



Potenzialstudie Industrielle Abwärme

LANUV-Fachbericht 96

Potenzialstudie Industrielle Abwärme

LANUV-Fachbericht 96

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2019

IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Dieser Fachbericht basiert auf dem Abschlussbericht einer Studie, die im Auftrag des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) in Abstimmung mit dem Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE) erstellt wurde.

Projektbearbeitung Prof. Dr.-Ing. Matthias Reckzügel, Melanie Meyer, Christian Waldhoff
(Kompetenzzentrum Energie, Science to Business GmbH - Hochschule Osnabrück),
Dr. Dorothea Ludwig, Anja Tegeler, Indra Schröder (IP SYSCON GmbH, Niederlassung
Osnabrück),
Olaf Keschull, Philipp Magnus (enable energy solutions GmbH),
Ute Niermann (EWAS – Institut für empirische Wirtschaftsforschung und angewandte
Statistik, Niermann GbR)

Fachredaktion Nils Dering, Antje Kruse, Klaus Vogel (LANUV)

Karten Land NRW (2019): Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0
(www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

Bildnachweis panthermedia.net / [joruba75](https://www.joruba75.de)

Informationsdienste Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext

Bereitschaftsdienst Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV
(24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Vorwort

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

in Nordrhein-Westfalen entfällt mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs auf den Wärmesektor. Der größte Teil betrifft die Bereiche Raumwärme der Gebäude und Prozesswärme für die Industrie, aber auch für Warmwasserproduktion und Kälteerzeugung werden erhebliche Mengen an Energie benötigt. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, sind auch im Wärmesektor große Anstrengungen erforderlich.

NRW ist auch einer der größten Industriestandorte Europas; das Aufkommen an industrieller Abwärme ist hoch. Mit dem Ziel, die vorhandenen Potenziale an industrieller Abwärme für die Wärmeversorgung zu ermitteln und gleichzeitig auch regionale und kommunale Akteure beim Ausbau der Nutzung dieser klimafreundlichen Wärmequelle zu unterstützen, hat das LANUV im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie die Potenzialstudie Industrielle Abwärme durchgeführt.

Der vorliegende Fachbericht zeigt die Bedeutung der industriellen Abwärme für NRW auf und gibt einen Überblick über die Chancen und Hemmnisse der Nutzung von industrieller Abwärme aus Unternehmenssicht. Die Ergebnisse dieser Studie fließen auch in das Wärmekataster im Energieatlas.NRW ein. Hier stellen wir Wärmequellen und -senken kleinräumig gegenüber und unterstützen so aktiv eine klimafreundliche Wärmeversorgung vor Ort.

Mein herzlicher Dank geht an alle Akteure aus Verwaltung, Verbänden und Wirtschaft für ihre aktive Begleitung und Unterstützung der mit diesem Fachbericht vorgelegten Potenzialstudie. Lassen Sie sich durch diese informative Lektüre motivieren, die Wärmewende weiter voran zu bringen!

Ihr



Dr. Thomas Delschen

Präsident des Landesamtes für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einleitung und Zusammenfassung.....	13
1.1 Methodik der Potenzialanalyse	14
1.2 Abwärmepotenziale in NRW	16
1.3 Qualitative Ergebnisse der Unternehmensbefragung.....	18
2 Ausgangssituation in Nordrhein-Westfalen.....	20
2.1 Regionale Strukturen der Industrie und der Beschäftigten	20
2.2 Endenergieverbrauch mit Fokus Wärme in NRW und Deutschland	20
2.3 Status quo der Abwärmenutzung in Nordrhein-Westfalen.....	24
3 Grundlagen der industriellen Abwärmenutzung	27
3.1 Industrieller Wärmebedarf.....	27
3.2 Technologien zur Abwärmenutzung.....	28
3.2.1 Direkte Nutzung.....	30
3.2.2 Indirekte Nutzung	31
4 Unternehmensbefragung	34
4.1 Aufbau der Befragung.....	35
4.2 Durchführung der Befragung	37
4.3 Qualitative Ergebnisse der Befragung.....	41
4.3.1 Unternehmensinterner Kenntnisstand zu Abwärmeströmen und -mengen.....	41
4.3.2 Bereitschaft der Unternehmen zu Wärmekooperationen	45
4.3.3 Synergie- und Einspareffekte durch Abwärmenutzung	47
4.3.4 Hemmnisse und Förderbedarf	48
4.3.5 Akteure für Initiierung und Aufbau von Wärmekooperationen	51
4.3.6 Temperaturniveaus der Abwärmeströme.....	53
4.4 Abgeleitete Kernaussagen der Befragung	54
5 Abwärmepotenziale auf Basis der Befragung	56
5.1 Auswertungsmethode zur Ableitung des Abwärmepotenzials aus der Befragung ...	56
5.2 Abwärmepotenziale aus der Unternehmensbefragung	59
5.2.1 Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Abwärmepotenziale	59
5.2.2 Abwärmepotenzial aus konkreten Abwärmeangaben	59

6	Abwärmepotenziale auf Basis von Emissionsdaten	62
6.1	Auswahl und Kategorisierung der Anlagen mit Abwärmepotenzial.....	62
6.2	Plausibilitätskontrolle	64
6.3	Methodik der Potenzialberechnung und Abwärmefaktoren	65
6.4	Potenzialermittlung	68
6.4.1	Analyse des jährlichen Abwärmeaufkommens	69
6.4.2	Branchenspezifische Abwärmefaktoren.....	72
6.4.3	Sensitivitätsanalyse und Einordnung der Ergebnisse	73
7	Aggregierte Abwärmepotenziale	75
8	Verschneidung der Wärmequellen und -senken.....	79
8.1	Datengrundlagen	79
8.1.1	Wohn- und Nichtwohngebäude	79
8.1.2	Bestehende Wärmenetze	81
8.2	Hot-Spot-Betrachtung.....	82
8.2.1	Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung.....	82
8.2.2	Auswahl der Hot Spots.....	84
8.2.3	Untersuchung.....	85
8.2.4	Ergebnis der Hot-Spot-Analyse	86
9	Abwärmepotenziale des Verarbeitenden Gewerbes in Nordrhein-Westfalen.....	88
9.1	Hochrechnung der technisch verfügbaren Potenziale des Verarbeitenden Gewerbes	88
9.1.1	Extrapolation auf Basis der Emissionsdaten nach 11. BImSchV.....	88
9.1.2	Extrapolation auf Basis der intuitiven Angaben aus der Unternehmensbefragung.....	89
9.1.3	Extrapolation auf Basis der fundierten Abwärmedaten aus der Unternehmensbefragung.....	91
9.2	Ergebnisübersicht und Ableitung technisch verwendbarer Potenziale	98
9.3	CO ₂ -Einsparungspotenziale.....	100
	Literatur	102

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Endenergieverbrauch 2015 der Industrie nach Energieträgern im Vergleich zwischen NRW und Deutschland (IT.NRW, 2017).....	21
Abbildung 2:	Deutschlandweiter Endenergieverbrauch für Wärmeanwendungen nach Sektoren und Anteile der Energieträger am industriellen Prozesswärmeverbrauch 2016 (AGEB, 2017).....	22
Abbildung 3:	Anteil der Heizsysteme in Wohngebäuden in Deutschland und Nordrhein-Westfalen (BDEW, 2015, S. 3 f.)	22
Abbildung 4:	Zusammensetzung der eingespeisten Fernwärmemengen in der leitungsgebundenen Wärmeversorgung in Deutschland und Nordrhein-Westfalen (AGFW, 2017), eigene Berechnungen.....	23
Abbildung 5:	Fernwärmeverbrauch nach Sektoren und deren Anteil am Endenergieverbrauch in Nordrhein-Westfalen zwischen 1995 und 2015 (IT.NRW, 2018).....	24
Abbildung 6:	Lage der 18 Müllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen	25
Abbildung 7:	Industrieller Wärmeenergiebedarf und Prozesstemperaturen verschiedener Branchen (Frisch, Pehnt, Otter, & Nast, 2010, S. 6).....	27
Abbildung 8:	Mögliche Wege und Technologien der Abwärmenutzung (Hirzel, Sonntag, & Rohde, 2013, S. 14)	28
Abbildung 9:	Schematisch dargestellte Struktur der Unternehmensbefragung.....	35
Abbildung 10:	Beispielhafter Auszug aus dem Fragebogen zur intuitiven Einschätzung der möglichen Abwärmenutzung aus Energieanlagen und Produktionsprozessen.....	36
Abbildung 11:	Beispiel aus dem Fragebogen zur strukturiert geführter Abfrage konkreter Abwärmemengen bzw. Berechnungsparametern von Produktionsprozessen.....	37
Abbildung 12:	Schematische Darstellung der angeschriebenen Unternehmen und Teilnehmerzahlen an der Unternehmensbefragung.....	38
Abbildung 13:	Anzahl angeschriebener Unternehmen sowie Beteiligung insgesamt und an der konkreten Angabe von Abwärmemengen aus Energie- und Produktionsanlagen nach Branche.....	39
Abbildung 14:	Räumliche Verteilung der angeschriebenen Unternehmen (a) und der Befragungsteilnehmer (b).....	40
Abbildung 15:	Teilnahmequoten an der intuitiven Einschätzung der Abwärmemengen mittels Schieberegler nach Branche	42
Abbildung 16:	Anteil der teilnehmenden Unternehmen, die intuitiv ihr Abwärmepotenzial aus Energieanlagen einschätzen und konkrete Datenangaben zu den ungenutzten Abwärmemengen machen konnten	43

Abbildung 17:	Datenherkunft der durch direkte Eingabe erfassten Informationen zu Energieanlagen und Produktionsprozessen	44
Abbildung 18:	Bereitschaft der Unternehmen, Teil einer Wärmekooperation zu werden	45
Abbildung 19:	Räumliche Verteilung der Unternehmen, die Interesse an einer Wärmekooperation haben; die höhere Anzahl (555) ergibt sich durch Doppelzählungen der Unternehmen, die sowohl an Wärmelieferung als auch Wärmebezug interessiert sind.....	46
Abbildung 20:	Synergie- und Einspareffekte, die durch eine Abwärmenutzung angereizt werden können	47
Abbildung 21:	Hemmnisse für die Abwärmenutzung und Wärmekooperationen in den Unternehmen	48
Abbildung 22:	Bekanntheitsgrade diverser Förderprogramme	49
Abbildung 23:	Bestehender Beratungsbedarf zum Thema Wärmekooperation	50
Abbildung 24:	Technische Eigenschaften von Abwärmeströmen, die einer möglichen Nutzung entgegenstehen könnten.....	51
Abbildung 25:	Mögliche Initiatoren von Wärmekooperationen aus Sicht der Industriebetriebe	51
Abbildung 26:	Mögliche Akteure zum Auf- und Ausbau von Wärmekooperationen aus Sicht der Industrieunternehmen.....	52
Abbildung 27:	Mögliche Akteure zum Auf- und Ausbau einer Wärmekooperation bei Unternehmen, die in Industrie- oder Chemieparks angesiedelt sind.....	53
Abbildung 28:	Aufteilung der erfassten Abwärmemengen nach Nutztemperaturniveau	53
Abbildung 29:	Aufteilung der erfassten Abwärmemengen nach Quellentyp und Erfassungsart in der Befragung.....	60
Abbildung 30:	Aufteilung der erfassten Abwärmemengen nach Branchen	61
Abbildung 31:	Standorte mit Brennstoffeinsatz nach 11. BImSchV	63
Abbildung 32:	Analysestufen und Fehlerbehandlung der 11. BImSchV-Daten, in Anlehnung an (Brückner, 2016, S. 33)	64
Abbildung 33:	Regionale Verteilung der theoretischen Abwärmepotenziale nach 11. BImSchV	68
Abbildung 34:	Temperabhängiges, technisch verfügbares Abwärmepotenzial sowie dessen Temperaturniveau nach 11. BImSchV	69
Abbildung 35:	Jahresdauerlinie des technisch verfügbaren Abwärmepotenzials sowie dessen Laufzeiten nach 11. BImSchV.....	70
Abbildung 36:	Sektorale Verteilung der Abwärmepotenziale nach 11. BImSchV (697 Unternehmen)	70

Abbildung 37:	Abwärmepotenziale der abwärmeintensivsten Branchen im Verarbeitenden Gewerbe in Nordrhein-Westfalen mit Temperaturbezug; T_{\min} bezeichnet die brennstoffspezifische Referenztemperatur (60, 70 oder 100 °C), die im Kamin nicht unterschritten werden darf.....	71
Abbildung 38:	Gegenüberstellung der ermittelten Abwärmepotenziale nach 11. BImSchV.....	74
Abbildung 39:	Aggregation der standortscharfen Abwärmepotenziale je Gemeinde	76
Abbildung 40:	Aggregation der standortscharfen Abwärmepotenziale je Kreis und kreisfreier Stadt.....	77
Abbildung 41:	Beispielhafte Darstellung der Wärmelinienichte pro Rasterzelle in MWh pro Meter Straßenlänge pro Jahr	80
Abbildung 42:	Lagegenau und in der Gemeindemitte verortete bestehende Wärmenetze in NRW	81
Abbildung 43:	Mittelwerte der Trassenkosten nach Geländetypen mit Toleranzband von $\pm 30\%$	83
Abbildung 44:	Lage der gewählten Hot Spots	84
Abbildung 45:	Beispielhafte Darstellung des technischen verfügbaren Abwärmepotenzials einer Energieanlage bei Ausnutzung der brennstoffspezifischen minimalen Kamintemperaturen	93
Abbildung 46:	Durchschnittlich erfasste Abwärmemenge pro Unternehmen, aufgeteilt nach Anzahl der Mitarbeitenden	94
Abbildung 47:	Überführung der Mitarbeitendenanzahl auf die Kategorien aus dem Statistischen Jahrbuch NRW (IT.NRW, 2017).....	95
Abbildung 48:	Vergleich der unterschiedlichen Herangehensweisen zur Extrapolation der Abwärmepotenziale auf NRW.....	98
Abbildung 49:	Gegenüberstellung der erhobenen (links), extrapolierten technisch verfügbaren (Mitte) sowie berechneten technisch verwendbaren (rechts) Abwärmepotenziale in Nordrhein-Westfalen.....	100
Abbildung 50:	CO ₂ -Einsparungspotenziale durch Nutzung industrieller Abwärme im Vergleich zu Wärmeherzeugung durch Heizwerke und KWK-Anlage.....	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Potenzialstudie Industrielle Abwärme	17
Tabelle 2:	Status quo der externen Wärmenutzung aus Müllverbrennungsanlagen	26
Tabelle 3:	Beispielanwendungen zur Abwärmenutzung nach Temperaturbereichen (Grote, Hoffmann, & Tänzer, 2015, S. 9)	29
Tabelle 4:	Übersicht verschiedenener Technologien zur Stromerzeugung aus Abwärme (saena, 2016, S. 41 ff.)	32
Tabelle 5:	Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Wärmepumpen zur Abwärmenutzung (saena, 2016, S. 34 ff.).....	33
Tabelle 6:	Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Kältemaschinen zur Abwärmenutzung (saena, 2016, S. 36 ff.).....	33
Tabelle 7:	In der Studie unterschiedene Branchen und deren Codes nach der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE)	34
Tabelle 8:	Darstellung der nach Erfassungsart ermittelten ungenutzten Abwärmemengen und Anzahl der Einzelpotenziale der 242 Teilnehmer.....	44
Tabelle 9:	Ermittelte branchenspezifische Abwärmefaktoren nach 11. BImSchV	72
Tabelle 10:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Hot-Spot-Analyse.....	87
Tabelle 11:	Branchenaufgelöste Auswertung der Schieberegler zu Abwärmeanteil an Unternehmens-Energieeinsatz und Hochrechnung über Branchen-Energieeinsatz auf Abwärmepotenzial in NRW	90
Tabelle 12:	Zusammenfassung der Zwischenergebnisse und Zahlen der Extrapolationsschritte der Methode a in Kapitel 9.1.3	93
Tabelle 13:	Umrechnung der Abwärme auf Unternehmensäquivalente und Hochrechnung der Branche chemische Erzeugnisse.....	96
Tabelle 14:	Umrechnung der Abwärme auf Unternehmensäquivalente und Hochrechnung aller Branchen. In oranger Schrift sind die Branchen mit weniger als vier Unternehmen in den Bereichen E und F gekennzeichnet. Die in grau dargestellte Zahlen wurden über die durchschnittlichen Mitarbeitendenzahlen aller anderen Branchen im Statistischen Jahrbuch von NRW 2017 bestimmt.	97

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs.	Absatz
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
AGFW	Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK
AVBFernwärmeV	Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	circa
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DESI	District Energy System Information
DIN EN 12831	Deutsches Institut für Normierung, Europäische Normen, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
DIN EN ISO 50001	Deutsches Institut für Normierung, Europäische Normen, International Organization for Standardization, Energiemanagementsystem
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DN	diamètre nominal (Nennweite)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
et al.	und andere
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GIS	Geoinformationssystem
GWh	Gigawattstunde
hPa	Hektopascal
ITAD	Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.
IT.NRW	Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen
K	Kelvin
k. A.	keine Angabe
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau

kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
m ³	Kubikmeter
max.	maximal
min.	minimal
Mio.	Millionen
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
MWIDE	Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie
NACE	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne, (Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft)
NRW	Nordrhein-Westfalen
o. ä.	oder ähnliche
ORC	Organic Rankine Cycle
OSM	Open Street Map
PCM	Phase Change Material
PJ	Petajoule
s	Sekunde
S.	Seite
saena	Sächsische Energieagentur
T _{min}	Minimaltemperatur
T _{max}	Maximaltemperatur
t	Tonnen
TWh	Terrawattstunde
u. a.	und andere
UÄ	Unternehmensäquivalente
VCI	Verband der Chemischen Industrie e.V.
WZ	Wirtschaftszweig
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

1 Einleitung und Zusammenfassung

Der fortschreitende Klimawandel erfordert eine schnelle und nachhaltige Energiewende. Neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien ist die Effizienz ein entscheidender Hebel zur Erreichung lokaler, regionaler, bundesweiter und globaler Klimaschutzziele.

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) führt seit 2012 Potenzialstudien zur Energiewende in Nordrhein-Westfalen durch. Durch fundierte Analysen werden der aktuelle Bestand an erneuerbaren Energien und effizienten Technologien sowie umweltverträgliche Potenziale auf regionaler Ebene ermittelt. So werden Grundlagendaten zur Unterstützung der Energiewende erarbeitet. Untersucht wurden bisher die Energieträger Wind, Sonne, Biomasse, Geothermie, Wasserkraft, Pumpspeicher und warmes Grubenwasser. Die Ergebnisse werden als Fachbericht sowie im Fachinformationssystem Energieatlas (www.energieatlas.nrw.de) der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt, wodurch sie die Arbeit von Kommunen, Genehmigungsbehörden, Energieversorgern und weiteren Akteuren unterstützen.

In Deutschland ist Wärme die wichtigste Prozessenergie der Industrie. Die sichere Energieversorgung ist einer der bedeutendsten Standortfaktoren und entscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens und die Attraktivität einer Region. Mehr als ein Drittel der industriell eingesetzten Prozessenergie geht global als Abwärme verloren (energy2.0, 2012; Donnerbauer, 2015). Damit ist die Weiternutzung anfallender Abwärme sowohl aus ökonomischer Sicht als auch im Sinne der Nachhaltigkeit ein notwendiger Schritt.

NRW ist ein stark industriell geprägtes Bundesland, das aufgrund des hohen Anteils energieintensiver Unternehmen zwischen einem Drittel und der Hälfte des bundesweiten Bedarfs an industrieller Prozesswärme aufweist (Otto, et al., 2015). In einer Kurzstudie des Wuppertal Instituts und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt im Jahr 2015 wurde abgeschätzt, dass von den deutschlandweit 475 TWh (1700 PJ) benötigter industrieller Prozesswärme pro Jahr grob 140 TWh (500 PJ) als ungenutzte Abwärme an die Umgebung abgegeben werden (Wuppertal-Institut, DLR, 2015). Somit wurde hier ein erhebliches Einsparpotenzial an Primärenergie und CO₂-Emissionen identifiziert, das in dieser Studie für NRW näher untersucht wird.

Das LANUV wurde durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) beauftragt, das Potenzial der Nutzung industrieller Abwärme für die Wärmeversorgung externer Akteure und zu Raumwärmezwecken zu ermitteln. Diese Studie liegt nun als Potenzialstudie Industrielle Abwärme in NRW vor.

Die Bearbeitung fand in enger Zusammenarbeit mit einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe statt, bestehend aus Vertretern der Industrie, Industrieverbände, Energieversorgungsunternehmen, Wissenschaft, öffentlichen Einrichtungen des Landes NRW sowie der EnergieAgentur.NRW und der Effizienz-Agentur NRW. In mehreren Sitzungen wurden die Vorgehensweise und Annahmen gemeinsam mit allen Beteiligten abgestimmt.

1.1 Methodik der Potenzialanalyse

Die Potenzialstudien des LANUV folgen einer einheitlichen Herangehensweise: Zunächst wird der Status quo der betrachteten Technologie ermittelt, daraufhin folgt das technische verfügbare Potenzial. Da Wärme, in diesem Falle industrielle Abwärme, aus ökologischen, technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht über eine unbegrenzte Distanz transportiert werden kann, wird überdies ein technisch verwendbares Potenzial bestimmt.

Die Daten werden anschließend im Wärmekataster des Fachinformationssystems Energieatlas.NRW veröffentlicht. Darin werden sowohl anlagenscharfe als auch für die Verwaltungsregionen Gemeinden, Kreise, Regierungsbezirke und Planungsregionen und das Land NRW zusammengefasste Daten veröffentlicht, um so die Wärmeplanung vor Ort zu unterstützen. Bestand und Potenziale der erneuerbaren und effizienten Wärmequellen können hier dem Wärmebedarf vor Ort gegenübergestellt werden.

Zur Erhebung des **Status quo** wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um bereits umgesetzte Abwärmeprojekte in NRW zu bestimmen. Zusätzlich wurde im Rahmen der im folgenden beschriebenen Unternehmensbefragung die Anzahl der Wärmekooperationen sowie die so übergebenen Wärmemengen ermittelt. Da keine zentrale Datensammlung vorhanden ist, wie sie beispielsweise im Bereich erneuerbaren Stroms durch das EEG gewährleistet ist, muss davon ausgegangen werden, dass diese Erfassung nicht lückenlos ist.

Die **Unternehmensbefragung** richtete sich sowohl an Unternehmen, die nach 11. BImSchV verpflichtet sind, eine Emissionserklärung abzugeben und aufgrund der Anlagenart und Branchenzugehörigkeit als „abwärmerelevant“ eingestuft wurden, als auch an solche Unternehmen aus relevanten Branchen, die von der EEG-Umlagereduzierung profitieren und daher beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gelistet werden. Darüber hinaus unterstützten die beteiligten Industrieverbände die Befragung, indem Sie ihre Mitgliedsunternehmen zur Teilnahme an der Befragung motivierten.

In einem **Online-Fragebogen** wurde einerseits in einem allgemeinen Teil u. a. der Wissensstand der Unternehmen zum Thema industrielle Abwärmenutzung sowie die Kooperationsbereitschaft für Wärmeprojekte mit externen Akteuren abgefragt, andererseits wurden in einem vertieften technischen Teil konkrete Abwärmeströme von Energieanlagen und Produktionsprozessen abgefragt. Aus dem allgemeinen Teil konnten Kernaussagen abgeleitet werden, welche Chancen und Hemmnisse seitens der Industrieunternehmen hinsichtlich von unternehmensübergreifenden Abwärmeprojekten gesehen und welche Akteure für die Umsetzung benötigt werden. Aus dem vertieften technischen Teil konnten konkrete Abwärmeströme quantifiziert und lokalisiert werden, wodurch ein Teil der Daten für die Ermittlung des Abwärmepotenzials erhoben wurde.

Um weitere Abwärmepotenziale quantifizieren zu können, wurden die für NRW beim LANUV vorliegenden **Emissionserklärungen nach 11. BImSchV** ausgewertet. Hierin werden relevante Prozesse mit den zugehörigen Energieträgereinsätzen gelistet. Die Daten beinhalten Genehmigungsangaben von 2012, die mit dem Hintergrund der Emissionen erhoben werden.

Sie eignen sich grundsätzlich zur Abschätzung der anfallenden Abwärmemengen, lassen jedoch u. a. keine Rückschlüsse auf bereits betriebsintern genutzte Wärme zu und sind somit qualitativ hinter den Befragungsergebnissen einzuordnen. Lagen für einen Standort aus beiden Quellen Informationen vor, so wurden für die weiteren Analysen die Angaben aus der Befragung genutzt.

Um aus den standortscharf ermittelten technisch verfügbaren Abwärmemengen ein technisch verwendbares Abwärmepotenzial abzuleiten, wurden in einer **Hot-Spot-Analyse** die Wärmequellen mit vorhandenen Wärmesenken räumlich verschnitten. Berücksichtigt wurden hierbei vorhandene Wärmenetze sowie das Raumwärmebedarfsmodell der Wohn- und Nichtwohngebäude in zehn Hot Spots, die regional über NRW verteilt und strukturell die Vielseitigkeit des Bundeslandes widerspiegeln.

Mit vier verschiedenen **Hochrechnungsmethoden** wurde das exakt verortete Abwärmepotenzial auf das gesamte Bundesland extrapoliert.

Die erste Methode orientierte sich an branchenspezifischen Abwärmefaktoren und Brennstoffeinsätzen auf Basis der BImSchV-Daten sowie dem Energieverbrauch der einzelnen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes aus dem Statistischen Jahrbuch NRW von 2017.

Die zweite Methode nutzte die intuitiv eingeschätzten Abwärmemengen am Gesamtenergiebezug der Unternehmen sowie die bereits genutzten Abwärmemengen aus der Befragung, die ebenfalls anhand der branchenspezifischen Energieverbräuche aus dem Statistischen Jahrbuch 2017 hochgerechnet wurden. Dabei wurde zusätzlich berücksichtigt, inwiefern derzeitige Prozesse innerhalb der nächsten fünf Jahre nach Einschätzung der Unternehmen auf weniger abwärmeintensive Verfahren umgestellt werden.

Die dritte Methode nutzte die Ergebnisse aus dem vertieften technischen Teil der Befragung, fasste diese branchenspezifisch in einem Strukturfaktor zusammen und rechnete die so erfassten Abwärmemengen anhand der Energieeinsätze des Verarbeitenden Gewerbes aus dem Statistischen Jahrbuch NRW 2017 hoch.

Die vierte Methode orientierte sich ebenfalls an den detaillierten Ergebnissen der Befragung, nutzte jedoch neben der Branchenzugehörigkeit auch die Anzahl der Mitarbeitenden der Unternehmen. Dadurch konnten sogenannte Unternehmensäquivalente gebildet werden, die Branchenzugehörigkeit, Brennstoffeinsatz und Größe der Unternehmen berücksichtigten.

Für die dritte und vierte Methode wurde überdies ein Potenzial bestimmt, das durch Optimierung der minimal zulässigen Rauchgastemperatur am Kaminaustritt zusätzlich gehoben werden könnte. Dazu wäre eine veränderte Zulassung (Neubewertung) oder eine Veränderung der Rauchgasführung notwendig, sodass der Abgasstrom auf brennstoffspezifische Minimaltemperaturen abgesenkt werden könnte.

