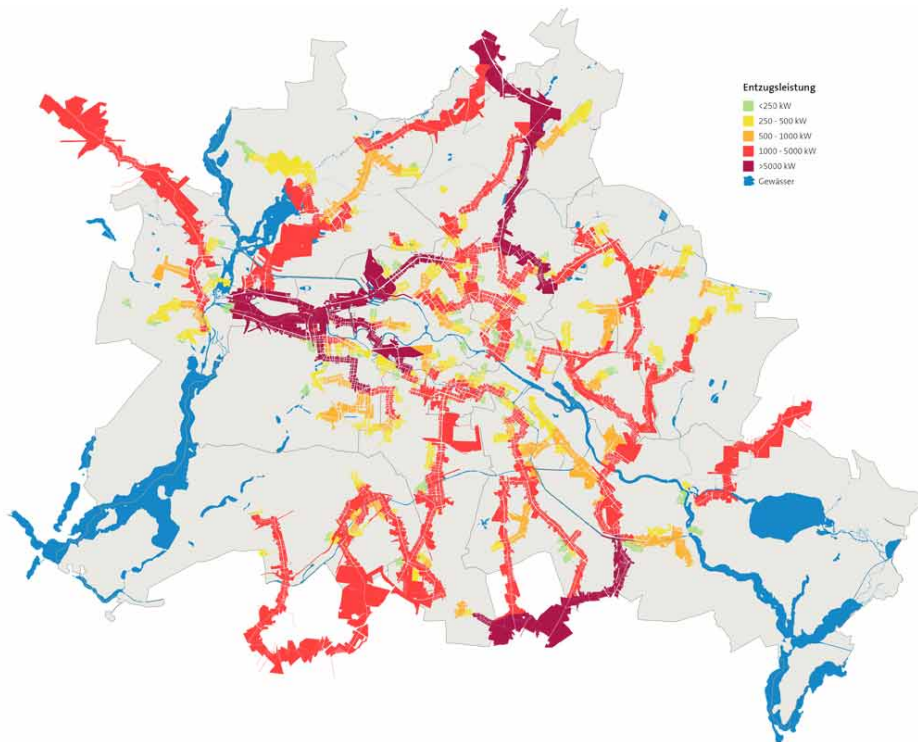


Abbildung 26: Abwasserwärmeatlas Berlin

Quelle: <https://www.bwb.de/de/heizen-und-kuehlen-mit-abwasser.php> (Zugriff: 05.06.2023)

Aus dem Abwasserwärmeatlas lassen sich anhand der Höhe der Potenziale **Standorte** ableiten, an denen eine Abwasserwärmenutzung in Frage kommt. Dabei spielen weitere Faktoren wie ein Mindestdurchmesser der Kanäle von DN600 und ein Mindestdurchfluss, die eingehalten werden müssen, eine Rolle. Die Frage, ob und wann welche Potenziale erschlossen werden können, hängt darüber hinaus von betrieblichen Faktoren ab. Grundwasserschutzgebiete und Reinigungsschwerpunkte sind von der Nutzung ausgeschlossen. Alter und Zustand der Kanäle bzw. Druckleitungen haben ebenfalls einen Einfluss. So ist eine bevorstehende Kanalsanierung ein günstiger Zeitpunkt für einen kosteneffizienten Einbau eines Wärmetauschers (Gürtler et al. 2022). Durch die Bevölkerungsentwicklung, den Einsatz effizienterer Prozesse und Geräte sowie durch Veränderungen in der Entwässerungsstrategie der BWB können sich Veränderungen bezüglich der im Abwasserwärmeatlas ausgewiesenen Potenziale ergeben. Diese Veränderungen lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht genauer absehen, weshalb an dieser Stelle die im Atlas ausgewiesene Bandbreite des Gesamtpotenzials für die zukünftige Entwicklung der Potenziale fortgeführt wird.

Im Zuge der vorliegenden Potenzialanalyse wurde gemeinsam mit den BWB geprüft, ob es abseits der im Abwasser gebundenen Wärme weitere Abwärmequellen in den durch die BWB betriebenen Anlagen gibt. Dies könnten etwa in den Pumpwerken oder Druckerhöhungsstufen (auch im Trinkwasserversorgungssystem) zum Einsatz kommende Pumpen sein. Eine Sichtung der technischen Parameter der Antriebsmaschinen führte jedoch zu der Einschätzung, dass eine außerbetriebliche Abwärmenutzung bei diesen Anlagen nicht lohnenswert ist. Nicht Teil der Betrachtungen war das Potenzial einer thermischen Energienutzung aus Trinkwasser, die technisch ähnlich der Abwasserwärmenutzung ist, aber mit zusätzlichen Risiken einhergeht (s. z. B. DVGW 2010).

Exkurs: Abwärme aus der Klimatisierung von Gebäuden

Aus der Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden resultiert ebenfalls ein Abwärmepotenzial. Vor allem Nichtwohngebäude werden häufig gekühlt. Dabei fällt Abwärme aus der Klimatisierung typischerweise vor allem im Sommer und tagsüber an. Das Temperaturniveau der Abwärme liegt bei Klimaanlage bei etwa 20 bis 40 °C. Somit ist in der Regel eine Temperaturanhebung über eine Wärmepumpe erforderlich, bevor eine externe Nutzung der Abwärme möglich ist (Steinbauer et al. 2022). Die Abwärme fällt kleinteilig und breit gestreut über das Stadtgebiet an.

Die Abwärme aus der Kühlung von Gebäuden wurde, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, analog zu den Empfehlungen des JRC (Lyons et al. 2021) im Rahmen dieser Potenzialanalyse nicht erhoben und georeferenziert. Auf der Grundlage einer Studie von Steinbauer et al. (2022) kann allerdings eine grobe Einordnung der gesamten Potenziale in Berlin vorgenommen werden. Abschätzungen von Steinbauer et al. (2022) ergeben einen Kühlbedarf von 1.129 bis 3.042 GWh/a in Berlin und ein daraus resultierendes Abwärmepotenzial von 1.204 bis 3.245 GWh/a. Die Bandbreite ergibt sich durch verschiedene Ansätze und Annahmen für die Berechnung.

Für die Zukunft ist von einer zunehmenden Nachfrage nach Kühlung und Klimatisierung auszugehen. Heinrich et al. (2014) gehen von Zuwachsraten bei Klimakälte von 3,5 bis 5 %/a aus. Die Nutzbarkeit der Abwärme aus der Gebäudekühlung für die Wärmeerzeugung ist durch die saisonale Nachfrage nach Heizwärme in der Heizperiode eingeschränkt und beschränkt sich vermutlich auf die Bereitstellung von Warmwasser. Wegen des kleinteiligen Anfallens der Abwärme eignet sich ggf. eher eine gebäudeinterne Wärmerückgewinnung als eine externe Nutzung.

5.5 Gesamtschau über die Abwärmepotenziale in Berlin und ihre zukünftige Entwicklung

Die Gesamtschau über die ermittelten Abwärme- und Restwärmepotenziale soll verdeutlichen, in welchen Bereichen in Berlin größere theoretische und technische Potenziale an Abwärme bestehen und/oder zukünftig zu erwarten sind. Denn dies ist eine wichtige Grundlage für die Ableitung und Priorisierung der Maßnahmen zur Unterstützung der Hebung der Potenziale.

Die genauen Zahlenwerte zu den Abwärmemengen pro Abwärmequelle sind dabei mit Unsicherheit behaftet, da sie auf Prognosen und Schätzungen basieren. Auch die Ergebnisse aus der Unternehmensbefragung decken nicht die Grundgesamtheit der Betriebe mit Abwärmepotenzialen in Berlin ab, sodass die Hochrechnungen auf Kennzahlen und Annahmen basiert. Zudem liegen teilweise keine Informationen zu den genauen Standorten vor. Trotz dieser Einschränkung erlauben die Ergebnisse der Potenzialanalyse eine gute Orientierung, in welchen Bereichen größere Abwärmemengen anfallen und welche Eigenschaften die Abwärme in diesen Bereichen aufweist.

Ein Überblick über die in diesem Vorhaben erfassten Potenziale an Abwärme und Restwärme in Berlin verdeutlicht, dass im Status quo Abwärme vor allem in **Industrie und Gewerbe**, und hier primär in den WZ Herstellung pharmazeutischer Erzeugnisse und Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, sowie in **U-Bahn-Stationen** auftritt (s. Abbildung 27). Eine besondere Rolle nehmen **Rechenzentren** ein, bei denen ein **erheblicher Zubau** erwartet wird, sodass die zukünftig aus Rechenzentren zu erwartenden Abwärmepotenziale unter Umständen sehr hoch sein werden. Darüber hinaus werden voraussichtlich zukünftig in der **Wasserstoffherzeugung** mittels Elektrolyse

und Plasmalyse relevante Abwärmemengen anfallen. Die in der Stromverteilung in den Umspannwerken entstehende Abwärme ist im Vergleich deutlich geringer. Hinzu kommt die **Wärme im Rauchgas der Müllverbrennungsanlage**. Hierbei handelt es sich nicht um Abwärme, sondern um Restwärme, die im Sinne einer Effizienzsteigerung des Anlagenbetriebs durch Wärmepumpen nutzbar gemacht werden kann. Die zukünftige Entwicklung hängt hierbei von der anfallenden Menge an Abfall ab, der der Müllverbrennung zugeführt wird, und im Sinne des Zero-Waste-Ansatzes abnehmen muss. Eine relativ große Wärmemenge ist im Abwasser gebunden und kann über das Kanal- und Leitungssystem sowie die Kläranlagen mittels Wärmetauschern nutzbar gemacht werden. Letztere zählt jedoch zu den erneuerbaren Energien und ist daher nicht in Abbildung 27 aufgeführt.

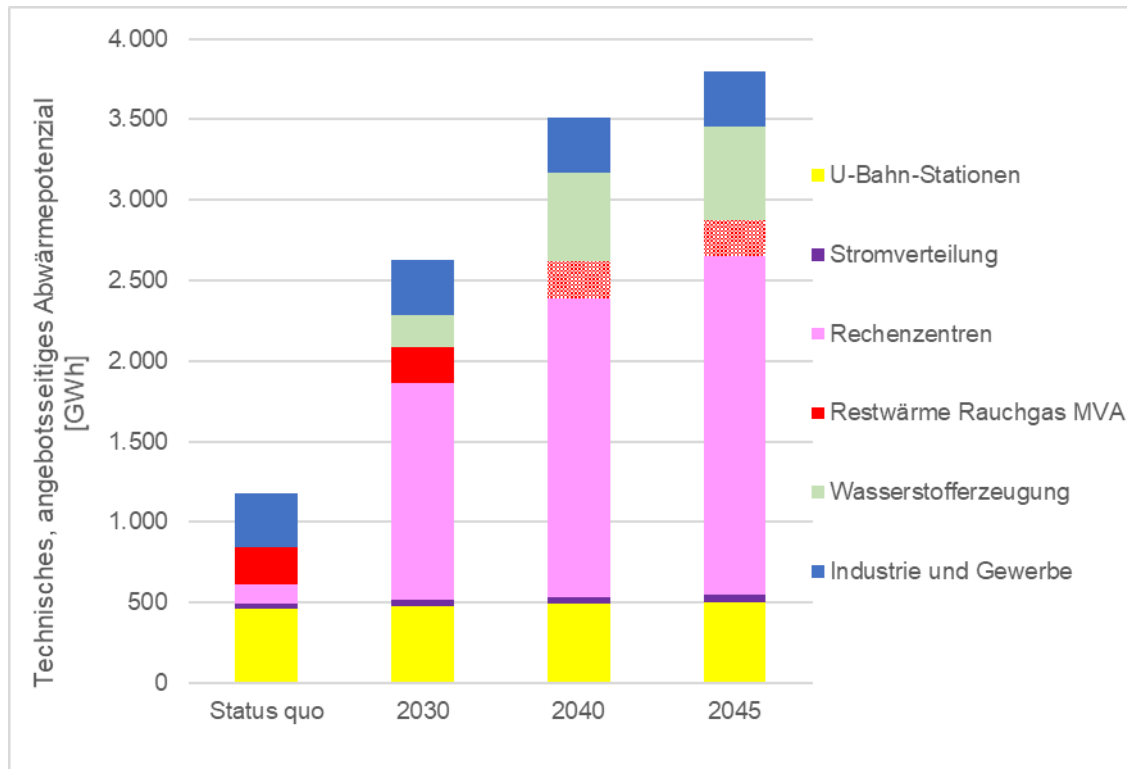


Abbildung 27: Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und prognostizierte Entwicklung

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

In der Summe ergibt sich ein **angebotsseitiges Potenzial von ca. 1.180 GWh** im Status quo. Bis 2045 verändern sich die Abwärme- und Restwärmemengen erheblich und nehmen vermutlich stark zu. Dies betrifft vor allem die Abwärme aus Rechenzentren und die potenzielle Abwärme aus der Wasserstoffproduktion, die in Zukunft durch den erwarteten Zubau an Anlagen und Betrieben mengenmäßig deutlich an Bedeutung gewinnen werden. Das theoretische Potenzial an Abwärme aus U-Bahn-Tunneln und -Stationen, aus Abwasser sowie aus der Stromverteilung ändert sich hingegen kaum. Für Industrie und Gewerbe ist eher ein Rückgang der Potenziale zu erwarten, wobei eine Quantifizierung auf Grundlage der Umfrageergebnisse nicht möglich war. Die Auswertung von Studien und Fachliteratur ließ für die in Berlin vertretenen Branchen ebenfalls keine valide Abschätzung zu. Daher ist das Abwärmepotenzial aus Industrie und Gewerbe bis 2045 konstant angenommen und wird womöglich für die Zukunft überschätzt. Sollte der Zubau an Rechenzentren und der Anlagen zur Wasserstoffherzeugung, wie hier angenommen, stattfinden, so summieren sich die Abwärmepotenziale in 2030 auf nahezu 2.600 GWh und bis 2045 auf 3.800 GWh.

Im Vergleich zur „Potenzialstudie Klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 2035“ (Egelkamp et al. 2021) sind die Werte zu Abwärme aus Industrie und Gewerbe und Rechenzentren in ähnlicher Höhe, wenn der Zubau an Rechenzentren, wie hier beschrieben, berücksichtigt wird. Da in der vorliegenden Analyse zusätzlich die Wärmepotenziale aus U-Bahn-Stationen, der Stromverteilung und der Wasserstoffherzeugung sowie die Restwärme im Rauchgas der MVA ermittelt bzw. abgeschätzt wurden, sind die insgesamt ausgewiesenen, langfristigen Potenziale hier höher.

Bei den für Berlin ausgewiesenen Abwärmepotenzialen handelt es sich überwiegend um **Niedertemperaturwärme** (s. Abbildung 28), sodass die Nutzbarmachung mittels Wärmepumpe einen Stromeinsatz erfordert. Die Effizienz der Wärmepumpen, die vor allem von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und -senke abhängt, bestimmt die Höhe des Stromverbrauchs sowie die Höhe der letztlich bereitgestellten Wärme. Für die Frage der Nutzbarkeit ist außerdem neben der jährlich anfallenden Wärmemenge das Erzeugungsprofil im Abgleich mit den Verbrauchsprofil relevant. Die meisten der erfassten Wärmeströme fallen ganzjährig an. So ist grob davon auszugehen, dass nur die Hälfte der hier ausgewiesenen Wärmemenge in der Heizperiode anfällt. Außerhalb der Heizperiode wird nur Warmwasser und Prozesswärme benötigt. Da nahezu alle Abwärme- und erneuerbare Wärme-Potenziale, also z. B. Geothermie und Flusswasserwärme, auch im Sommer anfallen, können sie aufgrund der Konkurrenz zueinander nicht vollständig ausgeschöpft werden. Um die Potenziale vollständiger zu erschließen, bedarf es **Langzeit- bzw. Saisonalen Wärmespeicher**, deren Betrieb jedoch mit **Wärmeverlusten** einhergeht.

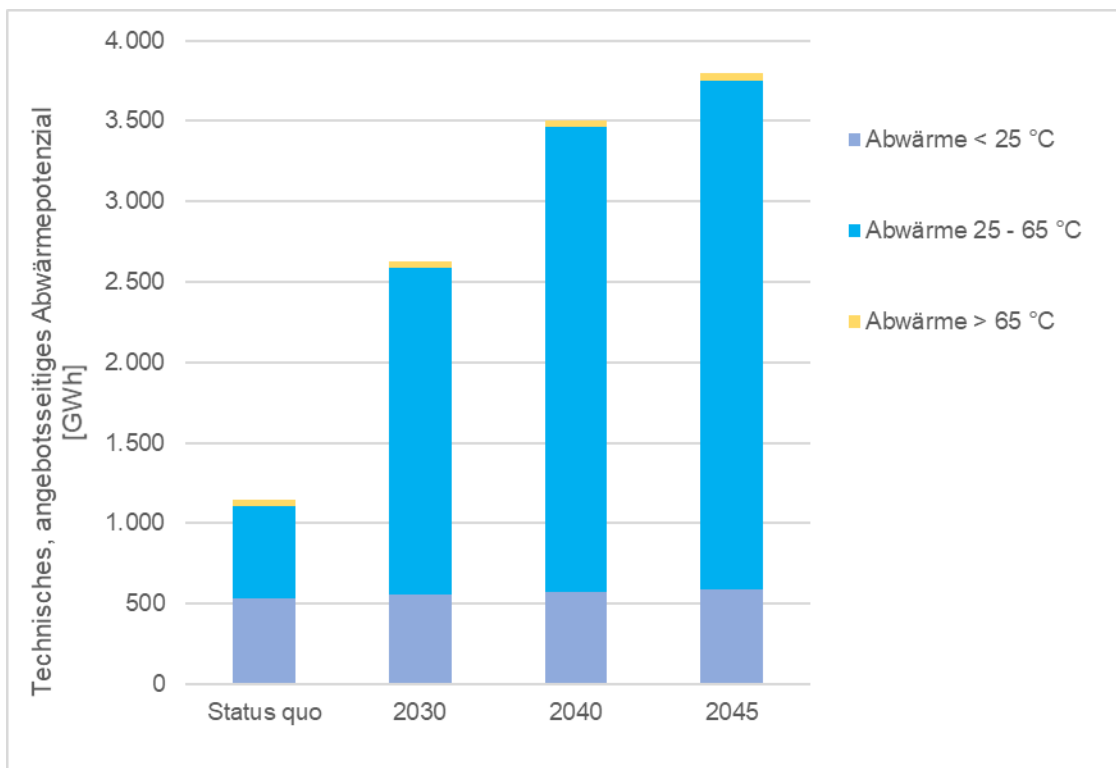


Abbildung 28: Temperaturniveaus der Abwärmepotenziale in Berlin im Status quo und ihre prognostizierte Entwicklung

Quelle: Eigene Darstellung, IÖW

Ein Georeferenzierung ist nur für einen Teil der dargestellten Abwärmepotenziale möglich. Generell kann 29 Anlagen aus dem verarbeitenden Gewerbe und dem Handels- und Dienstleistungssektor in Berlin **ein konkreter Standort** zugeordnet werden. Mit diesen Anlagen gehen der Hochrechnung zufolge im Status quo etwa 272 GWh Abwärme einher. Daraus lässt sich schlussfolgern,

dass zu 67 GWh Abwärme aus der Hochrechnung kein Standortbezug hergestellt werden kann. Leider ermöglicht die Energiestatistik, die für die Hochrechnung verwendet worden ist, keinen Standortbezug der Daten. Zu den Rechenzentren liegen derzeit ausschließlich aus der Unternehmensumfrage **standortbezogene Daten** vor. Eine Georeferenzierung wäre bei den unterirdischen U-Bahn-Stationen vergleichsweise einfach möglich, da die Koordinaten der U-Bahn-Stationen bekannt sind. Bei den Umspannwerken ist prinzipiell ebenfalls eine Georeferenzierung möglich, wobei es sich bei Letzteren um kritische Infrastrukturen handelt. Der Standort der Restwärme aus dem Rauchgas der Müllverbrennung ist bekannt. Für die Erzeugung von Wasserstoff sind derzeit potenzielle Standorte im Gespräch. Somit besteht vor allem bei industrieller und gewerblicher Abwärme sowie bei Rechenzentren weiterer Bedarf zur Georeferenzierung der Abwärmemengen.

Welcher Anteil der Abwärme extern nutzbar ist, hängt neben dem Temperaturniveau maßgeblich von **räumlichen und auch von zeitlichen Faktoren** ab. Ein Faktor, der die Nutzbarkeit von Abwärme einschränken kann, ist etwa die **Verfügbarkeit von Aufstellflächen**. Entscheidend für die externe Nutzung ist außerdem, ob sich ein Wärmenetz in hinreichender räumlicher Nähe zur Abwärmequelle befindet oder ein neues Wärmenetz am Standort der Wärmequelle errichtet werden kann. Die Nutzbarkeit der Abwärmequellen wird sich im Zuge der Wärmeplanung durch einen Abgleich mit den Fernwärmeversorgungsgebieten sowie mit Daten zum Wärmenetzausbau konkretisieren und quantifizieren lassen (s. z. B. Riechel und Koziol 2022). Schritt für Schritt sollte die Datengrundlage an standortbezogenen Daten zu Abwärmequellen erweitert werden, um diesen Abgleich zu ermöglichen. Hierfür werden perspektivisch die Daten der Unternehmen zur Verfügung stehen, die nach dem Entwurf des EnEFG der Auskunftspflicht unterliegen (s. Kapitel 6.1). Im Zuge der Wärmeplanung bzw. durch die Betriebe und Netzbetreibenden muss außerdem geprüft werden, ob eine Nutzung der Wärmemengen in Bezug auf das Temperaturniveau und die zeitliche Verfügbarkeit sinnvoll ist. In der Summe liegt aktuell noch keine hinreichende Datengrundlage vor, um konkrete quantitative Prognosen zur Abwärmennutzung zu erstellen. Wird als vereinfachte Abschätzung davon ausgegangen, dass langfristig ein Viertel der Abwärme genutzt wird, so ergibt sich eine Wärmemenge aus Abwärme und Restwärme (exklusive des Stroms für den Wärmepumpenbetrieb) von knapp 950 GWh/a. Der Überblick über die angebotsseitigen Potenziale gibt außerdem Orientierung, wo in Berlin Schwerpunkte hinsichtlich der Abwärmepotenziale bestehen.

Dies sollte auch bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen und Priorisierung der Maßnahmen beachtet werden. Denn Voraussetzung für eine zügige Erschließung der Potenziale ist es, dass geeignete, förderliche Rahmenbedingungen für die Abwärmennutzung geschaffen werden, indem etwa Risiken abgedeckt, Beratung und Vernetzungsangebote angeboten und Fördermittel bereitgestellt werden. Da einige Potenziale erst zukünftig durch die Ansiedlung von abwärmeliefernden Betrieben und Prozessen auftreten werden, ist das Gelegenheitsfenster der Standortwahl so zu nutzen, dass die Abwärmepotenziale für die Wärmewende erschlossen werden können.

Das nächste Kapitel beschreibt ein Maßnahmenpaket, mit dem das Land Berlin die Erschließung der Potenziale unterstützen kann.

6 Instrumente zur Steuerung der Abwärmenutzung

Die Einbindung von Abwärme in bestehende oder neue Wärmenetze ist kein Selbstläufer – dies zeigt auch ein Blick auf die Anzahl der bislang in Berlin umgesetzten Projekte (s. Kapitel 4.2) sowie die Erkenntnisse aus der Unternehmensumfrage und den projektbegleitenden Workshops. Dass nicht bereits mehr Vorhaben existieren, ist auf verschiedene Hemmnisse und Hindernisse zurückzuführen. Diese können technischer, ökonomischer, rechtlicher oder organisatorischer Art sein (s. Abbildung 29) und teilweise in bestimmten Branchen in besonderem Maße auftreten.

TECHNISCH	ÖKONOMISCH	RECHTLICH	ORGANISATORISCH
<ul style="list-style-type: none"> • Geringes Temperaturniveau der Abwärme • Zeitliches Profil des Wärmeaufkommens • Unterbrechung des laufenden Betriebs • Geringe Platzverfügbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Wirtschaftlichkeit • Investitionskosten, Energiepreise, Baukosten, Zinssätze • Relativ lange Amortisationszeiten • Planungsunsicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Unsichere Rahmenbedingungen • Langfristige Wärmevertragsverträge • Umfangreiche Genehmigungsverfahren • Meldepflichten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher personeller Aufwand • Fehlendes Wissen über Abwärme und Abwärmenutzung • Fehlende Planungssicherheit • Kein Wärmenetz vorhanden

Abbildung 29: Hemmnisse für die Erschließung von Abwärmepotenzialen

Quelle: Eigene Darstellung. IÖW, auf der Basis von Aydemir et al. (2019)

Ein Ziel des vorliegenden Vorhabens war es, Maßnahmen zu identifizieren, die die Akteure sowohl auf der wärmeliefernden als auch auf der wärmeabnehmenden Seite bei der Überwindung der Hemmnisse und bei der erfolgreichen Umsetzung von Vorhaben unterstützen. Der Fokus liegt dabei auf Maßnahmen und Instrumenten, die das Land Berlin umsetzen oder anstoßen kann.

Die Maßnahmen wurden mittels einer Desktoprecherche und in Expertengesprächen identifiziert sowie durch die Berliner Stakeholder auf den projektbegleitenden Fachworkshops ergänzt. Es handelt sich um Maßnahmen, die teils bereits andersorts existieren oder diskutiert werden.

6.1 Auskunftspflicht und Nutzungspflichten für Abwärme

Voraussetzung für eine externe Abwärmenutzung sind Informationen über die verfügbaren Wärmemengen und -qualitäten. Es muss diesbezüglich, auch im Zuge der Wärmeplanung, eine geeignete Datengrundlage geschaffen werden. Bislang war die Bereitstellung von Informationen und Daten zu den Abwärmepotenzialen für Unternehmen freiwillig. Die Bereitschaft, freiwillig Auskunft zu geben, ist eher gering. Teilweise fehlt auch das Wissen zu den Potenzialen in den Unternehmen. Dies zeigt sich unter anderem an dem relativ geringen Rücklauf bei Unternehmensbefragungen zu Abwärmepotenzialen (s. Kapitel 5.3.1). Eine **Auskunftspflicht** für Unternehmen kann entscheidend dazu beitragen, dass eine gute Datenbasis zu Abwärmepotenzialen geschaffen wird.

Viele Betriebe hatten bislang keinen hinreichenden Anreiz für eine Nutzung ihrer Abwärme. Da für die Wärmewende eine möglichst umfassende Nutzung anzustreben ist und eine sehr hohe zeitliche Dringlichkeit besteht, ist eine **Nutzungspflicht** für Betriebe mit Abwärmepotenzialen sinnvoll.

6.1.1 Bestehende und geplante Regelungen auf Bundes- und Landesebene

Im Mai 2023 beschloss das Kabinett der Bundesregierung einen **Gesetzesentwurf zur Steigerung der Energieeffizienz (EnEfG)**, zu dem nun eine Beschlussempfehlung vorliegt³². Das EnEfG soll das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G) ersetzen. Der Entwurf zum EnEfG sieht vor, die bereits existierenden ordnungsrechtlichen Vorgaben zum Thema Abwärme zu verschärfen und auszuweiten, unter anderem durch eine **Auskunftspflicht** und eine **Nutzungspflicht** von gewerblicher und industrieller Abwärme bei Unternehmen. Damit setzt die Bundesregierung die in der RED II formulierten und in deren Novelle RED III verschärften Forderungen nach einer Erhöhung des Anteils unvermeidbarer Abwärme in der Fernwärme sowie einer Errichtung einer Abwärmeplattform in deutsches Recht um. Der vorliegende Gesetzesentwurf wird im Folgenden erörtert und in den existierenden Rechtsrahmen eingeordnet.