Abschließend wurden die für Nordrhein-Westfalen hochgerechneten Potenziale der industriellen Abwärmenutzung hinsichtlich ihres Beitrags zur **Treibhausgaseinsparung** bewertet. Dazu wurden sie mit der konventionellen Wärmeerzeugung in Heizwerken bzw. -kesseln und KWK-Wärmeerzeugung verglichen, wie sie heute zumeist in der netzgebundenen Wärmeversorgung eingesetzt werden.

1.2 Abwärmepotenziale in NRW

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Potenzialstudie zusammengefasst (siehe Tabelle 1). In Nordrhein-Westfalen konnten insgesamt 69 Standorte ermittelt werden, die bereits heute rund 5,4 TWh/a Abwärme extern zur Verfügung stellen. Davon entfällt ein Drittel auf die Nutzung von Abwärme aus den 18 Müllverbrennungsanlagen. Unter die verbleibenden 51 industriellen Wärmequellen fallen auch Anlagen, die der Branche „Energieversorgung“ zugeordnet sind. Diese stellen zwar keine industrielle Abwärmenutzung im eigentlichen Sinne dar, aufgrund der Methodik sind diese jedoch dennoch im Datensatz enthalten.

An der Unternehmensbefragung haben sich insgesamt 526 der 1857 angeschriebenen Unternehmen beteiligt. Dies entspricht einer Rücklaufquote von über 28 %. Dabei konnten von 250 Unternehmen detaillierte Abwärmepotenziale zu 588 Anlagen ermittelt und verortet werden. Diese belaufen sich auf 7,5 TWh/a.

Durch Auswertung der Unternehmen, die nach 11. BImSchV emissionserklärungspflichtig sind, konnten für 697 Standorte Abwärmepotenziale in Höhe von 7,2 TWh/a ermittelt werden. Werden die Potenziale der Unternehmen aus der 11. BImSchV-Auswertung abgezogen, die durch die Befragung qualitativ höherwertige Angaben geliefert haben, können in Summe 12 TWh/a verortet werden. Dieses Potenzial kann den insgesamt 840 Standorten zugewiesen werden.

In der Hot-Spot-Analyse wurden insgesamt 104 Unternehmen in zehn Gebieten mit Informationen zu vorhandenen Wärmesenken (Wärmenetzen und Raumwärmebedarf) verschnitten. Dabei zeigte sich, dass rund die Hälfte der technisch verfügbaren Abwärme unter den angenommenen Parametern auch wirtschaftlich genutzt werden könnte, größtenteils in bereits bestehenden Wärmenetzen (48 % der verfügbaren Abwärmemenge). Bezogen auf alle 840 Standorte dieser Untersuchung entspricht dies einem technisch verwendbaren Potenzial von 6 TWh/a.

Die Hochrechnung für das Abwärmepotenzial des Verarbeitenden Gewerbes in NRW über die vier Extrapolationsmethoden zeigt ein technisch verfügbares Abwärmepotenzial in der Größenordnung von 42 bis 96 TWh/a, wobei die höheren Potenziale (88 bis 96 TWh/a) aufgrund der gewählten Methodik plausibler erscheinen.

Wird der aus der Hot-Spot-Analyse abgeleitete Wert von 50 % für die technisch verwendbaren Potenziale angenommen, so ergibt sich nach den beiden belastbarsten Hochrechnungsmethoden ein technisch verwendbares Potenzial in Höhe von 44 bis 48 TWh/a für NRW. Bei vollständiger Nutzung des technisch verfügbaren Potenzials könnten, je nach ersetzter Technologie, jährlich 7 bis 13 Millionen Tonnen CO₂ vermieden werden.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Potenzialstudie Industrielle Abwärme

Beschreibung	Anzahl Unternehmen	Jährliche Abwärmemenge [TWh/a]
Status quo (externe Weitergabe von Abwärme)	69	5,4 TWh/a
- davon Energie- & Produktionsanlagen	51	3,6 TWh/a
- davon Müllverbrennungsanlagen	18	1,8 TWh/a
Technisch verfügbare Abwärme (standortscharf)	840	12,0 TWh/a
- aus Befragung	250	7,5 TWh/a
- aus BImSchV-Auswertung	590	7,2 TWh/a
- abzuziehen von BImSchV, da in Befragung enthalten		2,7 TWh/a
Verwendbares Potenzial (Hot-Spot-Analyse)	104	50 % des verfügbaren Potenzials (2,3 TWh/a von 4,6 TWh/a)
Hochgerechnete technisch verfügbare Abwärme in NRW		42 bis 96 TWh/a
- Erste Methode		42 TWh/a
- Zweite Methode		69 TWh/a
- Dritte Methode		95,5 TWh/a
- Vierte Methode		87,7 TWh/a
Abgeleitete technisch verwendbare Abwärme in NRW		
- übertragen auf dritte und vierte Hochrechnungsmethode		ca. 44 bis 48 TWh/a
CO₂-Einsparung		
- Basis: technisch verwendbare Abwärme nach dritter und vierter Methode verglichen mit Wärmeerzeugung durch KWK oder Kessel		ca. 7 bis 13 Mio. t CO ₂ pro Jahr

Die Daten werden im Energieatlas.NRW gebündelt als interaktive Karten bereitgestellt. So wird den Nutzern die Arbeit mit der großen Fülle an Zahlen erleichtert und die gezielte Planung vor Ort unterstützt. Dazu kann die gewünschte Betrachtungsebene ausgewählt werden (Standorte, Kommunen, Kreise, Regierungsbezirke, Planungsregionen und Nordrhein-Westfalen), um so entsprechende Fragestellungen lösen zu können.

1.3 Qualitative Ergebnisse der Unternehmensbefragung

Durch die Befragungsergebnisse der 526 Unternehmen konnte ein guter Überblick über den Themenkomplex Wärmekooperationen aus Sicht der Unternehmen gewonnen werden.

Es zeigt sich, dass 45 % der Unternehmen ihre Abwärmepotenziale aus Energie- oder Prozessanlagen nicht einschätzen konnten. Gleichzeitig machten 48 % der Teilnehmer keine Angaben zu konkreten Abwärmeströmen. Insgesamt konnte mehr als ein Viertel der Befragten das Abwärmepotenzial im Unternehmen weder schätzen oder direkt angeben noch über Hilfsparameter bestimmen. Die Abwärmepotenziale der detailliert angegebenen Abwärmemengen basieren zu 31 % auf Messungen, der Rest entfällt auf Berechnungen oder es wurden keine Angaben über die Datenherkunft gemacht. Bezogen auf die 588 Einzelprozesse wurden nur 10 % der angegebenen Abwärmeströme mit Potenzial tatsächlich gemessen, demnach basieren 90 % der Angaben zu Energie- und Prozessabwärme auf Berechnungen und Schätzungen. Somit ist ein erhebliches Informationsdefizit bezüglich der tatsächlichen Abwärmeströme in den Unternehmen vorhanden.

35 % der befragten Unternehmen (Basis: 489) können sich grundsätzlich vorstellen, die Rolle der Wärmelieferung in einer Wärmekooperation zu übernehmen. 12 % hätten Interesse an dem Bezug von Wärme, 42 % der Unternehmen sind noch unentschlossen. 11 % schließen die Teilnahme an einer Wärmekooperation aus. Somit hat sich ein Großteil der Unternehmen noch nicht intensiv mit dem Thema Wärmekooperation auseinandergesetzt.

Die Hälfte der Unternehmen (Basis: 462) vermuten durch überbetriebliche Abwärmenutzung Brennstoffe einsparen zu können (Mehrfachnennung möglich). 37 % erwarten Einsparungen von Strom, 29 % monetäre Zusatzerlöse, 22 % Einsparung von Kühlwasser oder Kälteenergie. 20 % der Unternehmen können der Abwärmenutzung keine Einspar- oder Synergieeffekte zuordnen. Hier zeigt sich, dass diese Unternehmen sich mit der Abwärmenutzung noch nicht intensiv auseinandergesetzt haben.

63 % der Unternehmen (Basis: 467) haben mindestens eines der Hemmnisse aus dem Themenfeld „hoher interner“ oder „hoher externer Aufsuchungs- und Konzeptionierungsaufwand zur Erschließung von Abwärmequellen und -senken“ sowie den „fehlenden zeitlichen und fachlichen Ressourcen zur Projektentwicklung“ bei der Befragung ausgewählt. Darüber hinaus wurde „Kapitalbindung bzw. Finanzierungsbedarf liegt nicht im Kerngeschäftsbereich“ (42 %) und „fehlende Anreiz- und Förderprogramme“ (31 %) am häufigsten gewählt. Es zeigt sich, dass die Förderung der Konzeptionierungsarbeit (Phase 0) sowie die Information zur Förderung von Abwärmeprojekten Lösungen zum Abbau dieser Hemmnisse darstellen könnten.

Gerade die Integration von Heißwassernetzen neben den bestehenden Dampfnetzen der Unternehmen, besonders in den abwärmerlevanten Branchen, erscheint als ein vielversprechendes Mittel, um die Abwärmeströme aufnehmen und weitergeben zu können. Diese fallen zu mehr als zwei Dritteln im Bereich unter 150 °C und somit unter der benötigten Temperatur für Dampfnetze an. 64 % der Unternehmen (Basis: 447) sehen die örtlichen Gegebenheiten als größte technisch zu bewältigende Hürde an, zu denen vor allem die fehlende Infrastruktur zur Aufnahme der Wärme unterhalb des Dampflevels zählt.

Besonders bekannt sind die Förderprodukte der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Jedoch sind auch diese bei der Hälfte der befragten Unternehmen (Basis: 476) nicht geläufig. Nur 15 % der Unternehmen kennen die Landesprogramme zur Abwärmeförderung.

65 % der Unternehmen (Basis: 229), die einen Beratungsbedarf hinsichtlich Abwärmekooperationen sehen, wünschen sich mehr Informationen zur Förderung von Abwärmeprojekten. Jedes vierte Unternehmen wünscht sich Energieberatungen.

Die Unternehmen (Basis: 317) sehen als Initiator von Wärmekooperationen mit 81 % klar den örtlichen Energieversorger in der Pflicht. 43 % sehen diese Aufgabe bei der Kommunalpolitik, 38 % bei der Wirtschaftsförderung. Aus Sicht der Unternehmen (Basis: 239) ist beim Auf- und Ausbau der Wärmekooperation mit 64 % ebenfalls der örtliche Energieversorger verantwortlich, jedoch sehen sich mit 43 % zunehmend auch die Industriebetriebe selbst in dieser Rolle. In Industrie- und Chemieparks ansässige Unternehmen (Basis: 58) sehen die Aufgabe des Auf- und Ausbaus von Wärmekooperationen vor allem beim Parkbetreiber (45 %), jedoch ebenfalls das eigene Unternehmen sowie den lokalen Versorger (je 41 %).

Die Befragung gibt somit einige Einblicke in den Wissenstand und die Akzeptanz der Abwärmenutzung in den Unternehmen und gibt Hinweise, welche Unterstützungen die Unternehmen benötigen, um die Potenziale der industriellen Abwärme vermehrt zu heben.

2 Ausgangssituation in Nordrhein-Westfalen

Die Unternehmen in NRW bilden die komplette industrielle Wertschöpfungskette ab. Kennzeichnend ist dabei der Mix von spezialisierten kleinen und mittelständischen Unternehmen, großen Mittelständlern und Großunternehmen. Diese vereint ein hoher Internationalisierungsgrad, von den Grundstoffindustrien bis hin zu spezialisierten Zulieferern und großen Systemanbietern (MWIDE, 2018). Im folgenden Teil wird die Ausgangssituation hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Industrieunternehmen, der Energienachfrage und -versorgung sowie der bereits genutzten Abwärmemengen in NRW dargestellt.

2.1 Regionale Strukturen der Industrie und der Beschäftigten

Das Bundesland NRW ist in weiten Teilen eine stark industriell geprägte Region, in der sich traditionell Branchen wie Bergbau und Stahlerzeugung, aber auch andere produzierende Industriezweige etabliert haben. Der Strukturwandel ist seit Jahrzehnten, nicht nur durch den Ausstieg aus der Steinkohleförderung, ein ständiger Begleiter. Rund 40 % der Beschäftigten in der Industrie in NRW sind in den drei stärksten Branchen Maschinenbau, Metallherzeugung und -bearbeitung sowie der Herstellung von Metallzeugnissen tätig. Von 1991 bis 2015 sank indes der Anteil der Bruttowertschöpfung durch Industrie und Gewerbe von 40 % auf 28 %. Auch heute ist die Industrie mit ihren 1,2 Millionen Beschäftigten von großer Bedeutung. Insgesamt ist die Struktur regional sehr unterschiedlich: während im westlichen Ruhrgebiet, z. B. in Mülheim an der Ruhr, rund 80 % der Industriebeschäftigten in der Metallbranche tätig sind, arbeiten ca. 42 % aller Beschäftigten der Möbelindustrie in NRW in den Kreisen Gütersloh und Herford (IT.NRW, 2017). Gleiches gilt für die Verteilung der Industrie- und Gewerbeflächen sowie der allgemeinen Siedlungsbereiche. Neben vielen eher ländlich geprägten Bereichen, fallen besonders das Ruhrgebiet, die Rhein-Region und das nördliche Ostwestfalen durch eine hohe Dichte an Gewerbe- und Industriegebieten auf.

2.2 Endenergieverbrauch mit Fokus Wärme in NRW und Deutschland

Energieintensive Industriebranchen sind in NRW durch die Historie des Ruhrkohlegebietes und die Anbindung an den Rhein stark vertreten. Die Kohle nimmt an Bedeutung für die Industrie insgesamt deutlich ab, Chemieindustrie und Metallherzeugung bzw. -bearbeitung sind jedoch im bundesweiten Vergleich überdurchschnittlich vertreten.

Im Bundesvergleich entfällt knapp ein Drittel des Endenergieverbrauchs der Industrie auf NRW (2015: NRW: 210 TWh, D: 708 TWh). Dieser Anteil ist in der Zeit von 2011 bis 2015 relativ konstant geblieben. Ein Blick auf die Verteilung nach Energieträgern in diesem Sektor (Abbildung 1) zeigt, dass Kohle, insbesondere die Braunkohle, in NRW als Energieträger im Vergleich zum Bund einen überdurchschnittlich hohen Anteil an der Energieversorgung einnimmt. Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch lag 2015 in NRW mit 1,9 % deutlich unter dem Bundesdurchschnitt (4,3 %), der Anteil von Gas und Strom ist vergleichbar (IWR, 2018). Bei dieser Berechnung ist der Anteil der Erneuerbaren Energien im Strom- und Fernwärmemix nicht berücksichtigt.

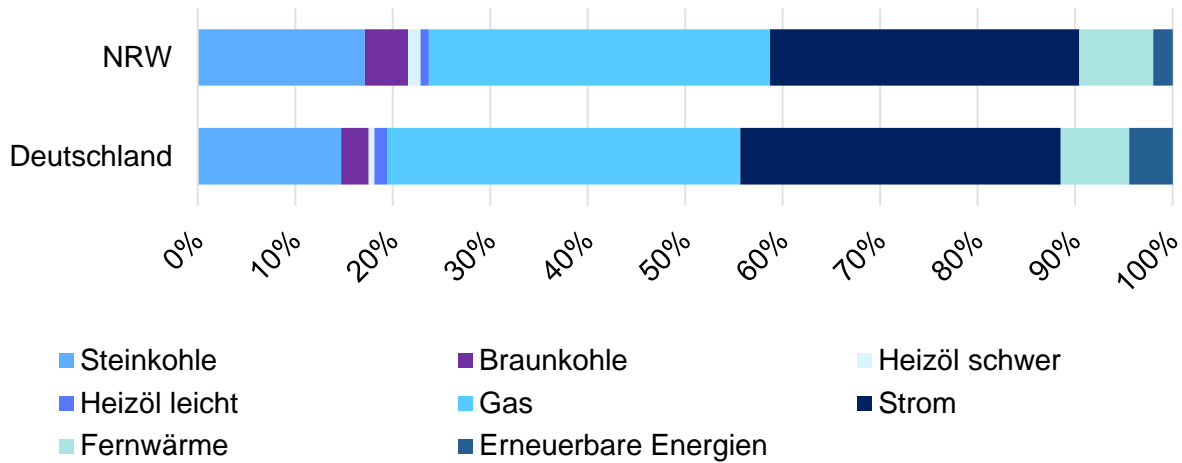


Abbildung 1: Endenergieverbrauch 2015 der Industrie nach Energieträgern im Vergleich zwischen NRW und Deutschland (IT.NRW, 2017)

Prozesswärme, die meist in Form von Dampf, Heißluft, Heißwasser oder auch durch direkte Nutzung von Brennstoffen oder Strom bereitgestellt und für den Antrieb technischer Produktionsprozesse benötigt wird, ist der wichtigste Energieträger in der Industrie. Gleichzeitig geht global etwa ein Drittel bis zur Hälfte der industriell eingesetzten Energie als Abwärme verloren (energy2.0, 2012; Donnerbauer, 2015).

Der Endenergieverbrauch in Deutschland wird üblicherweise in die vier Sektoren Industrie, GHD (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen), Haushalte und Verkehr unterteilt. Nach Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB, 2017) entfallen über 50 % des Endenergieverbrauchs für Wärmeanwendungen in Deutschland auf die Sektoren Industrie und GHD (Abbildung 2). 91 % des industriellen Wärmeendenergieverbrauchs sind prozessbedingt, davon werden 9 % mittels Fernwärme und 5 % durch Erneuerbare Energien zur Verfügung gestellt. Somit werden bundesweit 86 % des Prozesswärmebedarfs durch Strom und fossile Energieträger erzeugt.

Mit 44 % des Endenergieverbrauchs für Wärme ist der Bereich Haushalte ebenfalls sehr prägend. Da für den Heizwärmebedarf in der Regel Temperaturen deutlich unter 100 °C ausreichen, liegt hier ein Bereich vor, der durch viele industrielle Abwärmequellen gedeckt werden könnte.

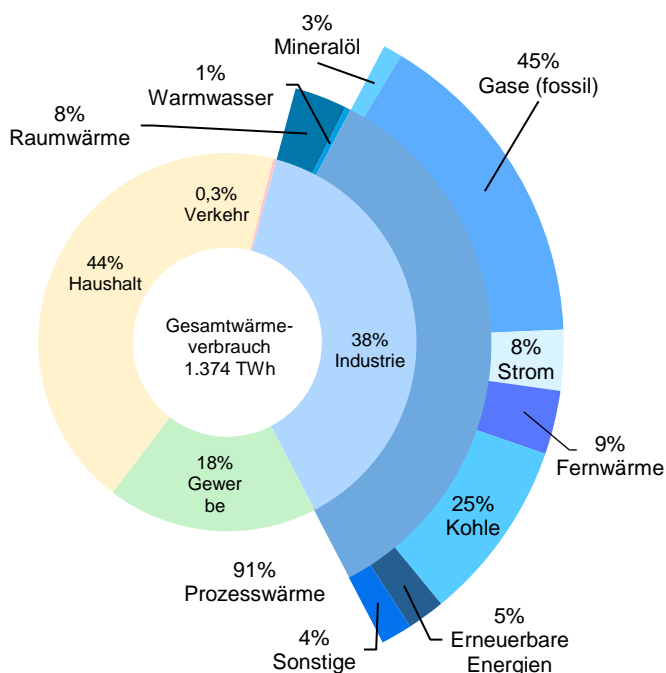


Abbildung 2: Deutschlandweiter Endenergieverbrauch für Wärmeanwendungen nach Sektoren und Anteile der Energieträger am industriellen Prozesswärmeverbrauch 2016 (AGEB, 2017)

Die Wärmeversorgung im Gebäudesektor mittels Fernwärme lag in Deutschland im Jahr 2014 bei ca. 5,2 % und entspricht somit knapp unter 1 Million Wohngebäuden (Abbildung 3). In NRW war dieser Anteil mit 5,0 % ähnlich und entsprach ungefähr 195.000 versorgten Wohngebäuden. Der weitaus größte Teil der Wohngebäude (mehr als drei Viertel) wird durch Zentralheizungen mit Wärme versorgt (BDEW, 2015).

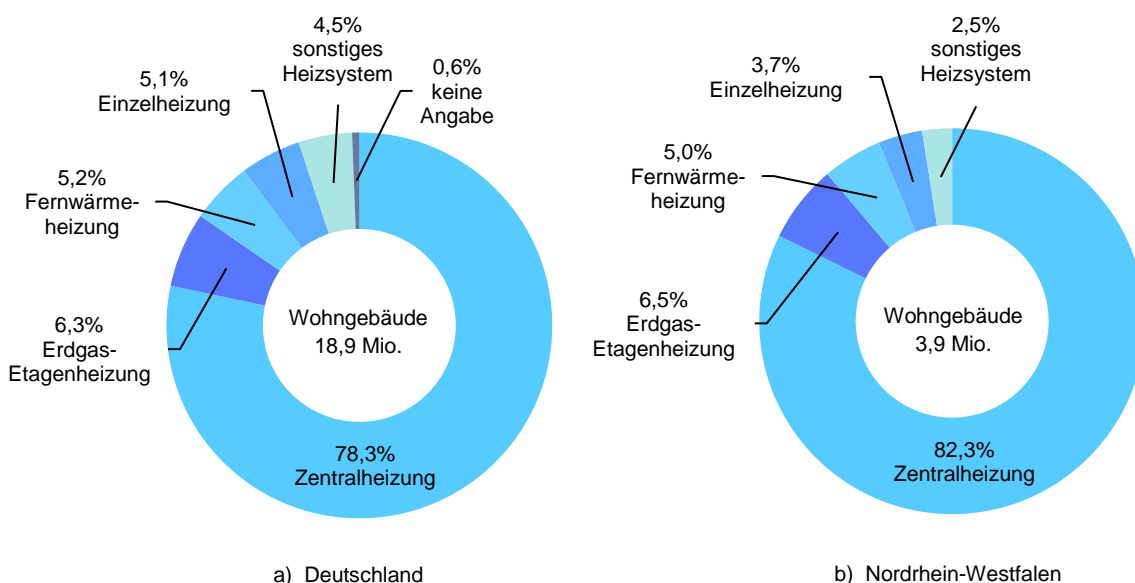


Abbildung 3: Anteil der Heizsysteme in Wohngebäuden in Deutschland und Nordrhein-Westfalen (BDEW, 2015, S. 3 f.)

Laut Effizienzverband für Wärme, Kälte und KWK (AGFW, 2017), von dem nach eigenen Angaben mehr als 90 % des Anschlusswertes an die Fernwärme repräsentiert wird, standen 2016 bundesweit zur leitungsgebundenen Wärmeversorgung ungefähr 1.450 Netze mit etwa 21.500 km Trassenlänge zur Verfügung (AGFW, 2018). Innerhalb dieser Netze betrug die Wärmeeinspeisung, ohne Betrachtung der Lieferung zwischen Unternehmen, im Jahr 2016 deutschlandweit etwa 77 TWh. Hiervon werden wiederum über 80 % mittels der Primärenergieträger Kohle (Stein- und Braunkohle), Erdgas und Heizöl erzeugt. Nur 2 % der in Wärmenetze eingespeisten Energie entstammen aus industrieller Abwärme (AGFW, 2017). Hieraus lässt sich für Deutschland eine heute genutzte Abwärmemenge in der Fernwärme von ca. 1,5 TWh/a ableiten.

NRW weist laut AGFW (2017) 235 Netze auf. Im Vergleich zum Bund entspricht dieses 16 % der erfassten Netze bei einer Trassenlänge von rund 4940 km. 187 Netze konnten durch die Projektrecherche geografisch verortet werden und somit direkt in die lokalen Betrachtungen dieser Studie einfließen.

Der größte Anteil der Wärmeerzeugung in der Fernwärme erfolgt deutschlandweit und auch in NRW mit einem Anteil von 45 % bis 50 % durch den Energieträger Erdgas, häufig mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Stein- und Braunkohle liefern im Bundesschnitt 34 %, in NRW nur 23 % Wärmeenergie. Mit 8 % eingespeister Wärme aus industrieller Abwärme weist NRW ein Vielfaches der Menge vom Bundesdurchschnitt auf (Abbildung 4). Die Müllverbrennung ist mit etwa 12 % bis 13 % ein fester Bestandteil der Fernwärmeversorgung bundesweit und in NRW (AGFW, 2017). Der hier ausgewiesene Anteil an Abwärme von 8% erscheint sehr hoch. Da sich die Angaben im AGFW-Hauptbericht auf die teils auch lückenhaften Meldungen der Mitgliedsunternehmen beziehen, kann der tatsächliche Anteil der industriellen Abwärme an der Fernwärme durchaus abweichen.

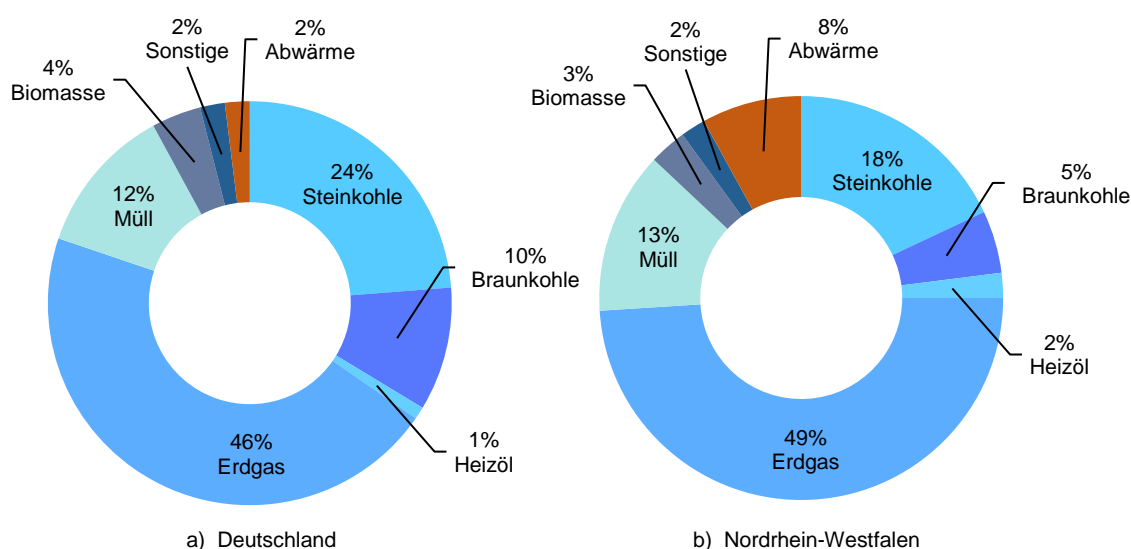


Abbildung 4: Zusammensetzung der eingespeisten Fernwärmemengen in der leitungsgebundenen Wärmeversorgung in Deutschland und Nordrhein-Westfalen (AGFW, 2017), eigene Berechnungen

Absolut gesehen wurde im Jahr 2015 eine Energiemenge von 26,3 TWh aus den NRW-weiten Fernwärmenetzen bezogen (Abbildung 5). Mehr als die Hälfte des Fernwärmeverbrauchs entfiel auf den industriellen Sektor (14,6 TWh). Über die vergangenen 20 Jahre wuchs der Anteil des Endenergieverbrauchs aus Fernwärme in der Industrie von anfänglich 3,1 TWh/a auf aktuell 14,6 TWh/a an. Einen Anstieg um 1,7 TWh verzeichnete im selben Zeitraum auch der Haushaltssektor (von 5,5 TWh auf 7,2 TWh jährlich). Einzig im Bereich GHD und übrige Verbraucher verringerte sich die abgenommene Fernwärmemenge von 5,8 TWh auf 4,4 TWh pro Jahr. Der Gesamtwärmebezug aus Fernwärmenetzen in NRW nahm im betrachteten Zeitraum um den Faktor 1,8 zu.

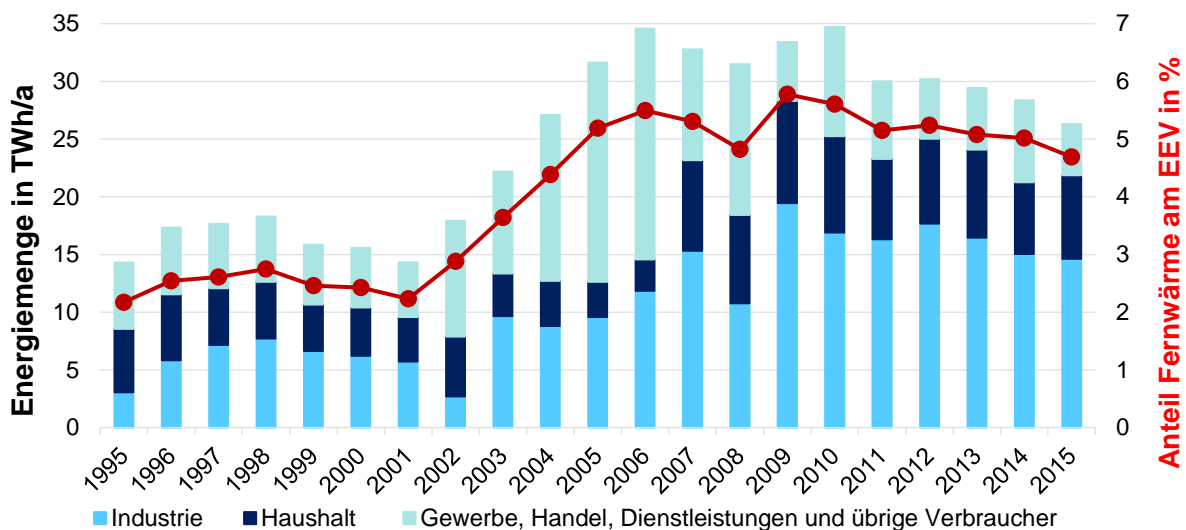


Abbildung 5: Fernwärmeverbrauch nach Sektoren und deren Anteil am Endenergieverbrauch in Nordrhein-Westfalen zwischen 1995 und 2015 (IT.NRW, 2018)

2.3 Status quo der Abwärmennutzung in Nordrhein-Westfalen

Energiekosten sind ein wichtiger Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Industrieunternehmen. Aus diesem Grund werden in allen Branchen regelmäßig Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs und zur Steigerung der Effizienz geprüft. Je nach Prozess- und Anlagentyp, können hier Effizienzpotenziale erschlossen werden. Die derzeit niedrigen Energiekosten und die großen Abhängigkeiten zwischen Energieversorgung und Produktion bremsen häufig die Umsetzung solcher Maßnahmen. Der Anteil der industriellen Abwärme aus Energie- und Produktionsanlagen, der innerhalb eines Betriebes bereits genutzt wird, ist nur schwer abzuschätzen. Die interne Nutzung von Abwärme aus Prozessen und Technologien wie der Druckluftzeugung, gehören bei Neuanlagen meist zum Standard. Es gibt viele Prozesse und Herstellungsverfahren, bei denen der Anfall großer Abwärmemengen nicht vermieden werden kann, wie z. B. bei der Stahlschmelze oder anderen metallverarbeitenden Verfahren. Inhalt dieser Studie sind nicht die Potenziale der unternehmensinternen Effizienzsteigerung, sondern die der Weitergabe an externe Abnehmer. Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten Unternehmen immer zuerst versuchen, Energie durch Abwärmevermeidung einzusparen, danach anfallende Wärmeströme betriebsintern zu nutzen (Prozess und dann Raumwärme) und erst, wenn keine Eigennutzung möglich ist, diese extern zur Verfügung zu stellen.

In Teilen des Ruhrgebietes wird in großem Stil Abwärme aus der chemischen Industrie und der Metallerzeugung in Wärmenetze der Rheinschiene eingespeist (Bartelt, et al., 2013). Im Rahmen des Projektes konnten zahlreiche Abwärmekooperationen von Industrieunternehmen in ganz NRW durch Internetrecherche und die Unternehmensbefragung ermittelt werden (siehe Kapitel 4), bei denen Wärme direkt an externe Verbraucher oder Wärmenetze abgegeben wird. In den meisten Fällen werden lokale Wärmenetze genutzt, um Wärmeverbraucher mit Heizwärme zu versorgen. Insgesamt konnte an den 51 Standorten eine Wärmemenge von 3,6 TWh/a erfasst werden. Zu acht dieser Standorte sind keine konkreten Wärmemengen bekannt. Zudem ist zu beachten, dass einige der Anlagen von Energieversorgern betrieben werden und somit ggfs. nicht in den Bereich der klassischen Produktionsindustrie gehören, durch die Methodik jedoch dennoch in die Auswertung fielen. Zu beachten ist auch, dass durch die Befragung nicht alle Unternehmen in NRW erreicht und somit vermutlich nicht alle Wärmekooperationen aufgedeckt werden konnten. Überdies lässt sich die erfasste Wärmemenge nicht mit der amtlichen Energiestatistik hinsichtlich der Fernwärme vergleichen, da nicht bekannt ist, ob in ein Fernwärmesystem eingespeist oder per Direktlieferung ein Abnehmer versorgt wird.

Neben den produzierenden Anlagen der Industrie bieten die thermischen Müllverbrennungsanlagen eine weitere Möglichkeit, um an zentralen Standorten Wärme zu erzeugen. Diese wird in der Regel bereits extern nutzbar gemacht. In Abbildung 6 sind die 18 aktuell in Nordrhein-Westfalen in Betrieb befindlichen Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung dargestellt (ITAD, 2018).

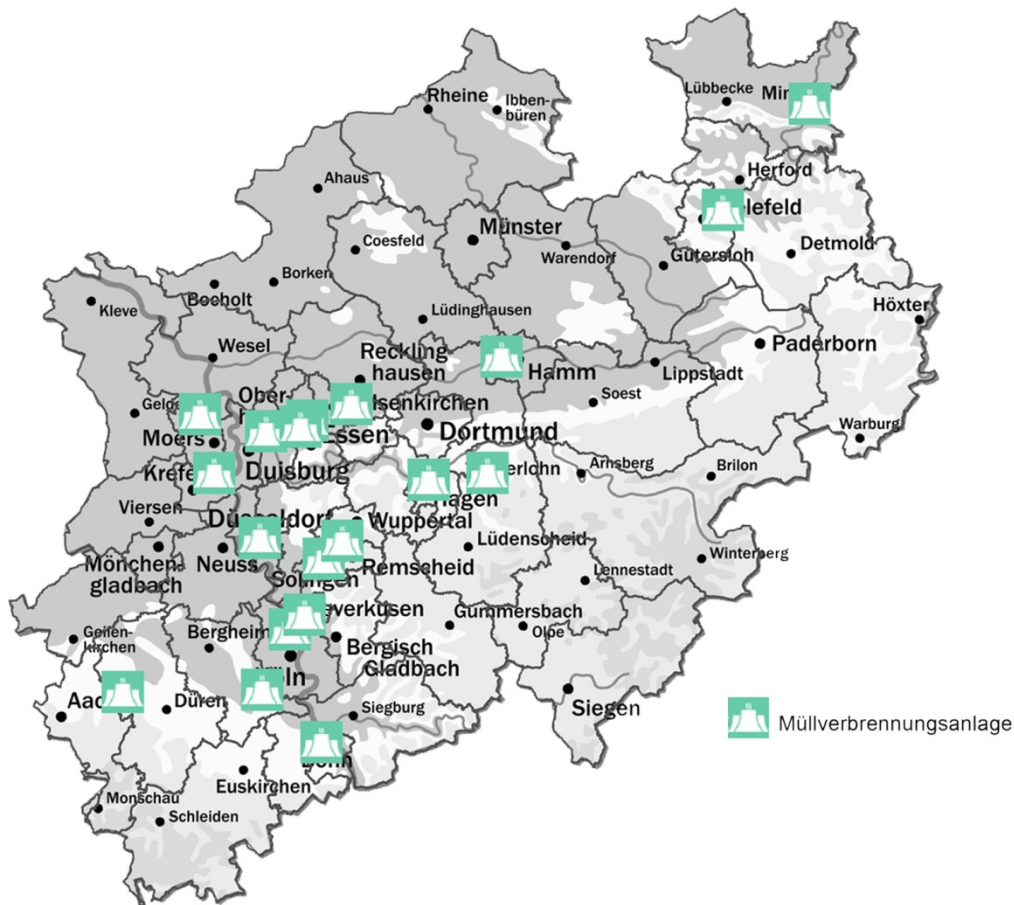


Abbildung 6: Lage der 18 Müllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen

An 17 Standorten sind im Jahr 2017 rund sechs Millionen Tonnen Abfall umgesetzt worden, für eine Anlage waren keine Daten verfügbar. Die Streuung der standortspezifischen Abfallmengen reichen von ca. 34.000 t bis 715.000 t. Eine externe Wärmenutzung besteht, mit einer Ausnahme, an allen Standorten. Während acht Standorte an die Fernwärmeversorgung angeschlossen sind, wird an vier Standorten Prozessdampf erzeugt und an Nachbarunternehmen geliefert. An vier weiteren Standorten findet sowohl Fernwärme- als auch Prozessdampferzeugung statt. An einem Standort fällt zusätzlich Abluft an. Insgesamt werden durch die Müllverbrennungsanlagen 1,7 TWh/a Fernwärme auf den Temperaturniveaus zwischen 100 °C und 170 °C und 1,2 TWh/a Prozessdampf zwischen 180 °C und 400 °C erzeugt. Die wichtigsten Parameter sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Status quo der externen Wärmenutzung aus Müllverbrennungsanlagen

	Abfallmenge in t/a	Anzahl Standorte	Wärmemenge in GWh/a	Vorlauftemperatur in °C			Rücklauftemperatur in °C		
				min.	max.	Mittelwert	min.	max.	Mittelwert
Fernwärme	5.896.467	12	1.639	100	170	127	58	90	72
Prozessdampf		8	1.200	180	400	293	60	120	95
Abwärme (Luft)		1	3	-	-	-	-	-	-

Insgesamt konnten in NRW somit gut 6,4 TWh/a bereits genutzte Abwärme aus industriellen Anlagen (3,6 TWh/a) und Müllverbrennungsanlagen (2,8 TWh/a) ermittelt werden. Dies entspricht ungefähr einem Fünftel des Endenergieverbrauchs Fernwärme in NRW. Diese Abwärme wird jedoch neben der Fernwärme (allgemeine Versorgung) an benachbarte Unternehmen weitergegeben (Objektversorgung mit Raumwärme oder industrielle Anlagen), sodass sie nur in Anteilen der Fernwärme zugeordnet werden kann. Unter den industriellen Anlagen befinden sich auch Anlagen, die der Branche Energieversorgung zugeordnet sind und somit eventuell nicht unter die industrielle Abwärmenutzung im klassischen Sinne fallen. Dies ist der gewählten Methode geschuldet.

3 Grundlagen der industriellen Abwärmenutzung

3.1 Industrieller Wärmebedarf

Für die Nutzung industrieller Abwärmeströme ist deren Temperaturniveau aufgrund der einzusetzenden Technologien entscheidend. Abbildung 7 zeigt, welche Temperaturen und Energiemengen die relevanten Branchen in Deutschland für ihre Prozesse benötigen. Dementsprechend sind in den zugehörigen Unternehmen sinnvoll nutzbare Abwärmemengen zu erwarten. Durch Effizienzmaßnahmen können die eingesetzten Energiemengen teils reduziert werden. Die Prozesstemperaturen selbst sind aber technologie- bzw. prozessbedingt nicht veränderlich. Allerdings wird an innovativen Lösungen geforscht, wodurch auf lange Sicht klassische durch weniger abwärmerelevante Prozesse ersetzt werden könnten. Dies wird jedoch an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

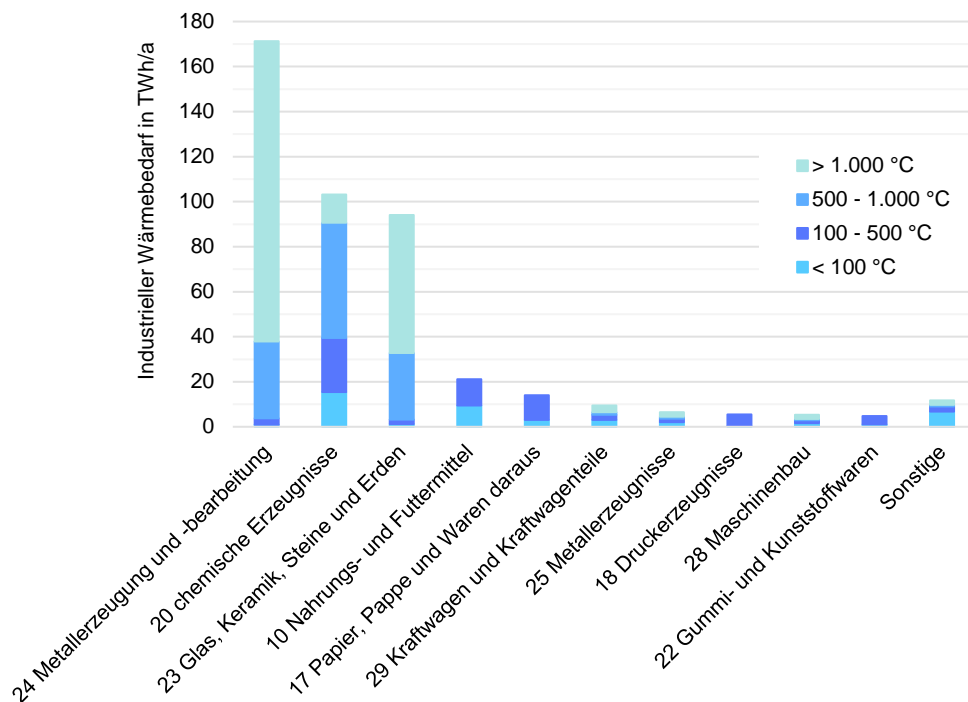


Abbildung 7: Industrieller Wärmeenergiebedarf und Prozesstemperaturen verschiedener Branchen (Frisch, Pehnt, Otter, & Nast, 2010, S. 6)

Industriebranchen mit hohen Prozesstemperaturen und großem Energieeinsatz weisen höhere theoretisch nutzbare Abwärmepotenziale auf, als Branchen mit einem größeren Anteil an Montage und geringem Prozessenergieeinsatz, wie z. B. der Maschinenbau (Abbildung 7) (Schnitzer, et al., 2012); (Sollesnes & Helgerud, 2009); (Pehnt, Bödeker, Arens, Jochem, & Idrissova, 2010).

Als Nutzungsmöglichkeiten für Abwärmeströme stehen in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern wie Temperatur, Energiemenge und Medium unterschiedliche Technologien zur Verfügung (Abbildung 8). Die Auswahl einer passenden Anwendung und Anlagentechnik zur Nutzung einer Abwärmequelle hängen von einer Vielzahl von Randbedingungen ab.

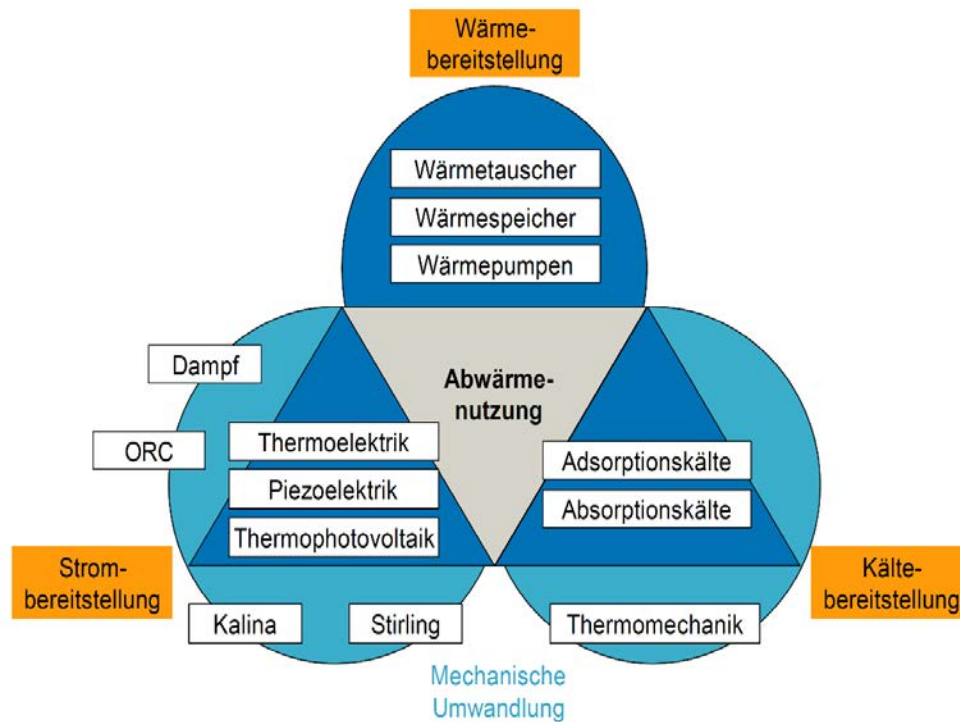


Abbildung 8: Mögliche Wege und Technologien der Abwärmennutzung (Hirzel, Sontag, & Rohde, 2013, S. 14)

Die zu wählende Anlagentechnik ist abhängig von der benötigten Energieform (Wärme, Strom oder Kälte). Darüber hinaus ist entscheidend, ob für das Temperaturniveau und die Leistung der Abwärmequelle eine Technologie zur Verfügung steht, mit der die gewünschte Energieform erzeugt oder bereitgestellt werden kann. Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über die gängigen Technologien gegeben.

3.2 Technologien zur Abwärmennutzung

Die technische Nutzung der Abwärmepotenziale ist überwiegend mit verfügbaren Technologien möglich. Nur selten sind spezielle Entwicklungen von Anlagenteilen nötig. Die Herausforderung besteht darin, in die wärmeliefernden industriellen Prozesse möglichst wenig einzugreifen und die Energie effektiv auf vorhandene Senken zu verteilen. Liegt die Wärme bereits gefasst vor, z. B. in Kühlwasser oder anderen Medienströmen, ist die Nutzung oft möglich. Wird sie jedoch diffus an die Umgebung abgestrahlt oder durch Konvektion abgegeben, ist eine technische Nutzung deutlich aufwendiger und meist nicht umsetzbar. Die Optimierung der Prozesse mittels Effizienzmaßnahmen ist der erste Schritt. Erst nach Rückkopplung in die Prozesse selbst oder einer betriebsinternen Nutzung der Wärme ist eine externe Auskopplung technisch und wirtschaftlich sinnvoll.

Die wenigsten industriellen Prozesse (Quellen) sind in der technischen Verfügbarkeit vergleichbar oder lassen sich wie andere Energiequellen nutzen, denn Leistungsdaten, Temperatur und zeitliches Auftreten hängen vom Produktionsprozess ab und sind nicht am Bedarf nachgeschalteter Wärmenutzungen (Senken) orientiert. Dies ist ein Grund für die oft herausfordernde Kopplung von Quellen und Senken.

Der Lösungsweg besteht darin, die Wärmeenergie möglichst ohne Rückkopplung auf den Produktionsprozess aufzunehmen und bedarfsgerecht weiterzugeben. Entscheidende Vorgänge sind damit, neben der Übergabe der Energie mittels Wärmeübertrager, die Verteilung der Wärme auf die Senken und gegebenenfalls die zeitliche Entkopplung durch Speicherung. Das Temperaturniveau ist als Qualitätsfaktor ebenfalls entscheidend für die Nutzbarkeit im System.

Anlagen zur Energieversorgung, welche die Unternehmen mit Strom, Dampf, Wärme oder Heißluft versorgen, sind bezüglich der technischen Parameter und der Technik im Gegensatz zu Produktionsanlagen häufig vergleichbar. Allerdings arbeiten diese in Abhängigkeit vom Produktionsprozess und häufig nicht in einer gleichbleibenden bzw. jahreszeitlichen Versorgung.

Je weniger Wandlungen bzw. Übertragungen bis zur weiteren Nutzung der Wärme notwendig sind, desto größer ist der nutzbare Anteil der enthaltenen Energie. Aus Gründen der Systemtrennung, der stofflichen Kontamination oder des Medienwechsels sind Wärmeübertragungen jedoch häufig notwendig. Es bedarf immer eines Temperaturgefälles, d. h. auf der Seite der Nutzung steht, je nach Güte des Wärmeübertragers, ein geringeres Temperaturniveau zur Verfügung. Mögliche Nutzungen und Anwendungen werden demzufolge häufig nach Temperaturbereichen unterschieden. Diese sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Beispielanwendungen zur Abwärmenutzung nach Temperaturbereichen (Grote, Hoffmann, & Tänzer, 2015, S. 9)

	Temperaturbereiche		
	Hochtemperaturbereich	Mitteltemperaturbereich	Niedertemperaturbereich
Temperatur	> 350 °C	> 80 °C ≤ 350 °C	≤ 80 °C
Beispiel-Anwendungen	Dampfturbine	ORC (Organic Rankine Prozess)	Wärmepumpen zur Abwärmenutzung
	Stirlingmotor	Absorptionskälteanlage	Adsorptionskälteanlage
		Fernwärme- und Nahwärmenetze	Heizungs- und Brauchwassernutzung
	Thermoelektrische Systeme	Vorwärmung, Rücklauf-temperaturerhöhung	
	Wärmespeichersysteme		

Im Hochtemperaturbereich (ab 350 °C) sollte nach Möglichkeit eine Verstromung mittels geeigneter Verfahren geprüft werden. Auch die Nutzung als Prozesswärme für andere Unternehmen ist möglich, allerdings sind neben den thermodynamischen Parametern weitere Faktoren entscheidend, wie u. a. die Distanz zum Verbraucher.

Auch im mittleren Temperaturbereich (> 80 °C bis 350 °C) kann die Verstromung sinnvoll sein, allerdings bei geringerem Wirkungsgrad. Ansonsten bieten sich hier alle Nutzungsbereiche von Heizwärme, Prozesswärme, Wärmenetzen bis hin zum Betrieb von Kälteanlagen an.

Bei niedrigen Temperaturen bis 80 °C und folglich geringeren Wärmedichten nimmt nicht nur die spezifische Arbeitsfähigkeit ab, sondern aufgrund der höheren Massenströme für den Wärmetransport und der notwendigen thermischen Massen zur Speicherung der Aufwand deutlich zu. Eine Nutzung ist damit schnell unwirtschaftlich und in der Regel auf die nähere Umgebung beschränkt. Allerdings kann mittels Wärmepumpen oder speziellen Niedertemperaturanwendungen eine sinnvolle Nutzung möglich sein.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die direkte und indirekte Nutzungsmöglichkeit von Abwärme sowie die jeweils benötigten Anlagen und Anlagenteile gegeben.

3.2.1 Direkte Nutzung

Eine direkte Nutzung von Wärme ist in der Regel am einfachsten zu realisieren. Für die technische Umsetzung eignen sich die folgenden Anlagen und Anlagenteile:

Wärmeübertrager

Zur Trennung von Systemen, Stoffströmen oder Medien kommen bei der Abwärmenutzung häufig Wärmeübertrager zum Einsatz. Dabei steht eine Vielzahl verschiedener Bauformen für unterschiedliche Medien und Temperaturbereiche zur Verfügung. Als Herzstück der Abwärmenutzung ist der Einfluss von Wärmeübertragern auf das Gesamtsystem groß.

Wärmeverteilung

Der Wärmeverteilung kommt als Verbindung zwischen Quelle und Senke eine besondere Rolle zu. Häufig wird nicht nur eine Quelle und ein Verbraucher verbunden, sondern aufwändige Wärmenetze als Energieinfrastruktur aufgebaut. Die Herausforderung besteht darin, die benötigten Temperaturen der unterschiedlichen Senken miteinander zu vereinen. Wärmenetze sind technisch dazu in der Lage, im Laufe der Nutzungszeit neue Energiequellen aufzunehmen, wie z. B. Abwärme oder Wärme aus Erneuerbaren Energieträgern.

Mit dem verstärkten Einsatz von dezentralen Wärmepumpen etablieren sich verlustarme, sogenannte kalte Wärmenetze (Low Ex-Wärmenetze), die zu Heizzwecken Temperaturen bis 30 °C zur Verfügung stellen. Sie bieten auch anderen Quellen im Bereich der Niedertemperatur die Möglichkeit, Wärme einzuspeisen, wie z. B. solarthermische oder geothermische Anlagen. Das Forschungsprojekt LowExTra bietet dazu technische und wirtschaftliche Betrachtungen (LowExTra, 2018).

Sensible Wärmespeicherung

Da industrielle Abwärme nicht in Abhängigkeit von externen Wärmesenken erzeugt wird, ist das zeitliche Puffern der Wärme zur Deckung des Bedarfs entscheidend für die Umsetzung von Abwärmekooperationen. Da in industriellen Prozessen häufig sehr große Abwärmemengen in kurzer Zeit entstehen, z. B. beim Schmelzen von Metallen oder in der chemischen Industrie, ist die technische Lösung dieser Frage zentral. Neben klassischen Wärmespeichern auf Basis von Wasser, sind auch Lösungen wie Dampf- oder Feststoffspeicher im Einsatz. Neben dem Temperaturniveau und der Speicherdichte sind die absolute speicherbare Wärmemenge, der Speicherwirkungsgrad und die Lebensdauer (Zyklusstabilität) wesentliche Parameter zur Auswahl der passenden Speichertechnologie.

Fällt die Abwärme in stark oder schnell schwankenden Zyklen an, kann es sinnvoll sein, einen Pufferspeicher einzusetzen. Dies ermöglicht die Auslegung der folgenden technischen Anlagen auf einem niedrigeren, mittleren Leistungsniveau. Besonders in der Stromerzeugung aus Abwärme ist dieses als besonders vorteilhaft einzustufen. Je nach Temperatur und Art des Mediums können verschiedene Speichertypen ausgewählt werden.

Für Systeme, die vor allem zu Heizzwecken angeschlossener Gebäude im Winter dienen, kann eine saisonale Speicherung im Erdreich oder in Aquiferen sinnvoll sein (Solites, 2018).

Latentwärme und thermochemische Speicherung

Während die Speicherung von sensibler Wärme immer mit Wärmeverlusten einhergeht, kann dies bei Nutzung der im Phasenübergang steckenden Energie (PCM: Phase Change Material) nahezu vermieden werden. Allerdings ist diese Art der Speicherung noch nicht zum Standard geworden und vergleichsweise kostenintensiv. Bei der Speicherung in thermochemischen Vorgängen, wie z. B. der Sorption von Stoffpaaren, ist durch die chemische oder physikalische Bindung Wärme nahezu verlustfrei speicherbar. Beide Systemtechnologien können aber, je nach Anwendung, für bestimmte Temperaturbereiche der Nutzung spezifisch konzipiert werden. Diese Speichertypen sind mobil einsetzbar. Können hohe Energiedichten erreicht werden, ist die Beladung an der Abwärmequelle möglich. So kann ohne ein Verteilnetz die Energie z. B. mit Sattelschleppern oder Zügen in mobilen Einheiten zum Verbraucher gelangen und entladen werden (saena, 2016). Dies kann jedoch aufgrund des emissionsreichen Transports nur eine Übergangslösung darstellen.