6.1.1.1 Auskunftspflicht

Einer freiwilligen Veröffentlichung von Abwärmedaten stehen Unternehmen häufig zögerlich gegenüber, dies zeigen die im Verlauf des Vorhabens geführten Gespräche und auch die vergleichsweise geringen Rücklaufquoten bei dieser und bei ähnlichen Unternehmensbefragungen (vgl. Blömer et al. 2019). Eine breite Datenverfügbarkeit ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für das Zustandekommen von Kooperationen zwischen Wärmesenken und -quellen (Stark et al. 2020). Einige Bundesländer wie Baden-Württemberg oder Hamburg haben bereits eine **Auskunftspflicht** in ihren Klimaschutz- bzw. Energiewendegesetzen auf Landesebene festgeschrieben. Beispielhaft ist hier § 33 des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes Baden-Württemberg (KlimaG BW) zu nennen, welcher die Datenübermittlung zur Erstellung von kommunalen Wärmeplänen regelt und beinhaltet, dass Unternehmen energie- und abwärmebezogene Daten auf Anfrage an die Kommunen übermitteln müssen. Die erfassten Daten werden meist nicht, wie etwa vom Branchenverband der Fernwärmebetreibenden AGFW gefordert, öffentlich zugänglich gemacht, sondern dienen der internen Planung. Auch in Berlin gilt bereits laut § 21 Absatz 1 des EWG Bln eine Auskunftspflicht über anfallende Abwärme bei Betrieben, sofern die Daten der Wärmeplanung dienen. Die Größe des Unternehmens ist dabei insofern irrelevant, als dass eine Abfrage von Wärmedaten im Ermessen der zuständigen Behörden liegt. Der Inhalt einer solchen Auskunft wird in § 21a Absatz 2 EWG Bln durch Lage, Leistung, Arbeit, Temperaturniveau und zeitliche Verfügbarkeit konkretisiert. Allerdings greift diese Auskunftspflicht bislang nicht hinreichend.

Der nun auf Bundesebene vorliegende Gesetzesentwurf zum EnEfG sieht vor, die zum Teil bereits lokal geltenden Vorgaben auch auf Bundesebene zu implementieren, indem Unternehmen ihre Abwärmepotenziale jährlich bis zum 31. März anhand einer elektronischen Vorlage an die Bundesstelle für Energieeffizienz übermitteln müssen. Im Anschluss sollen die Daten auf einer übersichtlichen Plattform zur Verfügung gestellt werden. Die Auskunftspflicht gilt ausschließlich für Unternehmen, die einen Gesamtenergiebedarf von durchschnittlich über **2,5 GWh/a** in den letzten drei abgeschlossenen Kalenderjahren aufweisen und für die keine spezielleren Anforderungen gelten, wie etwa die für BImSchG-Anlagen. Der Grenzwert von 2,5 GWh/a orientiert sich an der informell im

³² Drucksache 20/7632 vom 5.7.2023 - Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Klimaschutz und Energie (25. Ausschuss) zu dem Gesetzesentwurf der Bundesregierung – Drucksache 20/6872 – Entwurf eines Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes

Trilog beschlossenen Novelle der EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED), die für Unternehmen ab einem Gesamtenergieverbrauch von 10 TJ (2,78 GWh) verpflichtende Energieaudits vorsieht.

Die BImSchG-Anlagen, die in der Regel einen Gesamtenergieverbrauch von mehr als 2,5 GWh/a aufweisen, machen in Berlin 60 % des Gesamtenergiebedarfs des verarbeitenden Gewerbes aus. Die genaue Anzahl an Unternehmen in Berlin, die zwar *nicht* unter das BImSchG fallen, aber dennoch einen Jahresverbrauch von über 2,5 GWh aufweisen, konnte mit den verfügbaren Daten nicht ermittelt werden. Somit kann nur abgeleitet werden, dass durch den gewählten Grenzwert des EnEfG auf Bundesebene in Berlin Unternehmen erreicht werden, die mindestens 60 % des Gesamtenergiebedarfs des Berliner verarbeitenden Gewerbes ausmachen.

Für Unternehmen mit einem Energieverbrauch von mehr als 2,5 GWh/a gilt neben der Auskunftspflicht gegenüber der Bundesstelle auch eine Auskunftspflicht gegenüber Anfragen von wärmeabnehmenden und wärmenetzbetriebenden Unternehmen. Von der Veröffentlichung ausgeschlossen sind Informationen, die eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit zu Folge hätten. Folgende Informationen sind laut Entwurf zum EnEfG zu veröffentlichen:

1. Name des Unternehmens,
2. Adresse des Standortes oder der Standorte, an dem die Abwärme anfällt,
3. die jährliche Wärmemenge und maximale thermische Leistung,
4. die zeitliche Verfügbarkeit in Form von Leistungsprofilen über den Jahresverlauf,
5. die vorhandenen Möglichkeiten zur Regelung von Temperatur, Druck und Einspeisung,
6. das durchschnittliche Temperaturniveau in Grad Celsius.

Diese Informationen entsprechen in etwa einem Vorschlag der AGFW, wobei dieser auch Informationen über den Aggregatzustand des Abwärmemediums forderte (AGFW 2023).

Um Mehrfacherhebungen zu vermeiden, ist eine **Zugänglichkeit** und eine **effektive Nutzung** von bereits vorhandenen Daten auf den verschiedenen Verwaltungsebenen zu gewährleisten. Eine verpflichtende Erhebung der Daten durch die Bundesstelle für Energieeffizienz und die anschließende Integration auf einer beim Bund angesiedelten, öffentlichen Plattform ist zu begrüßen. Zudem müssen die Daten für die Berliner Wärmeplanung auch Eingang in das Berliner Wärmekataster finden und den Bezirken zur Verfügung gestellt werden. Denn die kommunale Wärmeplanung ist in Berlin teilweise auf der bezirklichen Ebene umzusetzen (so wird die obengenannte Befugnis für die Erhebung von Wärmedaten in § 21 Absatz 1 EWG Bln sowohl den zuständigen Senatsverwaltungen als auch den Bezirken zugeschrieben). Es wird daher empfohlen, dass sich das Land Berlin frühzeitig für eine Integration der auf Bundesebene erfassten Daten in das Berliner Wärmekataster einsetzt.

Eine **Auskunftspflicht für Fernwärmebetreibende** sieht das EWG Bln bereits in Abschnitt 7 § 24 vor. Diese werden aufgefordert bis zum 31.12.2022 sowohl Angaben zu Preislisten und Erzeugermix als auch mögliche Anschlusspunkte offenzulegen. Das Land Berlin hält es sich offen, durch Rechtsverordnungen weitere inhaltliche Anpassungen vorzunehmen.

6.1.1.2 Nutzungspflicht

Bestehende ordnungsrechtliche Vorgaben zur Nutzung von Abwärme lassen sich entweder dem **Energie- oder dem Umweltrecht**, insbesondere dem Immissionsschutzrecht zuordnen (Meng 1995). So sind Betreibenden einer genehmigungspflichtigen Anlage dazu angehalten, diese „sparsam“ und „effizient“ zu betreiben, was die Vermeidung von Abwärme impliziert (vgl. § 5 Abs. 1 Nr. 4 BImSchG). Dabei handelt es jedoch um Teilregelungen, die sich beispielsweise auf die Wärmerückgewinnung von genehmigungspflichtigen Anlagen oder Verfahren zur KWK beziehen (Stark et al. 2020). Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme, die in Verordnungen³³ genauer definiert wird, ist hierbei immer eine Grundvoraussetzung für die Zumutbarkeit einer beschriebenen Maßnahme. Neben den existierenden Teilregelungen besteht zurzeit keine bundesweite, betriebsübergreifende Verpflichtung zur Nutzung von industrieller oder gewerblicher Abwärme.

Der Gesetzesentwurf zum EnEFG sieht eine **Nutzungspflicht** von Abwärme für Unternehmen vor, die wie bei der Auskunftspflicht einen Gesamtenergiebedarf von durchschnittlich über **2,5 GWh/a** in den letzten drei abgeschlossenen Kalenderjahren aufweisen. Die Nutzungspflicht im Gesetzesentwurf des EnEFG sieht dabei explizit auch die **Abgabe an externe Dritte** vor.

Voraussetzung für die genannten Pflichten zur Nutzung von Abwärme ist die Zumutbarkeit unter technischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Gesichtspunkten der damit verbundenen Maßnahmen, wobei diese in Abschnitt 5 EnEFG nicht weiter definiert sind und durch eine Verordnung geregelt werden muss. Es wird allerdings hinsichtlich des Standes der Technik auf die Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industriemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (ABl. L 334 vom 17.12.2010, S. 17; L 158 vom 19.6.2012, S. 25) hingewiesen. Eine allgemeine Nutzungspflicht ohne kontextuelle Abwägung wird dagegen häufig kritisch gesehen (vgl. Stark et al. 2020). Ähnlich wie bei vergleichbaren Regelungen ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme, definiert nach DIN EN 17463³⁴ (Ausgabe Dezember 2021), vermutlich ausschlaggebend für die wirtschaftliche Zumutbarkeit. Wird diese im Zuge von **Energie- und Umweltmanagementsystemen** oder **Energieaudits** festgestellt, werden Unternehmen mit einem Gesamtenergieverbrauch von über 2,5 GWh/a in Abschnitt 3 § 9 EnEFG dazu verpflichtet, konkrete, durchführbare **Umsetzungspläne** für Energieeffizienzmaßnahmen zu erstellen, was die Abwärmenutzung und Weitergabe an Dritte beinhalten kann. Die Erstellung und Veröffentlichung von Umsetzungsplänen soll laut Entwurf des EnEFG durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle stichprobenartig überprüft werden.

Für kleinere Unternehmen, mit einem Gesamtenergieverbrauch von unter 2,5 GWh/a, die ein Abwärmepotenzial aufweisen, jedoch nicht der Pflicht zu Energieaudits unterliegen, ergibt sich ein besonderer Unterstützungs- und Förderbedarf bei der Potenzialerhebung und bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen, sodass geförderte Erstberatungen sinnvoll erscheinen (s. Kapitel 6.3.2.2).

³³ Z. B. KWK-Kosten-Nutzen-Vergleich-Verordnung vom 28. April 2015 (BGBl. I S. 670), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 6. Juli 2021 (BGBl. I S. 2514) geändert worden ist.

³⁴ Eine Maßnahme gilt als wirtschaftlich, wenn sich bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Maßnahme nach maximal 50 Prozent der Nutzungsdauer ein positiver Kapitalwert ergibt, jedoch begrenzt auf Maßnahmen mit einer Nutzungsdauer von maximal 15 Jahren. Die Norm ist bei der Beuth Verlag GmbH, Berlin, erschienen und bei der Deutschen Nationalbibliothek archivmäßig gesichert niedergelegt.

Infobox: Energieaudits und Energie- und Umweltmanagementsysteme

Bislang galt nach EDL-G die Verpflichtung, Energieaudits durchzuführen und in diesem Zuge auch Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Energieeffizienzmaßnahmen zu erstellen, für Unternehmen, die nicht als kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gelten³⁵. Der Entwurf zum EnEfG sieht nun für alle Unternehmen mit einem Gesamtenergieverbrauch von über 2,5 GWh/a verpflichtende Energieaudits vor. Zusätzlich zu den jährlich stattfindenden Energieaudits sollen durch das EnEfG verpflichtende, fortlaufende Energie- und Umweltmanagementsysteme für Unternehmen eingeführt werden, deren jährlicher durchschnittlicher Gesamtenergieverbrauch innerhalb der letzten drei abgeschlossenen Kalenderjahre 7,5 GWh/a überschreitet.³⁶ Im Zuge der Energie- und Umweltmanagementsysteme findet eine detaillierte und kontinuierliche Analyse der Energieverbräuche statt, sodass auch Abwärmepotenziale detaillierter erfasst werden.

Ebenfalls unter die Kategorie Nutzungspflicht fällt die in der RED II und deren Novelle RED III geforderte Verpflichtung gegenüber Wärmenetzbetreibern, Betrieben mit Abwärme den **Zugang zum Wärmenetz** zu gewähren und Dritten Abwärme abzukaufen. Eine entsprechende Formulierung findet sich bisher nicht im bestehenden Gesetzesentwurf der Bundesregierung, wird jedoch in Berlin bereits vom EWG Bln in Abschnitt 7 § 23 adressiert. Hier findet sich eine **Pflicht zur Abnahme** von „nicht geringfügige[n] Mengen klimaschonender Wärme“ von Anlagenbetreibern zu „diskriminierungsfreien Bedingungen“. Eine bei der Senatsverwaltung für Energie angesiedelte Regulierungsbehörde für Fernwärme kontrolliert die Einhaltung dieser Verpflichtung und gestattet Ausnahmen, je nach technischer und wirtschaftlicher Machbarkeit. Die genauen Definitionen der im Gesetz genannten Rechtsbegriffe wie „geringfügige[r] Mengen“, „diskriminierungsfreie Bedingungen“ oder „wirtschaftliche[r] Zumutbarkeit“ liegen bislang nicht vor und sollen durch eine Rechtsverordnung konkretisiert werden. Es wird empfohlen, diesbezüglich klare Vorgaben zu schaffen.

6.1.1.3 Sonderrolle von Rechenzentren

Der Gesetzesentwurf zum EnEfG sieht für Rechenzentren sowohl eine Auskunftspflicht als auch die in § 16 festgelegte Nutzungspflicht vor. Darüber hinaus enthält Abschnitt 4 zusätzliche Spezifikationen für Rechenzentren. Als konkrete Anforderung wird z. B. die allgemein verpflichtende Einführung eines **Energie- und Umweltmanagementsystems** formuliert. Für alle Rechenzentren gilt außerdem eine gesonderte **Auskunftspflicht**, unabhängig der in § 17 festgelegten Energieverbrauchsgrenze, welcher jährlich Folge zu leisten ist. Neben allgemeinen Kenngrößen wie dem Gesamtstrom- und Wasserverbrauch, soll diese auch Angaben zur **Abwärmemenge und ihrer Durchschnittstemperatur** enthalten. Die hier erfassten Daten sollen in einem eigens errichteten **Energieeffizienzregister für Rechenzentren** öffentlich zugänglich gemacht werden und in die Europäische Datenbank für Rechenzentren übertragen werden.

Für **neue Rechenzentren** gelten darüber hinaus konkrete Anforderungen an den geplanten Anteil wiederverwendeter Energie, wobei von einer verpflichteten Weitergabe an Wärmenetze abgesehen wird. Die im Entwurf geforderten **Anteile wiederverwendeter Energie** betragen ab dem 1. Juli

³⁵ Als KMU gelten Unternehmen mit höchstens 250 Mitarbeitenden im Jahresdurchschnitt, einem Jahresumsatz von maximal 50 Mio. Euro bzw. einer Bilanzsumme von maximal 43 Mio. Euro. Siehe Statistisches Bundesamt (<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/Glossar/kmu.html>, aufgerufen am 02.06.2023)

³⁶ Die EED fordert diese erst ab einem Energieverbrauch von etwa 23 Gigawattstunden.

2026 10 %, ab dem 1. Juli 2027 15 % und ab dem 1. Juli 2028 20 %. Im Falle eines geplanten Wärmenetzes in räumlicher Nähe eines Rechenzentrums ist es möglich, die Anforderung innerhalb von zehn Jahren zu erfüllen. Eine Ausnahme der Nutzungspflicht tritt in Kraft, sofern ein Angebot zur Nutzung von Abwärme aus einem Rechenzentrum von einem Fernwärmebetreibenden innerhalb von sechs Monaten nicht angenommen wird, trotz vorhandener Übergabestation auf Seiten des Betreibenden des Rechenzentrums. Für Wärmenetzbetreibende gilt zudem eine Auskunftspflicht gegenüber dem Rechenzentrumsbetreibenden über vorhandene Netzkapazitäten.

6.1.2 Mögliche Ansätze für das Land Berlin

Mit dem vorliegenden Gesetzesentwurf zum EnEfG schafft der Bund eine einheitliche und weitestgehend betriebsübergreifende Basis für eine vermehrte Abwärmenutzung sowohl betriebsintern als auch betriebsübergreifend bzw. extern. Durch die angekündigte Auskunftspflicht für Unternehmen ist zu erwarten, dass sich die Datenverfügbarkeit auf Berliner Ebene erheblich verbessern wird. Es ist frühzeitig sicherzustellen, dass erhobene Daten von der Bundes- auf die Länderebene transferiert werden können und eine Schnittstelle zur Integration der Daten in das Berliner Wärmekataster vorgesehen wird. Zusätzlich zu den Verpflichtungen für abwärmeliefernde Unternehmen, fördern die im EWG Bln festgeschriebenen Nutzungs- als auch Transparenzverpflichtungen für Fernwärmebetreibende das Zustandekommen von Kooperationen zwischen Abwärmequellen und -senken. Eine Verschärfung der auf EU und Bundesebene festgelegten Endenergiebedarfsgrenze von 2,5 GWh/a in Berlin erscheint nicht sinnvoll, da eine Einheitlichkeit von europäischen Grenzwerten generell und insbesondere aus Sicht von überregional tätigen Unternehmen zu begrüßen ist. Außerdem würden kleinere, weniger energieintensive Unternehmen durch sehr niedrige Grenzwerte möglicherweise finanziell sowie personell überfordert, was sich vermutlich auch auf die Akzeptanz der Maßnahme auswirken würde. Kleinere Betriebe sollten stattdessen durch eine Beratungsförderung für kleine Betriebe sowie Kampagnen (s. Kapitel 6.2) zur Abwärmenutzung motiviert werden.

Auskunfts- und Nutzungspflicht	
Priorität	
Mittel	
Beschreibung	
Ziel und Inhalt der Maßnahme:	Auskunfts- und Nutzungspflichten dienen als ordnungsrechtliche Instrumente dazu, die Datengrundlage für die Wärmeplanung zu verbessern, durch die Veröffentlichung der Daten das Zustandekommen von Abwärmekooperationen zu fördern und Betriebe in die Pflicht zu nehmen, vorhandene Abwärmepotenziale nutzbar zu machen. Das Land Berlin sollte sich in Bezug zu den Abwärmeregelungen für eine entsprechende Umsetzung des EnEFG einsetzen und einen nahtlosen Datentransfer von Bundes- auf Landesebene vorbereiten.
Kategorie und Rechtsrahmen	
Kategorien:	Ordnungsrecht
Rechtsrahmen:	EnEFG Bund und EWGBIn
Akteure	
Umsetzungszuständigkeit:	Bund: Bundesstelle Energieeffizienz; BAFA; Land Berlin
Adressat(en):	Abwärmeliefernde Unternehmen, Wärmenetzbetreibende, Verwaltung
Fristigkeit	
Einführung:	unmittelbar
Laufzeit:	mittel- bis langfristig
Wirkung	
Energieeffizienz und Klimaschutz:	Ordnungsrechtliche Maßnahmen bewirken eine unmittelbare Umsetzung von Projekten zur Abwärmennutzung oder können diese im Falle der Auskunftspflicht indirekt beschleunigen. Sie schaffen einen klaren Rechtsrahmen, an denen sich Unternehmen und Verwaltungsorgane orientieren können. Im Gegensatz zur Auskunftspflicht, mit der keine direkte CO ₂ -Reduktion einhergeht, kann die Nutzungspflicht von unvermeidbarer Abwärme zu einer Reduktion von CO ₂ -Emissionen führen, wenn an anderer Stelle die Erzeugung von Wärme auf Basis von fossilen Brennstoffen vermieden bzw. ersetzt wird.
Sozio-Ökonomisch:	Das Zustandekommen von Abwärmekooperationen und die Nutzung von Abwärme im Allgemeinen führen unter der Voraussetzung der Wirtschaftlichkeit zu einem ökonomischen Mehrwert. Ordnungsrechtliche Maßnahmen können jedoch auch gesellschaftlichen Widerstand erzeugen und im ungünstigsten Fall ein Investitionshemmnis darstellen.
Aufwand	
	Der Aufwand der Maßnahme betrifft vor allem die Vollzugskontrolle. Diese Verantwortung liegt im Falle einer erfolgreichen Einführung des EnEFG beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Das Land Berlin ist dafür verantwortlich, erhobene Daten von der Bundesstelle Energieeffizienz in das Berliner Wärmekataster zu integrieren.

6.2 Beratung und Vernetzung

Die Nutzung von Abwärme und ihre Einbindung in Wärmenetze setzt Wissen und Kompetenzen bei den wärmeliefernden Unternehmen, bei den Wärmenetzbetreibenden, bei Energiedienstleistern sowie bei den Genehmigungsbehörden voraus. In vielen Unternehmen liegt nur wenig Wissen über die Höhe der anfallenden Abwärme im eigenen Betrieb, deren Eigenschaften und über die Möglichkeiten einer internen oder externen Abwärmennutzung vor. Auch zur Verfügbarkeit von Fördermitteln auf den verschiedenen Ebenen und zu ihrer Beantragung können Beratungsbedarfe bestehen.

Verfügt ein Unternehmen über eine hinreichende Abwärmemenge und ist eine räumliche Nähe gegeben, so müssen die wärmeliefernde und die wärmeabnehmende Seite in einen Abstimmungsprozess kommen. Zudem besteht ein Abstimmungsbedarf mit anderen Stakeholdern wie Behörden

zur Genehmigung und Infrastrukturbetreibenden wie etwa Stromnetz Berlin zum Thema Stromkapazitäten. Sowohl seitens der Wärmenetzbetreibenden als auch der potenziellen Abwärmelieferanten wurde in den projektbegleitenden Gesprächen ein Bedarf an Beratungs- und Vernetzungsangeboten formuliert. Mögliche Maßnahmen, die das Land Berlin umsetzen bzw. unterstützen sollte bzw. könnte, um den Informations-, Beratungs- und Vernetzungsbedarf zu adressieren, sind:

1. Zentraler Webauftritt zum Thema Abwärme
2. Beratungsstelle für Unternehmen
3. Einrichtung einer Informations- und Austauschplattform
4. Leitfäden zur Information und Motivation
5. Fachveranstaltungen und Weiterbildungen
6. Projektbezogene Runde Tische

Auf diese Maßnahmen wird im Folgenden genauer eingegangen und wo vorhanden werden bestehende Beispiele aus anderen Bundesländern vorgestellt.

6.2.1 Zentraler Webauftritt zum Thema Abwärme

Ein zentraler Webauftritt zum Thema Abwärme in Berlin wäre eine geeignete erste **Anlaufstelle für interessierte Unternehmen und Wärmenetzbetreibende**. Eine solche Plattform dient als Wissensportal, indem sie die wichtigsten Informationen zum Thema Abwärme bündelt und auf existierende Leitfäden, Beratungsangebote, Best-Practice-Beispiele und die verfügbaren Daten, etwa in einer integrierten Informations- und Austauschplattform (s. unten), hinweist. Unternehmen sollten auch Informationen dazu finden, wo sie Unterstützung bei der Erhebung und Bewertung ihrer Abwärmepotenziale erhalten können (etwa über eine Vermittlung zu Energieberater*innen). Multiplikatoren wie Energieeffizienznetzwerke oder Verbände können die Webseite nutzen, um für Fachveranstaltungen oder Fortbildungen zum Thema Abwärme zu werben.

Beispielhaft für einen derartigen Webauftritt zum Thema Abwärme sind die Seiten der Thüringer Energie und GreenTech Agentur (ThEGA)³⁷ oder die der Bayrischen Landesregierung³⁸. Letztere enthält neben den bereits genannten Aspekten auch Informationen zum Thema Genehmigungen, einen Abwärmerechner und einen Reiter zu Frequently Asked Questions (FAQs). Das Thüringer Pendant präsentiert neben einer Schaltfläche „Beratungsgespräch vereinbaren“ auch Zahlen und Daten zum Thema Abwärme und veranschaulicht diese anhand von animierten Schaubildern. In Baden-Württemberg hat das Abwärmekonzept zur Einführung des Kompetenzzentrums Abwärme³⁹ geführt, welches im Zusammenspiel mit der landeseigenen Klimaschutz- und Energieagentur (KEA) das wohl derzeit umfassendste Abwärmeeinformativportal in Deutschland darstellt.

Generell ist es sinnvoll, Beratungsangebote und Webauftritte, die sich an Unternehmen richten, zu bündeln. In Berlin gibt es etwa bereits die Koordinierungsstelle für Energieeffizienz und Klima-

³⁷ <https://www.thega.de/themen/klimafreundliche-waerme/abwaermenutzung/> (Zugriff: 15.5.2023)

³⁸ https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme (Zugriff: 15.5.2023)

³⁹ https://www.umwelttechnik-bw.de/de/kompetenzzentrum-abwaerme_ (Zugriff: 15.5.2023)

schutz im Betrieb (KEK), die Unternehmen zu verschiedenen Themen rund um Energieeffizienz und Klimaschutz informiert und auch Beratungen anbietet.

6.2.2 Beratungsstelle und Beratungsangebote für Unternehmen

Eine zentrale Beratungsstelle zum Thema Abwärme sollte Unternehmen Orientierung bieten und diese auf dem Weg von der Potenzialerhebung bis zur Umsetzung begleiten. Dabei kommt der Beratungsstelle vor allem eine vermittelnde und beratende Rolle zu, indem sie den Kontakt zu Förderbanken, Behörden, Wärmenetzbetreibern, Contractorunternehmen oder externen Berater*innen herstellt. Zudem kann eine Beratungsstelle als Anlaufpunkt für Unternehmensnetzwerke und Planer*innen dienen, um sich beispielsweise bei der Planung von Fachveranstaltungen oder der Organisation von projektbezogenen Runden Tischen Unterstützung einzuholen.

Für die Koordination und den Betrieb der Beratungsstelle für Abwärme müssen genügend Kapazitäten geschaffen werden, um den mit der Beratungsleistung verbundenen Aufwand leisten zu können. Die Beratungsstelle sollte mit ein bis drei spezialisierten Mitarbeiter*innen ausgestattet sein, die Initialberatungen durchführen und interessierte Unternehmen auf den weiteren Schritten zur Umsetzung begleiten können. Das Kompetenzzentrum Abwärme in Baden-Württemberg verfolgt einen derartigen Ansatz, indem es bei der Potenzialermittlung mit dem „**Abwärme Check**“⁴⁰ eine erste Einordnung von Abwärmepotenzialen bietet. Dieser qualifiziert für eine **anschließende, geförderte Erstberatung** bei einer*r*m im „Expertenatlas“ geführten, externen Energieberater*in (s. Kapitel 6.3.2.2). Eine wichtige Voraussetzung für einen effektiven Vernetzungs- und Beratungsservice ist ein hoher Bekanntheitsgrad der Beratungsstelle bei den Berliner Stakeholdern, inklusive den Unternehmen mit Abwärmepotenzialen, den Infrastrukturbetreibern und den Bezirksverwaltungen. Die Beratungsstelle sollte auch Betreiberin des Webauftritts zu Abwärme sein.