3.2.2 Indirekte Nutzung

Ist das Temperaturniveau für eine direkte Wärmenutzung zu gering oder zu hoch, kann eine indirekte Nutzung möglich sein. Hierbei kann entweder Strom, Kälte oder Wärme mittels Koppelanlagen erzeugt werden. Je nach Verfahren fällt neben der Nutzenergie (Strom, Wärme oder Kälte) auch noch ein weiterer Abwärmestrom auf niedrigerem Temperaturniveau an.

Stromerzeugung

Wie in klassischen Kraftwerken kann ein hohes Temperaturniveau zur Stromerzeugung mithilfe von **Kraftprozessen** genutzt werden. Es gibt verschiedene Prozesse, die in unterschiedlichen Temperaturbereichen das jeweils geeignete Verfahren anwenden. Kreisprozesse wie Dampfkraft-, Kalina- oder der ORC-Prozess setzen unterschiedliche Stoffe oder Stoffgemische

ein, um diese bei den gegebenen Temperaturverhältnissen zu verdampfen, zu überhitzen und über eine Turbine zu entspannen, um damit einen Generator anzutreiben. Neben der erzeugten Elektrizität verbleibt ein Wärmestrom bei deutlich niedrigerer Temperatur. Tabelle 4 zeigt einige gängige Technologien zur Stromerzeugung aus Abwärme.

Tabelle 4: Übersicht verschiedenener Technologien zur Stromerzeugung aus Abwärme (saena, 2016, S. 41 ff.)

Prozess	Temperaturniveau	Wirkungsgrad	Elektrischer Leistungsbereich
Dampfkraftprozess	ab 150 °C	ab 10 %	ab 20 kW
Organic-Rankine-Cycle (ORC)	ab 110 °C	5 - 15 %	30 kW bis 3 MW
Gasturbine	600 bis 1.500 °C	25 - 40 %	30 kW bis 300 MW
Stirlingmotor	650 bis 1.100 °C	10 - 16 %	bis 250 kW

Durch Halbleitertechnik (Seebeck-Effekt) kann Wärme ohne mechanische Anlagenteile direkt in Elektrizität gewandelt werden. Dies ist schon oberhalb von 25 °C möglich, bedarf aber einer hohen Temperaturdifferenz zwischen warmer und kalter Seite. Bisher sind nur Nischenprodukte dieser **thermoelektrischen Generatoren** unter 1 kW im Einsatz, die Wirkungsgrade von ca. 5 % aufweisen (bei einer Temperaturdifferenz von 200 K). Besonders umfangreich informiert und bewertet wird das Thema im BMWi-Leitprojekt „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ (Groß & Manns, 2018) (König, 2016).

Thermische Maschinen

Mittels unterschiedlicher thermischer Kreisprozesse ist es möglich, Wärmeströme auf ein höheres Temperaturniveau zu transformieren oder auch als Antrieb für Kälteversorgungsanlagen zu nutzen. Dabei werden jeweils unterschiedliche Temperaturniveaus genutzt (siehe auch Tabelle 5). Allerdings werden dazu Zusatzenergien benötigt.

Um Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau bis ca. 50 °C thermisch weiter effektiv zu nutzen, können **Kompressionswärmepumpen** eingesetzt werden, die Strom für den Antrieb benötigen. Sie erreichen üblicherweise einen Temperaturhub von 40 bis 50 K und können damit zu Heizzwecken oder Brauchwassererwärmung eingesetzt werden. Im Gegensatz zu Umweltwärme aus Boden oder Luft, die auch durch diese Technik genutzt werden kann, unterliegt Abwärme in der Regel weniger Schwankungen und weist ein höheres, jahreszeitunabhängiges Temperaturniveau auf. Diese Faktoren machen die Kompressionswärmepumpen sehr effektiv in Bezug auf Energieeinsatz und CO₂-Bilanz.

Absorptionswärmepumpen, sogenannte Gaswärmepumpen, arbeiten mit einem zusätzlichen Zwischenkreis als thermischen Verdichter, der in der Regel als Zusatzenergie direkt mit Erdgas oder auch Hochtemperaturabwärme befeuert wird. Als nutzbare Wärmequellen kommen Erd- oder andere Umweltwärme, sowie warme Abluft oder auch Kühlwasser in Frage. Die Nutzenergie wird typischerweise in klassischen Heizsystemen bis 70 °C genutzt.

Adsorptionswärmepumpen sind Anlagen, die als thermische Verdichtung das Prinzip der Sorption (Anlagerung Gas-Feststoff) nutzen. Durch Variation der genutzten Stoffe, kann mit verschiedenen Temperaturniveaus gearbeitet werden, sodass Nutzwärme durchaus auch im Bereich 100 °C bis 300 °C zur Verfügung gestellt werden kann.

Tabelle 5: Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Wärmepumpen zur Abwärmenutzung (saena, 2016, S. 34 ff.)

Anlagentyp	Temperatur-niveau der Abwärme	spezifische Kennzahl	Leistungsbereich
Kompressionswärmepumpe	bis 50 °C	3 bis 5 (Leistungszahl)	15 kW bis 20 MW
Absorptionswärmepumpe	bis 200 °C	1,4, bis 2,2 (Heizzahl)	10 kW bis 20 MW
Adsorptionswärmepumpe	bis 90 °C	1,3 bis 1,6 (Heizzahl)	7,5 kW bis 500 kW

Vergleichbar mit der Absorptionswärmepumpe kann mittels thermischen Antriebs ab 70 °C auch eine **Absorptionskältemaschine** betrieben werden (Tabelle 6). Diese kann auch mehrstufig aufgebaut sein. Es entsteht neben der Kälte ein weiterer, zu Heizzwecken nutzbarer Abwärmestrom bei niedrigeren Temperaturen.

Die **Adsorptionskältemaschine** nutzt die Verdampfung bei niedrigen Drücken zur Kälteerzeugung aus. Die bei der Verflüssigung entstehende Niedertemperaturwärme muss in der Regel abgeführt werden.

Tabelle 6: Übersicht typischer Kennwerte verschiedener Kältemaschinen zur Abwärmenutzung (saena, 2016, S. 36 ff.)

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

Es gibt somit eine Reihe von Möglichkeiten, um Abwärmeströme mittels thermischer Maschinen auf höhere oder niedrigere Temperaturniveaus zu transformieren und so, unter Einsatz zusätzlicher Energie, effizient nutzbar zu machen. Die entsprechende Technologie kann anhand der Zieltemperaturen oder Leistungsbereiche ausgewählt werden.

4 Unternehmensbefragung

Im Rahmen der Studie wurde eine umfangreiche Unternehmensbefragung durchgeführt. Dazu wurden sowohl Betreiber von Anlagen angeschrieben, die nach 11. BImSchV Emissionserklärungspflichtig sind, als auch Unternehmen abwärmerrelevanter Branchen, die durch Antrag auf die „Besondere Ausgleichsregelung“ eine reduzierte EEG-Umlage zahlen und somit als „stromintensiv“ eingeordnet wurden. Außerdem forderten die in der projektbegleitenden Arbeitsgruppe vertretenen Industrieverbände ihre Mitgliedsunternehmen zur Teilnahme auf. Übergeordnetes Ziel der online-basierten Befragung war die Erfassung einer soliden Datengrundlage innerhalb einer Datenbank für die Potenzialberechnung. Durch eine möglichst hohe Rücklaufquote sollten die Ergebnisse der Befragung die Qualität der Datenbasis gegenüber anderen Untersuchungen, die ausschließlich Genehmigungsdaten nach 11. BImSchV auswerten, deutlich erhöhen. Neben der Erhebung konkreter Zahlen zu Abwärmemengen in NRW, sollten auch Informationen zum Kenntnisstand und der Transparenz von Abwärmepotenzialen in den Unternehmen und Branchen sowie die Einschätzungen zu Hemmnissen und Chancen möglicher Wärmeoperationen erfasst werden (Kapitel 4.3). In der Studie wurden die in Tabelle 7 dargestellten Branchen unterschieden. Die energieintensiven Branchen wurden mit dem Symbol * gekennzeichnet.

Tabelle 7: In der Studie unterschiedene Branchen und deren Codes nach der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE)

Branche	NACE-Code (WZ)
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	10
Getränkeherstellung	11
Herstellung von Textilien	13
Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren ohne Möbel	16
* Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	17
Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von bespielten Tonträgern	18
Kokerei und Mineralölverarbeitung	19
* Herstellung von chemischen Erzeugnissen	20
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	22
* Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	23
* Metallerzeugung und -bearbeitung	24
* Herstellung von Metallerzeugnissen	25
Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	27
Maschinenbau	28
Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	29
Herstellung von Möbeln	31
Herstellung von sonstigen Waren	32
Energieversorgung	35
Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen, Rückgewinnung	38
Weitere Branchen	0

* Branchen gehören zur energieintensiven Industrie

4.1 Aufbau der Befragung

Auf Basis der Befragungsziele, Erkenntnisse und Annahmen hinsichtlich der unterschiedlichen Wissensstände und Personalsituationen in den Unternehmen wurde folgende schematisch dargestellte Struktur der Unternehmensbefragung erarbeitet (Abbildung 9). Der Fragbogen wurde als Online-Fragebogen umgesetzt, sodass neben der direkten Eingabe auch Hilfestellungen durch zusätzliche Informationshinweise gegeben werden konnten. Auf diese Weise wurden die Ergebnisse zudem direkt in eine Datenbank überführt.

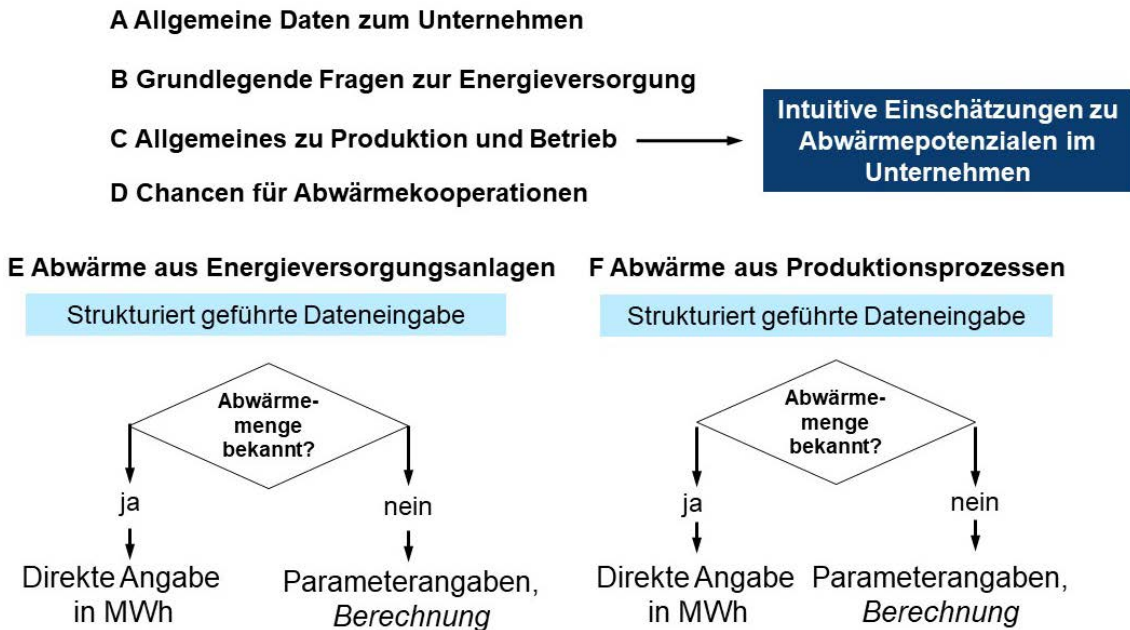


Abbildung 9: Schematisch dargestellte Struktur der Unternehmensbefragung

In den Kapiteln A bis D wurden allgemeine inhaltlich relevante Punkte abgefragt, wie etwa die Bereitschaft der Unternehmen zur Umsetzung von Projekten mit Fokus externe Abwärmennutzung und die intuitiven Potenzialeinschätzungen per Schieberegler. In den Kapiteln E und F erfolgte eine detaillierte Abfrage bekannter Abwärmemengen. Ebenso wurden in diesen beiden Kapiteln für die nicht bekannten Energiemengen entsprechende Hilfsparameter abgefragt, aus denen konkrete Abwärmemengen berechnet werden konnten.

Die Inhalte der Befragungsteile zu konkreten Abwärmeströmen der Produktions- und Energieanlagen (Kapitel E und F) wurden an den zur Berechnung der Potenziale benötigten Daten ausgerichtet und in Abstimmung mit Verbänden und Unternehmen innerhalb der projektbegleitenden Arbeitsgruppe so entwickelt, dass keine „no-go“-Themen abgefragt und die unternehmensinternen Bearbeitungszeiten weitestgehend reduziert wurden. Die Fragebogenstruktur orientiert sich an der Organisation eines Energieteams, wie es in ISO 50001 zertifizierten Unternehmen besteht und die benötigten Kompetenzen bündelt. Doch auch Betriebe, die bisher keine entsprechende Zertifizierung aufweisen, sollten in der Lage sein, ihre Abwärmeströme zu erfassen und in den Fragebogen einzutragen. In Abbildung 10 ist beispielhaft ein

Teil des Online-Fragebogens dargestellt, in dem die Unternehmen die derzeit anfallenden Abwärmemenge im Verhältnis zum gesamten Energiebedarf mittels Schieberegler abschätzen konnten. Diese Abfrage sollte dazu genutzt werden, die anfallenden Abwärmemengen einordnen zu können, falls das Unternehmen nicht in der Lage war, Werte in den Kapiteln zu konkreten Abwärmemengen der Energie- und Produktionsanlagen einzugeben.

C2 Abwärmepotenziale

C2.1 Schätzen Sie bitte, wie viel Prozent des gesamten Energiebedarfs Ihres Unternehmens sinnvoll als Abwärme genutzt werden könnten:

Geschätzter Anteil möglicher Abwärmenutzung aus Energieanlagen:

0 Prozent 100 Prozent Keine Angabe möglich

Geschätzter Anteil möglicher Abwärmenutzung aus Produktionsprozessen:

0 Prozent 100 Prozent Keine Angabe möglich

Abbildung 10: Beispielhafter Auszug aus dem Fragebogen zur intuitiven Einschätzung der möglichen Abwärmenutzung aus Energieanlagen und Produktionsprozessen

Abbildung 11 zeigt beispielhaft die strukturiert geführte Abfrage von Abwärmemengen eines Produktionsprozesses (Fragebogenteil F). Hier konnten die entsprechenden Parameter individuell ausgewählt und eingesetzt werden, sodass die Berechnung der Abwärmepotenziale jedes eingegebenen Prozesses ermöglicht wurde.

F Abwärme aus Produktionsprozessen NICHT bekannt: Angabe der Parameter der Produktionsprozesse

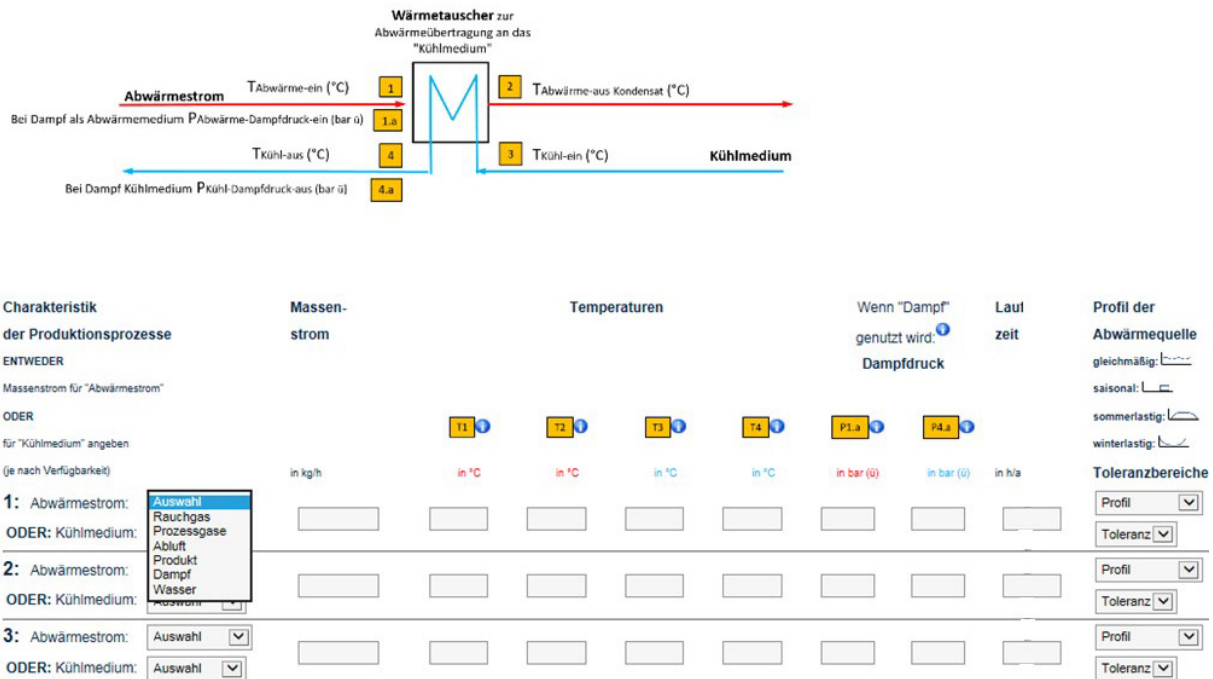


Abbildung 11: Beispiel aus dem Fragebogen zur strukturiert geführter Abfrage konkreter Abwärmemengen bzw. Berechnungsparametern von Produktionsprozessen

Der Fragebogen wurde insgesamt so ausgerichtet, dass die Unternehmen, unabhängig vom vorherigen Wissensstand, dazu befähigt wurden, die anfallenden Abwärmemengen zu quantifizieren und so die Datenbasis der Potenzialermittlung mit qualitativ hochwertigen Daten zu unterstützen.

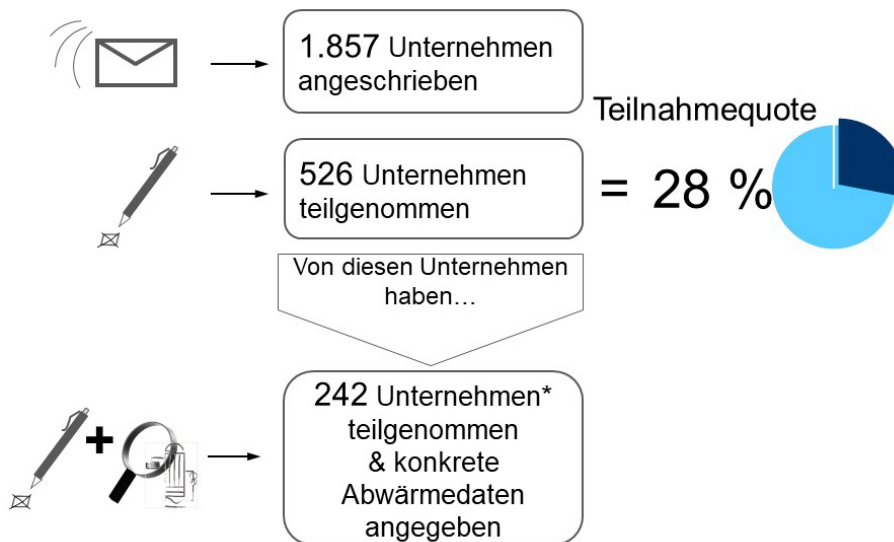
4.2 Durchführung der Befragung

Die Befragung richtete sich vornehmlich an drei Unternehmensgruppen:

Die erste Gruppe beinhaltete Unternehmen, die nach der 11. BImSchV verpflichtet sind, Immissionsschutzberichte zu erstellen und bei denen Brennstoffe in relevanter Menge eingesetzt werden. Ein Abgleich der eingesetzten Brennstoffmengen aus den Emissionserklärungen nach 11. BImSchV mit dem Statistischen Jahrbuch von 2017 zeigte, dass diese Unternehmen rund 42 % des gesamten Brennstoffeinsatzes des Verarbeitenden Gewerbes in NRW repräsentieren (> 20 Mitarbeitende, insgesamt ca. 10.000 Unternehmen (IT.NRW, 2017)).

Die zweite Gruppe stellten Unternehmen dar, die einen Antrag auf die Besondere Ausgleichsregelung beim BAFA gestellt haben, daher reduzierte EEG-Umlagen zahlen und somit als „stromintensiv“ eingeordnet werden konnten. Eine Vorauswahl wurde über die Branchenzugehörigkeit getroffen.

Die dritte Gruppe bildeten die Unternehmen, die durch ihre Mitgliedschaft bei den in der projektbegleitenden Arbeitsgruppe eingebundenen Industriebranchenverbände von diesen aufgerufen wurden, an der Unternehmensumfrage teilzunehmen. Zudem wurde die Teilnahme an der Befragung u. a. durch die EnergieAgentur.NRW beworben. Insgesamt wurden so 1.857 Unternehmen in NRW direkt angeschrieben, wovon schlussendlich 526 an der Umfrage teilgenommen haben (Abbildung 12). 242¹ dieser Unternehmen beantworteten, neben dem eher allgemeingehaltene qualitativen Teil, detaillierte Fragen zu Abwärmeströmen an konkreten Prozessen in ihren Unternehmen. Die Befragung wurde von Mitte Januar bis Mitte März 2018 durchgeführt. Auf Bitte etlicher Unternehmen wurde der zunächst auf sechs Wochen ange-setzte Befragungszeitraum um zwei Wochen verlängert. Dadurch gingen insgesamt 90 zusätzliche Fragebögen in die Studie ein. Mit einer Teilnahmequote von 28 % an der freiwilligen Befragung, belegen die Unternehmen die Aktualität und Relevanz des Themas.



* Nur die Unternehmen, deren Abwärmepotenzial ein Ergebnis > 0 MWh und eine Nutzttemperatur > 40 °C aufweist

Abbildung 12: Schematische Darstellung der angeschriebenen Unternehmen und Teilnehmerzahlen an der Unternehmensbefragung

In Abbildung 13 ist die Verteilung der angeschriebenen Unternehmen auf die Industriebranchen dargestellt. Darüber hinaus zeigt sich, welchen Branchen in welchem Maße sowohl insgesamt an der Befragung teilgenommen als auch detaillierte Informationen zu Abwärmeströmen in ihrem Unternehmen angegeben haben.

¹ Vier weitere Unternehmen gaben ihre Angaben erst nach der verlängerten Frist ab, vier Unternehmen gaben Potenziale im persönlichem Austausch weiter. Diese konnte für diese Auswertung jedoch nicht genutzt werden.

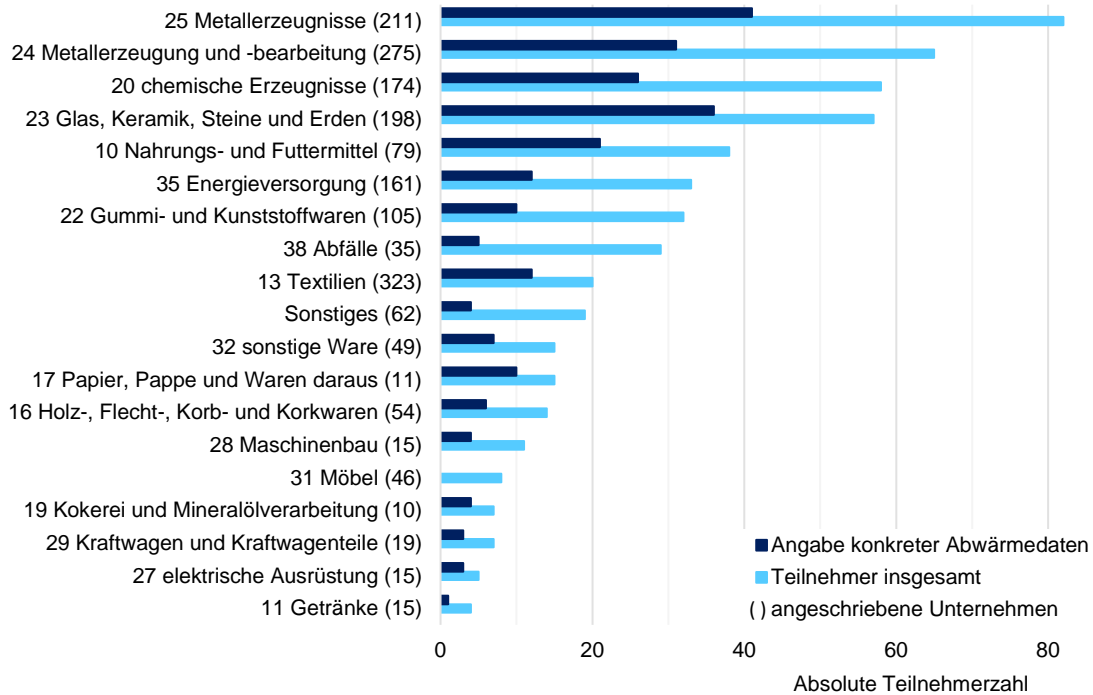
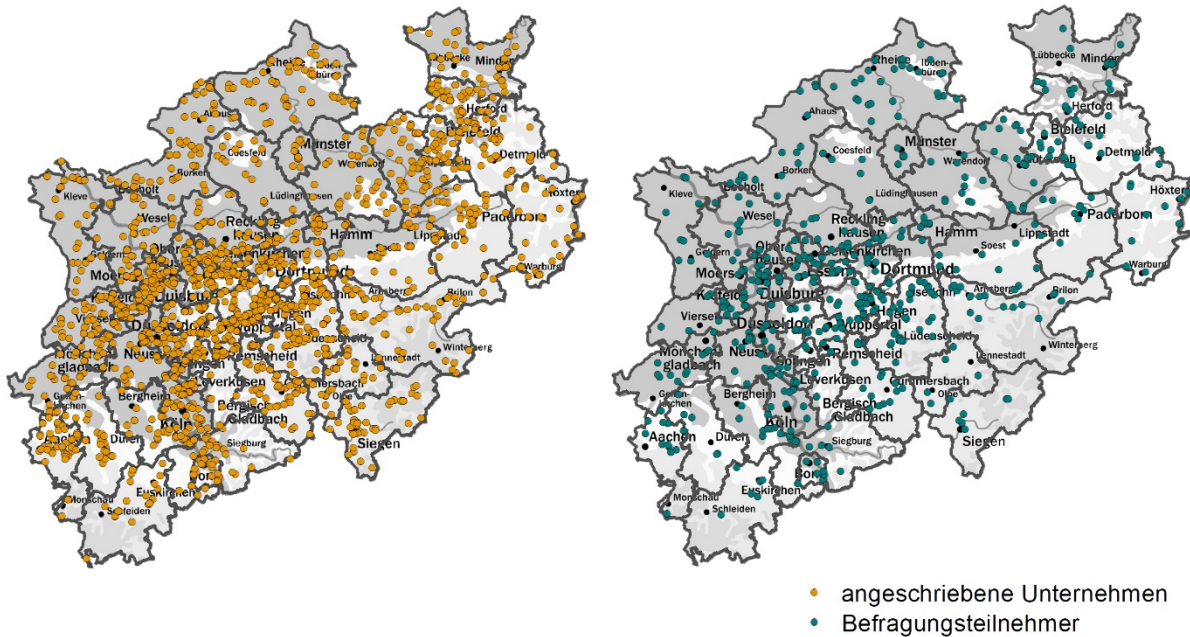


Abbildung 13: Anzahl angeschriebener Unternehmen sowie Beteiligung insgesamt und an der konkreten Angabe von Abwärmemengen aus Energie- und Produktionsanlagen nach Branche

Die angeschriebenen Unternehmen verteilen sich homogen über NRW (Abbildung 14 a&b). Dabei zeigt sich, dass besonders in den bevölkerungsstärkeren Gebieten die Dichte an angeschriebenen Unternehmen hoch ist. Besonders an Rhein und Ruhr ballen sich die Unternehmen, doch auch um Aachen und Detmold sind viele der Unternehmen verortet. Für die Befragungsteilnehmer gilt ebenfalls, dass in den Regionen, in denen viele Unternehmen angeschrieben wurden, auch verhältnismäßig viele Unternehmen antworteten.



a) Verteilung der 1.857 angeschriebenen Unternehmen

b) Verteilung der 526 Befragungsteilnehmer

Abbildung 14: Räumliche Verteilung der angeschriebenen Unternehmen (a) und der Befragungsteilnehmer (b)

Die von den Unternehmen zeitlich aufwendig recherchierten abwärmerrelevanten Daten in den Kapiteln E und F wurden in einer Datenbank so aufbereitet und ausgewertet, dass diese den Unternehmen in Form von individuellen Abwärme-Statusberichten zur Verfügung gestellt werden konnten. Dieses Angebot wurde den Unternehmen bereits vor der Befragung unterbreitet, wodurch zusätzliche Betriebe zur Teilnahme motiviert werden konnten. Der hohe Rücklauf vor allem im Bereich der rechercheintensiven Fragebogenteile lässt sich nicht zuletzt auf diesen Motivationsanreiz zurückführen. Aufgrund des konzeptionellen Aufbaus konnten die Feedbackbögen gleich mehrere Schlüsselfunktionen im Umfrage- und Auswertungsprozess erfüllen.

Diese Feedbackbögen können in den Unternehmen Anreize schaffen, sich mit der Abwärmevermeidung und -nutzung intensiver zu beschäftigen. Durch die Informationen bekamen die Unternehmen konkrete Hinweise zur möglichen Optimierung von Abwärmequellen. Zudem können sie als Basis für ein zukünftiges, unternehmensinternes Abwärmekataster dienen. Ebenso wurden in den Feedbackbögen die Angaben der Unternehmen mit den Branchenangaben oder den Angaben des gesamten Teilnehmerkreises verglichen. Mit diesen Informationen sind die Unternehmen in der Lage, ihre zukünftige Abwärmennutzungsstrategie zu flankieren.

Zudem spielte der Feedbackbogen im Rahmen der Fehlerkorrektur und Plausibilisierung der in der Unternehmensbefragung getätigten Angaben eine große Rolle. Innerhalb des Berichts wurden die Unternehmen bei deutlichen Abweichungen von sonstigen Angaben auf eventuelle Eingabefehler hingewiesen. Die Befragungsteilnehmer wurden in diesem Fall gebeten, ihre

Angaben zu plausibilisieren und gegebenenfalls zu korrigieren. Diese Möglichkeit nahmen ca. 20 Unternehmen wahr. Da eine Reihe von Unternehmen die Daten auch zu internen Zwecken weiterverwenden wollte, bestand ein eigenes Interesse an der Richtigkeit der berechneten freien Abwärmemengen. Dadurch konnte die Qualität der Datenerhebung substantiell gesteigert werden.

Auf Basis der korrigierten Unternehmens-Feedbackbögen wurden anschließend für die beteiligten Branchen ein Branchenbericht erarbeitet. Insbesondere in den Fragen zu möglichen Synergien, Einsparpotenzialen und Hemmnissen der Abwärmenutzung und der Wärmenetzkooperationen unterscheiden sich die Industriezweige zum Teil deutlich. Diese Berichte stellen die Umfrageergebnisse der einzelnen Branche denen aller teilnehmenden Branchen gegenüber. Die Industrieverbände erhielten so quantitative und qualitative Informationen über den Status der Abwärmenutzung ihrer Mitgliedsunternehmen.

4.3 Qualitative Ergebnisse der Befragung

Die folgende Auswertung der Befragung ermöglicht einen Blick auf das Thema Abwärmenutzung aus Unternehmenssicht. Gleichzeitig wird der Wissensstand der Industrieunternehmen zum Themenkomplex vorgestellt. Zunächst werden die Einschätzungen verfügbarer Abwärmemengen und der Stand der Messtechnik zur Erfassung von (Ab-)Wärmeströmen beleuchtet. Die Auswertungen hinsichtlich der Bereitschaft zur Wärmeweitergabe oder -aufnahme, den positiven Effekten und Hemmnissen des Ausbaus von Wärmekooperationen sowie in Bezug auf die Rollenverteilung der Akteure zur Etablierung von Kooperationen zeigen auf, welche Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung vor Ort aus Unternehmensperspektive entscheidend sind. Weiter wird die Bekanntheit der Förderprogramme und der Beratungsbedarf zum Thema Abwärme fokussiert. Bei einem Großteil der Fragen war die Angabe mehrerer Antworten möglich.

4.3.1 Unternehmensinterner Kenntnisstand zu Abwärmeströmen und -mengen

Etwa 45 % der teilnehmenden Unternehmen konnten in der Befragung nicht gleichzeitig das sinnvoll nutzbare Abwärmepotenzial der Energieanlagen und der Produktionsprozesse intuitiv mittels Schieberegler einschätzen. Der Anteil der Unternehmen, die diese Einschätzung abgegeben haben, fällt branchenspezifisch sehr unterschiedlich aus. Während in der Branche Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung (WZ 38) nur ca. 28 % (Basis: 29) der Unternehmen ihr Abwärmepotenzial abschätzten, haben in der Branche Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern (WZ 18) knapp 86 % (Basis: 7) die Daten angeben können (Abbildung 15). Dies deutet bereits darauf hin, dass in vielen Unternehmen ein Informationsdefizit bezüglich der nutzbaren Abwärmemengen besteht, welches je nach Branche unterschiedlich ausgeprägt ist.



Abbildung 15: Teilnahmequoten an der intuitiven Einschätzung der Abwärmemengen mittels Schieberegler nach Branche

Bei der Bearbeitung der recherché- und zeitintensiven Kapitel E und F (Abwärme aus Energieanlagen und Produktionsprozessen), bei der die Dateneingabe strukturiert angeleitet wurde, lag der Anteil der Unternehmen, die dazu das Know-how hatten oder sich die Zeit genommen haben, bei 48 %.

Allgemein scheint die Motivation bezüglich des Themenkomplexes „Abwärmepotenziale“ in den Unternehmen sehr hoch zu sein, wie die hohe Teilnehmerzahl bei der Befragung allgemein und besonders in diesem arbeitsintensiven Teil zeigt. Gleichzeitig konnten nur 55 % der Unternehmen intuitive Angaben zu nutzbaren Abwärmepotenzialen machen. Insgesamt konnte mehr als ein Viertel der Unternehmen das eigene Abwärmepotenzial weder über die Schieberegler grob einschätzen noch konkret in der Detailbefragung angeben oder über die Hilfsparameter berechnen.

Insgesamt konnten 310 Unternehmen (59 %) das Abwärmepotenzial ihrer Energieanlagen einschätzen (Abbildung 16). Nur 27 % der Unternehmen (142) schätzten das Abwärmepotenzial aus Energieanlagen ein und machten Eingaben zu konkreten Abwärmemengen im Kapitel E (Abwärme aus Energieanlagen). Zu den Abwärmemengen der Produktionsprozesse wurde von 315 Unternehmen (60 %) eine Einschätzung mittels Schieberegler abgegeben, nur 13 % der Teilnehmer (68 Unternehmen) nutzten die Schieberegler und machten konkrete Angaben im arbeitsintensiven Fragebogenteil F.

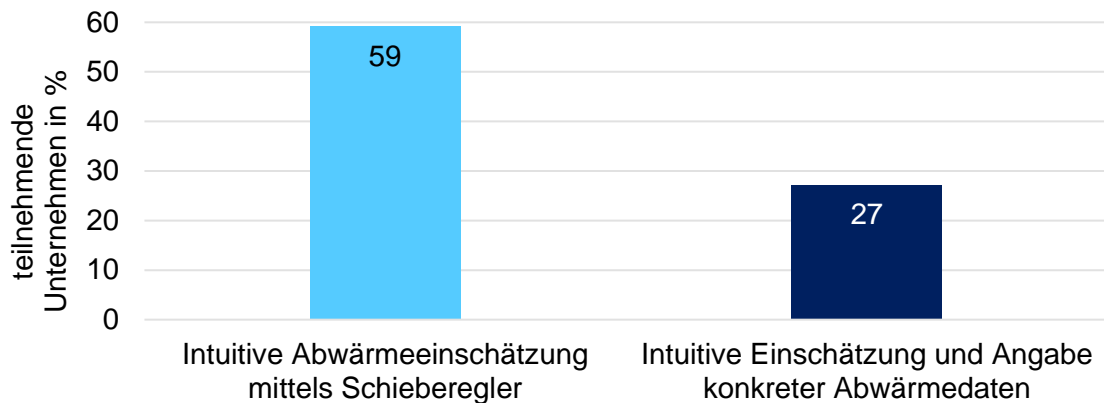


Abbildung 16: Anteil der teilnehmenden Unternehmen, die intuitiv ihr Abwärmepotenzial aus Energieanlagen einschätzen und konkrete Datenangaben zu den ungenutzten Abwärmemengen machen konnten

Auch wenn 59 % der Unternehmen die Abwärmepotenziale der Energieanlagen einschätzen können ist die Kenntnis konkreter ungenutzter Abwärmemengen mit etwa einem Viertel der Teilnehmer relativ gering. Im Bereich der Abwärme aus Produktionsanlagen fällt dieser Anteil mit einem Achtel noch einmal deutlich geringer aus. Somit quantifizierten 87 % der teilnehmenden Unternehmen keine konkreten Potenziale in Kapitel F, obwohl 60 % der Unternehmen grundsätzlich ein nutzbares Potenzial in den Produktionsprozessen intuitiv einschätzen konnten. Diese Zahlen verdeutlichen, dass es in den Unternehmen ein erhebliches Transparenzdefizit hinsichtlich der ungenutzten Abwärmepotenziale aus Energieanlagen und insbesondere aus Produktionsanlagen gibt.

Unternehmen, die nach DIN EN ISO 50001 zertifiziert sind, haben zu 73 % detaillierte Angaben zu mindestens einer Energieanlage oder einem Produktionsprozess mit ungenutzten Abwärmemengen in den Kapiteln E und F eingetragen.

Die Daten in den Kapiteln E und F wurden durch insgesamt 242 Unternehmen direkt, durch Angabe der Abwärmemengen in MWh/a, oder durch mehrere zu recherchierende Hilfsparameter zur Berechnung eingegeben. Diese Eingabe war zumeist aufgrund nicht gebündelt vorliegender Datengrundlage sehr rechercheintensiv. In beiden Fällen wurden im Bereich Energieanlagen Wärmeerzeugung, KWK, Druckluftherzeugung und Kälteerzeugung sowie im Bereich der Produktionsprozesse Rauchgas, Prozessgas, Abluft, Produkt, Dampf, Wasser und Thermoöl unterschieden. Insgesamt wurden zu 588 Anlagen Angaben gemacht.

69 % der in den Kapiteln E und F insgesamt ermittelten Abwärmemengen wurden durch direkte Eingaben erfasst, 31 % durch Hilfsparameter. Bei Zugrundelegung der Prozessanzahl anstelle der gesamten Abwärmemenge zeigt sich, dass 30 % der eingegebenen Prozesse direkt eingegeben wurden und für 70 % die rechercheintensive Eingabe über die Hilfsparameter gewählt wurde. In Tabelle 8 sind separat für die Kapitel E und F die gewählten Eingabeformen differenziert aufgeschlüsselt.

Tabelle 8: Darstellung der nach Erfassungsart ermittelten ungenutzten Abwärmemengen und Anzahl der Einzelpotenziale der 242 Teilnehmer

Erfassungsart	Anlagenart	Abwärme in TWh/a	Anzahl der Abwärmemequellen
Direkte Eingabe	Energieanlagen (Teil E)	2,65	121
Direkte Eingabe	Prozesse (Teil F)	2,54	56
Hilfsparameter	Energieanlagen (Teil E)	1,14	334
Hilfsparameter	Prozesse (Teil F)	1,15	77

Bei Gegenüberstellung der Eingabealternativen in E und F (direkte Eingabe MWh/a und indirekte Eingabe über Hilfsparameter) zeigt sich, dass 70 % der Angaben in den Befragungsteilen E und F mittels des zeitaufwendigeren Weges der „Hilfsparameter“ vorgenommen wurden. Die Bereitschaft der Unternehmen, diesen erhöhten Aufwand auf sich zu nehmen, dokumentiert erneut das große Interesse an dem Themenkomplex Abwärme. Ebenso belegt dies die fehlende Transparenz, da in der Umfrage nur 30 % der benannten abwärmerelevanten Prozesse soweit bekannt sind, dass diese (gemessen, berechnet oder geschätzt) direkt in MWh/a angegeben werden konnten. Dieses Transparenzdefizit wird dadurch verdeutlicht, dass nur ca. ein Drittel der direkt (in MWh/a) angegebenen ungenutzten Abwärmemengen tatsächlich gemessen wurde (Abbildung 17).

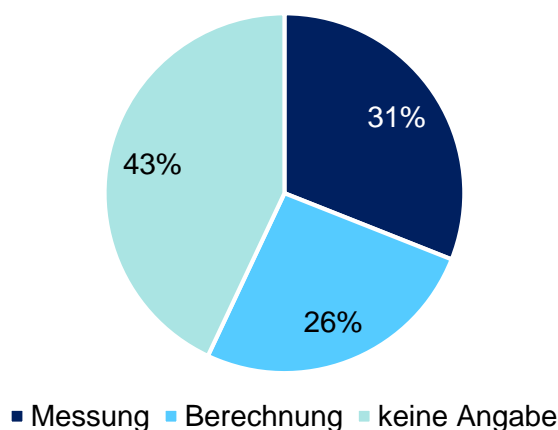


Abbildung 17: Datenherkunft der durch direkte Eingabe erfassten Informationen zu Energieanlagen und Produktionsprozessen

Zusammenfassend konnten somit nur 10 % der in dieser Umfrage dargestellten, ungenutzten Abwärmemequellen auf Basis von Messungen angegeben werden. Dies unterstreicht die fehlende Transparenz bezüglich der (Ab-)Wärmedaten innerhalb der Unternehmen. Es besteht somit ein enormer Bedarf zur Nachrüstung geeigneter Messsysteme, sowohl hinsichtlich der Energieanlagen als auch im Besonderen bei den Prozessen.

4.3.2 Bereitschaft der Unternehmen zu Wärmekooperationen

35 % der befragten Unternehmen in NRW (Basis: 489) haben Interesse, Abwärme an ein Wärmenetz oder ein benachbartes Unternehmen zu liefern (Abbildung 18). 12 % könnten sich vorstellen, Wärme zu beziehen und so externe Abwärme einzubinden. 10 % der Unternehmen sind sowohl am Bezug als auch an der Weitergabe von Abwärme interessiert (nicht im Diagramm dargestellt). Weitere 11 % schließen eine Wärmekooperation aus. Etwa 42 % der Unternehmen sind unentschlossen. Das Thema Wärmekooperation bzw. externe Abwärmenutzung ist für viele Unternehmen neu. Durch Informations- und Aufklärungsarbeit könnte ein Teil dieser Gruppe motiviert werden, sich mit der Nutzung von Abwärme in- und extern verstärkt zu beschäftigen.

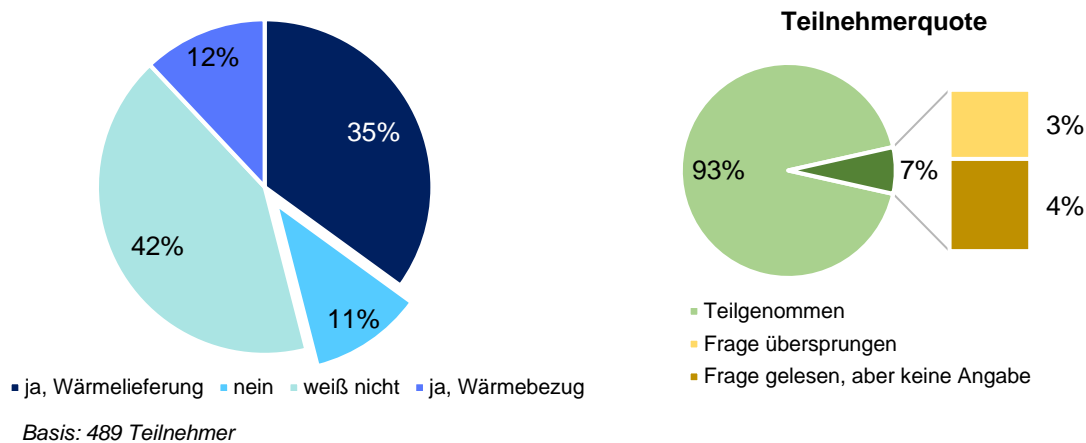


Abbildung 18: Bereitschaft der Unternehmen, Teil einer Wärmekooperation zu werden

Die räumliche Verteilung der Befragungsergebnisse ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Unternehmen verteilen sich relativ homogen auf ganz NRW, wobei eine Bündelung an Rhein und Ruhr zu erkennen ist.

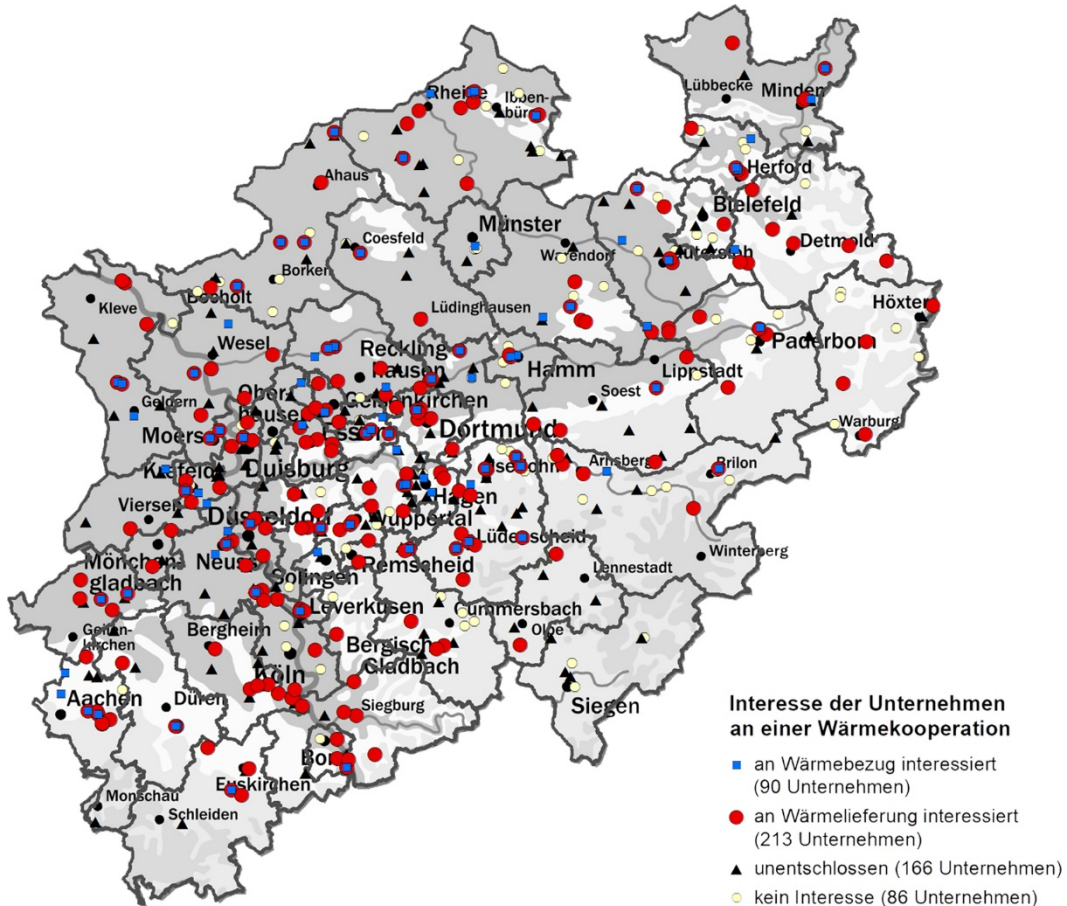


Abbildung 19: Räumliche Verteilung der Unternehmen, die Interesse an einer Wärme Kooperation haben; die höhere Anzahl (555) ergibt sich durch Doppelzählungen der Unternehmen, die sowohl an Wärmelieferung als auch Wärmebezug interessiert sind

4.3.3 Synergie- und Einspareffekte durch Abwärmenutzung

Die Hälfte der teilnehmenden Unternehmen erwartet, dass durch Abwärmenutzung Brennstoffe eingespart werden können (Abbildung 20). Gut ein Drittel vermutet außerdem Möglichkeiten, Strom einzusparen, knapp 30 % erhoffen sich monetäre Zusatzerlöse. Mehr als jedes fünfte Unternehmen sieht Potenziale in der Einsparung von Kühlwasser durch Abwärmenutzung. Rund 20 % der Unternehmen können der Abwärmenutzung keine Synergie- oder Einspareffekte zuordnen.

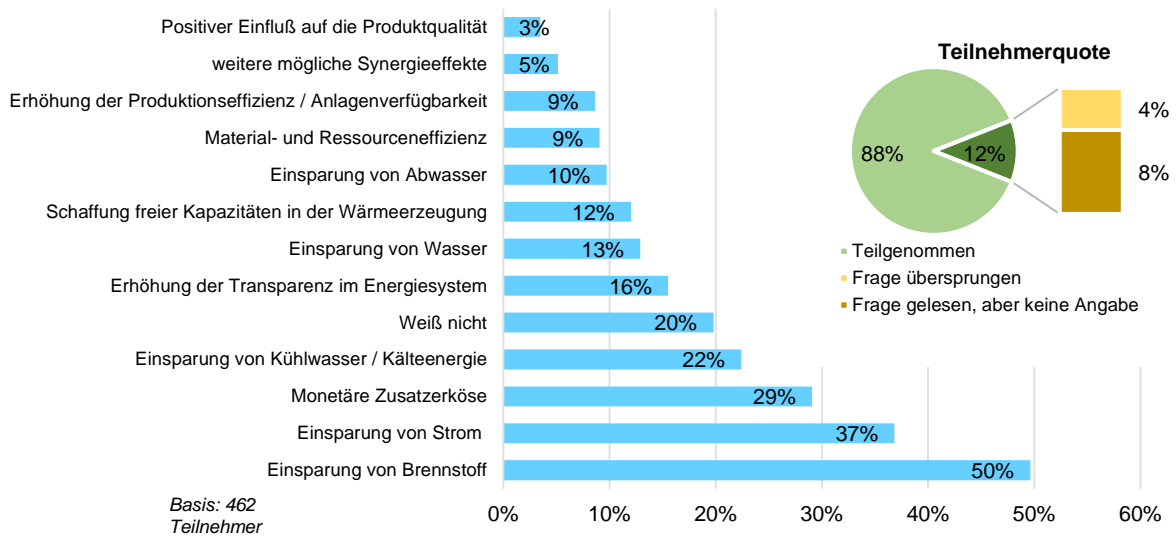


Abbildung 20: Synergie- und Einspareffekte, die durch eine Abwärmenutzung angereizt werden können

Besonders die Branchen Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen, Rückgewinnung (WZ 38) und Herstellung von elektrischer Ausrüstung (WZ 27) fallen mit jeweils über 40 %, aber auch die Branche Energieversorgung (WZ 35) mit 30 % durch besonders hohe Anteile an Unternehmen auf, die der Abwärmenutzung keine Einspar- und Synergieeffekte zuordnen konnten. Die Branche Herstellung von chemischen Erzeugnissen hat mit 87 % die meisten Unternehmen, die der Abwärmenutzung mindestens einen Einspareffekt zuordnen konnten.

Das Schließen der Informationslücke zu Einspareffekten durch Abwärmenutzung kann somit sehr wertvoll sein, denn je mehr positive Effekte in einem Abwärmeprojekt gleichzeitig erkannt werden, desto höher ist die Einsparung und umso attraktiver und schneller die Umsetzung in den Unternehmen. Diese Dynamik könnte schließlich auch zu einer schnelleren Erreichung der Klimaschutzziele in NRW beitragen.

4.3.4 Hemmnisse und Förderbedarf

Zu den häufigsten Hemmnissen zur Umsetzung von Wärmekooperationen zählen der hohe Aufsuchungs- und Konzeptionierungsaufwand interner oder externer Wärmequellen und -senken sowie die fehlenden eigenen zeitlichen und fachlichen Ressourcen zur Projektentwicklung. Diese drei Einzelhemmnisse, die einen Themenkomplex beschreiben, betreffen rund 63 % der Unternehmen, die an der Befragung teilgenommen haben. Somit erscheint die Förderung und Unterstützung dieser Bereiche, sprich die Konzeptionierung oder „Phase Null“, besonders sinnvoll für die Initiierung von Abwärmenutzungs- und -effizienzprojekten. Ein Drittel der Unternehmen sehen fehlende Anreiz- und Förderprogramme, 42 % die Kapitalbindung bzw. den Finanzierungsbedarf im nicht Kerngeschäftsbereich als Hemmnis für die Umsetzung von Wärmekooperationen (Abbildung 21).