Im Land Berlin gibt es bereits verschiedene Service- und Beratungsstellen, etwa die KEK, die sich an Unternehmen richtet, oder die Servicestelle energetische Quartiersentwicklung, die sich an alle Akteure rund um die Quartiersentwicklung richtet. Eine Beratungsstelle für Abwärme sollte dabei an bestehende Strukturen angedockt sein bzw. eng mit bestehenden Einrichtungen wie der KEK, der Servicestelle energetische Quartiersentwicklung und dem Bauinformationszentrum kooperieren, sodass ein gutes, nachvollziehbares Zusammenspiel der Beratungsstellen erreicht wird. Die Koordination und der Betrieb der vorhandenen Beratungsstellen liegen in der Regel bei Dritten. So wird die KEK von einem Konsortium von VDI/VDE + Innovation und Technik GmbH und ÖKOTEC Energiemanagement GmbH betrieben und die Servicestelle energetische Quartiersentwicklung von der Berliner Energieagentur. Es ist zu empfehlen, dass das Land Berlin prüft, inwiefern die vorhandenen Strukturen für den Aufbau einer Beratungsstelle für Abwärme genutzt und erweitert werden können. Die **Finanzierung der Beratungsstelle** ist zu prüfen. Generell könnte eine Finanzierung oder eine Aufstockung bestehender Finanzierungen über das BEK in Frage kommen.

6.2.3 Einrichtung einer Informations- und Austauschplattform

Mangelnde Informationen über vorhandene Wärmequellen und -senken sind ein strukturelles Hindernis für das Zustandekommen von Abwärmekooperationen (Pehnt et al. 2010). Eine Kartenanwendung, die auch als **Informations- und Austauschplattform** dient, schafft Möglichkeiten, sich einen Überblick über Wärmequellen und -senken und über bereits existierende Projekte zu verschaffen, potenzielle Kooperationspartner zu identifizieren und zu kontaktieren. Die wichtigste

⁴⁰ <https://www.umwelttechnik-bw.de/de/abwaermecheck> (Zugriff: 15.5.2023)

Grundvoraussetzung für eine derartige Anwendung ist eine gute Datengrundlage, die in Anbetracht des Entwurfs zum EnEfG⁴¹ durch eine Auskunftspflicht für Unternehmen sichergestellt werden soll (s. Kapitel 6.1). In Deutschland gibt es eine Reihe GIS-basierter Energieatlanten⁴², die zum Teil um zusätzliche Funktionen erweitert wurden, die der Vernetzung und Kontaktaufnahme dienen. Ein Beispiel für eine Weiterentwicklung zur Informations- und Austauschplattform ist die Abwärmeinformationsbörse⁴³ der Bayerischen Landesregierung. Die interaktive Karte bietet neben Daten zur Energieinfrastruktur auch die Optionen an, Abwärmequellen und -senken einzutragen, Korrekturen vorzunehmen und sich **Best-Practice-Beispiele** anzeigen zu lassen. Bei den Best-Practice-Beispielen handelt es sich um erfolgreich umgesetzte Vorhaben, die andere Unternehmen motivieren können, ebenfalls Schritte in Richtung Umsetzung zu gehen. Eine solche interaktive Abwärmekarte eignet sich dafür, geeignete Kooperationspartner auf einen Blick auszumachen. Beispielsweise könnten Unternehmen anhand eines **Abwärme-Status** auch signalisieren, ob die Bereitschaft für eine externe Nutzung existiert oder wie hoch das Unternehmen selbst die Potenziale einer externen Nutzung einschätzt. Eine ansprechende und leicht zugängliche Benutzeroberfläche sollte Unternehmen dazu motivieren, Daten zu ihren Abwärmepotenzialen zu erheben und bereitzustellen, auch wenn diese nicht bereits gesetzlich dazu verpflichtet sind. Perspektivisch wäre es gegebenenfalls möglich, zu Betrieben aus dem Handel- und Dienstleistungssektor, die über die Unternehmensbefragung kaum erreicht wurden und auch nicht unter die Auskunftspflicht des EnEfG fallen, Informationen zu gewinnen. Eine entsprechende Plattform könnte perspektivisch auch auf andere Wärmequellen oder Wärmesenken wie größere Einzelabnehmer erweitert werden.

Erfahrungen aus anderen Bundesländern zufolge reicht die Schaffung einer solchen Plattform allein nicht aus, um Unternehmen zur Kooperation zu motivieren. Ergänzend bedarf es Maßnahmen, die dazu beitragen, dass die Plattform einen hohen Bekanntheitsgrad erreicht. Außerdem beeinflussen die Qualität der Daten und die Möglichkeiten zur Vernetzung maßgeblich die Effektivität einer Abwärmeplattform. In den existierenden Anwendungen werden nur selten konkrete Ansprechpersonen für Kooperationsanfragen genannt. Das Beispiel des Energieatlas NRW zeigt, dass Unternehmen eine sehr unterschiedliche Bereitschaft haben, Informationen preiszugeben. Gründe dafür könnten ein hauseigener Mangel an Informationen sein oder auch datenschutzbezogene Bedenken. Generell sollte es nicht möglich sein, Rückschlüsse auf sensible, unternehmerische Daten zu ziehen, für deren Veröffentlichung keine explizite Einwilligung vorliegt (Waldhoff und Reckzügel 2014). Dazu gehören unter anderem vertrauliche, personenbezogene Daten wie Finanz- oder Personaldaten, geistiges Eigentum oder schützenswerte Daten der kritischen Infrastruktur. Um deren Schutz zu gewährleisten, bedarf es eines Datenschutzkonzeptes und eines Datenmanagements, welches den aktuellen Sicherheits- und Rechtsstandards entspricht. Denkbar ist generell ein **halboffenes Format der Anwendung**, das für sensiblere Informationen wie Ansprechpersonen einer Registrierung bedarf, die nur bestimmten Akteuren zugänglich gemacht wird.

Der Betreibende der Plattform übernimmt zusätzlich zur Gewährleistung des Datenschutzes weitere Aufgaben: Dazu zählt das Monitoring über die Aktivitäten der Nutzer*innen, die Qualitätsüberwachung und die Akquise von neuen Einträgen. Zu prüfen ist, ob eine interne Nutzung der Daten

⁴¹ Drucksache 20/7632 vom 5.7.2023 - Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Klimaschutz und Energie (25. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung – Drucksache 20/6872 – Entwurf eines Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes

⁴² https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/abwaermeinformationsboerse; <https://energieportal-sachsen.de/>; <https://www.energieatlas.nrw.de/site/>; <https://karte.energieatlas-thueringen.de/> (Zugriff: 15.5.2023)

⁴³ https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/abwaermeinformationsboerse (Zugriff: 15.5.2023)

durch den Betreibenden der Abwärmeplattform möglich und empfehlenswert ist, etwa für eine aktive Vermittlung zwischen Wärmequellen und -senken (Coplan AG 2012; Waldhoff und Reckzüge 2014).

6.2.4 Leitfäden zur Information und Motivation

Es existieren bereits einige deutschsprachige Leitfäden zum Thema Nutzung von Abwärme. Dazu gehören neben den Veröffentlichungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU 2008) und der sächsischen Energieagentur (Saena 2016) weitere kürzere Broschüren der deutschen Energieagentur (dena 2015) und der Mittelstandsinitiative Energie (MIE 2017). Neben der Länge und dem Detailgrad unterscheiden sich die Leitfäden hinsichtlich Sprache und Layout sowie dem lokalen Bezug. Der aktuellste, im Jahr 2020 veröffentlichte und vom AGFW in Auftrag gegebene Leitfaden bezieht sich auf die Erschließung von Abwärme für die Fernwärmeversorgung und weist vor allem auf die damit einhergehenden Chancen und Potenziale hin (Stark et al. 2020). Der sehr umfassende Text weist einen hohen Detailgrad auf und richtet sich an das gesamte Spektrum der mit Abwärme assoziierten Stakeholder von Energieversorgungs- und abwärmeliefernden Unternehmen bis hin zu Kommunen, Gesetzgebern, sowie an ein wissenschaftliches Publikum. Er erörtert technische Möglichkeiten, Rahmenbedingungen, Fördermittel, planungs- und ordnungsrechtliche Aspekte und stellt einige Detailuntersuchungen an, etwa durch die Auswertung übergeordneter Statistiken. Er nimmt dabei eine **deutschlandweite Perspektive** ohne lokalen Bezug ein.

Die kürzeren **Broschüren**, die auf der Ebene der Bundesländer veröffentlicht wurden, richten sich hauptsächlich an Unternehmen mit dem Ziel aufzuklären und fachliche Unterstützung bei Abwärmeprojekten anzubieten. Sie zeichnen sich durch eine leicht verständliche Sprache, viele Grafiken sowie ein ansprechendes Layout aus. Die Interessen der Unternehmen werden hier mehr in den Fokus gerückt, was sich bereits in der Kapitelstruktur der Broschüren zeigt: So widmet sich der sächsische Abwärmeleitfaden der Beschreibung verschiedener Arten von Wärmeüberträgern und -pumpen sowie Technologien für die Stromerzeugung. Die Broschüre hat einen klaren regionalen Bezug, indem sie die sächsischen Energieeffizienznetzwerke vorstellt sowie auf landeseigene Förderprogramme und auf den sächsischen Energieatlas verweist. Neben Beispielfotos aus sächsischen Betrieben enthält der Text einen Verweis auf einen Best-Practice-Katalog und ergänzende, **weiterführende Dokumente** mit Fallbeispielen, Checklisten, einer Excel-Berechnungshilfe und Musterverträgen, um das Zustandekommen von rechtssicheren Partnerschaften zu erleichtern.

Da für Unternehmen die Wirtschaftlichkeit entscheidend für die Umsetzung ist, skizziert der Leitfaden der dena (2015) mögliche Investitionskosten und Kosteneinsparungen anhand von **Praxisbeispielen**. Eine Liste an Bundesförderungen und eine Beschreibung von Technologien und Informationsangeboten sind ebenfalls Teil der Broschüre. Der Leitfaden der Mittelstandsinitiative Energie enthält des Weiteren Informationen zu Contracting und Betreibermodellen und geht auf die rechtlichen Rahmenbedingungen bei einer Abwärmeweitergabe an Dritte ein (MIE 2017). In Bezug auf Fördermittel verweist die Broschüre lediglich auf die Förderdatenbank auf Bundesebene.

Eine Möglichkeit unterschiedliche Zielgruppen zu adressieren, ist die Erstellung **zielgruppenspezifischer Leitfäden**, wie es das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) verfolgt. Während sich ein Leitfaden an Kommunen richtet und die Nutzung von Abwärme in Wärmenetzen, die ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen und Strategien zur Potenzialerhebung behandelt, beschreibt ein zweiter Leitfaden die technischen Möglichkeiten der Abwärmennutzung im Betrieb. Der Bezug zu Bayern entsteht wie beim sächsischen Abwärmeleitfaden durch konkrete Praxisbeispiele.

Um den **Betrieben in Berlin** einen Mehrwert zu bestehenden **Leitfäden** zu bieten, empfiehlt sich ein **regionaler Bezug** mit landesspezifischen Schwerpunkten. In Berlin häufen sich bestimmte Branchen, wie etwa die Textil- und Ernährungsbranche, Rechenzentren werden voraussichtlich zukünftig stark an Bedeutung gewinnen. Industriezweige mit Abwärme auf hohem Temperaturniveau wie die Stahlindustrie spielen in Berlin hingegen nur eine geringe Rolle.

Die Darstellung von lokalen Leuchtturmprojekten aus den in Berlin **relevanten Branchen** wie etwa der Ernährungs- und Textilindustrie, der pharmazeutischen Branche und den Rechenzentren kann Betriebe zur Umsetzung von Projekten motivieren. Leitfäden eignen sich zudem dazu, Genehmigungsverfahren zu erleichtern, beispielsweise in der Form von Checklisten (s. Kapitel 6.4). Somit ist ein eigens für die Stadt Berlin erstellter Abwärmeleitfaden zu empfehlen, der den Schwerpunkt auf die in Berlin stark vertretenen Branchen und **lokale Best-Practice-Beispiele** setzt. Die Erstellung sollte erfolgen, wenn die rechtlichen Rahmenbedingungen auf Landes- und Bundesebene zumindest mittelfristig geklärt sind, was bis Ende des Jahres 2023 zu erwarten ist.

6.2.5 Fachveranstaltungen und Weiterbildungen

Fachveranstaltungen und Weiterbildungen bieten die Möglichkeit, Berliner Unternehmen untereinander zu vernetzen, zum Thema Abwärmenutzung zu informieren und für die Nutzung von Abwärme zu sensibilisieren. Denkbar sind Fachveranstaltungen für Vertreter*innen ausgewählter, in Berlin besonders relevanter Branchen wie die bereits genannte Ernährungs- und Textilindustrie oder Rechenzentren. Neben der **Vorstellung von Best-Practice-Beispielen** und **Hinweisen zur branchenspezifischen Potenzialerhebung** könnten die Fachveranstaltungen **Informationen zu Förderprogrammen und/oder Genehmigungspraktiken** bereitstellen, gemeinsam mit Wärmenetzbetreibenden **Geschäftsmodelle** vorstellen oder diese in Dialogveranstaltungen erarbeiten. Das Veranstaltungsformat kann dabei je nach Zielgruppe bezüglich Dauer und Veranstaltungselementen variieren. Fachveranstaltungen können über die Beratungsstelle angeboten und verbreitet und durch Multiplikatoren wie Energieeffizienznetzwerke, Innungen und Verbände ergänzt werden. Beworben werden können die Veranstaltungen und Weiterbildungen je nach Zielgruppe auf dem zentralen Webauftritt zum Thema Abwärme, über die Netzwerke der Multiplikatoren und die Kanäle der Berliner Verwaltung auf Senats- und Bezirksebene. Neben Fachveranstaltungen sind auch Schulungsreihen und Weiterbildungsangebote denkbar, ähnlich der Schulungsreihe „Abwärmenutzung“, die das Kompetenzzentrum Abwärme Baden-Württemberg anbietet⁴⁴.

6.2.6 Projektbezogene Runde Tische

Wärmenetzbetreibende wiesen in projektbegleitenden Gesprächen darauf hin, dass es Unterstützungsbedarf bei der Koordination der zu beteiligenden Akteure an konkreten Projekten gebe. Im Laufe eines Vorhabens müssen neben den Wärmenetzbetreibenden und den wärmeliefernden Unternehmen verschiedene Behörden auf der Bezirks- und der Senatsebene sowie weitere Infrastrukturbetreibende wie etwa Stromnetz Berlin eingebunden werden, da unter Umständen auch Themen wie Stromkapazitäten eine Rolle für die Umsetzbarkeit spielen. Für die Initiation und Begleitung konkreter Projekte sind projektbezogene Runde Tische eine Möglichkeit, die zum jeweiligen Zeitpunkt erforderlichen Akteure zusammenzubringen und die Abstimmung zu unterstützen. Auf diese Weise ließen sich Vorhaben schneller und effektiver umsetzen. Als erste Anlaufstelle für die Vernetzung und Koordinierung der relevanten Akteure bieten sich die zu gründende Beratungsstelle

⁴⁴ <https://events.pure-bw.de/de/veranstaltung/schulungsreihe-teil-1-abwaerme-nutz-waerme> (Zugriff: 15.5.2023)

Abwärme oder das Land Berlin an, da diese über den notwendigen Zugang sowohl zu fachlich spezifischen Akteuren als auch zu Infrastrukturbetreibenden und der Verwaltung verfügen.

6.2.7 Sonstige Maßnahmen

- Das Land Berlin sollte auf bestehende **Fort- und Weiterbildungen** von branchenspezifischen Fortbildungsträgern aufmerksam machen und sich dafür einsetzen, dass diese ihr Angebot ausweiten. Pehnt et al. (2010) schlagen vor, relevante Kompetenzen zum Thema Abwärmenutzung in den jeweiligen Lehrplänen der Bildungsinstitutionen zu verankern (Pehnt et al. 2010). Dies sollte für das Land Berlin überprüft werden. Durch die Verankerung der Kompetenzen in der Aus-, Fort- und Weiterbildung kann sichergestellt werden, dass die zukünftige Generation an Fachkräften für das Thema sensibilisiert und mit dem Handwerkszeug ausgestattet ist, das es für eine erfolgreiche Implementierung von Abwärmeprojekten bedarf.
- Das Land Berlin könnte zusätzlich durch die **Verleihung von Preisen und Auszeichnungen** für besonders erfolgreiche Pionierunternehmen im Bereich der Abwärmenutzung die öffentliche Aufmerksamkeit für das Thema Abwärme erhöhen und auf diesem Wege Anreize für eine Nachahmung durch andere Unternehmen schaffen.
- Eher nicht zu empfehlen für Berlin ist eine interaktive Anwendung mit dem Ziel, die Unternehmen bei der Potenzial- und Wirtschaftlichkeitsberechnung zu unterstützen. Ziel solcher webbasierten **Abwärmerechner** ist es, Unternehmen eine erste Orientierung zur Höhe der zu erwartenden Abwärmepotenziale und zur Wirtschaftlichkeit einer Nutzung zu geben. Sie richten sich an Unternehmen, die bislang keine Informationen zur ihren Abwärmepotenzialen und geringe Kapazitäten für eine eigene, unternehmensinterne Abwärmeermittlung haben. Existierende Beispiele sind der Abwärmerechner der Bayrischen Staatsregierung⁴⁵ oder das Abwärme-Excel-Tool der Sächsischen Energieagentur⁴⁶. Dabei ist die Genauigkeit einer Abschätzung der Abwärmepotenziale aufgrund von branchenspezifischen Kenngrößen gering. Im Worst Case werden Fehlschlüsse gezogen, etwa dass in einem konkreten Betrieb zu geringe Abwärmepotenziale für eine externe Nutzung bestehen. In die Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Abwärmenutzung gehen zahlreiche technische und ökonomische Parameter ein, zu denen Annahmen getroffen werden müssen, etwa zur Zinshöhe, zu den Energiepreisen und ihrer Entwicklung. Da die Höhe der Investitionskosten stark von den Bedingungen im Betrieb abhängt und zwischen einzelnen Projekten abweichen kann, müssen letztlich genauere Analysen und Messungen durch geschultes Fachpersonal erfolgen. Annahmen zu ökonomischen Kenngrößen sind naturgemäß mit hohen Unsicherheiten behaftet und müssen regelmäßig aktualisiert und angepasst werden. Generell genügen die Validität und Genauigkeit der Berechnungen nicht, um daraus Investitionsempfehlungen abzuleiten. Für Berlin scheint ein Abwärmerechner daher wenig zielführend zu sein, zum einen da es im Internet frei verfügbar bereits Abwärmerechner gibt, auf die verwiesen werden könnte. Zum anderen sind Erstberatungen über eine Beratungsstelle und berlinspezifische Leitfäden zu branchenspezifischen Aspekten das bessere Mittel, um zu sensibilisieren und Fehlschlüsse zu vermeiden.

⁴⁵ https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/rechner (Zugriff: 15.5.2023)

⁴⁶ Der Bayrische Abwärmerechner funktioniert wie folgt: Zunächst werden vorhandene Wärmequellen wie Druckluftzeugung oder Prozessabluft genannt. Anschließend erfragt der Rechner konkrete Daten zu Volumenströmen, Betriebsstunden sowie Brennstoffpreisen und Zinsen pro Jahr. Abschließend erfolgt auf Basis dieser Angaben eine Auswertung hinsichtlich technischer Machbarkeit, Rentabilität und Wirtschaftlichkeit. Das Ergebnis lässt sich in Form eines ausführlichen Berichts abspeichern. Nicht enthalten ist ein Abwärmerechner für Rechenzentren (<https://www.sena.de/handlungshilfe-abwaermenutzung-7483.html>; Zugriff: 15.5.2023).

Beratung und Vernetzung
Priorität
Sehr hoch
Beschreibung
<p>Ziel der Maßnahme: Das Maßnahmenbündel adressiert den Informations- und Beratungsbedarf von wärmeliefernden Betrieben sowie Wärmenetzbetreibenden in Bezug auf Abwärmemengen und -qualitäten, Förderungen, Infrastrukturen sowie den Vernetzungs- und Abstimmungsbedarf zwischen den an Projekten zu beteiligenden Unternehmen und Akteuren.</p> <p>Inhalt der Maßnahme bzw. der Teilmaßnahmen:</p> <ol style="list-style-type: none"> Zentraler Webauftritt: Ein zentraler Webauftritt enthält die gebündelten Informationen zum Thema Abwärme und verlinkt zu Beratungs- und Förderangeboten. Beratungsstelle: Eine Beratungsstelle bietet Abwärmechecks zu Abwärmepotenzialen und Nutzungsmöglichkeiten an, vermittelt zu vertiefenden Beratungen, stellt Kontakte zwischen Akteuren her und informiert über Förderangebote und Veranstaltungen. Sie kann bei Bedarf auch eine projektbegleitende Koordination initiieren. Einrichtung einer Informations- und Austauschplattform: Unternehmen erhalten die Möglichkeit ihre Position, die Abwärmemengen und -eigenschaften sowie ihre Abgabebereitschaft in einer Austauschplattform anzugeben. Es besteht die Möglichkeit Kontaktdaten zu hinterlegen und es werden erfolgreiche Praxisbeispiele mit einigen relevanten Kenngrößen, etwa zur genutzten Abwärmemenge, aufgeführt. Leitfäden zur Information und Motivation: Leitfäden zu den für Berlin typischen Branchen wie der Textil- und Ernährungsindustrie und Rechenzentren bereiten die für Unternehmen relevanten Informationen zu Abwärmepotenzialen und ihrer Nutzung auf anschauliche Weise auf und stellen lokale Best-Practice-Beispiele vor. Fachveranstaltungen und Weiterbildungen: Regelmäßige, teils branchenspezifische Fachveranstaltungen zum Thema Abwärme, inkl. einer Vorstellung von Best-Practice-Beispielen, Hinweisen zur Potenzialerhebung, Informationen zu Ordnungsrecht, Förderprogrammen und/oder Genehmigungspraktiken dienen der Information und Motivation. Weiterbildungsformate im Rahmen von Schulungsveranstaltungen können etwa zum Thema Potenzialermittlung und Förderanträge durchgeführt werden. Projektbezogene Runde Tische: Zur Begleitung konkreter Projekte unterstützen projektbezogene Runde Tische die Unternehmen dabei, die für die jeweilige Projektphase erforderlichen Akteure zusammenzubringen.
Kategorie und Rechtsrahmen
<p>Kategorien: Information und Kommunikation</p> <p>Rechtsrahmen: Schnittstelle zum EnEfG durch die dort vorgesehene Auskunftspflicht</p>
Akteure
<p>Umsetzungszuständigkeit: Land Berlin</p> <p>Adressat(en): Abwärmeliefernde Unternehmen, Wärmenetzbetreibende, Sonstige Stakeholder</p>
Fristigkeit
<p>Einführung: unmittelbar</p> <p>Laufzeit: mittel- bis langfristig</p>
Wirkung
<p>Energieeffizienz und Klimaschutz: Beratungs- und Vernetzungsangebote tragen indirekt zu einer Umsetzung von Projekten zur Abwärmennutzung bei und/oder können diese beschleunigen. Sie erreichen eine breite Bekanntmachung des Themas, der bestehenden Pflichten und Fördermöglichkeiten bei den betroffenen Unternehmen. Erstberatungen sind der erste Schritt zur Umsetzung. Die Beratungs- und Vernetzungsangebote selbst gehen nicht mit einer Reduktion der CO₂-Emissionen einher, tragen aber indirekt durch Umsetzung und Beschleunigung zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen bei, sowie dazu, dass der Anteil fossiler Energien in der netzgebundenen Wärmeversorgung durch die Einbindung unvermeidbarer Abwärme sinkt.</p> <p>Sozio-Ökonomisch: Die Erstberatungen zu den Abwärmepotenzialen und zu Nutzungsmöglichkeiten sollten für Unternehmen kostenlos sein. Sofern ein Projekt realisiert wird, können durch</p>

den Verkauf von Abwärme an den Wärmeversorger seitens der wärmeliefernden Unternehmen Erlöse entstehen. Aus den Beratungsaktivitäten und vor allem auch der Installation von Anlagen folgen positive Effekte auf dem Berliner Arbeitsmarkt. Beides trägt zur regionalen Wertschöpfung bei. Die Vermittlung von Akteuren kann zu positiven Nebeneffekten wie unternehmerischen Kooperationen führen.

Aufwand

- a) **Zentraler Webauftritt:** Die Erstellung einer Webseite geht mit einmaligen Kosten einher. Bei einer Integration abwärmebezogener Inhalte in eine bestehende Website fallen die Kosten geringer aus. Für die Betreuung fallen kontinuierlich in geringem Umfang Arbeiten an (ca. 5 bis 10 Arbeitstage pro Jahr).
- b) **Beratungsstelle:** Der Aufwand für die Einrichtung einer Beratungsstelle beläuft sich je nach Umfang der Aufgaben und nach Grad der Integration in bestehende Beratungsstellen auf ein bis drei zusätzliche Personalstellen.
- c) **Einrichtung einer Informations- und Austauschplattform:** Die Integration zusätzlicher Funktionen kann durch eine Auftragsarbeit in Höhe von einmalig höchstens 50.000 Euro gedeckt werden. Für die weitere Pflege der Plattform kann davon ausgegangen werden, dass dies durch das vorhandene Personal, gegebenenfalls mit einer Aufstockung abgedeckt werden kann.
- d) **Leitfäden zur Information und Motivation:** Je nach Format und Umfang entstehen pro Leitfaden Kosten von etwa 15.000 bis 50.000 Euro.
- e) **Fachveranstaltungen und Weiterbildungen:** Die Kosten einer Veranstaltung für 50 Teilnehmende inkl. Organisation und Dokumentation, externen Redner*innen, Reisekosten und Catering können auf etwa 10.000 bis 15.000 Euro geschätzt werden. Online-Formate fallen günstiger aus und könnten auch kürzer gestaltet werden. Je nach Umfang der Veranstaltungen beliefen sich die Kosten von drei jährlichen Veranstaltungen somit auf etwa 30.000 – 45.000 Euro pro Jahr.
- f) **Projektbezogene Runde Tische:** Projektbezogene Runde Tische können durch die Beratungsstelle Abwärme begleitet werden und finden sich überwiegend in den dort vorgesehenen Personalkosten wieder.

6.3 Finanzierung und Förderung

Damit Abwärmeprojekte zu Stande kommen, müssen sie sich für beide Seiten, die wärmeliefernden Unternehmen wie auch die Wärmenetzbetreibenden, lohnen (Päiväriine et al. 2015). Für ein Abwärmeprojekt fallen dabei sowohl Investitionskosten als auch Betriebskosten an, deren Höhe auch abhängig vom Temperaturniveau der Wärmequelle und der Wärmesenke ist. Je höher die Temperaturdifferenz, umso mehr Strom muss für die Temperaturerhöhung aufgebracht werden. Die Investitionskosten sind dabei häufig hoch und hängen stark von den konkreten Bedingungen in den Betrieben ab. Oft sehen sich Unternehmen mit hohen Anfangsinvestitionen und im Verhältnis geringen Einnahmeerwartungen konfrontiert (Päiväriine et al. 2015).

Generell spielt für die Wirtschaftlichkeit und das Zustandekommen eines Projektes die Aufteilung der Kosten, der Nutzen und der Risiken zwischen wärmelieferndem Betrieb und Wärmenetzbetreibenden eine wichtige Rolle, sprich es müssen geeignete Geschäftsmodelle gefunden werden. Bei der Aufteilung der Investitionskosten liegt es nahe, dass ein Großteil vom Wärmeversorger getragen wird, da die Investitions- und Abschreibungszeiträume des Anschlusses für Industrieunternehmen im Vergleich zu typischen Investitionen sehr lang sind (Päiväriine et al. 2015).