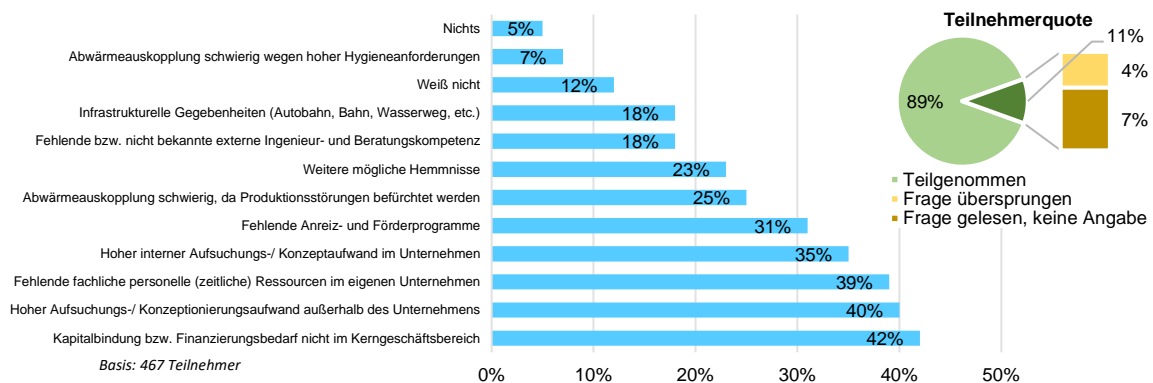
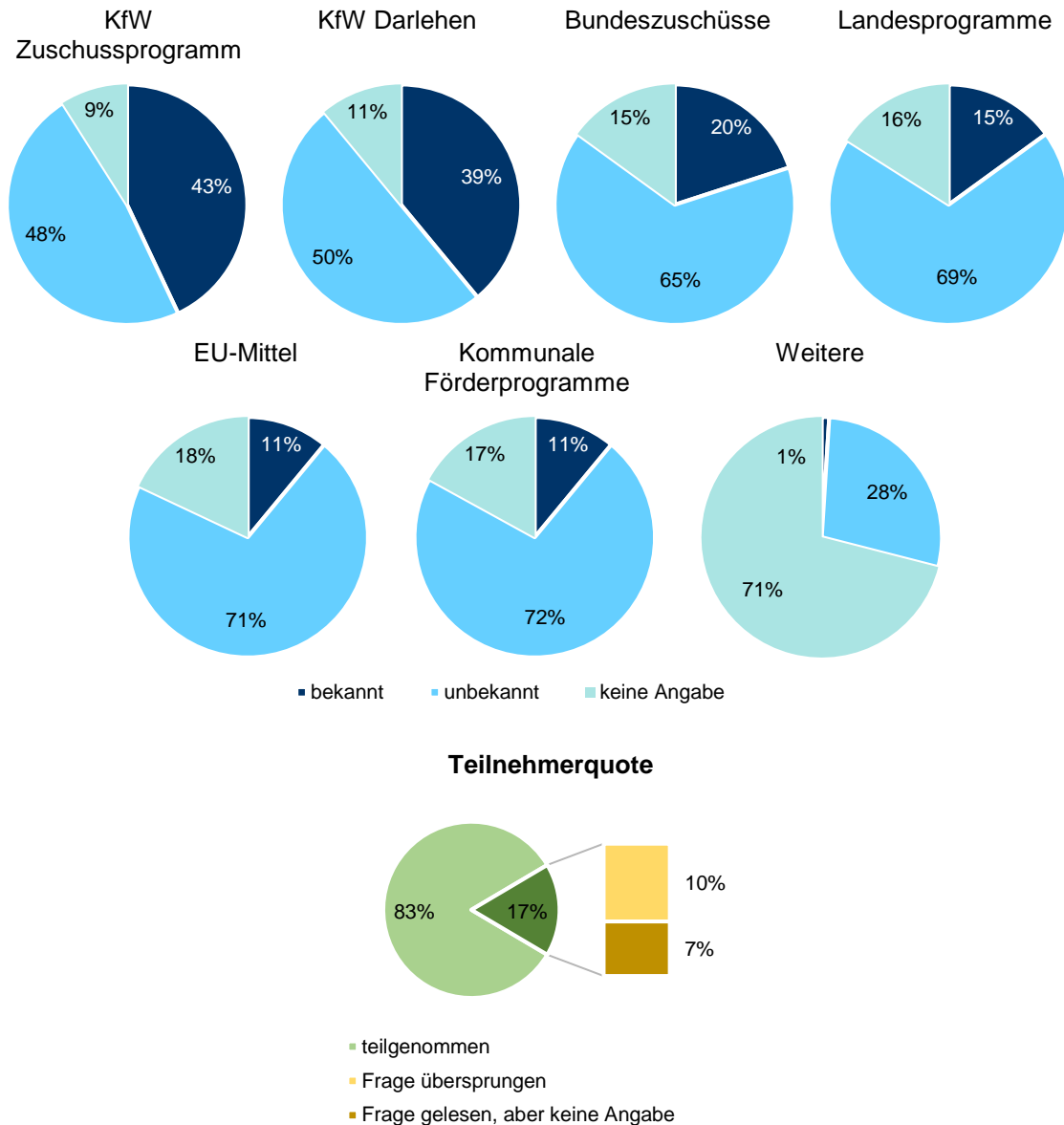


Abbildung 21: Hemmnisse für die Abwärmenutzung und Wärmekooperationen in den Unternehmen

Die Hälfte der Unternehmen, die als Hemmnis die Kapitalbindung außerhalb des Kerngeschäftsbereichs auswählten, haben auch fehlende Anreiz- und Förderprogramme angeführt.

In Abbildung 22 sind die Bekanntheitsgrade der diversen **Förderprogramme** zur Steigerung der Abwärmeeffizienz und -nutzung auf unterschiedlichen Ebenen dargestellt. Die KfW-Produkte zeigen grundsätzlich die beste Marktdurchdringung (Zuschussprogramm bekannt bei 43 % und Darlehen bei 39 % der Befragten). Dies ist auf das gute Förderimage der KfW-Bank sowie die intuitive Menüführung auf der zugehörigen Website zurückzuführen. Sonstige Bundeszuschüsse sind bereits deutlich weniger bekannt. Mit nur 15 % ist der Bekanntheitsgrad für Programme der Länder nochmals deutlich niedriger.



Basis: 437 Teilnehmer

Abbildung 22: Bekanntheitsgrade diverser Förderprogramme

Ein Nachteil von Landesprogrammen ist, dass die Unternehmen häufig Werksniederlassungen in unterschiedlichen Bundesländern haben. Somit ist davon auszugehen, dass die diversen Landesprogramme in den Unternehmenszentralen oftmals nicht bekannt sind. Fördermittel auf Bundesebene (KfW-Produkte) scheinen unter diesem Aspekt einfacher zu vermitteln zu sein. Ebenso treten die großen international agierenden Banken als wichtige Multiplikatoren von KfW-Mitteln auf. Vielen dieser Banken sind die dezentral organisierten Länderprogramme nicht so bekannt wie die KfW-Produkte. Dennoch sind auch die KfW-Programme bei weniger als der Hälfte der Unternehmen bekannt.

Zwei Drittel von 229 Unternehmen, die Beratungsbedarf im eigenen Betrieb sehen, wünschen sich mehr Informationen zur Förderung von Abwärmeprojekten (Abbildung 23). Jeder vierte Befragte meldete Interesse an Energieberatungen an. Netzwerkaktivitäten, Impulsberatung,

Branchenworkshops und weitere Beratungsangebote wurden mit 12 % bis 19 % von einem kleineren Teil der Unternehmen gewünscht.

43 % der teilnehmenden Unternehmen haben keine Angaben zu dieser Frage getätigt. Diese Zahl deckt sich mit der Quote (42 %) der Unternehmen, die sich unsicher bezüglich der grundlegenden Bereitschaft an der Mitwirkung einer Wärmekooperation sind. Dies bestätigt erneut, dass eine große Anzahl der befragten Unternehmen sich gegenwärtig noch nicht mit Abwärmekooperationen im eigenen Betrieb beschäftigt hat.

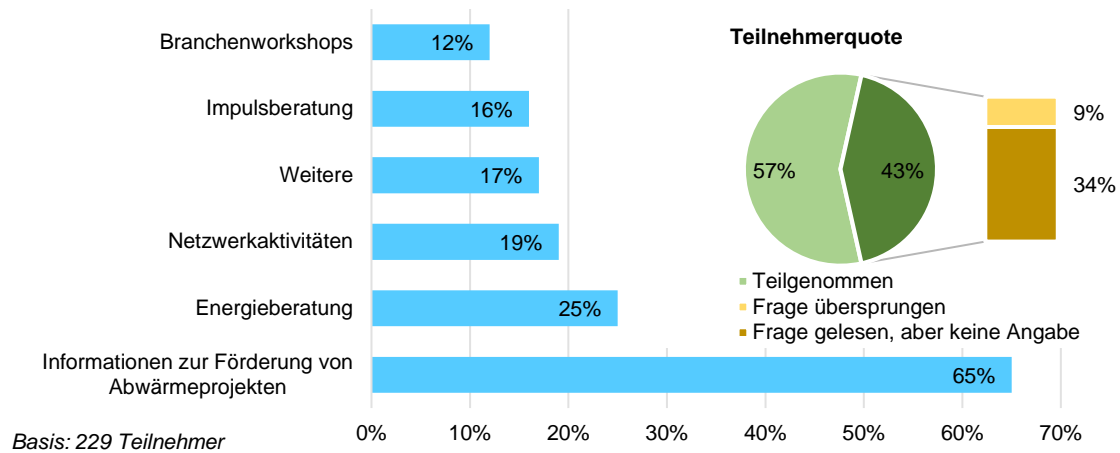


Abbildung 23: Bestehender Beratungsbedarf zum Thema Wärmekooperation

Durch Informationsmaßnahmen zu bestehenden Förderprogrammen könnte das gegenwärtig relevanteste Einzelhemmnis (Kapitalbindung bzw. Finanzierungsbedarf nicht im Kerngeschäftsbereich) deutlich entschärft und neue Projekte initiiert werden.

Als häufigste **technische Restriktion** für die Umsetzung von Abwärmeprojekten konnten die örtlichen Gegebenheiten in der Befragung identifiziert werden (Abbildung 24). Hierhinter verbergen sich z. B. zu wenig Bauraum für eine neue Abwärmennutzung, Befürchtungen vor zu hohen Druckverlusten im Abwärmemedium bei Einbau eines neuen Wärmeübertragers zur Wärmeauskopplung oder die notwendige Installation weitläufiger Heißwassernetze, die quer durch den Betrieb gezogen werden müssten. Diesen Restriktionen folgt die Angabe „weitere hemmende Faktoren“. Hier haben die Unternehmen 110 individuelle Hemmnisse freitextlich eingegeben. Etwa 30 % dieser freitextlichen Angaben beschreiben das Problem, dass die Temperaturen der Abwärmeströme zu niedrig sind und dementsprechend keine geeigneten Infrastrukturen zur Aufnahme und zum Transport dieser Energie im Unternehmen existieren. Diese Analyse zeigt, dass die teilnehmenden Unternehmen hier besondere Hürden und Handlungsschwerpunkte sehen. Sie befürchten für die Erschließung der Abwärmequellen hohe investive Aufwendungen. An dieser Stelle entstehen bereits Hemmnisse, die der Projektinitiierung im Wege stehen. Diese infrastrukturell bedingten Blockaden können häufig nur durch intensive Konzeptionierungs- und Projektierungsmaßnahmen analysiert, bewertet und technisch gelöst werden.

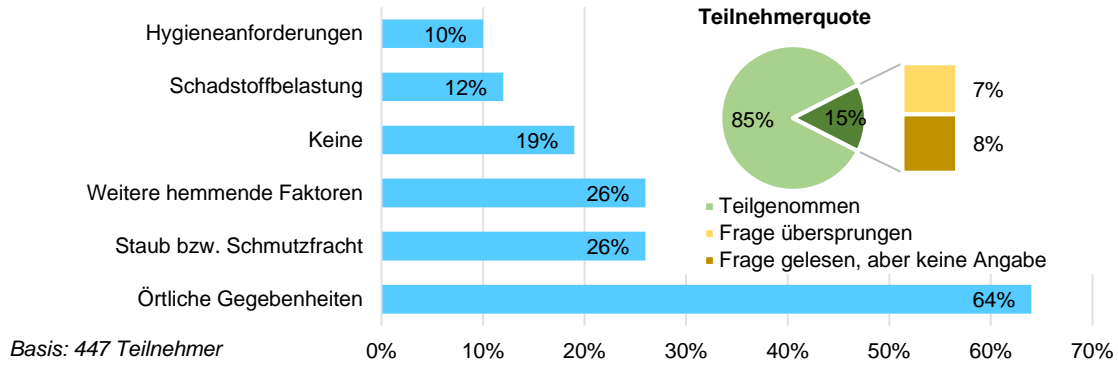


Abbildung 24: Technische Eigenschaften von Abwärmeströmen, die einer möglichen Nutzung entgegenstehen könnten

4.3.5 Akteure für Initiierung und Aufbau von Wärmekooperationen

Die beiden folgenden Befragungsergebnisse basieren auf einer deutlich reduzierten Teilnehmerzahl (60 % bzw. 45 %). Dies ist darauf zurückzuführen, dass für diese Fragen die Antwortoption „weiß nicht“ nicht angeboten wurde. Es ist davon auszugehen, dass die geringe Teilnehmerquote zeigt, dass die Frage der Rollenverteilung für die Projektinitiierung und -umsetzung für viele Unternehmen in weiter Ferne liegt.

Vier von fünf Unternehmen sehen die Aufgabe, Wärmekooperationen zu initiieren, bei den örtlichen Energieversorgern (Abbildung 25). Über 40 % der Unternehmen sehen auch die Kommunalpolitik in der Pflicht. Das eigene Unternehmen wird hingegen nur von einem Drittel als möglicher Initiator gesehen. Contracting-Unternehmen und Projektentwickler, deren Geschäftsmodelle oftmals die Initiierung von Wärmekooperationen beinhalten, werden auf den hintersten Plätzen gesehen.

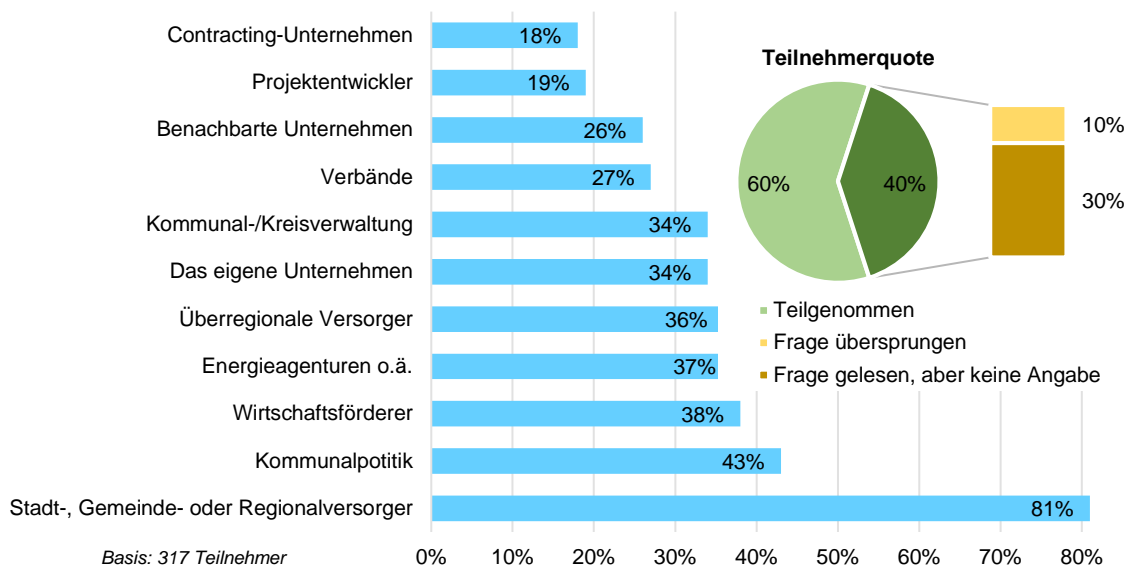


Abbildung 25: Mögliche Initiatoren von Wärmekooperationen aus Sicht der Industriebetriebe

In Bezug auf den Auf- und Ausbau von Wärmekooperationen sehen die Unternehmen sich selbst deutlich stärker in der Pflicht (Abbildung 26). Da im Rahmen solcher Projekte natürlich auch erhebliche Maßnahmen im Verantwortungsbereich der Unternehmen umgesetzt und organisiert werden müssen, ist diese Einschätzung nachvollziehbar. Dennoch steht auch hier der örtliche Versorger an erster Stelle. Projektentwickler und Contractor agieren erneut auf den letzten Rängen.

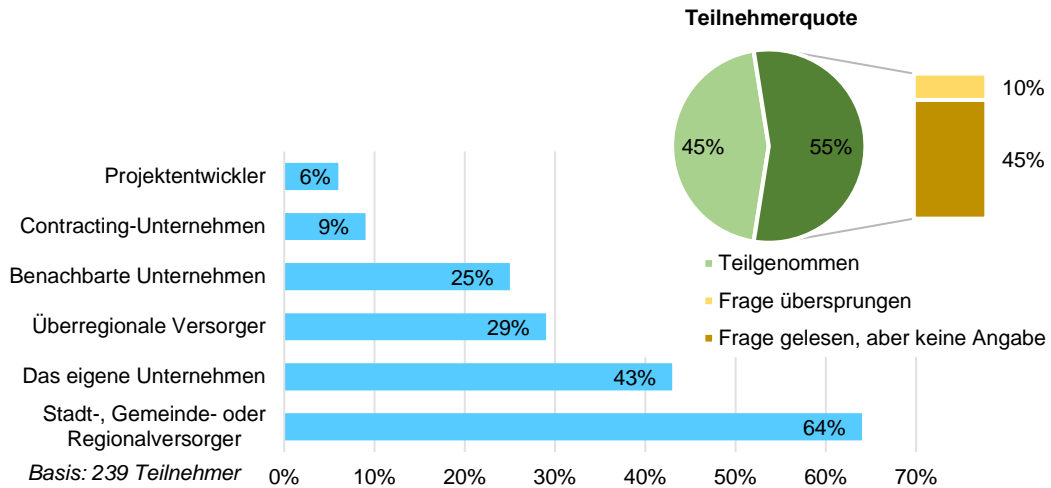


Abbildung 26: Mögliche Akteure zum Auf- und Ausbau von Wärmekooperationen aus Sicht der Industrieunternehmen

Zusammenfassend sehen die Unternehmen insgesamt die örtlichen Versorger mit einem weiten Vorsprung in der Rolle des Initiators und Umsetzers von Wärmekooperationen. Gegenwärtig dürften allerdings Anspruch und Wirklichkeit bezogen auf die Projektentwicklungskompetenz der örtlichen Energieversorger weit auseinanderliegen. Leider verfügen die örtlichen Energieversorgungsunternehmen in der Regel noch nicht über Kompetenzen und erprobte Geschäftsmodelle hinsichtlich der Entwicklung und Umsetzung von abwärmebasierten Wärmekooperationen mit Industrieunternehmen. Oftmals wird seitens der Versorger die Frage, wer die Wärmekooperation initiieren und umsetzen sollte, sogar genau umgekehrt beantwortet, sodass aus dieser Sicht die Industrieunternehmen konkret auf die Versorger zugehen sollten.

Einen Sonderfall zur Frage des Auf- und Ausbaus von Wärmekooperationen in Unternehmen stellen die Unternehmen in Industrie- oder Chemieparks dar. Hier benennen 45 % aller Teilnehmer das benachbarte Unternehmen als möglichen Akteur (Abbildung 27), womit Industrie- oder Chemiaparkbetreiber gemeint sind. Diese übernehmen die Energie- bzw. Medienversorgung der dort angesiedelten Betriebe und sind somit als Betreiber der übergeordneten Infrastruktur verantwortlich für deren Bereitstellung.

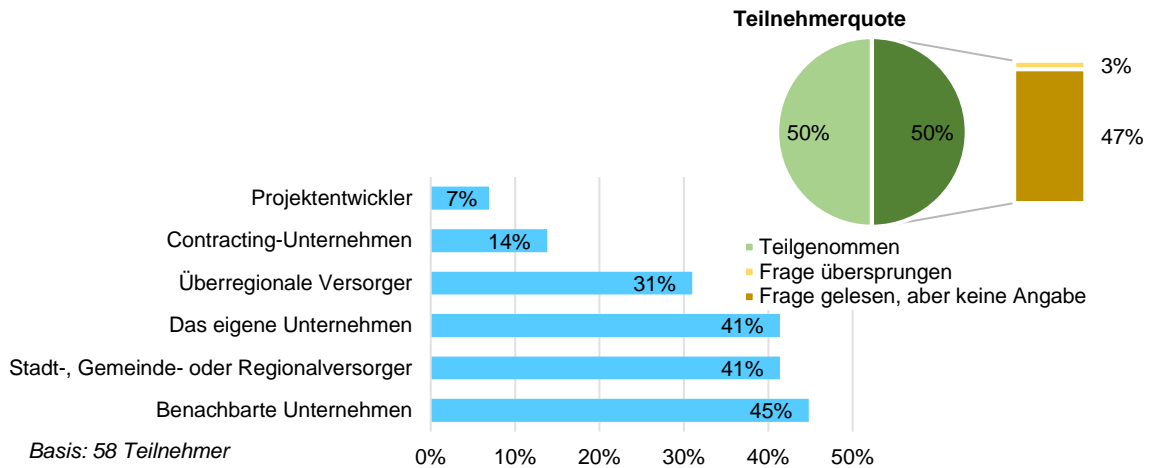


Abbildung 27: Mögliche Akteure zum Auf- und Ausbau einer Wärme Kooperation bei Unternehmen, die in Industrie- oder Chemieparken angesiedelt sind

4.3.6 Temperaturniveaus der Abwärmeströme

In Abbildung 28 wird die ermittelte Abwärmemenge nach dem Temperaturniveau für eine mögliche Nutzung in Wärmenetzen aufgeschlüsselt. Bemerkenswert ist, dass etwa 64 % der erfassten Abwärmemengen auf einem Hochtemperaturniveau von über 110 °C zur Verfügung stehen. Der angegebene Temperaturbereich bezieht sich hierbei auf die mögliche obere Nutzttemperatur, also z. B. die Vorlauftemperatur in einem Wärmenetz.

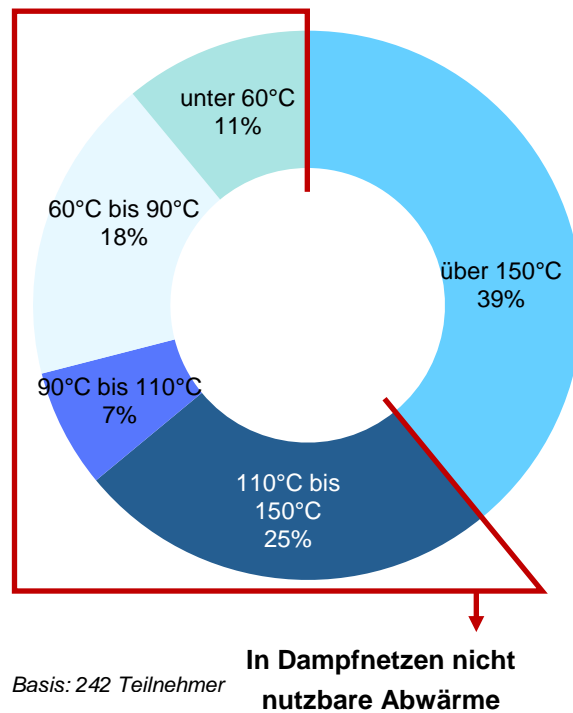


Abbildung 28: Aufteilung der erfassten Abwärmemengen nach Nutzttemperaturniveau

Mindestens 60 % bis 70 % der in den Unternehmen identifizierten Abwärmequellen können aufgrund des verhältnismäßig niedrigen Temperaturniveaus (unter 150 °C) nicht über ein Dampfnetz erschlossen werden. In den meisten Fällen existieren in den abwärmerelevanten Industriebranchen nur Dampf- und keine Heißwassernetze. Demnach müssen die Unternehmen, um die identifizierten ungenutzten Abwärmepotenziale auf diesem Temperaturniveau einer internen oder externen Nutzung zuführen zu können, in den Ausbau von Heißwasserinfrastrukturen investieren. Diese Investitionen müssen sensibel geplant und parallel zur laufenden Produktion umgesetzt werden. Umschlüsse und Inbetriebsetzungen sind nur im Rahmen von Produktionsstillständen möglich. Daher nimmt die Erschließung der ungenutzten Abwärmepotenziale einen längeren Zeitraum in Anspruch. Je nach Größe und Komplexität des Projektes ist von einem Umsetzungszeitraum für Analyse, Konzeptionierung bis zum fertigen abwärmebasierten Infrastruktursystem zwischen zwei und fünf Jahren auszugehen. Somit ist die Projektlaufzeit auf Seiten der Industrieunternehmen ähnlich umfangreich wie die Projektlaufzeit im Bereich der Energieversorger.

Insofern sollten die infrastrukturellen Ausgangssituationen und die damit verbundenen projekttechnischen Herausforderungen für die Unternehmen in der Abwärmestrategie des Landes NRW und in möglichen neuen Förderprogrammen Berücksichtigung finden. Da KfW-Mittel den größten Bekanntheitsgrad aufweisen, wären Fördermittel auf Bundesebene besonders zielführend.

4.4 Abgeleitete Kernaussagen der Befragung

Zusammenfassend sind anhand der Unternehmensbefragung folgende Punkte aufzuführen:

- Mehr als ein Drittel der Unternehmen hat Interesse an einer Abwärmekooperation als Wärmequelle, 12 % der Unternehmen würden externe Wärme aufnehmen. 42 % der Unternehmen sind bezüglich einer Abwärmekooperation unentschlossen, nur 11 % schließen eine Wärmekooperation für ihr Unternehmen aus (Basis: 489 Teilnehmer).
- Es gibt ein großes Bedürfnis nach Information und Aufklärung zu abwärmerelevanten Förderprogrammen in den Unternehmen. Ungefähr 20 % der Industrieunternehmen (Basis: 462 Teilnehmer) können einer Abwärmennutzung keine konkreten Einspareffekte zuordnen. Wenn diese Informationslücke geschlossen werden würde, könnten weitere Wärmekooperationen angereizt werden.
- Das Hemmnis „Kapitalbindung und Finanzierungsbedarf im Nichtkerngeschäftsbereich“ könnte durch intensive Informationskampagnen zu Förderprogrammen auf die hinteren Plätze verwiesen werden.
- Die Unternehmen stehen vor einer Transparenz-, Aufsuchungs- und Konzeptionierungshürde. Durch gezielte (bundesweite) Förderprogramme, die die Phase Null, also die Aufsuchung und Konzeptionierung von Abwärmeprojekten und Wärmekooperationen, adressieren und so bei der Reduzierung von Kapital- und Finanzmittelbedarf im Nichtkerngeschäftsbereich helfen, könnten vermehrt Maßnahmen zur Abwärmennutzung initiiert und so eine flächendeckende Dynamik erzeugt werden.

- Um die ungenutzten Abwärmepotenziale der Unternehmen erschließen zu können, müssen in der Industrie flächendeckend insbesondere Heißwasserinfrastrukturen entwickelt und im laufenden Produktionsprozess installiert werden. Insofern könnte die Berücksichtigung der benötigten infrastrukturellen Ausgangssituation und die damit verbundenen projekttechnischen Herausforderungen für die Unternehmen in der Abwärmestrategie des Landes NRW Abhilfe schaffen. Mögliche neue Förderprogramme zur Erschließung der Abwärmepotenziale auch auf Landes- und Bundesebene könnten geeignete Maßnahmen sein, um diese Entwicklung anzustoßen.
- Die Rollenverteilung für die Initiierung und Umsetzung von Wärmekooperationen ist nicht klar geregelt. Die Unternehmen sehen diese Aufgabe bei den örtlichen Energieversorgern. In Chemie- und Industrieparks sollte aus Sicht der dort ansässigen Unternehmen der Parkbetreiber diese Rolle übernehmen. Dazu müssen seitens der Energieversorger dringend geeignete Geschäftsmodelle entwickelt und erprobt werden. Zur Unterstützung der Umsetzung von Wärmekooperationen könnte eine geeignete Förderkulisse helfen, die das Risiko der Wärmekooperationspartner abmildert.

5 Abwärmepotenziale auf Basis der Befragung

Die Unternehmensbefragung richtete sich an 1857 Unternehmen, die entweder nach der 11. BImSchV zur Emissionserklärung verpflichtet sind oder als stromintensive Unternehmen durch Antrag beim BAFA von einer verringerten EEG-Umlage profitieren und aufgrund der Branchenzuordnung als abwärmerrelevant eingestuft wurden. Insgesamt konnten im Zuge der Befragung von 242 Unternehmen detaillierte Informationen zu 588 Einzelprozessen ermittelt werden. Im Folgenden werden die Auswertungsmethoden und die so ermittelten Abwärmepotenziale aus der Befragung dargestellt. Dabei wird sowohl auf die betrachteten Anlagenarten als auch auf die Korrekturmethode und Rahmenbedingungen in der Bearbeitung eingegangen.

5.1 Auswertungsmethode zur Ableitung des Abwärmepotenzials aus der Befragung

Bei der Berechnung der Abwärmepotenziale wurden folgende Anlagen und Systeme unterschieden:

- | | |
|----------------------|---|
| Energieanlagen: | <ul style="list-style-type: none"> - Wärmeerzeuger (Dampf, Heizwasser, Thermoöl etc.) - KWK-Anlagen (Gasturbinenanlagen, BHKW, Kessel und Dampfturbinen) - Druckluftherzeugungsanlagen - Kälteanlagen |
| Produktionsprozesse: | <ul style="list-style-type: none"> - wasserbasierte Systeme - dampfbasierte Systeme - abgasbasierte Systeme - produktionsgasbasierte Systeme - produktstrombasierte Systeme |

Im Folgenden werden für diese unterschiedlichen Anlagentypen die Berechnungswege kurz umrissen.

Für **Anlagen zur Wärmeerzeugung und KWK-Anlagen** erfolgte die Berechnung der Abwärme aus den Rauchgasen vor Eintritt in den Kamin, also nach der eigentlichen Wärmenutzung hinter den bestehenden Anlagen. Hierfür wurde sowohl die Rauchgastemperatur hinter den Anlagen als auch die niedrigste erlaubte Rauchgastemperatur am Kamineintritt abgefragt. Bei Nichtangabe dieser Parameter im Fragebogen erfolgte eine Annahme technologietypischer Ersatzwerte. Als weitere Eingangsparameter wurden der Jahresbrennstoffeinsatz abgefragt und ein Luftüberschuss λ brennstoff- und technologieabhängig abgeschätzt. Weitere Annahmen, wie z. B. spezifische Wärmekapazität und Brennstofffeuchte, wurden im Rahmen der projektbegleitenden Arbeitsgruppe diskutiert und abgestimmt. Speziell bei KWK-Anlagen ist im Rahmen der Unternehmensbefragung häufig eine bereits genutzte Abwärmemenge angegeben worden, die einen erheblichen Prozentsatz des eingesetzten Brennstoffs ausmacht. In diesem Fall muss davon ausgegangen werden, dass die Angabe sich auf die primäre Wärmenutzung der KWK-Anlage bezieht. Ist der auf diese Weise ermittelte Wärmenutzungsgrad der

KWK-Anlage bezogen auf die KWK-Technologie zu niedrig, wurde auf diesem Weg ein weiteres verstecktes Abwärmepotenzial identifiziert.

Für **Anlagen zur Drucklufterzeugung** wurde über die eingesetzte elektrische Energie der Druckluftverdichter die Abwärmemenge berechnet. Da in vielen Druckluftanlagen eine vorhandene Druckluftaufbereitung mit Trocknung oder Ölabscheidung nachgeschaltet ist, kann der Stromeinsatz sowohl auf die Gesamtanlage inkl. Trockner als auch alleinig auf den Verdichter bezogen werden.

Grundsätzlich festzustellen ist, dass bei einer Verdichtung von Luft ein sehr großer Anteil der eingesetzten Energie in die Überhitzung der Luft und alle umliegenden Bauteile eingebracht wird. Zur Berechnung wurde davon ausgegangen, dass 70 % der eingesetzten elektrischen Arbeit am Verdichter als Abwärme ausgekoppelt werden kann.

Bei der Ermittlung von Abwärmepotenzialen aus **Kälteanlagen** wurde nur die direkt nutzbare Abwärme in den Fokus gestellt. Die Datenerhebung zielte grundsätzlich auf klassische Verdichter-Kälteanlagen ab. Diese weisen Abwärmepotenziale im Temperaturbereich von ca. 60 °C auf. Bei Absorptionskälteanlagen hingegen fällt die Abwärme auf einem klassischen Kühlturm-Temperaturniveau von ca. 33 °C an. Ein Anheben dieses Temperaturniveaus auf eine höhere Nutztemperatur ist nur über den Einsatz von Wärmepumpen (Sekundärtechnologie) möglich. Aus diesem Grund werden diese Potenziale im Rahmen der Studie nicht weiter betrachtet. Bei Verdichter-Kälteanlagen hingegen sind grundsätzlich drei potenzielle Abwärmeauskopplungsstellen denkbar: An den Rückkühlwerken, bei der Ölkühlung und am Enthitzer, wobei die Rückkühlwerke aufgrund niedrigerer Temperaturen und die dadurch bedingte Notwendigkeit zum Einsatz von Wärmepumpen in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden.

Auch für Kälteanlagen wurde davon ausgegangen, dass etwa 70 % des Stromverbrauchs der Gesamtanlage für die Verdichter benötigt werden und somit abwärmerelevant ist. Die übrigen 30 % entfallen auf Lüfter und Pumpen.

Zur Berechnung der Abwärmepotenziale aus **Produktionsprozessen** liegen Informationen zu den wärmeaustauschenden Medien, den Temperaturen im Ein- und Austritt sowie zum Massenstrom vor, welcher typischerweise über den Wärmeübertrager gefahren wird. Die Zuordnung der spezifischen Wärmekapazität erfolgte hierbei über die Angabe des Mediums. Bei Nichtangabe der Prozesslaufzeit wurde diese über das zumeist im Fragebogen angegebene Schichtmodell abgeleitet, also der Anzahl an Schichten der Mitarbeitenden im Betrieb (meist eine oder zwei Schichten bzw. kontinuierlicher Betrieb).

Fehlerbetrachtung und Beschreibung der Korrekturmethode

In der Regel sind die Abwärmemengen von fachkundigen Mitarbeitenden der Unternehmen unter Kenntnis der Anlagen konkret berechnet und dann in den Fragebogen eingegeben worden. Alternativ konnten die Mitarbeitenden der teilnehmenden Unternehmen verlässlich ableitbare Parameter angeben, wie z. B. die eingesetzte Erdgasmenge an einem Dampfkessel zur Wärmeerzeugung, und so die Grundlagen für die Berechnung liefern. Sicherlich bilden die Parameter im Einzelfall nicht alle Besonderheiten der Anlagen ab, sodass die einzelnen Zahlen in Realität abweichen können. Da aber alle in das Ergebnis einfließenden Annahmen bewusst so gewählt wurden, dass eine mögliche Überbewertung ähnlich wahrscheinlich ist wie

eine Unterbewertung der Abwärmepotenziale, profitiert das Ergebnis bereits deutlich vom statistischen Effekt. Allerdings trat ein systematischer Fehler in den Teilnehmerangaben vermehrt auf: Um Tippfehler durch sieben- bis zehnstellige Zahlen zu vermeiden, sind alle Brennstoff-, Strom- und Abwärmemengen im Fragebogen grundsätzlich in MWh/a abgefragt worden. In diesem Punkt konnte bei der Plausibilisierung der Daten herausgestellt werden, dass die Eingaben der Prozessdaten in ca. 10 % der Fälle in der Einheit kWh/a vorliegen und somit ein nicht unerheblicher Teil der Teilnehmer die notwendige Umrechnung nicht vorgenommen hat.

In der **ersten Korrekturrunde** sind 24 Unternehmen kontaktiert worden, die offensichtlich fehlerbehaftete Eingaben (Dimensionsfehler) getätigt haben. Davon haben sich bei 17 Unternehmen maßgebliche Korrekturen ergeben. Die hier beschriebene Korrekturmethode konnte aufgrund fehlender Kontaktinformationen jedoch nur begrenzt Anwendung finden.

Beim **zweiten Korrekturansatz** wurde in den unternehmensindividuellen Feedbackberichten Hinweise zur Plausibilitätskontrolle an relevanten Stellen gegeben. 18 Unternehmen haben diese Möglichkeit genutzt, um Korrekturen vorzunehmen.

Dort, wo trotz der beiden zuvor beschriebenen Methoden sehr große Abwärmemengen (etwa > 50.000 MWh/a) an einer Anlage ausgewiesen worden sind, erfolgte im **dritten Korrekturschritt** ein Abgleich mit den 11. BImSchV-Daten. In manchen Fällen konnten dadurch große Ausreißer innerhalb der Unternehmensbefragung bestätigt werden. Für nicht 11. BImSchV-pflichtige Abwärmequellen konnte dieses Verfahren nicht angewendet werden.

Als **letztes Mittel** wurden Freihand-Korrekturen mit dem Ziel durchgeführt, die „Faktor 1000-Fehler“ weitestgehend zu eliminieren. Diese Methode fand dort Anwendung, wo nach den drei vorherigen Korrekturansätzen nach wie vor eine untypisch große Abwärmemenge (bezogen auf Branche und Unternehmensgröße) verblieb. Mittels Kurzrecherche sind hierzu eine Reihe von relevanten Informationen zusammengetragen (z. B. Luftbilder, Pressemitteilungen, Unternehmenswebsite) und zur Plausibilisierung herangezogen worden. Anhand dieser Bewertung konnten die ermittelten Abwärmemengen trotz ihrer Größe teilweise als realistisch eingestuft werden.

Durch die Korrekturen konnte die Qualität der Befragungsergebnisse erheblich gesteigert und das ermittelte Abwärmepotenzial um den Faktor 10 verringert werden. Auffällig ist, dass durch die Korrekturen alle Abwärmemengen größer eine Millionen Megawattstunden pro Jahr entfernt wurden. Alle Abwärmemengen größer 50.000 MWh pro Jahr wurden geprüft. Somit würde ein Faktor 1000-Fehler bei unter 50 MWh pro Jahr liegen, was im Verhältnis zur durchschnittlichen Abwärmemenge sehr gering ist. Statistische Analysen zeigen, dass aufgrund der gewählten Korrekturmethode und der verbliebenen Abwärmepotenziale eine Überschätzung von maximal 3 % der ermittelten Gesamtabwärmemenge möglich ist. Hingegen ist es sehr wahrscheinlich, dass das Ergebnis die Abwärmemenge sogar unterschätzt, da zu kleine Potenziale nicht in der Korrekturrunde überprüft wurden.

5.2 Abwärmepotenziale aus der Unternehmensbefragung

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum technisch verfügbaren Abwärmepotenzial aus den Befragungsteilen Energieanlagen „E“ und Produktionsanlagen „F“ dargestellt.

5.2.1 Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Abwärmepotenziale

Als Abwärmepotenzial werden nur Wärmeströme ausgewiesen, die direkt über Wärmenetze nutzbar gemacht werden können. Hierfür ist vor allem ein ausreichend hohes Temperaturniveau ausschlaggebend. Die Grenze wurde auf eine Nutztemperatur im Wärmenetz von 40 °C festgelegt. Deutlich herausgestellt werden muss aber auch, dass dieses Temperaturniveau eine sehr spezielle Einbindung der Wärme erforderlich macht. Diese weniger wertvolle Abwärme zwischen 40 °C und 60 °C soll nicht unterschlagen werden, weist aber auch nur ca. 11 % der ermittelten Abwärmemenge auf. Unterhalb von 40 °C ergeben sich erhebliche Energiemengen, die aber nicht Gegenstand dieser Erhebung sind.

Bei der Erhebung werden drei Typen von KWK-Anlagen berücksichtigt: Dampfturbinen, Gasturbinen und Motor-BHKW. Diese stellen einen Sonderfall dar, weil insbesondere bei Dampfturbinen der Wärmenutzung des Abdampfs aus der Gasturbine kaum ein Abwärme-Charakter zugesprochen werden kann. Sollte die primäre Wärmenutzung einer KWK-Anlage allerdings nicht ausgeschöpft sein, wird diese Wärmemenge als freies Abwärmepotenzial im Sinne dieser Untersuchung betrachtet. Dieser Fall tritt z. B. bei einem stromgeführten Betrieb der Anlage und Abfuhr überschüssiger Wärme über den Notkühler auf.

5.2.2 Abwärmepotenzial aus konkreten Abwärmeangaben

Im Rahmen der Unternehmensbefragung haben 526 Unternehmen ihre Einschätzungen in den Kapiteln A bis D abgegeben. Von diesen Unternehmen beteiligten sich wiederum 242 (46 %) mit detaillierteren Angaben zu Abwärmemengen aus Energieanlagen (E) und Produktionsprozessen (F) an der Befragung. Insgesamt sind von den Teilnehmern in den Kapiteln E und F 588 Potenziale aus einzelnen Anlagen/Wärmequellen ausgewiesen worden. Dieses entspricht im Durchschnitt ca. 2,5 Abwärmequellen pro Teilnehmer. Insgesamt beläuft sich das Abwärmepotenzial der angegebenen Energieanlagen und Produktionsprozesse auf 7,5 TWh/a.

Aus Abbildung 29 a ist die Verteilung der Abwärmemengen auf die Quellentypen ersichtlich. Die Abwärmerückgewinnung aus Produktionsprozessen nimmt eine besondere Stellung ein. Sie macht fast die Hälfte der erfassten Abwärmemenge aus. Als weiterer, häufig auftretender Quellentyp fällt die Abwärme aus KWK stark ins Gewicht, vor allem im Vergleich zur Abwärme aus Wärmeerzeugern. In der Vergangenheit waren KWK-Projekte in der Industrie häufig durch eine lukrative Einsparkonstellation auf der Stromseite getrieben. Daraus ergibt sich auf der Wärmeseite eine eher unterentwickelte Ausnutzungsrate. Diese nicht ausgenutzte KWK-Wärme fließt in die ermittelten Abwärmepotenziale mit ein. Weiter zeigt sich, dass die Abwärme aus Kälteanlagen in dieser Erhebung eine eher untergeordnete Rolle spielt. Dies liegt in erster Linie an der Auswahl der adressierten Branchen. Lager und Logistikunternehmen würden hier vermutlich größere Potenziale aufweisen.

In Abbildung 29 b ist die prozentuale Verteilung der Einzelpotenziale je Quellentyp erfasst. Wärme- sowie Druckluftherzeuger kommen praktisch in jedem Industriebetrieb vor und sind zudem als Abwärmequellen einschlägig bekannt. Daher entfallen hierauf die meisten Angaben. Bei Wärmeerzeugern, Anlagen zur Druckluftherzeugung und Kälteanlagen überwiegt die Erfassungsart *Parameterangabe* deutlich. Das liegt vermutlich daran, dass auf die eingesetzten Brennstoff- bzw. Strommengen in der Regel einfach zurückgegriffen werden kann. Für Abwärme aus Produktionsprozessen und KWK hingegen sind die beiden Erfassungsarten gleichermaßen angewandt worden. Die Erfassung von Abwärme aus Produktionsprozessen ist schwieriger, da in Industriebetrieben häufig die Mitarbeitenden, die für die Energieversorgung des Betriebs zuständig sind, kaum Einblicke in die Produktionsprozesse haben. Die konkreten, physischen Abwärmeströme in der Produktion sind häufig nicht bekannt und messtechnisch nicht erfasst bzw. nicht erfassbar. Ein Abgleich der tatsächlichen Situation in den befragten Unternehmen und den Antworten aus den Fragebögen zeigt, dass die Dunkelziffer vorhandener Abwärmequellen, die nicht angegeben worden sind, bei den Produktionsprozessen mit Abstand am größten ist. Es ist also davon auszugehen, dass die tatsächlichen Abwärmepotenziale aus Produktionsprozessen in vielen der befragten Branchen deutlich höher sind.

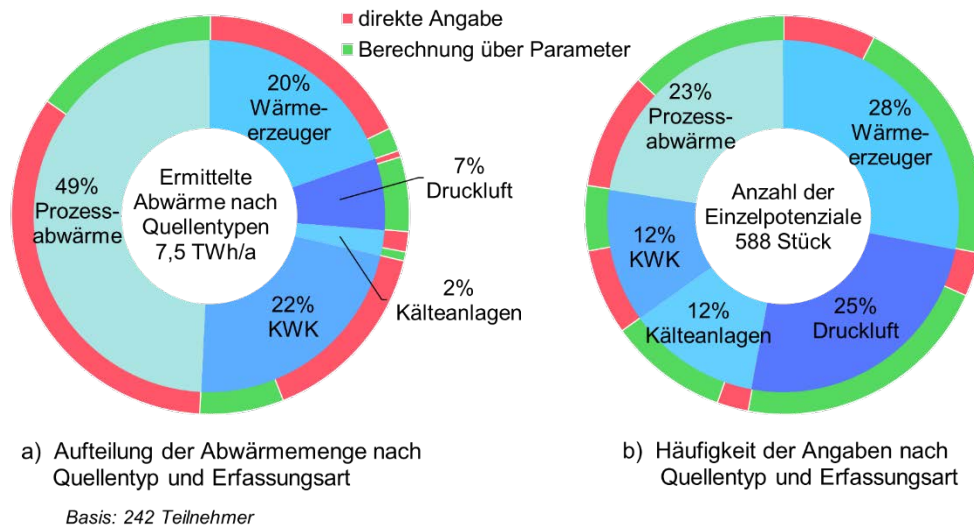
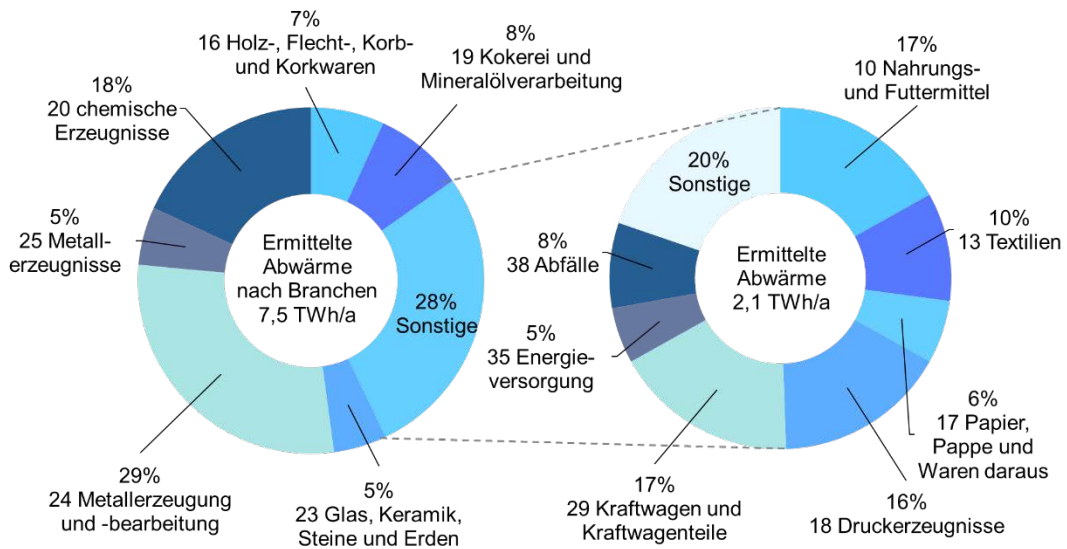


Abbildung 29: Aufteilung der erfassten Abwärmemengen nach Quellentyp und Erfassungsart in der Befragung

Die ermittelten Abwärmepotenziale konnten größtenteils auch den einzelnen Branchen zugeordnet werden. Abbildung 30 ist zu entnehmen, wie sich die ermittelte Abwärmemenge aus den Fragebogenteilen E und F auf die Branchen verteilt. Als einzelne Branchen hervorzuheben sind hier vor allem die Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ 24) und die Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ 20). Sie machen zusammen fast die Hälfte des gesamten Abwärmepotenzials aus. Insgesamt entfallen auf die sechs abwärmerelevantesten Branchen 72 % des Abwärmeeaufkommens. Somit ist nur etwas mehr als ein Viertel (2,1 TWh/a) des Potenzials den übrigen Branchen zuzuordnen.



Basis: 242 Teilnehmer

Abbildung 30: Aufteilung der erfassten Abwärmemengen nach Branchen

Etwa 64 % der erfassten Abwärmemengen befinden sich auf einem Nutzwärmeniveau von über 110 °C und sind somit zumeist geeignet, um in bestehende Wärmenetze zur Deckung des Heizbedarfs in Gebäuden eingebunden zu werden, ohne dass diese gänzlich umgestellt werden müssten. Oftmals wäre es auch möglich, benachbarte Industrie- oder Gewerbegebiete mit dieser Abwärme zu versorgen.

6 Abwärmepotenziale auf Basis von Emissionsdaten

Zur Ermittlung der technisch verfügbaren Abwärmepotenziale in NRW wurden zusätzlich zu Unternehmensbefragung die Emissionserhebungen des Landes NRW gemäß 11. BImSchV mit dem Stand von 2012 ausgewertet. Dieser Schritt erfolgte einerseits, da im Vorfeld der Befragung nicht abgeschätzt werden konnte, ob eine repräsentative Anzahl an Unternehmen teilnehmen würde, andererseits, um eine zusätzliche Datenbasis für einen Abgleich mit den Befragungsergebnissen, den lokalen und regionalen Untersuchungen sowie der Hochrechnung zu erzeugen. Die Ergebnisse dieser Auswertung werden im Wärmekataster des Energieatlas.NRW auch standortscharf veröffentlicht, sofern der Schutz personenbezogener Daten gewährleistet ist.

In der 11. BImSchV sind alle Anlagen nach § 1 der 4. BImSchV aufgeführt, von denen relevante Emissionen ausgehen. Basis dieser Verordnung ist das „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG)“. Die Ermittlung der Emissionen kann hierbei auf drei Wegen erfolgen (§ 5 11. BImSchV):

- Messungen: Fortlaufend aufgezeichnete Messungen oder repräsentative Einzelmessungen, insbesondere aufgrund von Anordnungen nach § 26 oder § 28 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.
- Berechnungen: Begründete Berechnungen unter Verwendung von Emissionsfaktoren, Energie- und Massenbilanzen oder Analyseergebnissen.
- Schätzungen: Auf Grundlage von Massenbilanzen, Messergebnissen oder Leistungs- oder Auslegungsdaten gleichartiger Anlagen oder Schätzungen auf der Basis vergleichbarer Grundlagen.

Die jeweils genutzte Art der Angabe verteilen sich in NRW annähernd gleichmäßig: So erfolgen 38 % durch Messungen, 36 % mittels Berechnungen und 26 % anhand von Schätzungen.

6.1 Auswahl und Kategorisierung der Anlagen mit Abwärmepotenzial

In NRW waren 2012 insgesamt 2058 Betriebe mit ca. 16.000 Anlagen mit Brennstoffeinsatz zu einer Emissionserklärung nach der 11. BImSchV verpflichtet. Diese weisen Emissionen und somit ein theoretisches Potenzial auf.

In der Regel ist davon auszugehen, dass es sich bei abwärmerelevanten Anlagen der 11. BImSchV um Energieanlagen handelt, die für industrielle Zwecke Prozesswärme in Form von Heißwasser, Dampf, Strahlung, Heißluft o. ä. zur Verfügung stellen. Weiterhin sind auch Anlagen der Prozessindustrie in den Unterlagen der 11. BImSchV gelistet, wie z. B. Schweißanlagen. Diese werden aber zumeist aufgrund ihrer geringen Abgastemperaturen in der nachfolgend beschriebenen Plausibilitätskontrolle aussortiert und somit nicht weiter ausgewertet. Strombasierte Prozesse sind in der 11. BImSchV nicht erfasst. Die in der 11. BImSchV gelisteten brennstoffeinsetzenden Unternehmen sind für ca. 42 % des gesamten Brennstoffeinsatzes im Verarbeitenden Gewerbe in NRW verantwortlich, wie ein Abgleich der angegebenen

Brennstoffmengen aus der 11. BImSchV mit dem Statistischen Jahrbuch NRW zeigt (IT.NRW, 2017). Abbildung 31 zeigt die regionale Verteilung dieser Betriebsstandorte.

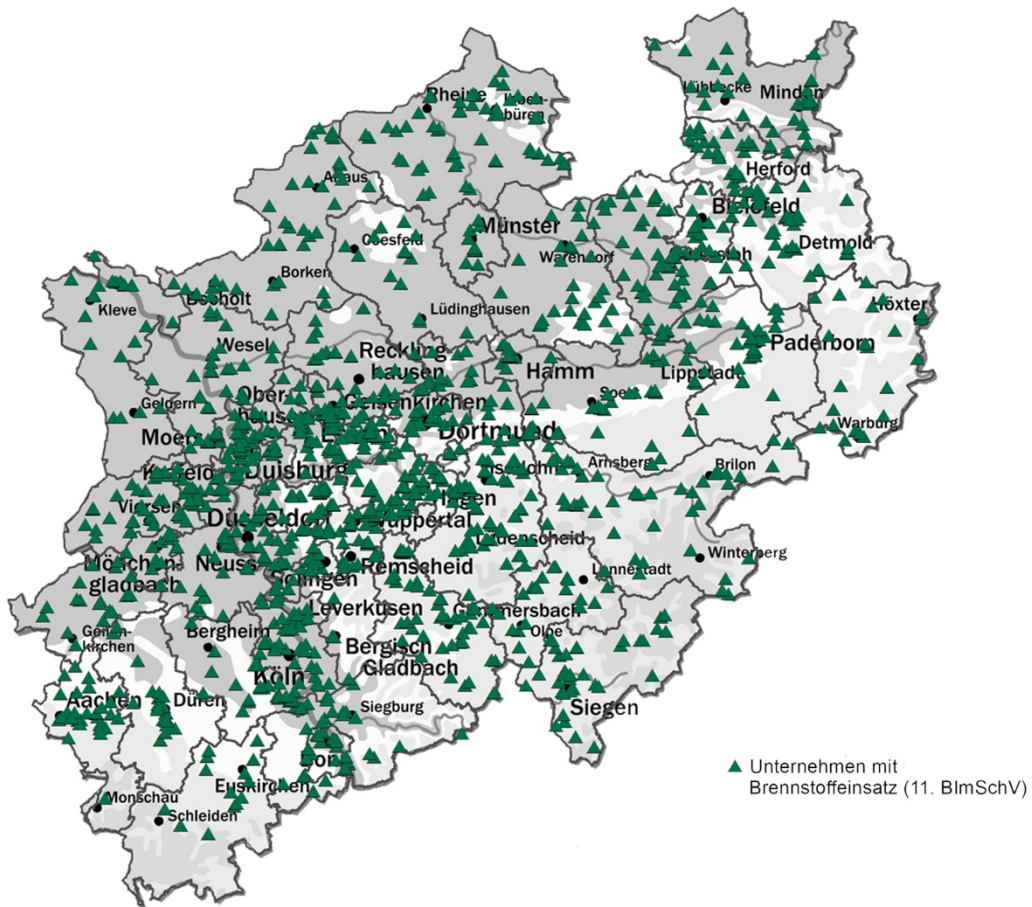


Abbildung 31: Standorte mit Brennstoffeinsatz nach 11. BImSchV

6.2 Plausibilitätskontrolle

Fehlerhafte Datensätze konnten bei der Bearbeitung nicht berücksichtigt werden. Abbildung 32 zeigt schematisch, in Anlehnung an Brückner (2016), das Vorgehen für die Datenanalyse bei Unstimmigkeiten und offensichtlichen Fehlern.