Das Land Berlin kann das Zustandekommen von Abwärmeprojekten und geeigneten Geschäftsmodellen durch verschiedene Maßnahmen rund um die Themen Finanzierung und Förderung unterstützen. Hervorzuheben sind Abwärmefonds zur Risikoabsicherung und Förderungen, auf die im Folgenden eingegangen wird. Darüber hinaus bestimmen einige Rahmenbedingungen auf Bundes- und EU-Ebene diese Themen, die ebenfalls näher beschrieben werden.

6.3.1 Abwärmefonds zur Abfederung von Ausfallrisiken

Der Anschluss einer Abwärmequelle an ein Wärmenetz birgt für den Wärmeversorger durch den möglichen **Ausfall** etwa infolge einer Insolvenz oder einer Standortverlagerung des Abwärmelieferanten ein **Risiko**. Ein staatlich oder privatwirtschaftlich organisierter Abwärmefonds könnte dieses Risiko abfedern. Für kurzfristige Ausfälle beim Wärmelieferanten etwa durch eine unvorhergesehene Betriebsunterbrechung sind derartige Fonds nicht gedacht. Eine Maßnahme zur Abfederung kurzfristiger Ausfälle könnte stattdessen etwa die Förderung von Redundanzanlagen ähnlich wie über die BEW sein (Ziegler et al. 2022) (zu Förderungen s. auch Kapitel 6.3.2).

Ein Projekt zur Einbindung von Abwärme in ein Wärmenetz geht mit **Investitionen** durch den Wärmeversorger und je nach Geschäftsmodell durch den wärmeliefernden Betrieb einher. Der Wärmeversorger finanziert in der Regel den Anschluss an das Wärmenetz (Hintemann und Clausen 2021) und muss für den Fall eines Ausfalls des Wärmelieferanten Ersatz- bzw. Back-Up-Lösungen (n-1-Sicherheit) vorhalten (Hintemann und Clausen 2021; Ziegler et al. 2022). Eine Refinanzierung der Investitionen ist meist nur über einen längeren Zeitraum möglich. Wärmeversorger streben daher meist langfristige Lieferverträge von mindestens 10 Jahren an. Für die wärmeliefernden (Industrie-) Unternehmen ist die Lieferung von Abwärme wiederum nur ein Nebengeschäft (Hintemann und Clausen 2021), weshalb sie meist kürzere Vertragslaufzeiten und geringere Lieferverpflichtungen bevorzugen (Ziegler et al. 2022; Aydemir et al. 2019). Sofern auch das wärmeliefernde Unternehmen Investitionen, etwa in Wärmepumpen oder Umbauten, tätigt, kann dies zu einem Interesse an einer längerfristigen Wärmeabgabe beitragen. Langfristige Lieferverträge bergen jedoch auch das Risiko, dass sie Effizienzmaßnahmen verhindern können, die die Abwärmemenge reduzieren würden (Aydemir et al. 2019). Eine Möglichkeit, um eine finanzielle Absicherung für den Wärmeversorger zu schaffen, für den Fall, dass eine Insolvenz auftritt oder eine Standortverlagerung erfolgt und im Zuge der Vertragslaufzeit keine vollständige Refinanzierung möglich ist, ist ein **Abwärmefonds**.

Bislang wurde die Idee des Abwärmefonds in der Praxis noch nicht umgesetzt. Für eine konkrete Ausgestaltung wurden aber bereits verschiedene Ideen ausformuliert. **Betreibender des Fonds** könnte sowohl der Staat als auch die Privatwirtschaft sein (Aydemir et al. 2019). Beim Staat kommen sowohl der Bund als auch die Bundesländer in Frage (Ziegler et al. 2022)⁴⁷. Die Einrichtung eines Abwärmefonds auf Bundesebene wäre effizienter als auf Länderebene und wird auch bereits diskutiert. Unklar ist jedoch, wann und in welcher Form ein solcher Fonds kommen wird. Das Land Berlin sollte auf eine zügige Umsetzung auf Bundesebene hinwirken und parallel die Entwicklung eines Fonds auf Landesebene prüfen und voranbringen, für den Fall, dass auf Bundesebene keine Umsetzung erfolgt. Für einen privatwirtschaftlichen Betreibenden kann die Schwierigkeit der Berechnung des Ausfallrisikos ein Hindernis darstellen. Laut Berg (2022a) ist eine statistische Berechnung des Risikos zwar möglich. Dass bisher eine private Versicherung nicht zu Stande gekommen ist, führt der AGFW (2023) auf eine unzureichende Datengrundlage bei der Risikoabschätzung zurück. Die folgenden Abschnitte gehen auf konkrete Vorschläge zur Ausgestaltung von Abwärmefonds ein.

Als **Vorbild für einen Abwärmefonds** wird häufig der Risikofonds für tiefe Geothermie-Projekte in den Niederlanden genannt (Hintemann und Clausen 2021; Berg 2022a). Dieser Fonds besteht seit dem Jahr 2009 und versichert das Fündigkeitsrisiko gegen eine „Versicherungsprämie“ von 7 %

⁴⁷ Bislang wurde im Koalitionsvertrag von Baden-Württemberg für den Zeitraum 2021 bis 2026 die Einrichtung eines Abwärmefonds beschlossen, damit „Projekte zur Erschließung, Einspeisung und Nutzung von Abwärme über die erste Phase der Abschreibungszeit attraktiver und rentabler werden“ (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Baden-Württemberg und CDU Baden-Württemberg 2021).

der Investitionskosten (Hintemann und Clausen 2021). Die Höhe der Kompensation ist abhängig von dem Minderertrag im Vergleich zu dem erwarteten Ertrag, beträgt jedoch maximal 85 % der Kosten (Hintemann und Clausen 2021). Die Finanzierung wird über ein staatliches Budget sichergestellt, das für jeden Zyklus des Programms auf eine bestimmte Summe gedeckelt ist (RVO 2020). Die Kosten bei Nicht-Fündigkeit werden weitgehend von den Versicherungsprämien abgedeckt (Hintemann und Clausen 2021). In der Schweiz existiert für Erdwärmesonden eine über 30 Jahre währende Versicherung von geologischen Risiken wie z. B. Verschiebungen im Untergrund. Diese wird von der privaten Versicherungsgesellschaft Helvetia (Helvetia Schweizerische Versicherungsgesellschaft AG) angeboten (Berg 2022a).

Bei der **Versicherungshöhe bzw. der Abdeckung** durch den Fonds gibt es Gestaltungsspielraum. Die Rückzahlungen aus dem Fonds sollten aus Sicht der Praxis die noch nicht refinanzierten Kosten decken, wobei unter Umständen ein Schadensdeckungsteil und Selbstbehalt zu definieren sind (Berg 2022a). So würde sich im Falle eines Ausfalls im Jahr x die Rückzahlung ergeben aus den Investitionskosten, dem Schadensdeckungsteil und den bereits generierten Einnahmen. Teilnehmende eines Expertenworkshops schlugen vor, die drei Fälle Insolvenz, Standortverlagerung und Produktionsumstellung zu unterscheiden und den Fonds so zu gestalten, dass er in den drei Fällen unterschiedlich hohe Anteile des Risikos abdeckt. Im letzten Fall kann der Fonds entweder einen sehr geringen Anteil des Risikos abdecken oder sogar keine Deckung des Risikos mehr vorsehen (Pfränger 2022). Ein geringerer Anteil der Risikoabsicherung durch den Fonds führt dazu, dass die Vertragspartner das Risiko vertraglich regeln (müssen), sodass etwa einer leichtfertigen Standortverlagerung entgegengewirkt werden kann. Denkbar ist es, zusätzlich zu den noch nicht refinanzierten Kosten die erforderlichen Neuinvestitionen oder die Kosten des Krisenmanagements seitens des Wärmeversorgers über einen Abwärmefonds zu finanzieren (Berg 2022a). Dies erscheint bei Kompensation der noch nicht refinanzierten Kosten nicht erforderlich. Teilweise sind Fördermittel, die Wärmenetzbetreibende erhalten, an den Primärenergiefaktor gekoppelt, sodass bei einem kurzfristigen Umstieg auf fossile Wärmequellen die Rückzahlung von Fördermitteln gefordert werden kann. Es ist zu klären, ob derartige Risiken ebenfalls mit einem Abwärmefonds abgesichert werden (Pfränger 2022). Dieses Risiko besteht jedoch vor allem dann, wenn einzelne Abwärmelieferanten einen hohen Anteil der Wärme in einem Wärmenetz bereitstellen. Diese Problematik scheint für den Berliner Kontext weniger relevant zu sein und wird daher nicht weiter vertieft.

Für die **Finanzierung des Fonds** finden sich in der Literatur ebenfalls verschiedene Ideen. Eine Möglichkeit wäre ein klassisches Versicherungsmodell, bei dem die Wärmeversorger, die sich versichern möchten, regelmäßige Beiträge zahlen, deren Höhe sich aus den abzusichernden Kosten (AGFW 2023) und dem statistischen Risiko für die Insolvenz und die Standortverlagerung eines Wärmelieferanten berechnet (Berg 2022b). Eine zweite Möglichkeit wäre die Finanzierung über einen staatlichen Fonds wie den Klima- und Energiefonds auf Bundesebene (Ziegler et al. 2022) oder die Kreditanstalt für Wiederaufbau des Bundes (Blömer et al. 2019). Hierfür spräche, dass die Zahl der Abwärmeprojekte noch gering ist, was eine Finanzierung über Beiträge erschwert (Berg 2022a). Um die Belastung der Allgemeinheit gering zu halten, bietet sich eine Mischung der beiden Möglichkeiten mit einer angemessenen Beitragszahlung der Wärmeversorger an (Aydemir et al. 2019). Die staatliche Unterstützung könnte sich bevorzugt an große Projekte richten, bei denen die Beitragszahlungen sehr hoch wären (Berg 2022b). Eine dritte Möglichkeit könnte ein „Abwärmegroschen“ sein, den Wärmeversorger und energieintensive Unternehmen zahlen müssen, wenn sie ein Abwärmeprojekt nicht realisieren, das nach dem Abwärmekonzept möglich wäre (Ziegler et al. 2022). Dies erscheint vor dem Hintergrund ambitionierter Klimaneutralitätsziele nicht zielführend.

Eine weitere zu klärende Frage betrifft die Voraussetzungen bzw. die **Kriterien** zur Auswahl der Projekte, die durch den Abwärmefonds abgedeckt werden. Voraussetzung für die Geothermieversicherung in den Niederlanden ist etwa eine vorherige geologische Untersuchung durch ein zertifiziertes Unternehmen, die die nutzbare Wärmemenge abschätzt (RVO 2020). Die Teilnahme am Abwärmefonds könnte an Bedingungen wie die CO₂-Einsparung durch die Abwärmenutzung geknüpft sein (Ziegler et al. 2022). Mögliche Voraussetzungen für die Teilnahme an einem Abwärmefonds könnten außerdem eine Mindestleistung einer Anlage oder auch eine maximale Entfernung zwischen Wärmequelle und Wärmesenke sein. Die Kriterien könnten sich am EWG Bln bzw. der noch auszugestaltenden Verordnung orientieren. Unternehmen sollten ihre Abwärmepotenziale zunächst intern nutzen. Um zu vermeiden, dass Einsparpotenziale erst nach der Investition in die externe Wärmenutzung identifiziert werden, könnte eine Voraussetzung für die Teilnahme auch die Prüfung der internen Nutzbarkeit bzw. der Effizienzsteigerung in den Produktionsprozessen sein. Dies würde eine Berücksichtigung der zu erwartenden Entwicklung im Abwärmenutzungskonzept ermöglichen.

In der Summe erscheint es für das Land Berlin sinnvoll, sich für die zügige Einführung eines Abwärmefonds auf Bundesebene einzusetzen, da dies eine effiziente Umsetzung eines Abwärmefonds erlaubt, jedoch wäre parallel die Einführung eines Fonds auf Landesebene zu prüfen.

Einrichtung eines Abwärmefonds
Priorität
Hoch
Beschreibung
<p>Ziel der Maßnahme: Die Maßnahme sorgt dafür, dass das finanzielle Risiko, dass durch den Wegfall eines wärmeliefernden Unternehmens für Wärmenetzbetreibende entsteht, abgedeckt wird.</p> <p>Inhalt der Maßnahme: Das Land Berlin sollte sich für die zügige Einführung eines Abwärmefonds auf Bundesebene einsetzen. Parallel sollte als Alternative die Einrichtung eines Fonds auf Landesebene geprüft werden. Die Einrichtung eines Abwärmefonds kann auf unterschiedliche Weise gestaltet werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Finanzierung: Der Fonds kann über Beitragszahlungen der Wärmeversorger und/oder staatlich, z. B. durch Mittel des Klima- und Energiefonds auf Bundesebene finanziert werden. Wegen der relativ geringen Anzahl an Akteuren im Land Berlin erscheint ein Fonds auf Bundesebene effizienter und sinnvoller. Generell ist eine kombinierte Finanzierung von Beitragszahlungen durch die Wärmenetzbetreibenden und staatliche Mittel sinnvoll. b) Auswahl der abgedeckten Projekte: Für die Auswahl der Projekte, die über den Abwärmefonds abgedeckt werden, braucht es definierte Kriterien. Als Voraussetzung sollte eine Risikobewertung vorgelegt werden, die definierte Standards erfüllt. c) Umfang der Abdeckung pro Projekte: Wärmeversorger sollten im Falle eines langfristigen Ausfalls eines wärmeliefernden Unternehmens eine Entschädigung in Höhe der noch nicht refinanzierten Investitionskosten erhalten. Für die Fälle Insolvenz und Standortverlagerung sollte es unterschiedlich hohe Schadensdeckungsanteile geben.
Kategorie und Rechtsrahmen
<p>Kategorien: Finanzierung / Risikoabsicherung Rechtsrahmen: Beachtung des Beihilferechts; gegebenenfalls Vorrang klimaschonender Wärme nach § 23 EWG Bln, insb. Bestimmung der wirtschaftlichen Unzumutbarkeit</p>
Akteure
<p>Umsetzungszuständigkeit: Bund, Land Berlin Adressat(en): Wärmeversorger, Wärmenetzbetreibende</p>

Fristigkeit
Einführung: unmittelbar Laufzeit: mittel- bis langfristig
Wirkung
Energieeffizienz und Klimaschutz: Die finanzielle Absicherung der Risiken ist in Fällen mit relativ hohem Ausfallrisiko Voraussetzung für die Umsetzung von Projekten zur Abwärmenutzung. Sie trägt somit indirekt zur Umsetzung bei und geht mit der Vermeidung von CO ₂ -Emissionen einher, indem die Abwärme fossile Energieträger in der bisherigen Wärmeversorgung ersetzt. Sozio-Ökonomisch: Indem das finanzielle Risiko für den Wegfall eines wärmeliefernden Unternehmens für den Wärmenetzbetreibenden abgedeckt wird, können negative ökonomische Folgen für den Wärmenetzbetreibenden abgewendet werden. Zudem kann die Maßnahme stabilisierend auf den Fernwärmepreis wirken, da als Folge eines Wegfalls entstehende Kosten unter Umständen durch eine Preiserhöhung aufgefangen würden.
Aufwand
Es entstehen Ausgaben für die Bereitstellung des Personals beim „Betreibenden bzw. Verwaltenden“ des Fonds, etwa für die Prüfung der Projekte und die Bearbeitung von „Versicherungsfällen“. Die Finanzierung des Fonds erfolgt auf Bundesebene. Bei den Berliner Wärmeversorgern treten je nach Art der Finanzierung Kosten in Form der Einzahlungen in den Fonds auf. Für das Land Berlin verursacht die Prüfung eines Fonds auf Landesebene einen Personalaufwand.

6.3.2 Förderungen für die Abwärmenutzung

Für die Nutzung von Abwärme innerhalb und außerhalb eines Abwärme-produzierenden Unternehmens fallen Investitions- und Betriebskosten an, die im Vergleich zu den erreichbaren Kosteneinsparungen oder generierten Einnahmen häufig so hoch sind, dass aus Sicht der Unternehmen zu geringe Anreize für eine Investition bestehen. Daher existieren auf Bundes- und Landesebene bereits verschiedene Förderangebote für eine interne und eine externe Abwärmenutzung. Dies umfasst Förderungen, die das abwärmeliefernde Unternehmen adressieren, als auch Förderungen, die die Wärmeabnehmer*innen und dabei vor allem die Wärmenetzbetreibenden adressieren.

Auf Bundesebene gibt es mit der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW), die im Jahr 2022 eingeführt wurde, ein relativ neues Förderprogramm. Wegen der kurzen Laufzeit sind zum aktuellen Zeitpunkt möglicherweise noch nicht alle Wirkungen und Lücken des Programms bekannt. Im Land Berlin ist das Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE 2) in die zweite Förderperiode eingetreten, sodass hier ebenfalls neue Erfahrungen gesammelt werden. Somit ist eine Bewertung der Förderlandschaft von begrenzter Reichweite. Der folgende Abschnitt geht auf den aktuellen Stand der wichtigsten Förderungen ein und formuliert darauf aufbauend Ansatzpunkte und Ideen für sinnvolle Ergänzungen auf Landesebene sowie Anpassungen auf Bundesebene.

6.3.2.1 Bestehende Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene

Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)

Eine der wichtigsten Förderungen für die Transformation bestehender und die Errichtung neuer Wärmenetze ist die BEW, die auf Bundesebene 2022 eingeführt wurde und das Programm Wärmenetzsysteme 4.0 ersetzt. Die BEW fördert die Errichtung von Nahwärmenetzen mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien und die Umrüstung bestehender Fernwärmenetze auf erneuerbare Energien und Abwärme. Die Förderung ist in drei Module unterteilt: 1. Transformationspläne und Machbarkeitsstudien, 2. Systemische Förderung und 3. Einzelmaßnahmen (BMWK 2022). Die Module bauen zeitlich aufeinander auf. Eine Ausnahme bildet die Investitionskostenförderung für Einzelmaßnahmen nach Modul 3, die auch unabhängig von der Erstellung eines Transformationsplans

möglich ist, sofern „ein Zielbild des dekarbonisierten Wärmenetzes in Grundzügen nebst prognostizierten CO₂-Einsparungen vorgelegt werden kann“ und die Einzelmaßnahme sich in die Langfriststrategie einfügt (BMWK 2022). Eine Betriebskostenförderung für Einzelmaßnahmen wird aber nur gewährt, wenn ein Transformationsplan erstellt und mindestens das erste Maßnahmenpaket umgesetzt wurde. Die systemische Förderung (Modul 2) umfasst „alle Maßnahmen von der Installation der Erzeugungsanlagen über die Wärmeverteilung bis zur Übergabe der Wärme an die versorgten Gebäude“. Die „Einbindung von industrieller, gewerblicher oder sonstiger Abwärme“ wird in Modul 2 explizit als Fördertatbestand aufgeführt. *Unvermeidbar* ist die Abwärme dann, „wenn diese aus wirtschaftlichen, sicherheitstechnischen oder sonstigen Gründen im Produktionsprozess nicht nutzbar ist und mit vertretbarem Aufwand und technischen Effizienzmaßnahmen nicht verringert werden kann“. Die Wärme aus KWK-Anlagen, auch die im Rauchgas enthaltene Restwärme, gilt nicht als Abwärme (BMWK 2022).

Über die BEW ist auch eine Förderung von „Anlagen zur Besicherung bei Einbindung neuer Anlagen mit klimaschonendem Energieträger“ möglich (BMWK 2022), sprich von Ersatz- bzw. Redundanzenanlagen. Voraussetzung dafür ist, dass die Besicherungsfunktion der Anlagen im Transformationsplan dargestellt wird, und dass die Anlagen nur beim Ausfall einer zu besichernden Anlage genutzt werden und eine bestimmte jährliche Nutzungsdauer nicht überschreiten. Erdgasbefeuerte Besicherungsanlagen werden nicht gefördert (BMWK 2022).

Die Förderhöhe für Transformationspläne und Machbarkeitsstudien (Modul 1) im Zuge der BEW beträgt bis zu 50 % der förderfähigen Kosten. Bei der systemischen Förderung (Modul 2) und der Förderung von Einzelmaßnahmen (Modul 3) beträgt die Förderung bis zu 40 % der förderfähigen Investitionskosten. Für Solarthermieanlagen und Wärmepumpen kann unter Umständen eine Betriebskostenförderung gewährt werden (BMWK 2022). Die Betriebskostenförderung für Wärmepumpen hängt dabei vom SCOP⁴⁸ ab und ist auf maximal 9,2 Cent pro kWh genutzter Abwärme begrenzt (BAFA 2023a).

Investitionen in Anlagen zur Abwärmenutzung werden nur dann gefördert, wenn die Anlagen Eigentum des Wärmenetzbetreibenden sind. Wenn die Anlagen zur Abwärmenutzung Eigentum des Abwärme auskoppelnden Unternehmens sind, sind die Investitionen nur nach der Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EWW) förderfähig (BMWK 2022).

Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)

Während die BEW Maßnahmen zur Nutzung von Abwärme seitens der Wärmenetzbetreibenden fördert, adressiert das EEW Investitionen seitens der Abwärme erzeugenden Unternehmen, sowohl zur internen Nutzung als auch zur Einspeisung in ein Wärmenetz. So werden im Modul 1 (Querschnittstechnologien) u. a. „Anlagen zur Abwärmenutzung beziehungsweise Wärmerückgewinnung aus Abwässern“ (BAFA 2023b) gefördert, und in Modul 4 (Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen) u. a. „Maßnahmen zur Nutzung von Abwärme, die durch Prozesse entsteht wie z. B. Einbindung der Abwärme zur Bereitstellung von Wärme inklusive aller hierfür erforderlichen Maßnahmen an der Anlagen- oder Gebäudetechnik, Einspeisung in Wärmenetze inklusive der Verbindungsleitungen, Verstromung von Abwärme“ (BAFA 2023c). Zusätzlich wird in Modul 5 die Erstellung von Transformationskonzepten zur Treibhausgasneutralität des Unternehmens gefördert. Die Förderhöhe liegt zwischen 40 und 60 %, wobei die maximale

⁴⁸ Der SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) ist die jahreszeitlich bedingte Leistungszahl. Er wird meistens vom Hersteller angegeben (BMWK 2022).

Förderung in Modul 4 an die durch die Maßnahme vermiedenen Emissionen sowie an die Unternehmensgröße gekoppelt ist (BAFA 2023a).

Förderung von Wärme- und Kältenetzen nach dem KWKG

Über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) wird der Neu- und Ausbau von Netzen gefördert, deren Wärme zu mindestens 75 % aus einer Kombination aus Wärme aus KWK-Anlagen, Wärme aus erneuerbaren Energien oder industrieller Abwärme besteht, wobei der Anteil der Wärme aus KWK-Anlagen bei mindestens 10 % liegen muss. Die industrielle Abwärme muss ohne zusätzlichen Brennstoffeinsatz bereitgestellt werden. Die Höhe des Zuschlags liegt bei 40 % der ansatzfähigen Investitionskosten. Zu den förderfähigen Investitionskosten zählen der Bau von Rohrleitungen, Straßenbauarbeiten und Verlegearbeiten. Während die Anbindung von Abwärme (sowie auch Wärme aus erneuerbaren Energien) bei einem Neu- oder Ausbau mitgefördert werden kann, ist ihre alleinige Anbindung an ein bestehendes Netz explizit *nicht* förderfähig, sondern nur in Kombination mit der Anbindung von KWK-Wärme (BAFA 2023d). Eine kumulative Förderung durch BEW und KWKG ist ausgeschlossen (BMWK 2022).

Kredit: IKU – Energetische Stadtsanierung - Quartiersversorgung

Neben den Förderprogrammen mit Zuschüssen gibt es auf Bundesebene die Möglichkeit, einen Kredit der KfW in Anspruch zu nehmen, mit dem die Nutzung von Abwärme unterstützt wird: der Kredit 202 für Energetische Stadtsanierung und Quartiersversorgung. Das Angebot richtet sich an kommunale und gemeinnützige Akteure und Investor-Betreiber-Partnerschaften. Gefördert werden u. a. „Anlagen zur Nutzung industrieller Abwärme zur Versorgung im Quartier“. Der Kredit beträgt bis zu 50 Mio. Euro bei einem effektiven Jahreszins von 3,38 % und kann mit anderen Fördermitteln kombiniert werden, wobei für Anlagen zur Stromerzeugung Sonderregeln gelten (KfW 2023a).

KfW 432: Energetische Stadtsanierung - Zuschuss

Im Rahmen des Programms KfW 432 wird ein Zuschuss in Höhe von 75 % der förderfähigen Kosten für die Erstellung von integrierten Quartierskonzepten und für die Leistung von Sanierungsmanagern vergeben. Der Förderzeitraum beträgt 3 Jahre und kann auf maximal 5 Jahre verlängert werden. In dem integrierten Quartierskonzept sollen unter anderem erneuerbare lokale oder regionale Energieversorgungsoptionen identifiziert werden. Des Weiteren soll das Konzept einen Maßnahmenkatalog beinhalten, in dem auch die Kosten, Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen bewertet werden (KfW 2023b). Auch wenn Abwärme im Zuge von KfW 432 nicht explizit adressiert wird, können durch das KfW geförderte Quartiersprojekte Abwärmenutzung beinhalten, die so von der konzeptionellen Förderung und der Unterstützung durch das Sanierungsmanagement profitieren.

Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE 2)

Im Land Berlin werden die Förderungen auf Bundesebene vor allem durch das Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE 2) ergänzt, welches in die 2. Förderperiode eingetreten ist⁴⁹. Im Programm sind sechs Förderschwerpunkte definiert. Im Förderschwerpunkt 1 „Energieeffizienz“ soll auch die Nutzung von Abwasser- und Abluftwärme gefördert werden. Der Förderschwerpunkt 3 „Intelligente Energiesysteme, Netze und Speichersysteme“ ermöglicht außerdem Förderungen zur

⁴⁹ <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/foerderprogramme/bene/foerderperiode-2021-2027/foederschwerpunkte/> (Zugriff: 9.8.2023)

Ergänzung und Verknüpfung der vorhandenen Energieinfrastrukturen. Hier wird für den Bereich Wärme auch explizit Abwärme genannt und es können sowohl Machbarkeitsstudien als auch Demonstrationsvorhaben ab dem Technologiereifegrad 6 gefördert werden.

6.3.2.2 Ansätze zur Einführung neuer landeseigener Förderungen für Abwärmenutzung

Vor allem die BEW und die EEW bieten auf Bundesebene eine gute Grundlage für die Umsetzung von Projekten zur Nutzung von Abwärme und die Einbindung in Wärmenetze. Die Förderkulisse kann jedoch durch das Land Berlin ergänzt werden, um zusätzliche Anreize zu schaffen und Lücken zu schließen. Zunächst fehlen auf Bundesebene Förderungen für Erstberatungen. Die Kosten von einigen Projekten zur Abwärmenutzung wurden in den projektbegleitenden Gesprächen von Wärmenetzbetreibenden außerdem als sehr hoch eingeschätzt, sodass die Fördermittel des Bundes für eine Projektrealisierung teilweise nicht ausreichen. Dies umfasst neben den Investitionskosten auch Kosten für das Projektmanagement und die Projektanbahnung.

Ein bewährtes Instrument aus Baden-Württemberg ist die **Förderung von Erstberatungen und des Managementaufwands** zur Initiierung von Projekten, die sich an wärmeliefernde Unternehmen richtet (Ziegler et al. 2022). Sie ist Teil des Programms Klimaschutz-Plus und besteht seit dem Jahr 2018 (Aydemir et al. 2019). Unternehmen verfügen häufig nicht über die Fachkenntnis zur Bewertung ihrer Abwärmesituation und die Abstimmung zwischen abwärmelieferndem Unternehmen und Wärmenetzbetreibendem ist technisch und kommerziell komplex (Ziegler et al. 2022). In der „Erstberatung und Projektanbahnung zur Abwärmenutzung“ wird zum einen die Beratung zur Potenzialerhebung und die Maßnahmenerstellung gefördert, zum anderen die Anbahnung großer Projekte, was den Managementaufwand zur Initiierung und die „Vorbereitung der Ausschreibung von Machbarkeitsstudien oder Planungsaufträgen“ umfasst. Die Förderhöhe für die Erstberatung beträgt 75 % des Tagessatzes für den / die Berater*in für bis zu 30 Arbeitstage. Für die Initiierung großer Projekte werden bis zu 100 Arbeitstage bezuschusst (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2020). Eine solche Förderung ist auch für Berlin empfehlenswert, wobei zu prüfen ist, ob besondere Anreize für kleinere Unternehmen geschaffen werden, indem höhere Anteile der Kosten übernommen werden. Die empfohlene Beratungsstelle sollte Unternehmen kostenlose Abwärmechecks zur Verfügbarkeit von Abwärmepotenzialen geben können und anschließend auf eine umfangreichere, geförderte Erstberatung verweisen sowie die Unternehmen bei der Identifikation geeigneter Ingenieurbüros für die Durchführung der Beratung sowie bei Bedarf bei der Fördermittelbeantragung unterstützen (s. Kapitel 6.2.2).

Unter Umständen reicht die Förderung der BEW nicht aus, um ein kostenintensives Projekt in die Umsetzung zu bringen, oder mögliche Vorhaben erfüllen die Vorgaben der BEW nicht und lassen sich nicht so einfach in BENE 2 einbetten. Letzteres gilt etwa für die Nutzung der Restwärme im Rauchgas der Müllverbrennung über eine Wärmepumpe. Dieses Vorhaben müsste wegen der Höhe der Investitionskosten zunächst als Großprojekt bei der EU beantragt werden, wobei die zeitliche Perspektive von der Beantragung bis zu einer möglichen Bewilligung vermutlich sehr lang ist. Das Land Berlin sollte für diese Fälle prüfen, ob prioritär eingestufte Vorhaben eine **zusätzliche, kumulierbare oder alternative Bezuschussung** der Investitions- und gegebenenfalls der Managementkosten für Planung, Koordination und Genehmigungen seitens der Wärmenetzbetreibenden erhalten sollen und können. Die Priorität sollte sich wie bei der EEW an den absolut erreichbaren CO₂-Reduktionen durch das konkrete Projekt orientieren. Dabei sollte ein Vergleich mit anderen Optionen der erneuerbaren Wärmeerzeugung wie etwa Tiefe Geothermie erfolgen, um sicherzustellen, dass die öffentlichen Gelder für die Wärmewende insgesamt kosteneffizient eingesetzt werden. Bei der Ausgestaltung sind beihilferechtliche Aspekte zu beachten.

Als ein Hemmnis bei der Einbindung von Abwärme in bestehende Wärmenetze nennen Wärme-netzbetreibende außerdem die **Errichtung von Trassen** bzw. von Leitungen zur Verlängerung der Wärmenetze, um die Anbindung einer Wärmequelle zu schaffen. Zwar wird der Trassenbau im Zuge des BEW in Modul 3 mit 40 % der Investitionskosten gefördert. Im Stadtgebiet müssen für die Erschließung jedoch häufig Straßen, Bahntrassen oder auch Wasserkanäle gequert werden, was die Kosten pro Meter Trasse erhöht. Nicht immer können im Zuge der Netzerweiterung zur Abwärmeeinbindung auch zusätzliche Kund*innen angeschlossen werden. Unter Umständen reicht die Förderung der BEW in diesen Fällen nicht aus. Um dennoch im Sinne der CO₂-Reduktion vielversprechende Abwärmelieferanten einbinden zu können, können zusätzliche, kumulierbare Förderungen für die Erschließung und Anbindung, inklusive der Verlege- und Tiefbauarbeiten, die Investitionsbereitschaft und damit die Erschließung von Abwärmequellen erhöhen. Die Einführung einer ergänzenden Förderung der Anbindung von Abwärmequellen ist zu prüfen.

6.3.2.3 Ansätze zur Anpassung der Förderungen auf Bundesebene

Abwärmelieferanten würden nicht nur von zusätzlichen Förderungen auf Landesebene profitieren, sondern auch von veränderten rechtlichen Rahmenbedingungen auf Bundes- und EU-Ebene.

Eine Fördermöglichkeit auf der Lieferantenseite ist eine **Betriebsförderung**, ergänzend zur Betriebskostenförderung der BEW für Wärmepumpen. Beim Abwärmelieferanten fallen neben den Investitions- häufig auch Betriebskosten für den Betrieb von Pumpen und Wärmepumpen an (Ziegler et al. 2022). Zugleich entfallen teilweise Kosten für die sonst nötige Kühlung (Ziegler et al. 2022). Um diese Faktoren angemessen zu kompensieren, müssen zunächst Kostenaufwand und -einsparungen erfasst werden (Ziegler et al. 2022). Bei einer Betriebskostenförderung von Abwärme kann zwischen hoch- und niederkalorischer Abwärme unterschieden werden. Hochkalorische Abwärme hat für den Wärmeversorger in der Regel einen höheren Wert und es fallen relativ geringe Betriebskosten an (Ziegler et al. 2022). Niederkalorische Abwärme wird in Verbindung mit Wärmepumpen genutzt, sodass hohe Betriebskosten anfallen. Die in der BEW enthaltene Betriebskostenförderung für Wärmepumpen deckt diesen Fall ab, sofern die von der Wärmepumpe genutzten Wärmequellen zu über 90 % förderfähig sind⁵⁰ und ein Transformationsplan vorliegt. Eine generelle Vergütung von Abwärme ist in der BEW nicht enthalten. In Bezug auf die Betriebskostenförderung fordert der AGFW (2023) daher entweder die Aufnahme der Auskopplung der Abwärme als Fördertatbestand in den Einzelmaßnahmen der BEW oder die Öffnung der EEW für Netzbetreibende. Berg (2022) schlägt eine allgemeine Betriebsförderung von 1 bis 7 Cent/kWh für die gelieferte Wärme, finanziert durch einen Fonds, vor (Berg 2022b). Ziegler et al. (2022) schlagen als eine Möglichkeit der Betriebsförderung vor, durch einen Fonds in den Anfangsjahren den Wärmepreis zu subventionieren und das Geld nach Erreichen der Amortisationszeit durch die Unternehmen in den Fonds rückzahlen zu lassen. So könnte auch abseits der BEW eine Betriebsförderung ermöglicht werden.

Im ersten Fachworkshop im Zuge der vorliegenden Potenzialanalyse wurde von einzelnen Teilnehmenden angemerkt, dass Förderungen für **Redundanz- bzw. Back-Up-Anlagen** notwendig seien. Diese sind erforderlich für den Fall, dass Abwärme kurzfristig nicht wie geplant zur Verfügung steht, etwa in Folge eines Produktionsausfalls. Im Zuge der BEW können jedoch als Teil der systemischen Förderung „Anlagen zur Besicherung bei Einbindung neuer Anlagen mit klimaschonendem Energieträger“ gefördert werden, sofern sie nicht fossil betrieben werden (BMWK 2022). Aller-

⁵⁰ Nicht förderfähig ist etwa die Nutzung von Restwärme im Rauchgas von KWK-Anlagen.

dings könnten in diesem Zusammenhang die Betriebskosten relevant sein, da die meisten erneuerbaren Spitzenlast-Erzeuger, etwa mit Biomethan, Biogas oder Wasserstoff betriebene Anlagen, gerade im Betrieb kostenintensiv sind. Im Fachworkshop wurde darauf verwiesen, dass auch die Wärmelieferanten ein Ausfallrisiko tragen, wenn die Wärmelieferung eine aktive Kühlung ersetzt. Für den Fall, dass der Netzbetreiber die Wärme nicht abnimmt, müssten die Wärmelieferanten neben den Anlagen zur Auskopplung der Wärme eine alternative Anlage zur Kühlung vorhalten. So entstünden Doppelinvestitionen. Ziegler et al. (2022) betonen jedoch, dass Lieferanten im Fall der Abwärmenutzung generell Kosten für die „Entsorgung“ von Abwärme sparen. Die Förderung von Anlagen zur Nutzung der Abwärme, etwa durch die BEW oder die EEW, müsste dazu führen, dass sich diese Investitionen amortisieren. Da sich das Vorhalten einer Infrastruktur zur Kühlung durch die Abwärmenutzung nicht ändert, abgesehen davon, dass durch den generell ausbleibenden Betrieb Kosten eingespart werden, wird an dieser Stelle kein zusätzlicher Förderbedarf gesehen. Ein „Take-or-Pay“-Vertrag zwischen Lieferanten und Netzbetreiber, bei dem der Netzbetreiber eine Mindestsumme zahlen muss, auch wenn er die Wärme nicht nutzt, kann zusätzlich dazu beitragen, dass die Zeiten, in denen die Abwärme nicht abgenommen wird, gering bleiben. Dieses Vertragsmodell wurde bei der Abwärme der Kaindl Flooring GmbH bei Salzburg umgesetzt (Ziegler et al. 2022). Es ist zu prüfen, ob dies für beide Seiten ein sinnvolles Modell ist.

Einführung neuer landeseigener Förderungen
Priorität
Hoch bis sehr hoch
Beschreibung
<p>Ziel der Maßnahme: Förderungen für die Nutzung von Abwärme, ihre Erschließung und Einbindung in Wärmenetze setzen wichtige Anreize für die notwendigen Investitionen und tragen zur Dekarbonisierung der Wärmenetze bei. Vor allem mit der BEW gibt es für Wärmenetzbetreiber attraktive Förderungen für die Integration von Abwärme in bestehende Netze und für die Errichtung neuer Wärmenetze. Auf Landesebene besteht die Möglichkeit, per ergänzender Landesförderung ausgewählte, wichtige Maßnahmen ohne ausreichende Bundesförderung zu unterstützen und Schwerpunkte zu setzen, die sich aus den lokalen Gegebenheiten ergeben. Generell ist es dabei wichtig, dass die Landesmittel kumulierbar sind mit Bundesmitteln, Zuschüsse anstelle von Krediten vergeben werden, eine hohe Planbarkeit gegeben ist, eine einfache Antragstellung möglich ist und dass bei Beratungsstellen Unterstützung bei der Beantragung angeboten wird. Bei der Ausgestaltung sind generell beihilferechtliche Aspekte zu beachten.</p> <p>Inhalt der Maßnahme: Folgende Förderungen sollte das Land Berlin zusätzlich zu den Bundesförderungen anbieten:</p> <p>1. Kurzfristig einzuführende Fördermaßnahmen:</p> <p>a) Förderung von Erstberatungen und des Managementaufwands: Ein Instrument, das sich in Baden-Württemberg bewährt hat, ist die Förderung von Erstberatungen und des Managementaufwands zur Initiierung von Projekten auf Seiten der wärmeliefernden Unternehmen (Ziegler et al. 2022). Unternehmen verfügen häufig nicht über die Fachkenntnis zur Bewertung ihrer Abwärmesituation und die Abstimmung zwischen abwärmelieferndem Unternehmen und Wärmenetzbetreiber ist technisch und bezüglich des Geschäftsmodells und der vertraglichen Ausgestaltung komplex. Die Kosten für eine Erstberatung zur Potenzialerhebung und Maßnahmenerstellung sowie für die Anbahnung großer Projekte sollten wie in Baden-Württemberg gefördert werden. Eine Förderhöhe von bis zu 75 % scheint geeignet.</p> <p>b) Zeitliche begrenzte Förderung von Demonstrationsvorhaben: Die Kosten von Projekten zur Abwärmenutzung werden von den Wärmenetzbetreiber teilweise als sehr hoch eingeschätzt (Investitionskosten, aber auch Kosten für das Projektmanagement inkl. Einholung der Genehmigungen etc.). Das Land Berlin sollte prüfen, ob in Fällen, in denen die Förderung der BEW nicht ausreicht, um ein Projekt in die Umsetzung zu brin-</p>

gen, oder ein Vorhaben die Vorgaben der BEW oder von BENE 2 nicht erfüllt, eine zusätzliche, kumulierbare oder alternative Bezuschussung der Investitionskosten bereitgestellt werden kann. Die Priorität sollte sich an den absolut erreichbaren CO₂-Reduktionen orientieren und vergleichend zu anderen Optionen der erneuerbaren Wärmeerzeugung bewertet werden. Bei der Ausgestaltung sind beihilferechtliche Aspekte zu beachten.

2. Prüfung der Einführung weiterer Förderungen:

- c) **Förderung der Erschließung von Abwärmequellen:** Als ein Hemmnis bei der Einbindung von Abwärme in bestehende Wärmenetze nennen Wärmenetzbetreibende die Errichtung von Trassen bzw. von Leitungen zur Verlängerung des Wärmenetzes, um einen Anschluss zu schaffen. Im Stadtgebiet müssen für die Erschließung häufig Straßen, Bahntrassen oder auch Wasserkanäle gequert werden. Dies erhöht die Kosten pro Meter Trasse. Teilweise müssen auch über größere Distanzen neue Trassen verlegt werden. Um dennoch im Sinne der CO₂-Reduktion vielversprechende Abwärmelieferanten oder auch andere erneuerbare Wärmequellen erschließen zu können, können zusätzliche Förderungen zur BEW für die Erschließung inklusive des Trassenbaus, die Investitionsbereitschaft erhöhen. Die Notwendigkeit sollte geprüft werden.

Kategorie und Rechtsrahmen

Kategorien: Finanzierung

Rechtsrahmen: Die Förderungen auf Landesebene sollten so formuliert werden, dass sie kombinierbar sind mit Förderungen auf der Bundesebene, vor allem mit der BEW und EEW.

Akteure

Umsetzungszuständigkeit: Land Berlin

Adressat(en): Abwärmeliefernde Betriebe, Wärmeversorger, Wärmenetzbetreibende

Fristigkeit

Einführung: unmittelbar

Laufzeit: mittel- bis langfristig (abhängig von der Entwicklung auf Bundesebene)

Wirkung

Energieeffizienz und Klimaschutz: Förderungen tragen dazu bei, dass Projekte in die Umsetzung kommen, die ansonsten nicht umgesetzt würden. Sie tragen somit direkt zur Reduktion des Anteils fossiler Energieträger in der Fernwärme und zu Reduktion der CO₂-Emissionen bei.

Sozio-ökonomisch: Indem die Vergabe von Förderungen an die CO₂-Einsparung des Vorhabens gekoppelt wird, wird für eine effiziente Nutzung von staatlichen Geldern gesorgt.

Aufwand

Die Bereitstellung von Förderungen geht mit Aufwendungen für das Land Berlin einher für den Zeitraum, in dem die Förderungen zur Verfügung gestellt werden.

– **Förderung von Erstberatungen und des Managementaufwands:** Bei den Erstberatungen ist von einem Umfang von 12.000 bis 15.000⁵¹ Euro pro Unternehmen zu rechnen, von denen 75 % gefördert werden sollten. Hinzu kommen die Förderungen für den Managementaufwand bei der Anbahnung großer Projekte.

– **Förderung kostenintensiver, hoch priorisierter Vorhaben:** Die Höhe der Investitionskosten ist in hohem Maße von den konkreten Bedingungen abhängig.

6.3.3 Weitere Aspekte zu Finanzierung und Förderung

Neben der Bereitstellung von Förderungen gibt es weitere Aspekte, die die Wirtschaftlichkeit von Projekten zur Abwärmenutzung beeinflussen können. Dabei haben die Rahmenbedingungen auf Bundes- und EU-Ebene einen erheblichen Einfluss bzw. bieten Potenzial zur Veränderung.

⁵¹ Erfahrungswert aus Baden-Württemberg.

6.3.4 Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen

Die **Weiterentwicklung von innovativen Geschäftsmodellen** ist, wie bereits im Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm gefordert, eine wichtige Maßnahme. Das Land Berlin sollte prüfen, welche Mittel dem Land hierfür zur Verfügung stehen. Die meisten konkreten Maßnahmen betreffen dabei jedoch die Bundesebene. Damit Abwärmeprojekte zu Stande kommen, müssen sie sich für beide Seiten lohnen (Päivärinne et al. 2015). Oft sehen sich Unternehmen mit hohen Anfangsinvestitionen und im Verhältnis geringen Einnahmeerwartungen konfrontiert (Päivärinne et al. 2015). Teilnehmende des zweiten Fachworkshops bemerkten, dass neben einer Imageverbesserung und dem Erreichen von Nachhaltigkeitszielen die finanziellen Anreize für wärmeliefernde Unternehmen, in den Wärmemarkt einzutreten, begrenzt sind. Gerade der Ankauf von niederkalorischer Abwärme ist für die Fernwärmebetreibenden weniger attraktiv, da in der Regel eine exergetische Aufwertung der Abwärme durch Wärmepumpen vor Einspeisung in ein Wärmenetz erfolgen muss. Hier müsste die Weitergabe von Abwärme unentgeltlich erfolgen, um die Wärmegestehungskosten auf einem wettbewerbsfähigen Niveau zu halten (Ziegler et al 2022). Für die wärmeliefernden Unternehmen ergibt sich ein Gewinn dann im besten Fall dadurch, dass sie auf die Kosten einer sonst nötigen Kühlung verzichten können (Päivärinne et al. 2015; Sandvall et al. 2016). Neben Maßnahmen wie der im BEW enthaltenen Betriebsförderung von Wärmepumpen oder Aufwandskompensationen für die Weitergabe von Niedrigtemperaturabwärme, müssten Unternehmen darüber hinaus **Benefits** zugesprochen werden, die für sie als lohnenswert erachtet werden.

Eine Möglichkeit wären **steuerliche Vorteile**, ähnlich wie sie in Dänemark in 2022 in Kraft getreten sind, um den finanziellen Anreiz einer Abwärmeweitergabe an Dritte zu stärken (s. Ziegler et al. 2022). Eine nähere Untersuchung möglicher Geschäftsmodelle unternimmt momentan das Projekt Emb3ers³⁷. In Deutschland könnte es sich dabei um Erleichterungen bei der Energiesteuer handeln (s. Ziegler et al. 2022). Laut Lygnerud und Langer (2022) könnten die Wärmeversorger auch aus der Wertschätzung der Kunden für nachhaltige Produkte mehr Gewinn schöpfen, indem sie ihr Angebot diversifizieren. Denkbar wäre es, eine Art **Öko-Wärmetarif** anzubieten, der es ermöglicht, wärmeliefernde Unternehmen für ihre Abwärme ausreichend zu vergüten. Ob eine derartige Preisdiskriminierung mit dem geltenden Rechtsrahmen für Fernwärmepreise vereinbar ist, ist zu prüfen.

Perspektivisch wird die Absenkung des Temperaturniveaus in Wärmenetzen zur Wirtschaftlichkeit der Einbindung von niederkalorischer Abwärme beitragen (Lygnerud und Langer 2022). Zudem wird ein steigender CO₂-Preis und ein steigender Wettbewerb um Biomasse zur Rentabilität von Abwärme gegenüber anderen Erzeugungstechnologien beitragen (Sandvall et al. 2016).

6.3.4.1 Standardisierung von Abrechnungs- und Vergütungsmodellen

Im Themenfeld der Finanzierung und der Geschäftsmodelle steht die Frage im Raum, inwiefern eine **Standardisierung von Abrechnungs-, Vergütungs- und Gewährleistungsmodellen** bei Abwärmeprojekten sinnvoll ist. Mit Blick auf die Diversität der Abwärmequellen in Berlin und der technischen Lösungen für die Umsetzung und die hohe Bandbreite in den Investitions- und Erschließungskosten gibt es wenig Möglichkeiten für eine branchenübergreifenden Standardisierung (Stark et al. 2020). Die Analysen zu Berlin zeigen, dass voraussichtlich Rechenzentren in Zukunft erhebliche Mengen an Abwärme bereitstellen werden. Es ist daher zu prüfen, inwiefern eine Standardisierung in dieser oder gegebenenfalls auch anderen Branchen sinnvoll und zielführend ist, um im Zusammenwirken von wärmeliefernden Betrieben, Wärmabnehmer und Verwaltung etwa über die Regulierungsbehörde für Fernwärme in Berlin mehr Transparenz und Effizienz zu schaffen.

6.3.4.2 Bilanzierung im Energiemanagement und Emissionshandel

Auf Bundesebene ist die **Bilanzierung im Energiemanagement** relevant, bei der die derzeitigen Bilanzgrenzen die an Dritte gelieferte Abwärme nicht erfassen. Ein unternehmensweites Energiemanagement hat den Zweck, Energieeinsparpotenziale zu erfassen und die Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen einzuleiten. Die Einführung eines Energiemanagementsystems ist insbesondere für energieintensive Unternehmen relevant, da diese neben Energiekosteneinsparungen von einer Zertifizierung nach ISO 50001⁵² profitieren können. Diese ermöglicht eine Reduktion von Steuern und Abgaben durch den sogenannten Spitzenausgleich bei der Energie- bzw. Stromsteuer⁵³. Ein weiterer Vorteil von Energieeffizienzmaßnahmen besteht in einer Zunahme des Ansehens des Unternehmens, wozu auch die Schaffung eines grünen **Abwärmelabels** für energieintensive Unternehmen, die Abwärme liefern, beitragen könnte. Zudem könnte die Berücksichtigung der Abwärmelieferung in die Bewertung des **Branchen-Effizienz-Benchmarks** einen Anreiz für Unternehmen schaffen, Abwärme zu nutzen, da diese Unternehmen im branchenweiten Energieeffizienzvergleich folglich besser abschnitten (Ziegler et al. 2022).

Auf EU-Ebene würde es einen Effekt entfalten, wenn für Abwärmelieferanten übergangsweise **Freizertifikate für den Emissionshandel** gewährt würden (Ziegler et al. 2022). Die Berücksichtigung des Exports von Abwärme im EU-Emissionshandel könnte die Wirtschaftlichkeit der externen Nutzung in Fernwärmenetzen erhöhen. Laut Ziegler et al. (2022) ist die Berücksichtigung der Abwärmennutzung im EU-ETS bisher nicht vorgesehen: "Dadurch, dass mit der Abwärmennutzung der Bilanzraum des Unternehmens verlassen wird, kann Abwärme nicht in die Benchmarkbetrachtung für die Zuteilung der CO₂-Freizertifikate integriert werden." Die Rahmenbedingungen ließen sich demnach verbessern, wenn Abwärmennutzung im ETS-Emissionshandel berücksichtigt würde und/oder die Abwärmelieferanten mit zusätzlichen CO₂-Zertifikaten unterstützt würden⁵⁴.

6.4 Erleichterung von Genehmigungsverfahren

Bei der Planung und Umsetzung von Vorhaben zur Nutzung von Abwärme sind je nach Art der Nutzung und abhängig von den in den Unternehmen vorhandenen sowie den neu eingesetzten Anlagen verschiedene Genehmigungen erforderlich. Diese gehen mit einem **administrativen Aufwand** einher und können ein Hemmnis sowohl für das Unternehmen mit Abwärmepotenzial als auch für die Wärmenetzbetreibenden darstellen. So moniert der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) lange Genehmigungszeiträume für industrielle Anlagen und pocht auf eine **Vereinfachung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren** (BDI 2020). Auch die Wärmenetzbetreibenden in Berlin haben in projektbegleitenden Gesprächen darauf hingewiesen, dass das

⁵² <https://www.umweltbundesamt.de/energiemanagementsysteme-iso-50001#iso-50001-aufbau-und-anwendung>; Zugriff am 16.08.2023

⁵³ Der aktuelle Haushaltsentwurf für das Jahr 2024 sieht bisher keine Verlängerung des Spitzenausgleichs für die Stromsteuer vor. Dieser war ausgelaufen, wurde jedoch 2022 im Zuge hoher Energiekosten um ein Jahr verlängert.

⁵⁴ Die Europäische Kommission hat in den Diskussionen zur Regulierung der Vergabe von Freizertifikaten (FAR⁵⁴) aus dem Jahr 2018 grenzüberschreitende Wärme Flüsse durchaus berücksichtigt. In einem Beratungsdokument für die Umsetzung der Zertifikatvergabe in den Mitgliedsländern (DG CLIMA 2019) war Folgendes angedacht: Wenn ein Abwärmelieferant, der unter das ETS fällt, messbare Wärmemengen an eine Stelle liefert, die nicht unter das ETS fällt, werden dem Wärmelieferanten für die netto exportierte Wärme Freizertifikate erteilt. Falls die Wärme in ein Wärmenetz gespeist wird, werden die Freizertifikate einer (rechnerisch-imaginären) Fernwärme-Subinstallation des Wärmelieferanten gewährt. Die Anzahl der Freizertifikate wird aus dem (gegebenenfalls Fern-)Wärme-Benchmark, der Menge der exportierten Wärme und dem Risikofaktor der Emissionsverlagerung (Carbon Leakage Exposure Factor, CLEF) errechnet. Ziegler et al. (2022) zufolge wurden diese Ratschläge der EU-Kommission in Deutschland offenbar bislang nicht umgesetzt.

Einholen von Genehmigungen zu zeit- und personalaufwändig sei. Die erforderlichen Genehmigungsverfahren und -praktiken sollten generell einfach und übersichtlich gestaltet sein und es sollte eine zügige Bearbeitung und Genehmigung ermöglicht werden. Dies betrifft verschiedene Ämter in den Bezirken wie auch Behörden bei den Hauptverwaltungen.

Konkret geht es etwa um den **Vollzug des Immissionsschutzgesetzes** durch die Senatsverwaltung für Umwelt oder die **Umsetzung des Bau- und Planungsrechts** durch die Berliner Bezirke. Maßnahmen, die die Effizienz einer industriellen oder gewerblichen Anlage erhöhen, wie die Installation von Wärmetauschern zur Nutzbarmachung von Abwärme, sind in der Regel an sich **nicht genehmigungspflichtig**, es können jedoch Genehmigungen im Rahmen des **Bundesimmissionsschutzgesetzes** (BImSchG) notwendig sein, wenn sich die Zusammensetzung der Abgase verändert. Dies betrifft z. B. die Kopplung einer Wärmepumpe mit einem BHKW zur Nutzung der Restwärme im Rauchgas oder den Einsatz von Wärmetauschern im Abgas von Industrieunternehmen. Beim Bau von Leitungen auf dem Betriebsgelände sind häufig **Baugenehmigungen** einzuholen (Stark et al. 2020). Beim Bau von Anlagen und Leitungen außerhalb des Betriebsgeländes zur Anbindung der Abwärmequelle an ein Wärmenetz sind das **Planungsrecht** und dabei insbesondere die geltenden **Bebauungspläne** der Bezirke zu beachten.

Eventuell muss bei der Errichtung einer neuen Anlage oder einer Leitung eine individuelle **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)** vorgenommen werden (Stark et al. 2020). Hierbei werden insbesondere die Auswirkung der Maßnahmen hinsichtlich **Gewässer- und Bodenschutz sowie Naturschutzrecht** bewertet. Die Notwendigkeit, ob die Errichtung einer Anlage oder Leitung einer solchen Prüfung bedarf, wird je nach Größe und Art der Anlage im Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) geregelt. Zusätzlich ist es notwendig, im Falle einer Kreuzung von Leitungen durch öffentlichen Raum einen **Wegenutzungsvertrag** in Form eines privatrechtlichen Gestattungsvertrags mit der zuständigen Kommune abzuschließen (MIE 2017). Der Neubau oder die Erweiterung eines Fernwärmenetzes zur Erschließung einer Abwärmequelle benötigt laut §§ 65 ff. des UVPG ab einer Länge von 5 km außerhalb des Werksgeländes bzw. mit einer Länge von weniger als 5 km im Außenbereich ein **Planfeststellungsverfahren**. Das Verlegen von Leitungen hat zudem häufig Straßensperrungen oder Umleitungen zur Folge, welche durch die Straßenverkehrsbehörden genehmigt und mit der Polizei abgestimmt werden müssen.

Lange Genehmigungszeiträume, wie sie in der Praxis häufig zu finden sind, sind nicht mit dem Ziel einer zügigen Wärmewende vereinbar. Unternehmen können den administrativen Aufwand scheuen und somit Investitionen behindern. Sie sind zudem auch vor dem Hintergrund der vergleichsweise kurzen Marktzyklen in Industrie und Gewerbe problematisch (BDI 2020). Von der Antragsstellung und der vollständigen Einreichung aller notwendigen Dokumente bis zur Genehmigung können in etwa drei bis sieben Monate, je nach Art des Vorhabens und des Genehmigungsverfahrens – ob vereinfacht oder förmlich – vergehen. Sieben Monate entsprechen dabei der in § 10 Abs. 6a und § 16 Abs. 3 BImSchG vorgegebenen maximalen Bearbeitungszeit für ein förmliches Genehmigungsverfahren einer Neuanlage. Ist nicht von vornherein ersichtlich, welche Genehmigungen nötig sind, kann sich ein Verfahren auf längere Zeit hinauszögern, weil beispielsweise Nachforderungen gestellt werden. Daher ist es wichtig, die **Effizienz von Genehmigungsverfahren** insofern zu verbessern, dass Anträge bereits von Beginn an vollständig eingereicht werden und weniger Nachforderungen gestellt werden müssen. Dies kann durch gezielte Hilfestellungen wie **Leitfäden, Checklisten und Beratungsangebote** erreicht werden.

6.4.1 Leitfäden, Checklisten und Beratungsangebote zur Orientierung

Leitfäden und **Checklisten**, wie sie in Kapitel 6.1 vorgeschlagen werden, können sowohl Antragstellenden als auch Berater*innen und Sachbearbeiter*innen von Behörden eine Orientierung geben und klarstellen, welche Genehmigung wann gebraucht wird, wo sie zu beantragen ist und welche Anträge, Messungen etc. bis wann vorgelegt werden müssen. Leitfäden sollten die bestehenden Rechtsverordnungen verständlich erklären und es sollte anhand von Beispielen verdeutlicht werden, wann welche Genehmigung einzuholen ist und welche weiteren ordnungsrechtlichen Aspekte zu beachten sind. Ein zusätzliches hilfreiches Werkzeug sind Checklisten für den Genehmigungsprozess, an denen sich ein Unternehmen orientieren kann. Dies hilft dabei die Effizienz von Genehmigungsprozessen zu erhöhen, indem etwa die Anzahl an Nachforderungen gesenkt wird. Dies führt wiederum zu einer Entlastung der Genehmigungsbehörden und der Unternehmen. Auch die Beratungsstelle Abwärme (s. Kapitel 6.2.2) oder projektbezogene Runde Tische (s. Kapitel 6.2.6) können dabei helfen, allen Beteiligten einen besseren Überblick über die erforderlichen Genehmigungen zu verschaffen. Beratende Akteure können Genehmigungsprozesse gegebenenfalls auch bis zum Ende begleiten und bei Bedarf zur Klärung von Fragen zur Verfügung stehen.

Um der Komplexität von Genehmigungsverfahren Rechnung zu tragen und die Prozesse zu beschleunigen, müssen das Personal in Behörden gestärkt und die Prozesse vereinfacht werden.

6.4.2 Stärkung des Personals in Genehmigungsbehörden

Da im Zuge der Planung und Umsetzung von Abwärmeprojekten häufig mehrere Behörden zu beteiligen sind, sollten zunächst die gesamten Genehmigungsprozesse geprüft werden, um Engstellen zu identifizieren und anschließend gezielt Prozesse zu optimieren und Personal zu stärken. So kann es sinnvoll sein, dass **Personal** bei Genehmigungsbehörden speziell für Fragen der Abwärmenutzung **geschult** wird, sofern neue Fragestellungen auftreten. Es sollte außerdem geprüft werden, ob eigene Sonderabteilungen für Genehmigungen im Bereich Abwärme mit zusätzlichem Personal eingerichtet werden können bzw. in welchen bisherigen Bereichen aufgestockt werden sollte. Wichtig ist, dass auch für bestehendes Personal **Weiterbildungen** angeboten werden, um sie mit dem Thema Abwärme vertraut zu machen. Zudem können Mitarbeiter*innen vom Austausch mit anderen Behörden profitieren, indem sie von deren Erfahrungen lernen und so die eigenen Prozesse stetig verbessern. Die Beratungsstelle Abwärme könnte als **Vernetzungsplattform** für landeseigene Behörden sowie für den Austausch mit Behörden anderer Bundesländer fungieren.

6.4.3 Digitalisierung und Flexibilisierung von Genehmigungsverfahren

Die Digitalisierung von Genehmigungsverfahren ist ein weiterer Weg, um Genehmigungsprozesse zu vereinfachen und dabei den Personalaufwand zu reduzieren. Dies hat zur Folge, dass Behörden nach einer Umstellungsphase Anträge schneller bearbeiten können. Des Weiteren kann eine digitalisierte Antragsstellung, z. B. durch E-Formulare mit verknüpftem Infomaterial und Erklärvideos, die Antragsstellung für Unternehmen vereinfachen und ihnen den Behördengang ersparen. Eine erfolgreiche Digitalisierung von Genehmigungsprozessen ermöglicht zudem eine Flexibilisierung von Genehmigungsprozessen, indem verfügbares Personal aus verwandten Abteilungen sowie aus Ämtern anderer Bezirke bei Bedarf mit in die Bearbeitung einbezogen werden können (vgl. Hirschl et al. 2022). Wichtig ist es, dass Personal für Beratungen und Rückfragen zur Verfügung steht, sodass die Prozesse effektiv und effizient bearbeitet werden können.

Erleichterung von Genehmigungsverfahren
Priorität
Hoch
Beschreibung
<p>Ziel der Maßnahme: Ziel ist es, administrative Hemmnisse aus Sicht der Unternehmen abzubauen und konkrete Projekte schneller in die Umsetzung zu bringen. Indem Informationen und Kapazitäten bei den Genehmigungsbehörden bereitgestellt werden, wird eine zügigere Umsetzung von Abwärmeprojekten ermöglicht. Durch die Erleichterung und Beschleunigung von Genehmigungsverfahren werden aus Unternehmenssicht Umsetzungshemmnisse abgebaut.</p> <p>Inhalt der Maßnahme:</p> <ol style="list-style-type: none"> Beratungsangebote für Unternehmen: Leitfäden, Checklisten und persönliche Beratungen verschaffen Unternehmen einen Überblick über notwendige Genehmigungen, erläutern Genehmigungsprozesse und geben Hilfestellungen bei deren Vorbereitung. Dies reduziert Hemmnisse und steigert die Effizienz von Genehmigungsprozessen, da z. B. die Anzahl von Nachforderungen gesenkt werden kann. Denkbar ist eine Prozessbegleitung durch die Beratungsstelle Abwärme. Überprüfung der Genehmigungsprozesse und Identifikation von Engstellen sowie Stärkung des Personals in Genehmigungsbehörden: Personal in Genehmigungsbehörden soll dort gestärkt werden, wo Engstellen und Knackpunkte bestehen, etwa indem mehr Personalstellen geschaffen werden und das Personal zum Thema Abwärme geschult wird. Weiterbildungen und Vernetzungsmaßnahmen sollen dabei helfen, Wissen, Strukturen und Prozesse kontinuierlich weiterzuentwickeln und zu verbessern. Digitalisierung und Flexibilisierung von Genehmigungsverfahren: Digitale und vereinfachte Genehmigungsverfahren können die Hemmnisse bei der Antragsstellung auf Seiten der Unternehmen senken und das Personal in Genehmigungsbehörden entlasten. Zudem ermöglicht die Digitalisierung flexiblere Genehmigungsprozesse und die behördenübergreifende Einbindung von Personalkapazitäten.
Kategorie und Rechtsrahmen
<p>Kategorien: Genehmigungen Rechtsrahmen: EWG Bln, BImSchG, Planungsrecht</p>
Akteure
<p>Umsetzungszuständigkeit: Genehmigungsbehörden des Landes Berlin und der Bezirke Adressat(en): Abwärmeliefernde Unternehmen, Wärmenetzbetreibende, Verwaltung</p>
Fristigkeit
<p>Einführung: unmittelbar Laufzeit: mittel- bis langfristig</p>
Wirkung
<p>Energieeffizienz und Klimaschutz: Mit der Erleichterung und Beschleunigung von Genehmigungsprozessen geht keine direkte CO₂-Reduktion einher. Beides fördert jedoch die zügige Nutzung von unvermeidbarer Abwärme, was mit einer Vermeidung von CO₂-Emissionen einhergeht, sofern Abwärme fossile Brennstoffe in der Wärmeerzeugung ersetzt.</p> <p>Sozio-Ökonomisch: Das Zustandekommen von Abwärmekooperationen und die Nutzung von Abwärme im Allgemeinen führen unter der Voraussetzung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme zu einem ökonomischen Mehrwert. Die Verschlinkung von Prozessen schafft Kapazitäten bei Behörden, was wiederum die damit verbundenen Ausgaben der Ämter reduziert. Die Neueinstellung von Personal schafft dagegen Arbeitsplätze und zusätzlichen Einkommen für Angestellte.</p>
Aufwand
<p>Der Aufwand der Maßnahme betrifft vor allem die Neueinstellung und Schulung von Personal in Genehmigungsbehörden und die Digitalisierung von Prozessen. Die Kosten sind vom Land Berlin über die Haushaltsmittel bei den Bezirks- und Landesämtern zu tragen. Die Aufwände für Vernetzungsaktivitäten, weitere Beratungsangebote und für die Erstellung von Leitfäden und Checklisten wurden bereits bei den Maßnahmen zu Vernetzung und Beratung berücksichtigt.</p>

6.5 Einsatz von Steuerungs- und Planungsinstrumenten

Um die Nutzung von unvermeidbarer Abwärme voranzubringen, können Planungs- und Steuerungsinstrumente unterstützend eingesetzt werden. Im Status quo befinden sich Gewerbegebiete, Betriebe mit Abwärmepotenzialen oder Rechenzentren teilweise in Gebieten, in denen es (noch) kein Wärmenetz gibt. Sofern abnehmerseitig sinnvoll, sollten in diesen Gebieten Wärmenetze aufgebaut werden, um die Abwärmepotenziale für die potenziellen Abnehmer*innen verfügbar zu machen. Außerdem ist es zielführend, Betriebe mit Abwärmepotenzialen gezielt dort anzusiedeln, wo eine externe Nutzung in Wärmenetzen möglich ist bzw. geeignete Wärmesenken vorhanden sind. Die Gestaltung der Stadtentwicklungspläne, von Gewerbeflächenentwicklungsprogrammen bzw. Ansiedlungskonzepten sind eine Möglichkeit, das Thema Gewerbeansiedlung und Abwärmenutzung in der Stadtentwicklung zu berücksichtigen. Die Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Konzeptvergaben bieten außerdem die Möglichkeit, Vorgaben für die Abnahmeseite zu machen, um so den erforderlichen Anschluss der Gebäude an das bestehende oder an ein neues Wärmenetz zu erreichen. Auf diese Aspekte wird im Folgenden näher eingegangen.

6.5.1 Stadtentwicklungspläne und Wirtschaftsflächenkonzepte

Stadtentwicklungspläne stellen eine Möglichkeit der planerischen Steuerung der Ansiedlung von industriellen und gewerblichen Betrieben dar. Der **Stadtentwicklungsplan (StEP) Wirtschaft 2030** für Berlin (SenSW 2020) umfasst, basierend auf dem StEP Industrie und Gewerbe aus dem Jahr 2011, ein räumliches Leitbild für die aktuellen und zukünftigen Schwerpunkte der gewerblichen Entwicklung, Konzeptpläne für Planungsziele und Handlungsansätze sowie ein Entwicklungskonzept für den produktionsgeprägten Bereich. Der StEP Wirtschaft 2030 schafft die stadtentwicklungsplanerischen Grundlagen für die Entwicklung des Flächenangebots für die Wirtschaft mit dem Ziel der Flächensicherung, Flächenvorsorge und Flächenqualifizierung. Generell zeichnet sich die Situation in Berlin durch eine zunehmende Knappheit an Flächen für die gewerbliche Wirtschaft sowie hohe Preissteigerungen aus. Dabei muss der StEP Wirtschaft eine Vielzahl an Flächen- und Nutzungsansprüchen und gesamtstädtischen Zielen berücksichtigen, etwa zu Klimaneutralität, Mobilität und Baukultur und Denkmalschutz (SenSW 2020). Der StEP Wirtschaft 2030 als gesamtstädtische Strategie wird durch die nachfolgenden Planungsebenen über **bezirkliche Wirtschaftsflächenkonzepte** konkretisiert, die dann gemeinsam mit dem StEP Wirtschaft 2030 die Grundlage für die verbindliche Bauleitplanung darstellen.

Betriebe, die ein Abwärmepotenzial aufweisen, zeichnen sich durch einen hohen Energiebedarf in Form von Wärme und/oder Strom aus. Dies ist im Zuge der Standortwahl ein wichtiges Kriterium, inklusive der Frage über welche Energiequellen dieser Energiebedarf gedeckt werden kann. Die Frage der Abwärmenutzung sollte jedoch ebenfalls ein Standortkriterium sein. Das Thema **Abwärme** wird bislang im StEP Wirtschaft 2030 nur am Beispiel des UnternehmensNetzwerks Motzener Straße aufgegriffen. Das Projekt NEMO verfolgt hier das Ziel der Null Emissionen. In dem Klimaschutzkonzept werden konkrete Klimaschutzmaßnahmen genannt, etwa auch die Nutzung und Speicherung von Abwärme (SenSW 2020). Bislang enthält der StEP Wirtschaft 2030 jedoch keine direkten Empfehlungen zur Ansiedlung von abwärmeliefernden Betrieben in Gebieten mit Möglichkeiten zur externen Nutzung der Abwärme. Auch die beispielhaft gesichteten bezirklichen Wirtschaftsflächenkonzepte⁵⁵ gehen nicht auf das Thema Abwärme ein.

⁵⁵ Es wurden Wirtschaftsflächenkonzepte der Bezirke Friedrichshain-Kreuzberg, Treptow-Köpenick Marzahn-Hellersdorf gefunden und gesichtet.

Die stadtentwicklungsplanerischen Grundlagen für die Entwicklung des Flächenangebots für die Wirtschaft sollten für das Thema Abwärmennutzung sensibilisieren und Handlungsmöglichkeiten aufzeigen. Indem etwa eine **Datenverschneidung** der Gewerbeflächen bzw. der Flächen für den produktionsgeprägten Bereich mit Daten zu den bestehenden Wärmenetzen und Netzerweiterungs- und -ausbaugebieten sowie mit Daten und Informationen aus dem StEP Wohnen etwa zu neuen Stadtquartieren und zur Weiterentwicklung bestehender Siedlungen erfolgt, sind Aussagen zur externen Nutzbarkeit von Abwärme möglich. Derartige Datenanalysen und Auswertungen sollten **im Zuge der Wärmeplanung** erfolgen. Die Ergebnisse sollten im StEP Wirtschaft 2030 bzw. in den nachfolgenden StEP sowie den bezirklichen Wirtschaftskonzepten Berücksichtigung finden.

6.5.2 Ansiedlungskonzepte für Rechenzentren

Eine Besonderheit stellen Rechenzentren dar, für die in manchen deutschen Kommunen bereits Ansiedlungskonzepte zum Einsatz kommen. Im StEP Wirtschaft 2030 (SenSW 2020) werden Rechenzentren bislang nicht spezifisch adressiert. Grundsätzlich sind für die Ansiedlung von Rechenzentren **mehrere standortbezogene Aspekte** relevant. Für eine schnelle Datenübertragung sollten die Standorte möglichst an Internetknotenpunkten liegen. Es braucht hinreichende Stromkapazitäten, um den für Betrieb und Kühlung hohen Energiebedarf decken zu können. Bei der Wahl des Standortes können so auch Überlegungen eine Rolle spielen, wie das städtische Stromnetz entlastet bzw. nicht über die Maße hinaus zusätzlich belastet werden kann. Um die im Zuge der Kühlung entstehende Abwärme effizient nutzen zu können, sollten Wärmenetze, geeignete Quartiere für die Entwicklung von Wärmenetzen oder andere größere Wärmeabnehmer in räumlicher Nähe vorhanden sein. Zudem sind die Sicherheitsanforderungen an die Standorte hoch und auch der Flächenbedarf für Rechenzentren ist im Vergleich zu anderen Branchen sehr hoch (Dziallas und Sunnus 2021). Wegen des hohen Flächenverbrauchs und der Flächenknappheit in der Stadt kommen auch Flächen in Frage, bei denen eine Umnutzung erfolgt (etwa ehemaliger Kraftwerksstandorte).

Einige Kommunen nutzen bereits die Möglichkeit, über Gewerbeflächenentwicklungsprogramme Eignungsgebiete für ausgewählte Branchen auszuweisen. So wurden etwa in **Frankfurt am Main und Hanau** Ansiedlungskonzepte für Rechenzentren entwickelt. In Frankfurt am Main erfolgte im Jahr 2022 eine Aktualisierung des Gewerbeflächenentwicklungsprogramms hinsichtlich des städtebaulichen Umgangs mit Rechenzentren in Gewerbe- und Industriegebieten. Rechenzentren werden als eigener Standorttyp geführt und es werden **Eignungsgebiete, eingeschränkte Eignungsgebiete und Ausschlussgebiete für unternehmensunabhängige Rechenzentren** ausgewiesen. Das Gewerbeflächenentwicklungsprogramm in Frankfurt am Main ist ein städtebauliches Entwicklungskonzept nach §1 Abs.6 Nr.11 BauGB (Stadtplanungsamt Frankfurt am Main 2020). Diese bieten einen Orientierungsrahmen auf gesamtstädtischer Ebene und sollen den Abstimmungsaufwand und mögliche Konflikte bei der projektbezogenen Planung reduzieren. Sie dienen als Leitlinien für die Ansiedlungsberatung, Bauberatung und die Bauleitplanung (Stadtplanungsamt Frankfurt am Main 2022). Zudem sind städtebauliche Planungen im Allgemeinen Voraussetzung für Verpflichtungen zur Förderung von erneuerbare Energien in städtebaulichen Verträgen (§ 11 Abs. 1 Nr. 4 BauGB, s. u.) (IKEM und ITE 2020). Allerdings sind solche Pläne für Akteure außerhalb der Verwaltung nicht direkt rechtswirksam, sondern müssen durch die Aufstellung von Bauleitplänen umgesetzt werden (Stadtplanungsamt Frankfurt am Main 2019; Stadtplanungsamt Frankfurt am Main 2020). Da Rechenzentren in der Regel als „nicht wesentlich störender Gewerbebetrieb“ eingeordnet werden (Dziallas und Sunnus 2021), können sie in fast allen Gebietskategorien errichtet werden. Dort, wo es keine Bebauungspläne gibt, ist die Zulässigkeit nach § 34 Abs.1 BauGB abhängig von der Umgebungsbebauung, und dadurch vor allem in Gebieten mit unterschiedlichen Nutzun-

gen häufig zulässig (Stadtplanungsamt Frankfurt am Main; Dziallas und Sunnus 2021). Derzeit verfügen die Kommunen also über kein verpflichtendes Instrument zur Ansiedlungssteuerung von Rechenzentren, sofern diese „nicht wesentlich stören“. Sie können jedoch auf Basis eines legitimierten Beschlusses wie eines städtebaulichen Entwicklungskonzeptes oder eines Flächennutzungsplans eine geeignete Grundlage für Diskussionen mit Investoren und Stakeholdern schaffen.

Vereinzelt wird Kritik an der Ausweisung von Eignungsgebieten geübt, insofern, dass eine Flächenverknappung entstände, was den Ausbau der Digitalinfrastruktur behindere⁵⁶. Andere Fachexperten wie Bitkom sehen in der Ausweisung von Eignungsgebieten für Rechenzentren Vorteile, etwa dahingehend, dass die Akzeptanz der Ansiedlung von Rechenzentren verbessert werden kann. Allerdings müssten bei der Auswahl der Eignungsgebiete alle relevanten Standortfaktoren wie etwa der Verfügbarkeit der erforderlichen Stromkapazitäten und IT-Infrastruktur berücksichtigt werden.

Sofern keine Eignungsgebiete ausgewiesen werden, aber auch ergänzend zu den bereits beschriebenen städtebaulichen Planungsinstrumenten bedarf es einer **Kooperation von Kommunen, Entwicklern und Energieversorgern**, um geeignete Standorte für Rechenzentren zu finden bzw. auch um gute Bedingungen in favorisierten Gebieten zu schaffen mit dem Ziel, die Abwärme von Rechenzentren für den Wärmesektor verfügbar zu machen. Laut einer Studie von Bitkom möchte die Mehrheit der Betreibenden von Rechenzentren die Abwärme abgeben, bisher fehlten aber die Abnehmer (Rohleder 2022). Ein Beispiel für eine gelungene Kooperation ist die geplante Nutzung von Abwärme eines Rechenzentrums von NTT in Marienfelde, wo ein Teil der Abwärme in ein von der GASAG betriebenes Wärmenetz eingespeist werden soll (s. Kapitel 4.2). In Frankfurt wird im Projekt Westville neben einem Rechenzentrum ein Wohngebiet errichtet, das zum Teil mit der Abwärme aus dem Rechenzentrum versorgt werden soll (Stier 2023).

In Berlin gibt es derzeit noch keinen **abgestimmten Prozess** zwischen Senat und Bezirken sowie den Strom- und Wärmenetzbetreibenden, wie die Ansiedlung von Rechenzentren zu erfolgen hat. Das Land Berlin sollte prüfen, wie ein solcher Prozesse gestaltet werden kann, um die Abwärmennutzung zu unterstützen und unter Umständen auch Vereinfachungen herbeizuführen. Es ist zudem zu prüfen, ob eine **Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussgebieten** für Rechenzentren zielführend ist. Generell ist außerdem zu prüfen, ob die für Rechenzentren beschriebenen Ansätze auch auf andere energieintensive Branchen wie die erneuerbare Gaserzeugung übertragbar sind.

6.5.3 Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Konzeptvergaben

Neben einer Steuerung der Ansiedlung von Betrieben mit Abwärmepotenzialen können das Land Berlin und die Bezirke planerische Instrumente nutzen, um die **Abnahmesseite** zu adressieren.

In der **Bauleitplanung** und über **städtebauliche Verträge** bei der Vergabe von Grundstücken können wärmepolitische Festsetzungen getroffen werden. Kommunen haben dabei in städtebaulichen Verträgen einen größeren Handlungsspielraum als in der Bauleitplanung. Nach § 11 Abs. 1. Nr. 2 BauGB dürfen städtebauliche Verträge für die „Förderung und Sicherung der mit der Bauleitplanung verfolgten Ziele“ eingesetzt werden und nach Nr. 4 insbesondere auch für die „Errichtung und Nutzung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-

⁵⁶ <https://www.frankfurt-main.ihk.de/presse/pressemitteilung/sachverhalt/2023/06/06/5478722> (Zugriff: 6.6.2023)

Wärme-Kopplung“, also etwa die Errichtung eines Fernwärmenetzes und der Anschluss an das Netz (IKEM und ITE 2020), soweit dies den Zielen und Zwecken der städtebaulichen Planung entspricht. Voraussetzung für den Erfolg eines solchen Vertrags ist ein hinreichendes Interesse auf Seite der Investoren, da der Vertragsabschluss freiwillig ist (IKEM und ITE 2020). Außerdem kann für Neubauten in einem Plangebiet in den Bebauungsplänen oder in städtebaulichen Verträgen festgelegt werden, dass **Hausanschlüsse an ein bestehendes Fernwärmenetz** bzw. Hausanschlüsse zum Anschluss an ein **zukünftiges Wärmenetz** zu errichten sind. Zudem ist es in Bebauungsplänen möglich **Verbote zur Verbrennung von fossilen Brennstoffen** festzusetzen. So entstehen zusätzliche Anreize für die Gebäudeeigentümer*innen sich an ein Wärmenetz anzuschließen. In Sanierungsgebieten haben Kommunen ebenfalls die Möglichkeit Baumaßnahmen wie die Herstellung eines Anschlusses an ein Wärmenetz vorzugeben, wobei mit dem Anschluss keine Nutzungspflicht einhergeht (IKEM und ITE 2020).

Das Land Berlin und die Bezirke können außerdem durch den **(Zwischen-)Erwerb** von wichtigen Grundstücken Einfluss auf die Stadtentwicklung nehmen. Die Grundstücke können anschließend über eine Direktvergabe, bei der das Gebiet zum Marktpreis veräußert wird, ein Bieterverfahren, bei dem das Grundstück zum gebotenen Höchstpreis verkauft wird, oder eine Konzeptvergabe wieder vergeben werden. Bei der **Konzeptvergabe** ist nicht der Preis, sondern das Konzept ausschlaggebend für die Vergabe (Hessischer Städtetag 2017). Dabei ist es denkbar, dass auch Aspekte einer klimaneutralen Wärmeversorgung und gegebenenfalls einer Abwärmenutzung berücksichtigt werden. Ein häufiger Anwendungsfall des Verfahrens ist der soziale Wohnungsbau, aber auch in Gewerbegebieten ist eine Konzeptvergabe möglich (z. B. Stadt Leipzig 2023). Zu beachten ist das Europäische Beihilferecht, das die selektive Begünstigung eines Unternehmens verbietet. Um Konflikten mit dem Beihilferecht zu vermeiden, kann das Grundstück zu dem vorher ermittelten Marktpreis verkauft werden (Hessischer Städtetag 2017).

Bei der Aufstellung von Flächennutzungsplänen und Bebauungsplänen, beim Abschluss städtebaulicher Verträge sowie im Falle von Konzeptvergaben sollten in Berlin die Möglichkeiten genutzt werden, um unterstützende Rahmenbedingungen für eine Abwärmenutzung zu schaffen.

Steuerung der Ansiedlung und der Wärmeabnahme über Planungsinstrumente	
Priorität	
Hoch	
Beschreibung	
Ziel der Maßnahme:	Ziel ist es, Betriebe mit Abwärmepotenzialen gezielt dort anzusiedeln, wo eine externe Nutzung der Wärme über bestehende oder neu zu errichtende Wärmenetze möglich ist. Dies betrifft in besonderer Weise Rechenzentren, bei denen ein deutlicher Zubau in Berlin erwartet wird. Ein weiteres Ziel ist es, einen hohen Anschlussgrad der Gebäude bzw. Wärmeabnehmer an Wärmenetze in den betroffenen Gebieten über Planungsinstrumente sicherzustellen.
Inhalt der Maßnahme:	
a)	Stadtentwicklungspläne und Wirtschaftsflächenkonzepte: Bereits in den Stadtentwicklungsplänen Wirtschaft auf Landesebene und den bezirklichen Wirtschaftsflächenkonzepten, die gemeinsam die Grundlage für die verbindliche Bauleitplanung darstellen, sollte das Thema Abwärmennutzung mitberücksichtigt werden. Hierfür sind im Zuge der Wärmeplanung Analysen etwa zur Verschneidung von Wärmenetzgebieten und -erweiterungsgebieten mit Gewerbegebieten erforderlich, aus denen Empfehlungen zur Ansiedlung von abwärmeliefernden Betrieben in geeigneten Gebieten abgeleitet werden können.
b)	Ansiedlungskonzepte für Rechenzentren: Für Berlin ist zu prüfen, ob eine Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussgebieten für Rechenzentren zielführend ist. Generell ist zu prüfen, ob die für Rechenzentren beschriebenen Ansätze zur Ausweisung von Eignungsgebieten auch auf andere energieintensive Branchen übertragbar sind. Zudem sollte das Land Berlin einen Prozess erarbeiten, wie die Ansiedlung von Rechenzentren im Zusammenspiel von Senat, Bezirken und Netzbetreibenden erfolgen soll.
c)	Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Konzeptvergaben: Im Zuge der Bauleitplanung, beim Abschluss städtebaulicher Verträge sowie im Falle von Konzeptvergaben sollten in Berlin die Möglichkeiten genutzt werden, um unterstützende Rahmenbedingungen für eine Abwärmennutzung zu schaffen. Dies betrifft etwa die Verpflichtung von Neubauten zur Herstellung eines Wärmenetzanschlusses oder das Festlegen von Verbrennungsverboten.
Kategorie und Rechtsrahmen	
Kategorien:	Planungsinstrumente
Rechtsrahmen:	Planungsrecht, BauGB
Akteure	
Umsetzungszuständigkeit:	Land Berlin und Bezirke
Adressat(en):	Verwaltung (indirekt: Abwärmeliefernde Unternehmen, Wärmenetzbetreibende, Gebäudeeigentümer*innen)
Fristigkeit	
Einführung:	unmittelbar
Laufzeit:	mittel- bis langfristig
Wirkung	
Energieeffizienz und Klimaschutz:	Indem Unternehmen mit Abwärmepotenzialen gezielt dort angesiedelt werden, wo eine externe Abwärmennutzung möglich ist und die Wärmeabnahme über Planungsinstrumente unterstützt wird, wird auf eine möglichst umfassende Nutzung von unvermeidbarer Abwärme hingewirkt. Dies führt mittelbar zu einer Reduktion von CO ₂ -Emissionen, vorausgesetzt, dass Wärme auf Basis fossiler Brennstoffe ersetzt wird.
Sozio-Ökonomisch:	Die gezielte Ansiedlung und das Hinwirken auf hohe Anschlussgrade bei den Abnehmer*innen unterstützen eine effektive und (kosten)effiziente Nutzung von Abwärme.
Aufwand	
	Der Aufwand der Maßnahme betrifft vor allem die Stadtplanungs- und Wärmeplanungsprozesse auf Landes- und Bezirksebene. Hierfür müssen Personalkapazitäten geschaffen werden.

7 Fazit und Ausblick

Die **Berliner Abwärmepotenziale** im verarbeitenden Gewerbe, im Handels- und Dienstleistungssektor, in Rechenzentren sowie in weiteren Bereichen wie der Stromverteilung und im U-Bahnsystem wurden im Zuge dieses Vorhabens erstmals **wissenschaftlich fundiert erhoben**.

Die ermittelten Daten und daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen die Relevanz des Themas Abwärmennutzung aufzeigen und zur Umsetzung von Projekten zur Abwärmennutzung und somit zur Dekarbonisierung des Berliner Wärmesektors beitragen.

Mit der **Unternehmensumfrage** wurden technisch nutzbare Abwärmepotenziale in Höhe von 176 GWh/a an zwölf Standorten im verarbeitenden Gewerbe ermittelt, 50 GWh/a an fünf Standorten von Rechenzentren und 2 GWh/a an vier Standorten des sonstigen Handel- und Dienstleistungssektors. Aus einer **Hochrechnung**, die auf branchentypischen Abwärmeequoten bezogen auf den Energieeinsatz basiert, ergeben sich für Berlin insgesamt Abwärmemengen von mindestens **339 GWh/a im verarbeitenden Gewerbe** (in der Hochrechnung wurden nur Abwärme im Abgas/Rauchgas berücksichtigt) und knapp **120 GWh/a in Rechenzentren**. Bei Letzteren ist aufgrund des erwarteten Zubaus in den nächsten Jahren eine weitere starke Zunahme der Abwärmepotenziale zu erwarten. Eine Hochrechnung für den Handels- und Dienstleistungssektor war nicht möglich, da keine umfassenden Informationen zur Grundgesamtheit an Unternehmen in diesem Sektor existieren. Hinzu kommen knapp **460 GWh an Abwärme aus U-Bahn-Stationen** sowie knapp **50 GWh aus Umspannwerken**. Zusätzlich fallen etwa **225 GWh Restwärme in der Müllverbrennungsanlage** Ruhleben an, die an das Rauchgas gebunden ist. Zukünftig ist vor allem wegen des hohen erwarteten Zubaus an Rechenzentren sowie der Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse insgesamt eine deutliche Zunahme der Abwärmepotenziale zu erwarten.

Die erhobenen Daten sollen in die **Wärmeplanung des Landes Berlin** eingebunden werden. Hierfür ist eine Georeferenzierung der Daten erforderlich. Gerade bei der Georeferenzierung der Abwärmepotenziale bestehen zum jetzigen Zeitpunkt noch einige Lücken, die perspektivisch geschlossen werden sollten. Eine **räumliche Verortung** kann derzeit insgesamt für 29 Anlagen aus dem verarbeitenden Gewerbe und dem Handels- und Dienstleistungssektor in Berlin erfolgen. Mit diesen Anlagen gehen der Hochrechnung zufolge im Status quo etwa 272 GWh Abwärme einher. Diese Datengrundlage sollte in die Wärmeplanung des Landes Berlin Eingang finden. Weitere 67 GWh/a Abwärme in Abgasen/Rauchgasen wurden über eine Hochrechnung anhand von Abwärmeequoten bezogen auf die Energiestatistik⁵⁷ ermittelt. Für diese Wärmequellen ist keine Georeferenzierung möglich. Allerdings handelt es sich, wie die Zahlen zeigen, um kleine Abwärmemengen pro Unternehmen und somit kleinteilig über das Stadtgebiet verteilte Abwärmepotenziale. Bei den U-Bahn-Stationen, Umspannwerken sowie der Restwärme aus der Müllverbrennung kann vergleichsweise einfach ein Standortbezug hergestellt werden. Dies sollte im Zuge der Wärmeplanung erfolgen.

Nächste Schritte für die Einbindung der Abwärmepotenziale in das Wärmekataster sind es nun, zu den Standorten, für die aktuell nur berechnete Werte vorliegen, genauere Daten zu den Abwärmepotenzialen von den jeweiligen Unternehmen zu erhalten und die Datengrundlage zu ergänzen. Dies würde durch eine Auskunftspflicht von Unternehmen über Abwärmepotenziale, wie im Entwurf zum EnEFG des Bundes geplant, in Zukunft vereinfacht werden. Denn alle Unternehmen mit einem Gesamtenergiebedarf von 2,5 GWh/a sollen nach dem Entwurf des **EnEFG verpflichtet** werden,

⁵⁷ Die Energiestatistik bezieht sich insgesamt auf 745 Standorte, erlaubt jedoch keinen Standortbezug.

Auskunft **über ihre Abwärmepotenziale zu geben**. Die Daten sollen durch die Bundesstelle Energieeffizienz veröffentlicht werden. Das Land Berlin sollte frühzeitig für eine effiziente und nahtlose **Schnittstellengestaltung** zwischen der Bundesstelle Energieeffizienz bzw. der dort betriebenen Plattform und dem Berliner Wärmekataster sorgen. Zudem sollte das Land Berlin die Erhebung der Abwärmepotenziale weiterführen und die Berliner **Unternehmen über Beratungs- und Informationsangebote bei der Datenerfassung und -bereitstellung unterstützen** und sie für das Thema sensibilisieren. Dies betrifft auch Unternehmen, die unterhalb der Grenze von 2,5 GWh/a Gesamtenergiebedarf liegen. Das Land Berlin sollte auch die genauere Ermittlung und die Georeferenzierung der sonstigen Abwärmepotenziale, vor allem aus dem unterirdischen U-Bahn-System etwa über die Durchführung von Messprogrammen unterstützen. Zudem ist zu prüfen, wie die Informationsbasis zu Unternehmen im Bereich Handel und Dienstleistungen verbessert werden kann.

Um die vorhandenen Abwärmepotenziale letztlich zu erschließen, ist neben deren Erhebung die Einführung eines umfassenden Maßnahmensets notwendig. Bei dem vorgeschlagenen **Maßnahmenset** handelt es sich um einen ganzheitlichen Ansatz, der über alle **Phasen, von der Planung bis zur Umsetzung**, möglichst viele Hemmnisse und Hindernisse adressiert und für unterstützende Rahmenbedingungen sorgt. Somit sollten alle Maßnahmen umgesetzt werden.

Eine besonders **hohe (zeitliche) Priorität** haben die Maßnahmen auf Landesebene rund um **Beratung und Vernetzung**, vor allem die **Einrichtung einer Beratungsstelle, eines Abwärmechecks und einer geförderten Erstberatung**. Dies sind wichtige Maßnahmen, um bei den Betrieben für das Thema interne und externe Abwärmenutzung zu sensibilisieren, die Abwärmepotenziale zu erheben und den Unternehmen niedrigschwellig Informationen zu Möglichkeiten der Abwärmenutzung zu übermitteln. Neben Beratungen sollten, nach Einzelfallprüfung, auch **Demonstrationsvorhaben gefördert** werden, die die Förderbedingungen der BEW und von BENE 2 nicht erfüllen. Weitere Maßnahmen mit hoher Priorität betreffen die **Erleichterung von Genehmigungsverfahren über Stärkung und Weiterbildung des Personals** sowie den Einsatz von **Steuerungs- und Planungsinstrumenten**, vor allem für die **Ansiedlung von Rechenzentren** in Gebieten, in denen die Abwärmepotenziale in Wärmenetzen extern genutzt werden können. Es ist zu prüfen, ob die Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussgebieten ein geeigneter Weg ist, um geeignete Standorte zu identifizieren und bisherige Prozesse zu vereinfachen.

8 Anhang

8.1 Datengrundlage und Ergebnisse

Tabelle 8.11: Liste der Wirtschaftszweige des verarbeitenden Gewerbes

Quelle: (Destatis 2008)

Wirtschaftszweig
C 10 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln
C 11 Getränkeherstellung
C 12 Tabakverarbeitung
C 13 Herstellung von Textilien
C 14 Herstellung von Bekleidung
C 15 Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen
C 16 Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)
C 17 Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus
C 18 Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern
C 19 Kokerei und Mineralölverarbeitung
C 20 Herstellung von chemischen Erzeugnissen
C 21 Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen
C 22 Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
C 23 Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
C 24 Metallerzeugung und -bearbeitung
C 25 Herstellung von Metallerzeugnissen
C 26 Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen
C 27 Herstellung von elektrischen Ausrüstungen
C 28 Maschinenbau
C 29 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen
C 30 Sonstiger Fahrzeugbau
C 31 Herstellung von Möbeln
C 32 Herstellung von sonstigen Waren
C 33 Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen

Tabelle 8.12: Energieverbrauch nach Energiestatistik 2021 und Brennstoffeinsatz nach 11. BImSchV 2016

Quelle: (AfS BB 2022), Daten nach 11. BImSchV 2016

WZ	Bezeichnung	Energiestatistik Berlin 2021 ⁵⁸		11. BImSchV 2016	
		Anzahl Standorte	Energieverbrauch [GWh/a]	Anzahl Standorte	Brennstoffeinsatz [GWh/a]
10	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	112	784	3	280
11	Getränkeherstellung	7	0		
12	Tabakverarbeitung	1	0	1	35
13	Herstellung von Textilien	6	0		
15	Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	1	0		
16	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren	5	2		
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren	7	0	2	1
18	Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	44	90	1	1
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	-	0		
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	26	96	1	8
21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	25	415	1	204
22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	25	134	1	0
23	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	29	84	4	38
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	11	246	3	13
25	Herstellung von Metallerzeugnissen	75	186	2	3
26	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	96	151		
27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	51	195	1	50
28	Maschinenbau	54	133		
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	5	0	1	48
30	Sonstiger Fahrzeugbau	5	0	1	37
31	Herstellung von Möbeln	10	4		
32	Herstellung von sonstigen Waren	65	37		
33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	84	56		
Gesamt		745	3175	22	717

⁵⁸ https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/47a8ce84afb36177/ae168aeb9a7e/SB_E04-03-00_2021j01_BE.pdf (Zugriff 02.08.2023)

Tabelle 8.13: Angebotspotenzial an Abwärme aus Rauchgas/Abgas anhand von Emissionsdaten nach der 11. BImSchV 2016 für das verarbeitende Gewerbe in Berlin

Quelle: Daten nach 11. BImSchV 2016

Wirtschaftszweig	Brennstoffein- satz (Heizwert) [GWh]	Technisches Angebots- potenzial sensible Ab- wärme Rauchgas/Abgas [GWh]
C 10 Nahrungs- und Futtermittel	279,7	62,8
C 12 Tabakverarbeitung	34,7	*
C 17 Papier, Pappe und Waren daraus	1,3	0,3
C 18 Druckerzeugnisse; Ton-, Bild- und Daten- träger	1,4	0,8
C 20 chemische Erzeugnisse	8,3	
C 21 pharmazeutische Erzeugnisse	203,7	*
C 22 Gummi- und Kunststoffwaren	0,3	
C 23 Glas, Keramik, Verarbeitung von Steinen	37,5	1,9*
C 24 Metallerzeugung und -bearbeitung	12,6	2,3*
C 25 Metallerzeugnisse	3,1	0,02*
C 27 elektrische Ausrüstung	49,6	47,6
C 29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	47,7	1,8
C 30 Sonstiger Fahrzeugbau	36,5	15,2
Gesamtergebnis	716,5	132,8

Tabelle 8.14: Quoten für das technische Angebotspotenzial an Abwärme nach Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes

Quelle: Datengrundlage sind deutschlandweite Emissionsdaten nach der 11. BImSchV 2012

Wirtschaftszweig	Abwärmequote technisches Angebotspotenzial Rauchgas/Abgas	Anzahl Stichprobe
C 10 Nahrungs- und Futtermittel	5%	138
C 11 Getränkeherstellung	7%	38
C 12 Tabakverarbeitung	25%	3
C 13 Textilien	17%	111
C 14 Bekleidung	15%	1
C 15 Leder, Lederwaren und Schuhe	17%	5
C 16 Holz-, Flecht-, Korb- und Korkware (ohne Möbel)	8%	171
C 17 Papier, Pappe und Waren daraus	6%	110
C 18 Druckerzeugnisse; Ton-, Bild- und Datenträger	30%	63
C 19 Kokerei und Mineralölverarbeitung		
C 20 chemische Erzeugnisse	6%	290
C 21 pharmazeutische Erzeugnisse	7%	31
C 22 Gummi- und Kunststoffwaren	5%	97
C 23 Glas, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	11%	830
C 24 Metallerzeugung und -bearbeitung	13%	307
C 25 Metallerzeugnisse	9%	251
C 26 Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse	4%	7
C 27 elektrische Ausrüstung	15%	28
C 28 Maschinenbau	42%	31
C 29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	10%	67
C 30 Sonstiger Fahrzeugbau	7%	21
C 31 Möbel	9%	108
C 32 sonstige Waren	8%	29
C 33 Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	8%	7
Gesamt	8%	2744

Tabelle 8.15: Unternehmensangaben auf die Frage: „Geben Sie bitte an, was Sie sich als Unternehmen an Rahmenbedingungen für erfolgreiche Abwärmenutzungsprojekte wünschen. Z. B. an Regulierungen, Förderungen, Initiativen anderer Akteure, Beratung.“

Quelle: Eigene Darstellung

„Beratung an welchen Stellen sich eine Ausspeisung der Abwärme lohnt und welche Rahmenbedingungen dafür erfüllt sein müssen.“
„Beratung, Initiativen anderer Akteure“
„Beratung, Netzworbildung ähnlich Runder Tische „Energieeffizienz“.“
„Förderung und Beratung“
„Generell braucht es einen klaren Kümmerer der die Verbindungen herstellt und sich darum kümmert - Anfangen von der ergebnisoffenen Beratung - über die Planung der Erfassung - Regelungen wenn nicht geliefert werden kann - Ausbau des Wärmenetzes - Abrechnung irgendwo muss sich der Aufwand ja auch noch rechnen. Nachdem es sich hierbei bei uns um kein Kerngeschäft bzw. Kompetenz handelt, haben wir dafür keine Zeit.“
„konkrete Beratung und Förderung“
„Langfristig festgelegten "Masterplan" zur Abwärmenutzung.“
„Regulatorische Bedingungen (Auswirkungen Status Energielieferant) bei Wärmeabgabe ins öffentliche Netz nicht klar.“
„Unkomplizierte einfache Genehmigungsverfahren und Förderprogramme, steuerliche Anreize, attraktive Einspeisevergütung, geeignete öffentliche Infrastruktur.“
„Unterstützung bei der Materialbeschaffung und dem Einbau durch Zuschüsse.“
„Zusammenarbeit zwischen Senat und Unternehmen. Realistische Ziele und rechtzeitige Kommunikation, vorausschauende Planung.“

Tabelle 8.16: Umfrage beim Fachworkshop: Wie schätzen Sie die Priorität der Maßnahmen ein?

Quelle: Eigene Darstellung. Antworten der Teilnehmenden auf dem 2. Projektbegleitenden Fachworkshop

Maßnahme	Anzahl der Antworten				
	gering	eher gering	eher hoch	hoch	keine Angabe
Senkung des Grenzwertes für die Auskunfts- und Nutzungspflicht (2,5 GWh)	5	12	11	2	4
Anrechenbarkeit der Abwärmenutzung bei der Vergabe der CO ₂ -Zertifikate	5	3	11	11	4
Zentraler Webaufttritt zum Thema Abwärme	1	6	15	11	1
Beratungsstelle für Unternehmen	1	0	12	21	0
Einrichtung einer öffentlichen Informations- und Austauschplattform	1	6	18	9	0
Leitfäden zur Information und Motivation	1	7	17	8	1
Fachveranstaltungen und Weiterbildungen	1	5	17	10	1
Projektbezogene Runde Tische	3	3	13	14	1
Abwärmefonds zur Absicherung von Ausfallrisiken	1	8	13	11	1
Förderung von Erstberatung und Projektanbahnung	1	2	11	20	0
Förderung von Demonstrationsvorhaben	2	6	12	14	0
Förderung der Erschließung von Abwärme (Trassenbau)	2	2	11	19	0
Beratung: Leitfäden und Checklisten	0	4	19	11	0
Stärkung des Personals in Genehmigungsbehörden	0	4	10	20	0
Digitalisierung von Genehmigungsverfahren	0	6	12	16	0
Stadtentwicklungspläne und Wirtschaftsflächenkonzepte	0	7	12	13	2
Ansiedlungskonzepte für Rechenzentren: Eignungs- und Ausschlussgebiete für Rechenzentren	2	10	10	10	2
Bauleitplanung, städtebauliche Verträge und Konzeptvergaben	0	9	12	10	3

8.2 Methodik zur Berechnung von Abwärme aus Wärmeströmen

Das Potenzial an (Ab-)Wärme eines Mediums kann über einige wenige physikalische Eigenschaften berechnet werden. Die einem (Abwärme-)Strom durch Abkühlung entzogene sensible⁵⁹ Wärme Q ist gegeben durch

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T. \quad (1)$$

Die dem Strom entzogene Energie in Form von Wärme ist also proportional zum \dot{V} , dem Volumenstrom des Wärmestroms, zur Dichte ρ des Mediums, zur spezifischen Wärmekapazität c_p des Mediums und zur Temperaturdifferenz, um die man das Medium abkühlt. Der Volumenstrom gibt an, wie viel Volumen pro Zeitintervall fließt, und die spezifische Wärmekapazität, wie viel thermische Energie ein Kilogramm des Mediums durch eine Temperaturreduktion um 1 °C abgeben kann. Die Dichte wiederum gibt an, wie viel Gewicht in einem bestimmten Volumen des Mediums vorhanden ist. Die spezifische Wärmekapazität ist abhängig vom Medium. Bei Abluft und Rauchgas/Abgas wird als Vereinfachung angenommen, dass es sich um Stickstoff handelt. Stickstoff ist der größte Anteil der Luft mit 78 % und somit auch der größte Anteil von Rauchgasen. Die Dichte eines Mediums ist temperaturabhängig. Insbesondere bei Luft ist dieser Effekt nicht zu vernachlässigen. Aus der allgemeinen Gasgleichung ergibt sich, dass das Produkt aus Dichte und Temperatur bei gleichbleibenden sonstigen Rahmenbedingungen gleich bleibt. Somit kann die obenstehende Formel in

$$Q = \dot{V} \cdot \rho_{ref} \cdot \frac{T_{ref}}{T_{Abw}} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

umgeschrieben werden. Somit kann mit Literaturwerten gearbeitet werden. Hierbei wird für Stickstoff $\rho_{ref} = 1,293 \text{ kg/m}^3$ und $c_p = 1,007 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bei einer Referenztemperatur $T_{ref} = 35 \text{ °C}$ verwendet (Brückner 2016).

Bei Wasser ist die Temperaturabhängigkeit der Dichte in dem für Prozessabwasser relevanten Temperaturbereich zwischen 10 °C und 60 °C im niedrigen Prozentbereich. Deshalb wird für Wasser Gleichung (1) verwendet mit $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ und $c_p = 4,19 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Berechnung des theoretischen Potenzials im Rahmen der Potenzialanalyse

Für die Abwärmeströme Rauchgas und Abluft wird zur Berechnung des theoretischen Angebotspotenzials eine Abkühlung auf 11 °C angenommen, was nach dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg der Jahresdurchschnittstemperatur 2021 in Berlin entspricht.

Bei Abwasser wird analog zu den Abluftströmen eine Abkühlung auf die mittlere Kanalisationstemperatur in der Heizperiode von 12 °C angenommen (Münch et al. 2022).

Bei Kühlprozessen werden zwei verschiedene Berechnungsmethoden angewandt, welche abhängig von den Angaben der Unternehmen verwendet werden. Zum einen kann auch hier wieder mit Gleichung (1) oder (2) aus dem Volumenstrom die Abwärme berechnet werden, die angenommene

⁵⁹ Bei der Berechnung wird nur sensible Wärme betrachtet und keine latente Wärme.

Temperaturdifferenz ist hierbei über den jeweiligen Kühlprozess gegeben und wird auch über die Umfrage erhoben. Alternativ kann über die mittlere Kühlleistung die durch Kühlung entzogene Wärme bestimmt werden. Über einen Teillastfaktor und die Betriebsstunden kann die geleistete Kühlarbeit pro Jahr abgeschätzt werden. Diese entspricht der jährlich anfallenden Abwärmemenge.

Die Berechnung jährlicher Abwärmemengen aus der Druckluftherzeugung erfolgt ebenfalls über die Angaben zu Leistung, Teillastfaktor und Betriebsstunden. Es wird angenommen, dass 90 % dieser Arbeit als Wärme an die Umgebung abgegeben wird (LfU 2012). Diese hohen Wärmeverluste sind Umwandlungsverluste am Kompressor, welche thermodynamisch begründet sind.

Berechnung des technischen Angebotspotenzials im Rahmen der Potenzialanalyse

Das technische Potenzial ist eine Teilmenge des theoretischen Potenzials unter Berücksichtigung technischer Restriktionen. In der vorliegenden Potenzialanalyse handelt es sich um eine grobe Abschätzung, welche nicht alle technischen Restriktionen erfassen kann. Nicht berücksichtigt werden z. B. mögliche Einschränkungen wie der Platzbedarf für Wärmetauscher oder Restriktionen durch eine Schadstoffbelastung der Abwärmeströme. Da es sich um das Angebotspotenzial handelt, wird kein Abgleich mit Wärmesenken vorgenommen. Der zentrale Unterschied zum theoretischen Potenzial liegt in der Anwendung typischer, technisch realisierbarer Temperaturspreizungen bzw. Abkühlungen der Abwärmeströme. Bei der Abwärme aus Rauchgas/Abgas wird nunmehr eine Abkühlung auf 55 °C angenommen, weiterhin wird nur die sensible Wärme betrachtet und KWK wird im Gegensatz zum theoretischem Abwärmepotenzial nicht mehr betrachtet, da es normativ nicht als (unvermeidliche) Abwärme gewertet wird. Bei den Abwärmequellen Abluft und Abwasser wird eine Temperaturdifferenz, um welche der Strom abgekühlt wird, von 5 °C angenommen. Das ist eine Temperaturdifferenz, welche mit Wärmepumpen auch bei höheren Volumenströmen gut realisierbar ist. Die Abwärme aus der Druckluftherzeugung und aus Kühlprozessen wird unverändert, wie bei dem theoretischen Angebotspotenzial, berechnet.

9 Literaturverzeichnis

- Abgeordnetenhaus Berlin (2023): Drucksache 19/0778, 03.01.2023, Vorlage – zur Beschlussfassung – Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm, Umsetzungszeitraum 2022 bis 2026.
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2021): Statistischer Bericht - Energie und CO₂ Daten in Berlin 2020. Vorläufige Ergebnisse. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de> (Zugriff: 15. Dezember 2021).
- AfS BB [Amt für Statistik Berlin-Brandenburg] (2022): Statistischer Bericht E IV 4 – j / 20. Energie- und CO₂-Bilanz in Berlin 2020. https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/91bf9277922ecccc/f1a70cbd2c37/SB_E04-04-00_2020j01_BE.pdf (Zugriff: 10. Januar 2023).
- AGFW [Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.] (2023): AGFW Positionspapier zur Verbesserung der Abwärmenutzung. http://emvg.energie-und-management.de/filestore/newsimgorg/Illustrationen_Stimmungsbilder/Studien_als_PDF/220126_Positionspapier_Verbesserung_Abwaermenutzung_Quelle_AGFW.orig.pdf (Zugriff: 6. März 2023).
- Aydemir, Ali, Hannes Doderer, Felix Hoppe und Sibylle Braungardt (2019): Abwärmenutzung in Unternehmen: Studie für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung ISI.
- BAFA [Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle] (2023a): Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) Modul 4: Antragstellung. (Stand: 27. Februar 2023).
- BAFA [Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle] (2023b): Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft. Modul 1: Querschnittstechnologien. Website: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul1_Querschnittstechnologien/modul1_querschnittstechnologien_node.html (Zugriff: 1. November 2023).
- BAFA (2023c): Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft. Modul 4: Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen. Website: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul4_Energiebezogene_Optimierung/modul4_energiebezogene_optimierung_node.html (Zugriff: 1. November 2023).
- BAFA [Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle] (2023d): Merkblatt Wärme- und Kältenetze. https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kwk_waerme_kaeltenetze_merkblatt.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Zugriff: 17. Mai 2023).
- BDI [Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.] (2020): Genehmigungsverfahren vereinfachen - Rechtssicherheit für Produktionsanlagen schaffen. https://issuu.com/bdi-berlin/docs/20200323_position_bdi_genehmigungsverfahren_verein (Zugriff: 24. Mai 2023).
- Berg, Anders (2022a): Absicherung von Risiken bei der Abwärmenutzung. https://www.kowa-projekt.de/wp-content/uploads_kowa/2022/02/KEA-BW_Absicherung-von-Risiken-bei-der-Abwaermenutzung.pdf (Zugriff: 19. Januar 2023).
- Berg, Andreas (2022b): Expertenworkshop Einrichtung eines Abwärmefonds Zusammenfassung der Vorstudie. 23. Juni.
- Bergmann, Janis, Nesrine Ouanes und Elisa Dunkelberg (2022): Ökonomische Analyse der inländischen Erzeugung synthetischer Gase. Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodelle der Herstellung synthetischen Wasserstoffs und Methans am Beispiel der Stadt Berlin. Schriftenreihe des IÖW 226/22.

- BET [Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH] (2019): Machbarkeitsstudie Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030. Berlin.
- Bizo, Daniel, Rhonda Ascierio, Andy Lawrence und Jacqueline Davis (2021): Uptime Institute Global Data Center Survey 2021. Growth stretches an evolving sector. <https://itjoo.ir/Download/Uptime-Institute-Global-Survey-2021.pdf> (Zugriff: 6. Juni 2023).
- BKartA [Bundeskartellamt] (2012): Sektoruntersuchung Fernwärme. Abschlussbericht gemäß § 32e GWB - August 2012. Bonn.
- Blömer, Sebastian, Christian Götz, Martin Pehnt, Dominik Hering, Susanne Ochse, Sabrina Hespeler, Stephan Richter, Peter Thomassen, Gerd Grytsch, Claus Zopff, et al. (2019): EnEff: Wärme-netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA). Kombinierte räumlich-zeitliche Modellierung von Wärmebedarf und Abwärmeangebot in Deutschland. Schlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Schlussbericht. Heidelberg, Leimen, Rostock. https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Schlussbericht_EnEffW%C3%A4rme-NENIA.pdf (Zugriff: 21. Januar 2021).
- BMWK [Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz] (2022): Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze „BEW“. <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/LqynJ78mbcSrTH7IL83/content/LqynJ78mbcSrTH7IL83/BAanz%20AT%2018.08.2022%20B1.pdf> (Zugriff: 15. März 2023).
- Braasch, Christian, Willi Nieratschker, Stefan Döring und Marc Muscheid (2017): Integration von Hochtemperatur-Wärmepumpen in KWK-Anlagen. *BWK: das Energie-Fachmagazin* Erscheinungsjahr: 2017 (Juli): 74–79.
- Briem, Sebastian, Rolf Beckers, Ramona Bunkus, Christian Fabris, Frank Hoffmann, Caren Herbstritt, Katja Hofmeier, Juri Krack, Anja Nowack, Stefan Rother, et al. (2020): Status quo der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland. Sachstandspapier. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Brückner, Sarah (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland. Technische Universität München. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1310042/1310042.pdf> (Zugriff: 29. November 2022).
- Brueckner, Sarah, Rene Arbter, Martin Pehnt und Eberhard Laevemann (2016): Industrial waste heat potential in Germany a bottom-up analysis. *Energy Efficiency*: 1–13.
- BTB GmbH [Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin] (2023): Dekarbonisierungsfahrplan nach § 22 Klimaschutz- und Energiewendegesetz Berlin (EWG Bln). Berlin. https://www.btb-berlin.de/fileadmin/user_upload/DEKARBONISIERUNGSFAHRPLAN_NACH__22_KLIMASCHUTZ-_UND_ENERGIEWENDEGESETZ_BERLIN.pdf (Zugriff: 11. Juli 2023).
- BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Baden-Württemberg und CDU Baden-Württemberg (2021): Jetzt für morgen Der Erneuerungsvertrag für Baden-Württemberg. <https://www.gruene-bw.de/wp-content/uploads/2021/05/Jetzt-fuer-morgen-Der-Erneuerungsvertrag-fuer-Baden-Wuerttemberg-gruen-schwarze-Koalition-2021-2026.pdf> (Zugriff: 9. März 2023).
- Clausen, Jens, Ralph Hintemann und Simon Hinterholzer (2020): Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung von Rechenzentren in Deutschland. Borderstep Institut. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/09/Abwaermenutzung_Rechenzentren_2020.pdf (Zugriff: 2. Januar 2023).
- Coplan AG (2012): Leitfaden Wärmelandkarten. *Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.), München*.
- Cushman & Wakefield (2020): European secondary market: the growth story for the new decade. <https://cw-gbl-gws-prod.azureedge.net/-/media/cw/emea/united-kingdom/insights/download-pdfs/cw-gdcag-secondary-market-report.pdf?rev=fa96c3090f8749f381a20b90575b39fa> (Zugriff: 6. Juni 2023).

- Davies, Gareth, Nicholas Boot-Handford, Daniel Curry, William Dennis, Abayomi Ajileye, Akos Revesz und Graeme Maidment (2019): Combining cooling of underground railways with heat recovery and reuse. *Sustainable Cities and Society* 45: 543–552.
- Dehli, Martin (2020): Abwärmennutzung in Industrie und Gewerbe. In: *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe*, S. 145–201. Springer.
- dena [Deutsche Energie-Agentur GmbH] (2015): Erfolgreiche Abwärmennutzung im Unternehmen. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/1445_Broschuere_Abwaermenutzung.pdf (Zugriff: 29. November 2022).
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2008): Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2008-3100100089004-aktuell.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff: 25. Juli 2023).
- DG CLIMA [European Commission Directorate-General Climate Action] (2019): Guidance Document n°6 on the harmonised free allocation methodology for the EUETS post-2020: Cross-Boundary Heat Flows. European Commission Directorate-General Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2019-02/p4_gd6_cross-boundary_heat_flows_en.pdf (Zugriff: 24. Mai 2023).
- Dunkelberg, Elisa, Alexander Deisböck, Benjamin Herrmann, Steven Salecki, Tino Mitzinger, Johannes Röder, Pablo Thier, Timo Wassermann und Bernd Hirschl (2020): Fernwärme klimaneutral transformieren. Eine Bewertung der Handlungsoptionen am Beispiel Berlin Nord-Neukölln. Berlin.
- Dunkelberg, Elisa, Juliane Kaspers, Charlotta Maiworm, Lukas Torliene und Barbara von Gayling-Westphal (2022): Öffentliche Gebäude als Keimzellen für klimaneutrale Quartierswärme. Empfehlungen für die Erschließung öffentlicher Gebäude als Keimzellen für die Umsetzung von Quartierswärmekonzepten am Beispiel von Berlin. Berlin.
- Dunkelberg, Elisa und Jannes Katner (2022): Ökologische Bewertung der inländischen Erzeugung synthetischer Gase. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).
- Dunkelberg, Elisa, Julika Weiß, Christian Maaß, Paula Möhring und Alice Sakhel (2021): Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin. Studie im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz; Berlin.
- DVGW [Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.] (2010): DVGW-Information: „Thermische Energienutzung aus Trinkwasser“. *wasser-praxis* 12/2010: 84–86.
- Dziallas, Dr. Olaf und Christoph Sunnus (2021): Rechenzentren – die planerische Herausforderung des 21. Jahrhunderts? <https://blog.fps-law.de/infrastruktur-verkehr/rechenzentren-die-planerische-herausforderung-des-21-jahrhunderts/> (Zugriff: 12. Juni 2023).
- Egelkamp, Robert, Lina Wett und Anna Kallert (2021): Potenzialstudie Klimaneutrale Wärmeversorgung Berlin 2035. Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik.
- Engelmann, Peter, Benjamin Köhler, Robert Meyer, Jörg Dengler, Sebastian Henkel, Lea Kießling, Anneke Quast, Jessica Berneiser, Christian Bär, Philip Sterchele, et al. (2021): Systemische Herausforderung der Wärmewende. *Climate Change* 18/2021.
- Erneuerbare Energien (2022): Ecop und EIT Innoenergy bringen industrielle Rotationswärmepumpe auf den Markt. <https://www.erneuerbareenergien.de/technologie/betrieb/ecop-und-eit-innoenergy-bringen-industrielle-rotationswaermepumpe-auf-den-markt> (Zugriff: 10. Januar 2023).

- EWG Bln (2016): Berliner Energiewendegesetz (EWG Bln) vom 22. März 2016. Zum 17.07.2022 aktuellste verfügbare Fassung der Gesamtausgabe.
- FHW [Fernheizwerk Neukölln] (2022): Richtfest für die Wärmewende in Neukölln: Berlins größtes Blockheizkraftwerk und Großwärmepumpe werden ab 2023 Strom und Wärme hocheffizient erzeugen. <https://www.fhw-neukoelln.de/index.php/unternehmen/newsarchiv/158-richtfest-fuer-die-waermewende-in-neukoelln-berlins-groesstes-blockheizkraftwerk-und-grosswaermepumpe-werden-ab-2023-strom-und-waerme-hocheffizient-erzeugen> (Zugriff: 5. Januar 2023).
- FHW AG (2023): Dekarbonisierungsfahrplan. Kurzversion. <https://fhw-neukoelln.de/wp-content/uploads/2023/07/Dekarbonisierungsfahrplan.pdf> (Zugriff: 3. August 2023).
- Funke, Tobias, Ralph Hintemann, Christoph Kaup, Christoph Maier, Steffen Müller, Sören Paulußen, Jürgen Süß und Ulrich Terrahe (2019): Abwärmenutzung im Rechenzentrum: Ein Whitepaper vom NeRZ in Zusammenarbeit mit dem eco-Verband der Internetwirtschaft e. V. Berlin. https://ne-rz.de/wp-content/uploads/2019/07/Whitepaper_Abwaermenutzung_2019.pdf (Zugriff: 5. Januar 2023).
- Grünwald, Reinhard und Claudio Caviezel (2022): Energieverbrauch der IKT-Infrastruktur. TAB-Fokus. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000151166> (Zugriff: 31. Oktober 2023).
- Gürtler, Heinrich, Elisa Dunkelberg, Michel Gunkel, Hakan Kurc und Regina Gnirß (2022): Abwasserwärme. Ein Leitfaden. Berliner Wasserbetriebe. <https://www.bwb.de/de/assets/downloads/leitfaden-abwasserwaerme.pdf> (Zugriff: 28. November 2022).
- Heinrich, C., S. Wittig, P. Albring, L. Richter, M. Safarik, U. Böhm und A. Hantsch (2014): Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie. Dessau: Umweltbundesamt (UBA).
- Helvetia Schweizerische Versicherungsgesellschaft AG Erdwärmesondenversicherung. *Helvetia Versicherungen*. Website: <https://www.helvetia.com/ch/web/de/privatkunden/zuhaus/versicherung/erdwaermesondenversicherung.html> (Zugriff: 9. März 2023).
- Hessischer Städtetag (2017): Orientierungshilfe zur Vergabe öffentlicher Grundstücke nach Konzeptqualität. Hessischer Städtetag. https://www.akbw.de/fileadmin/download/Freie_Dokumente/Vergabe_und_Wettbewerb/Informationen_zu_Vergabeverfahren/AKH_LF_Konzeptvergabe_20170824_Downloadversion.pdf (Zugriff: 7. Juni 2023).
- Hintemann, Ralph (2021): DC-HEAT – Data Centre Heat Exchange with AI-Technologies: Kurzfassung der Ergebnisse. Borderstep Institut. <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/04/Kurzfassung-Ergebnisse-DC-Heat.pdf> (Zugriff: 12. Januar 2023).
- Hintemann, Ralph und Jens Clausen (2021): Risikofonds für Abwärmeprojekte. Lessons learned aus niederländischen Geothermieprojekten. https://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/Veranstaltungen/7.%20BMU-Fachtagung%202021_12_Hintemann_Clausen.pdf (Zugriff: 6. März 2023).
- Hintemann, Ralph, Simon Hinterholzer, Monika Graß und Tim Grothey (2022): Rechenzentren in Deutschland. Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022. <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-02/10.02.22-studie-rechenzentren.pdf> (Zugriff: 20. Januar 2023).
- Hirschl, Bernd, Uwe Schwarz, Julika Weiß, Raoul Hirschberg und Lukas Torliene (2021): Berlin Paris-konform machen. Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ in Bezug auf die Anforderungen aus dem Übereinkommen von Paris 2015. Berlin.

- Hirschl, Bernd, Lukas Torliene, Uwe Schwarz, E. Dunkelberg, Julika Weiß, Jannes Katner, Raoul Hirschberg, Jörn Schirok, Gregor Weyer, Kathrin Wagner, et al. [Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg] (2022): Gutachten zum Klimaplan Brandenburg – Endbericht. Berlin, Potsdam, Cottbus.
- Hirzel, Simon, Benjamin Sontag und Clemens Rhode (2013): Industrielle Abwärmenutzung. Kurzstudie. Effizienzfabrik. Innovationsplattform Ressourceneffizienz in der Produktion. Fraunhofer ISI. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf (Zugriff: 11. Dezember 2015).
- IKEM und ITE [Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität; Institut für die Transformation des Energiesystems] (2020): Einbindung von Wärmeverbrauchern in grüne Wärmenetze – Kommunale Steuerungsinstrumente, Kurzstudie. https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2020/04/202004_Kurzstudie_Kommunale_Steuerungsmo%CC%88lichkeiten_Wa%CC%88rmenetze.pdf (Zugriff: 2. März 2021).
- IWU [Institut für Wohnen und Umwelt] (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden - zweite erweiterte Auflage. Darmstadt. https://www.episcope.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf (Zugriff: 12. November 2018).
- KfW [Kreditanstalt für Wiederaufbau] (2023a): IKU - Energetische Stadtsanierung - Quartiersversorgung. Website: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunale-Unternehmen/Quartiersversorgung/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunale-Unternehmen-\(202\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunale-Unternehmen/Quartiersversorgung/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunale-Unternehmen-(202)/) (Zugriff: 1. November 2023).
- KfW [Kreditanstalt für Wiederaufbau] (2023b): Energetische Stadtsanierung - Zuschuss Klimaschutz und Klimaanpassung im Quartier. Merkblatt. [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000002110_M_432_Energetische_Stadtsanierung_Zuschuss.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000002110_M_432_Energetische_Stadtsanierung_Zuschuss.pdf) (Zugriff: 1. November 2023).
- LANUV [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen] (2019): Potenzialstudie Industrielle Abwärme. LANUV-Fachbericht 96. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/presse/dokumente/LANUV_Fachbericht_96.pdf (Zugriff: 25. Juli 2023).
- LfU (2008): Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen. Klima schützen - Kosten senken. Umwelt Thema. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.). <https://www.lfu.bayern.de> (Zugriff: 23. September 2015).
- LfU (2012): Abwärmenutzung im Betrieb - Klima schützen - Kosten senken. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt. <https://www.lfu.bayern.de> (Zugriff: 27. April 2016).
- Lygnerud, Kristina und Sarka Langer (2022): Urban Sustainability: Recovering and Utilizing Urban Excess Heat. *Energies* 15, Nr. 24 (14. Dezember): 9466.
- Lyons, Lorcan, Konstantinos Kavvadias und Johan Carlsson (2021): Defining and accounting for waste heat and cold. Luxembourg: Publications Office. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126383> (Zugriff: 2. November 2022).
- Manz, Pia, Tobias Fleiter und Ali Aydemir (2018): Developing a georeferenced database of energy-intensive industry plants for estimation of excess heat potentials. Fraunhofer-Gesellschaft. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/400895> (Zugriff: 31. Oktober 2023).
- MIE [Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz] (2017): Praxisleitfaden - Abwärmenutzung in Unternehmen. https://www.mittelstand-energiewende.de/fileadmin/user_upload_mittelstand/MIE_vor_Ort/Leitf%C3%A4den/MIE-Leitfaden_Abw%C3%A4rme.PDF (Zugriff: 27. April 2023).

- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2020): Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums über das Förderprogramm Klimaschutz-Plus 2021 (VwV Klimaschutz-Plus 2021). https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/F%C3%B6rderm%C3%B6glichkeiten/KlimaschutzPlus/20201221-VwV-Klimaschutz-Plus-bf.pdf (Zugriff: 22. Januar 2023).
- Münch, Kathrin, Sebastian Blömer und Schoor (2022): Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen - Lokalisierung von Standorten in Baden-Württemberg. DWA-Landesverband Baden-Württemberg.
- Päivärinne, Sofia, Olof Hjelm und Sara Gustafsson (2015): Excess heat supply collaborations within the district heating sector: Drivers and barriers. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 7, Nr. 3 (Mai): 033117.
- Pehnt, Martin, Jan Bödeker, M. Arens, E. Jochem und F. Idrissova (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme. Technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. IFEU. Fraunhofer ISI. IREES GmbH. <http://www.ifeu.de> (Zugriff: 23. September 2015).
- Peltier, Margaux, Alessandro F. Rotta Loria, Loïc Lepage, Etienne Garin und Lyesse Laloui (2019): Numerical investigation of the convection heat transfer driven by airflows in underground tunnels. *Applied Thermal Engineering* 159: 113844.
- Petrovic, Stefan, Fabian Bühler und Uros Radoman (2019): Power transformers as excess heat sources. Proceedings of ECOS 2019 - The 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, June 23-28, 2019, Wroclaw, Poland.
- Pfränger, Martin (2022): Expertenworkshop Abwärmefonds. Kompetenzzentrum Abwärme. 23. Juni, Online, 23. Juni 2022.
- Projektgruppe Klimaneustart (2023): Synopse Novelle Klimaneustart. <https://www.berlin2030.org/wp-content/uploads/2023/01/Berlin-2030-Klimaneutral-Gesetzestext.pdf> (Zugriff: 11. Juli 2023).
- Riechel, Robert und Matthias Koziol (2022): Analyse der Potenziale zur Ausweitung der Wärmenetze im Land Berlin (BEK-Maßnahme E-13). Berlin.
- Rohleder, Dr. Bernhard (2022): Mehr Daten – mehr Strom? Wie sich Rechenzentren in Deutschland entwickeln. bitkom. https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-02/BitkomCharts_Rechenzentren2022_fina.pdf (Zugriff: 7. Juni 2023).
- RVO [Rijksdienst voor Ondernemend Nederland] (2020): Regeling nationale EZ subsidies. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/04/Handleiding-risicos-dekken-voor-aardwarmte-2020.pdf> (Zugriff: 9. März 2023).
- RWTH Aachen, IÖW und Fraunhofer Umsicht (2021): BF-Quartier2020 – Positionspapier: Kalte Nahwärme. (unveröffentlicht).
- Saena [Sächsische Energieagentur] (2016): Technologien der Abwärmenutzung. http://www.saena.de/download/Broschueren/BU_Technologien_der_Abwaermenutzung.pdf (Zugriff: 22. Juli 2016).
- Sandrock, Matthias, Christian Maaß, Simone Weisleder, Christina Baisch, Geraldine Löschan, Horst Kreuter, Dorothea Reyer, Dirk Mangold, Mathieu Riegger und Christian Köhler (2020): Ein neuer Weg zu effizienten Wärmenetzen mit Niedertemperaturwärmeströmen. Ein Leitfaden für Kommunen. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/sandrock_et_al._2020_niedertemperaturwaerme-kommunenleitfaden_barrierefrei.pdf (Zugriff: 5. Januar 2023).

- Sandvall, Akram Fakhri, Erik O. Ahlgren und Tomas Ekvall (2016): System profitability of excess heat utilisation – A case-based modelling analysis. *Energy* 97 (Februar): 424–434.
- Scale Up Technologies (2022): Erstes Rechenzentrum mit innovativer Abwärmenutzung in Berlin. <https://www.scaleuptech.com/de/blog/erstes-rechenzentrum-mit-innovativer-abwaermenutzung-in-berlin/> (Zugriff: 5. Januar 2023).
- Schaefer, Helmut (1995): Energiewirtschaftliche Bedeutung der Nutzung von Abfallenergie. In: *Abfallenergienutzung: technische, wirtschaftliche und soziale Aspekte*, hg. v. Wolfgang Fratzscher und Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, S. 42–60. Interdisziplinäre Arbeitsgruppen - Forschungsberichte 2. Berlin: Akademie-Verl.
- Schimek, Felix, Jakub Glegola, Marvin Heimann, Fabian Carels, Martin Robinius und Detlef Stolten (2020): Wasserstoffpotenzial in Berlin 2025. H2Berlin. <https://www.bwb.de/de/assets/downloads/wasserstoffpotenzial-in-berlin.pdf> (Zugriff: 29. Januar 2021).
- SenSW [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen] (2020): *Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030: Entwicklungspotenziale für Gewerbe und Industrie*. Planen. Berlin: Kulturbuch-Verlag GmbH.
- SPD, Grüne und FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (Zugriff: 15. Dezember 2021).
- Stadt Leipzig (2023): Konzeptverfahren Gewerbeansiedlung im Leipziger Zentrum. <https://www.leipzig.de/bauen-und-wohnen/staedtische-immobilien-und-grundstuecke/konzeptverfahren/konzeptverfahren-gewerbeansiedlung-im-leipziger-zentrum> (Zugriff: 6. Juni 2023).
- Stadtplanungsamt Frankfurt am Main (2019): Vortrag des Magistrats an die Stadtverordnetenversammlung. Betreff: Frankfurt 2030+: Wachstum nachhaltig gestalten - urbane Qualitäten stärken. Integriertes Stadtentwicklungskonzept. <https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/show.php?ID=18528&=3r6ubpoi8dir9blace70fb3ba1> (Zugriff: 6. Juni 2023).
- Stadtplanungsamt Frankfurt am Main (2020): Gewerbeflächenentwicklungsprogramm Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom 13.05.2004 § 7268. <https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/show.php?ID=20069&=74oidogkol424ostamjhb5a7> (Zugriff: 6. Juni 2023).
- Stadtplanungsamt Frankfurt am Main (2022): Gewerbeflächenentwicklungsprogramm. https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/gewerbeflaechenentwicklungsprogramm_22136.html.
- Stadtplanungsamt Frankfurt am Main Gewerbeflächenentwicklungsprogramm Anlage 5 – Aufstellung und Änderung von Bebauungsplänen. Stadtplanungsamt Frankfurt. <https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/show.php?ID=22071&=74oidogkol424ostamjhb5a7> (Zugriff: 6. Juni 2023).
- Stark, Susanne, Felix Uthoff und John A. Millar (2020): Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung. AGFW, Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. https://www.agfw.de/fileadmin/AGFW_News_Mediadateien/Energiewende_Politik/agfwleitfaden_ansicht_es.pdf (Zugriff: 4. Januar 2023).
- Steinbauer, Yves, Alejandro Fanegas und Mechthild Zumbusch (2022): Abwärme aus der Kälteerzeugung. Studie im Auftrag der Vattenfall Wärme Berlin. Folien Vortrag 23.3.2022. Berlin: Berliner Energieagentur GmbH (BEA).
- Stier, Karl-Heinz (2023): 1300 neue Wohnungen in „Westville“. 7. Juni. Website: <https://www.frankfurt-live.com/1300-neue-wohnungen-in--bdquowestville-ldquo-125179.html> (Zugriff: 7. Juni 2023).

- Ströder, Christian und Eric Holfert (2021): Rechenzentren in Deutschland. Marktüberblick Deutschland: Hot-spot Frankfurt – Leitthema Nachhaltigkeit. JLL. <https://www.jll.de/content/dam/jll-com/documents/pdf/research/emea/germany/de/Rechenzentren-in-Deutschland-Juli-2021.pdf> (Zugriff: 6. Juni 2023).
- Stromnetz Berlin (2022): Netzausbauplan Stromnetz Berlin. <https://vnbdigital.de/gateway/files?serviceName=vnb&fileId=63c64125918c322b9ddf8ddb&preview=1> (Zugriff: 12. Juni 2023).
- Suárez, Antonio (2020): Heizwärme aus dem Tunnel. <https://www.gebaeudetechnik.ch/waerme-kaelte/waermetechnik/heizwaerme-aus-dem-tunnel/> (Zugriff: 23. Mai 2023).
- Vattenfall (2020): Königliche Abwärme. <https://waerme.vattenfall.de/energie-news/nutzung-industrieller-abwaerme/> (Zugriff: 5. Januar 2023).
- Vattenfall (2022a): Wärmepumpeneinsatz im Heizkraftwerk Buch. <https://group.vattenfall.com/de/siteassets/2.-dokumentablage---newsroom/1.-news/illustration-waermepumpe-buch.pdf> (Zugriff: 5. Januar 2023).
- Vattenfall (2022b): Wärme aus Kälte: "Richtfest" für neue Hochtemperatur-Wärmepumpe am Potsdamer Platz. <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/pressemitteilungen/2022/richtfest-hochtemperatur-waermepumpe-am-potsdamer-platz> (Zugriff: 5. Januar 2023).
- Vattenfall Wärme Berlin AG (2023): Dekarbonisierungsfahrplan für die Wärmenetze der Vattenfall Wärme Berlin AG. Berlin. <https://xn--wrme-loa.vattenfall.de/binaries/content/assets/waermehaus/startseite/allgemein/dekarbonisierungsfahrplan---vattenfall-waerme-berlin-ag.pdf> (Zugriff: 11. Juli 2023).
- Vogel, Lukas, Malte Neumann und Stefan Linz (2023): Berechnung und Entwicklung des neuen Produktionsindex für energieintensive Industriezweige. Statistisches Bundesamt. https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2023/02/produktionsindex-energieintensive-industriezweige-022023.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff: 26. Juli 2023).
- Wagner, Eberhard (2002): Abwärme: Kann man das Kühlwasser von Kraftwerken nutzen? <https://energiefakten.files.wordpress.com/2017/07/kuehlwasser.pdf#2> (Zugriff: 1. November 2023).
- Waldhoff, Christian und Matthias Reckzügel [publisher: Deutsche Nationalbibliothek] (2014): ReWIn-Strukturkonzept für ein regionales Abwärmekataster Industrie im Landkreis Osnabrück. Hochschule Osnabrück. https://opus.hs-osnabrueck.de/frontdoor/deliver/index/docId/17/file/ReWIn+_2014.pdf (Zugriff: 16. März 2023).
- Weis, Timm (2017): Abwärmenutzung aus Rechenzentren: Möglichkeiten - Potenziale - Einsatzgebiete. *IKZ Gebäude- und Energietechnik*. <https://www.ikz.de/heizungstechnik/news/detail/abwaermenutzung-aus-rechenzentren/> (Zugriff: 12. Januar 2023).
- Ziegler, Roland, Kerstin Bohn und Stephan Richter (2022): Gutachten Steigerung der Abwärmemengen in Wärmenetzen in Baden-Württemberg. GEF Ingenieur AG. https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermenetze/Gutachten_zur_Steigerung_der_Abwaermemengen_in_Waermenetzen_in_BW__2022_.pdf (Zugriff: 6. März 2023).

ADRESSE UND KONTAKT

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Telefax: + 49 – 30 – 882 54 39

E-Mail: mailbox@ioew.de

www.ioew.de