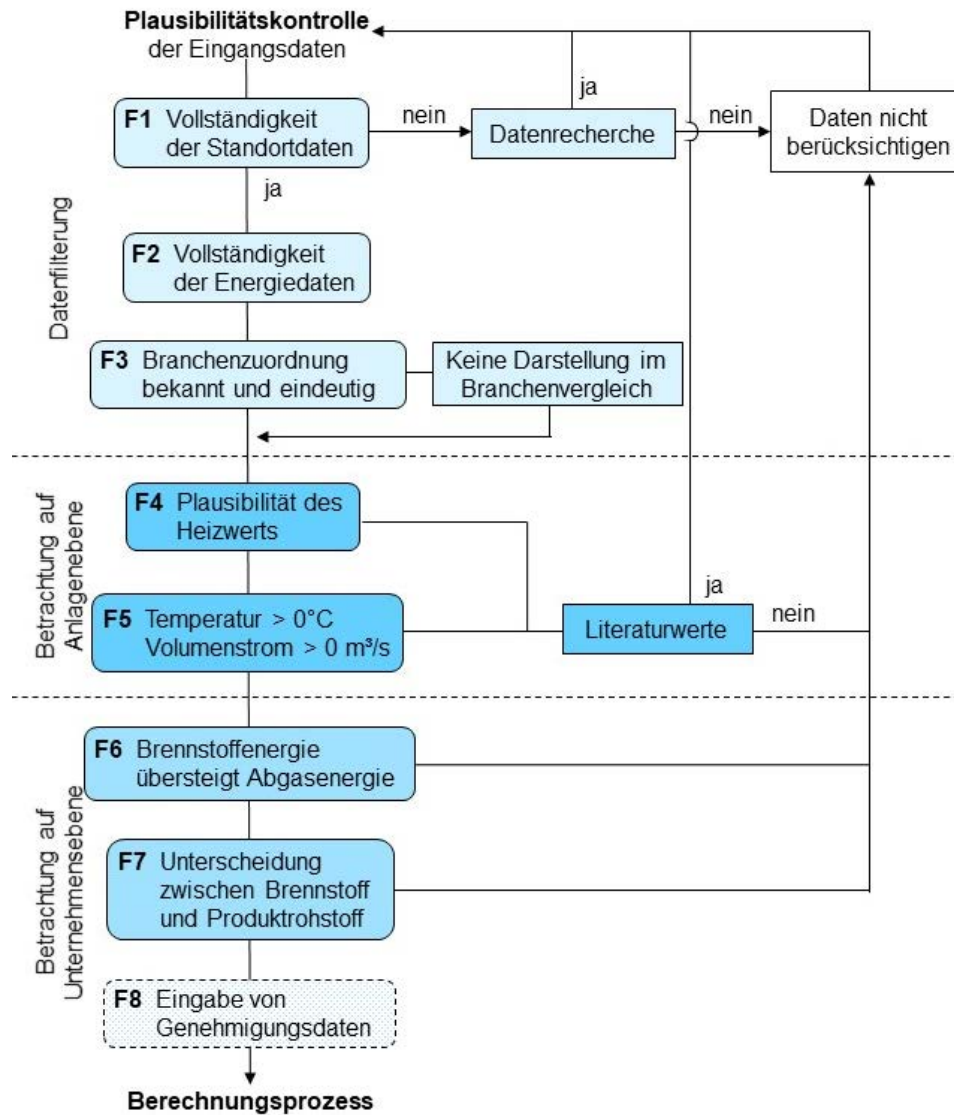


Abbildung 32: Analysestufen und Fehlerbehandlung der 11. BImSchV-Daten, in Anlehnung an (Brückner, 2016, S. 33)

Zunächst wurden die Daten auf Vollständigkeit der Angaben zu Adresse, Brennstoffeinsatz, emissionsverursachenden Vorgang und Branchenzugehörigkeit geprüft. Anschließend fand eine Plausibilisierung der technischen Angaben zu Heizwert, Temperatur, Volumenstrom und Verhältnis von Brennstoffeinsatz und Abwärmemenge statt. Fehlende Informationen konnten im Einzelfall durch Recherchen ergänzt werden, bei dennoch fehlenden oder unrealistisch erscheinenden aber zwingend erforderlichen Parametern wurde der jeweilige Prozess von der Analyse ausgeschlossen. Anlagen der Branche Kokerei und Mineralölverarbeitung (WZ19)

konnten wegen der fehlenden Unterscheidungsmöglichkeit zwischen Brenn- und Produktrohstoffen nicht auf diese Weise untersucht und mussten daher von der Analyse ausgeschlossen werden. Zudem erschienen einige Leistungsangaben deutlich zu hoch, sodass davon auszugehen ist, dass die Auslegungs- bzw. Genehmigungsdaten anstelle der tatsächlichen Betriebsparameter angegeben wurden. Dies würde zu einer methodischen Überschätzung des Abwärmepotenzials führen, was sich aber auf dieser Datengrundlage nicht vermeiden lässt. Nach der Plausibilitätskontrolle der Angaben innerhalb der 11. BImSchV verblieben 697 Standorte mit 2512 Anlagen, deren Einzelpotenziale mithilfe der im Folgenden geschilderten Methode ermittelt werden konnten.

6.3 Methodik der Potenzialberechnung und Abwärmefaktoren

Für die Ermittlung und Lokalisierung der technisch verfügbaren Abwärmepotenziale sind vor allem Informationen zu den nachfolgenden drei Bereichen der 11. BImSchV notwendig:

Werk/Betrieb:	Ident.-Nr. des Betriebs Standort Nummer der Systematik des Wirtschaftszweigs
Emissionsrelevante Stoffe:	Nummer der Anlage Heizwert Massenstrom
Emissionsverursachender Vorgang:	Nummer der Anlage Bezeichnung Gesamtdauer Abgas (Volumenstrom, Temperatur)

Die Vorgehensweise der Berechnung orientiert sich an Brückner (2016). Im Folgenden werden sowohl die Einzelschritte als auch die Unterschiede zu diesem Ansatz beschrieben. Nach vollständiger Prüfung der Datensätze (F 1 bis F 5 in Abbildung 32) erfolgte die Ermittlung des technisch verfügbaren Abwärmepotenzials. Unter Verwendung der Angaben aus der Immissionsschutz-Verordnung wurde, für jeden Abgas- bzw. Abluftstrom des emissionsverursachenden Vorgangs separat, die Leistung der darin enthaltenen Abwärme bestimmt:

$$\dot{Q}_{AW,An} = \dot{V}_{AW} \cdot \rho_{AW} \cdot c_{p\ AW} \cdot (T_{AW} - T_{min}) \cdot LZ \quad (1)$$

mit $\dot{Q}_{AW,An}$ = Wärmestrom der Abwärme der Anlage [kJ/s]
 \dot{V}_{AW} = Volumenstrom [m³/s]
 ρ_{AW} = Dichte [kg/m³]
 $c_{p\ AW}$ = spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]
 T_{AW} = Temperatur [°C]
 T_{min} = minimale Referenztemperatur [°C]
 LZ = Laufzeit [h/a]

Bei Darstellung der Temperatur des Abwärmestroms T_{AW} wurde eine Grädigkeit² zwischen dem wärmeübertragenden Fluid des emissionsverursachenden Vorgangs und dem Wärmenetz von 15 K angenommen. Bei dieser Grädigkeit können hohe Wirkungsgrade bei langen Laufzeiten erzielt werden (PtJ, 2018). Als minimale Referenztemperatur T_{min} wurden die nachfolgenden brennstoff- und technologieabhängigen Werte festgelegt. Diese beschreiben die Temperatur, auf die der Abgasstrom, ohne den brennstoffspezifischen Taupunkt zu unterschreiten, abgekühlt werden kann, um ihm die sensible Wärme zu entziehen:

Erdgas und Öl:	$T_{min} = 60 \text{ °C}$
Gasturbine, BHKW, etc.:	$T_{min} = 70 \text{ °C}$
Holz, Kohle und sonstige Stoffe:	$T_{min} = 100 \text{ °C}$

Aufgrund dieser differenzierten minimalen Referenztemperaturen fielen ca. 4.300 Anlagen aus der Betrachtung. Diese Abgasströme wiesen ein geringeres Temperaturniveau als die gewählte Referenztemperatur auf. Auf eine Berücksichtigung des latenten Wärmepotenzials der Abgasströme wurde generell verzichtet. Dazu sind die spezifischen Anforderungen an Abgasführung, Prozess- und Anlagentechnik vor allem bei einer Taupunktunterschreitung und daraus folgender Kondensation zu weitreichend. Zur Vereinfachung der Berechnung wurden im ersten Schritt die Dichte ρ_{AW} sowie die spezifische Wärmekapazität $c_{p, AW}$ des emissionsverursachenden Fluids als temperaturunabhängig angenommen. Diese lagen, gemäß der 11. BImSchV für den Normzustand (273 K, 1.013 hPa, trocken), nach Abzug des Feuchtegehalts vor. Hierfür wurde nach der Methode von Brückner 2016 die Annahme getroffen, dass sich die Abgaszusammensetzung zwar durch den Einsatz verschiedener Brennstoffe unterscheidet, aber jeweils von Stickstoff dominiert wird. Die angenommenen Werte lagen aus diesem Grund zwischen denen von reinem Stickstoff und CO₂:

$$\begin{aligned} \rho_{AW} &= 1,293 \text{ kg/m}^3 \\ c_{p, AW} &= 1,007 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \end{aligned}$$

Zur Bewertung des Einflusses einer konstanten Dichte und konstanten spezifischen Wärmekapazität auf die Ergebnisse erfolgte abschließend eine kurze Gegenüberstellung mittels Sensitivitätsanalyse (Kapitel 6.4.3).

² Als Grädigkeit wird die Temperaturdifferenz zwischen einem wärmeabgebenden, heißen Medium und einem wärmeaufnehmenden, kälteren Medium bezeichnet. Sie dient somit u. a. zur Bestimmung der technischen Güte eines Wärmeübertragungsprozesses.

Für die Ermittlung des eingesetzten Energiestroms $\dot{Q}_{Br,Un}$ der Brennstoffe standen sowohl der Heizwert Hi_{Br} als auch die jährliche Einsatzmenge \dot{m}_{Br} zur Verfügung. Diese Daten ließen sich jedoch nicht den einzelnen emissionsverursachenden Vorgängen oder Prozessen bzw. Anlagen zuordnen. Deshalb konnte die Auswertung nur pro Betriebsstandort erfolgen.

$$\dot{Q}_{Br,Un} = \sum_b \dot{m}_{Br} \cdot Hi_{Br} \quad (2)$$

mit $\dot{Q}_{Br,Un}$ = Wärmestrom der Brennstoffe im Unternehmen [kJ/s]
 Hi_{Br} = Heizwert des Brennstoffs [kJ/kg]
 \dot{m}_{Br} = Massenstrom des Brennstoffs [kg/s]
 b = Anzahl emissionsverursachender Vorgänge [-]

Um im Hinblick auf die Bildung von Abwärmefaktoren einen identischen Bewertungsrahmen der zu vergleichenden Ein- und Ausgangsgrößen zu gewährleisten, wurden auch die in Gleichung (1) ermittelten prozess- bzw. anlagenspezifischen, technisch verfügbaren Abwärmepotenziale für alle Vorgänge (Anzahl: a) an den jeweiligen Betriebsstandorten aufsummiert. Nach dieser Zusammenfassung war allerdings kein direkter Bezug zwischen dem Abwärmestrom und dessen Temperaturniveau mehr möglich.

$$\dot{Q}_{AW,Un} = \sum_a \dot{Q}_{AW,An} \quad (3)$$

mit $\dot{Q}_{AW,Un}$ = Wärmestrom der Abwärme des Unternehmens [kJ/s]
 $\dot{Q}_{AW,An}$ = Wärmestrom der Abwärme der Anlage [kJ/s]
 a = Anzahl aller Vorgänge pro Betriebsstandort [-]

Nach Bestimmung der Energie des Abgasstroms sowie der eingesetzten, jährlichen Brennstoffenergie je Betriebsstandort erfolgte die Definition eines Abwärmefaktors AF_{Un} (Brückner, 2016). Mittels diesem konnte die Abwärmerelevanz der untersuchten Betriebsstandorte genauer betrachtet werden. Definiert wurde dieser Faktor als das Verhältnis von Abwärme- zu Brennstoffstrom:

$$AF_{Un} = \frac{\dot{Q}_{AW,Un}}{\dot{Q}_{Br,Un}} \quad (4)$$

mit AF_{Un} = Abwärmefaktor des Unternehmens [-]
 $\dot{Q}_{AW,Un}$ = Wärmestrom der Abwärme des Unternehmens [kJ/s]
 $\dot{Q}_{Br,Un}$ = Wärmestrom der Brennstoffe im Unternehmen [kJ/s]

Sinnvoll sind nur Faktoren, die kleiner als eins sind. Datensätze mit größeren Werten wurden gemäß F 6 nicht berücksichtigt. Gründe für größere Werte können hierbei sowohl inkorrekt eingetragene Daten in die 11. BImSchV als auch stark exotherme oder unter Umständen auch strombasierte Prozesse sein, die nicht von der Verordnung erfasst werden.

6.4 Potenzialermittlung

Von den 2.058 Betriebsstandorten (16.000 Einzelprozesse) mit Brennstoffeinsatz konnte für 34 % (697 Standorte, rund 2.500 Einzelprozesse) auf Basis der beschriebenen Methodik ein Abwärmepotenzial ermittelt werden. Die Verteilung der Standorte ist in Abbildung 33 dargestellt.

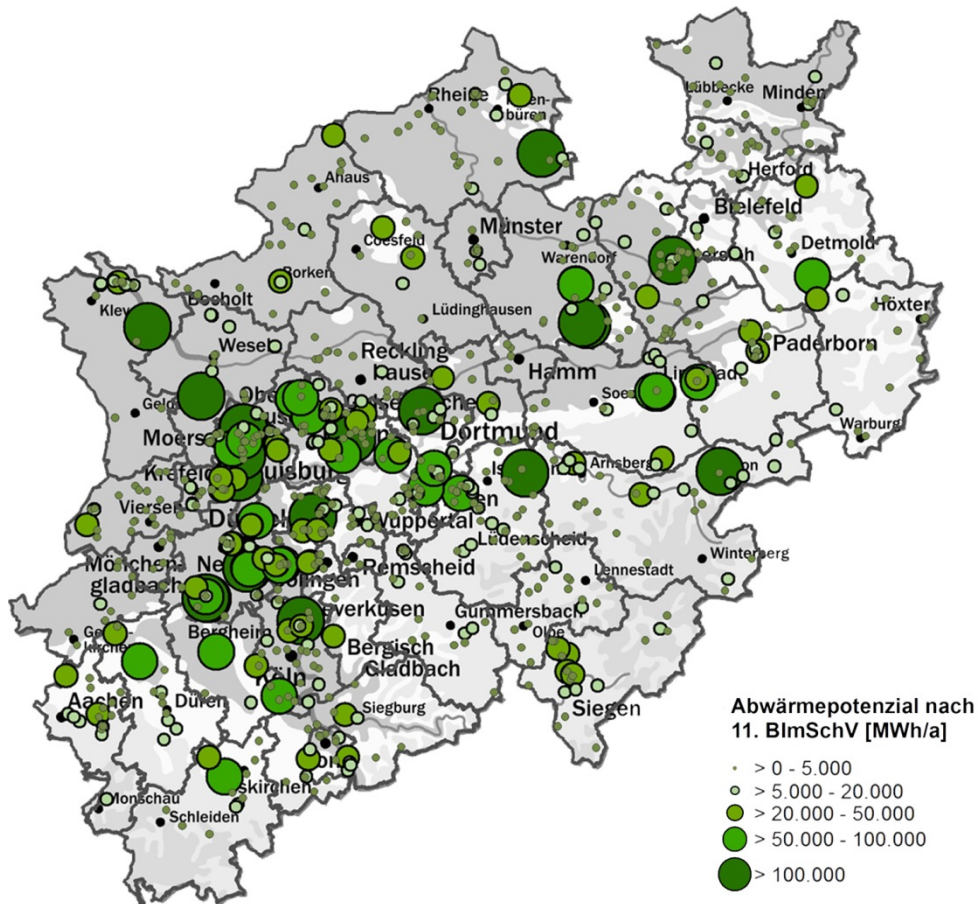


Abbildung 33: Regionale Verteilung der theoretischen Abwärmepotenziale nach 11. BImSchV

Die analysierten Unternehmen sind für ca. 35 % des NRW-weiten Brennstoffeinsatzes des Verarbeitenden Gewerbes verantwortlich (ermittelt durch Vergleich des Brennstoffeinsatzes mit dem Statistischen Jahrbuch NRW (IT.NRW, 2014)), somit sind die brennstoffintensivsten Unternehmen in die Bewertung eingeflossen. 7 % des gesamten Brennstoffeinsatzes des Verarbeitenden Gewerbes in NRW konnten somit nach der Plausibilisierung aus der BImSchV durch Unstimmigkeiten in den Datensätzen nicht in der Analyse berücksichtigt werden. Besonders die Unternehmen der energieintensiven Branchen (WZ 19, 20, 23, 24) sind zu einem großen Anteil nach 11. BImSchV erklärungs-pflichtig. Zusammen entfallen auf diese Dreiviertel aller emissionsverursachenden Vorgänge mit einem anteiligen Brennstoffeinsatz von 82 %.

6.4.1 Analyse des jährlichen Abwärmeaufkommens

Eine Darstellung des kumulierten Wärmestroms in Verbindung mit der Temperaturverteilung für NRW ist Abbildung 34 zu entnehmen. Auf Basis der 11. BImSchV-Daten ergibt sich für die ausgewerteten 697 Unternehmen mit den dort befindlichen 2.512 Anlagen ein aus den Abgasströmen auskoppelbares und technisch verfügbares Abwärmeaufkommen von ca. 7,2 TWh/a. Nur 0,4 TWh/a (ca. 5 %) der anfallenden Abwärme weisen eine Temperatur unter 100 °C auf. Ca. 1,8 TWh/a (25 %) des Abwärmepotenzials liegen zwischen 100 °C und 150 °C. Damit ist die Abwärme nicht nur zu Raumheizzwecken und zur Deckung des Warmwasserbedarfs, sondern auch für eine Versorgung externer Prozesse einsetzbar. Rund ein Drittel der Abwärmeströme liegt auf diesem Temperaturniveau. Weitere 19 % der Abwärmeströme mit einem Potenzial von 1,4 TWh/a entfallen auf den Temperaturbereich von 150 °C bis 200 °C. Diese wären beispielsweise in der Lebensmittelbranche als Prozesswärme einsetzbar.

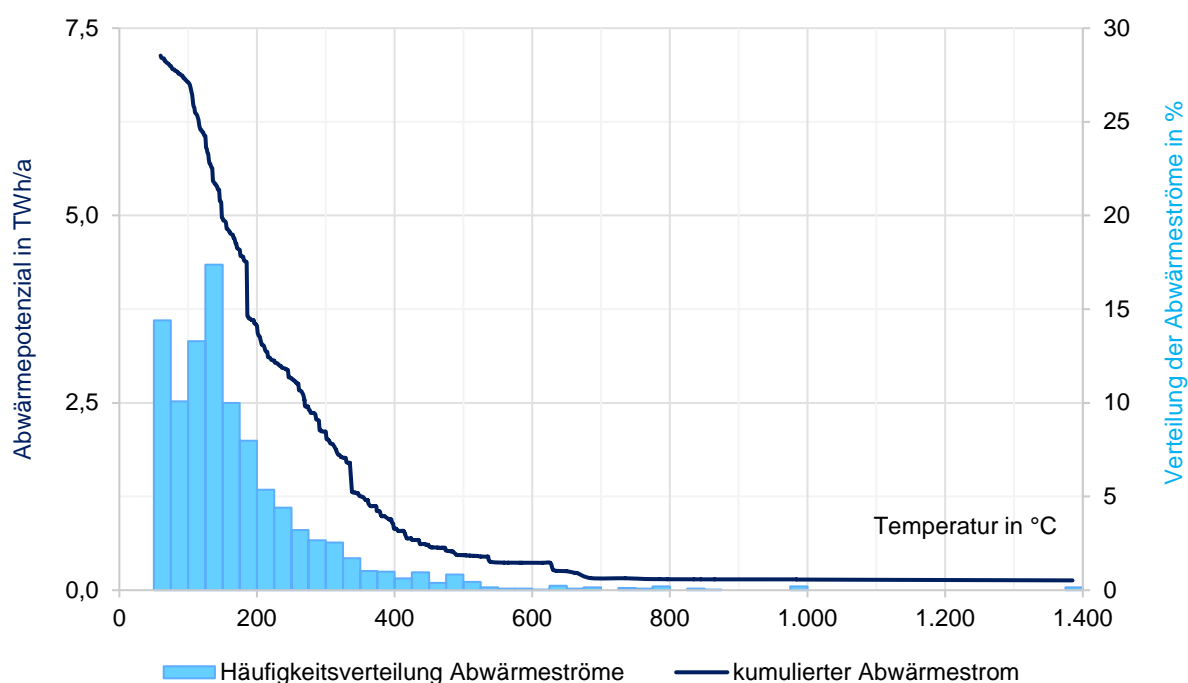


Abbildung 34: Temperaturabhängiges, technisch verfügbares Abwärmepotenzial sowie dessen Temperaturniveau nach 11. BImSchV

Die Aufstellung der angegebenen kumulierten Anlagenlaufzeiten zeigt in Summe eine Häufigkeitsverteilung im hohen Laufzeitbereich (Abbildung 35). Etwa Dreiviertel des technisch verfügbaren Potenzials treten an 6.000 h oder mehr im Jahr auf. Im Vergleich liegen in Summe aber nur ca. 40 % der Abwärmeströme (ca. 1.000 Anlagen) in diesem Bereich. Diese Angaben gelten ohne weiteren regionalen Bezug für das NRW-weite Gesamtpotenzial.

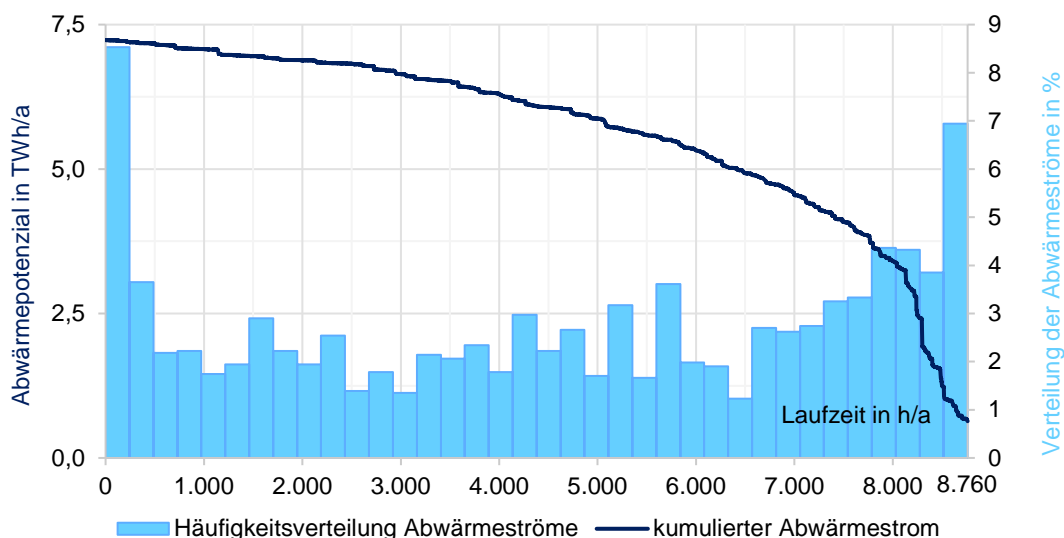


Abbildung 35: Jahresdauerlinie des technisch verfügbaren Abwärmepotenzials sowie dessen Laufzeiten nach 11. BImSchV

Anhand einer detaillierten Betrachtung der branchenspezifisch anfallenden Abwärmemengen im Verarbeitenden Gewerbe zeigt sich, dass in Summe 82 % des ermittelten Abwärmepotenzials der Anlagen nach 11. BImSchV auf die energieintensiven Branchen Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ 20), Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ 23) sowie Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ 24) entfallen. Abbildung 36 zeigt die Verteilung des Abwärmepotenzials nach Auswertung der 11. BImSchV nach Branchen aufgeschlüsselt.

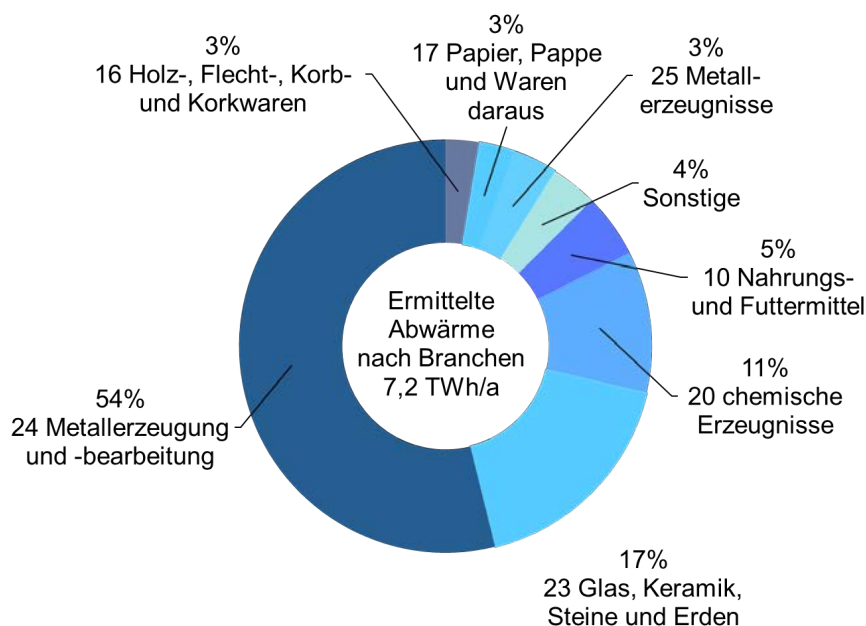


Abbildung 36: Sektorale Verteilung der Abwärmepotenziale nach 11. BImSchV (697 Unternehmen)

Aufbauend auf das über alle Temperaturniveaus zusammenfassend dargestellte Potenzial der Abwärme, ist dieses in Abbildung 37 detailliert für die abwärmeintensivsten Branchen aufgeschlüsselt. In der grafischen Darstellung ist zu erkennen, dass in den Bereichen bis 110 °C nur geringe Potenziale zu erwarten sind. Dieses ist vor allem auf die gewählte Referenztemperatur T_{min} (60, 70 oder 100 °C) zurückzuführen. Im Bereich von 110 bis 250 °C liegt das Potenzial zwischen 32 % in der Branche Herstellung von Nahrungs- und Futtermittel (WZ 10) und 73 % in der Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ 20) weit auseinander. Durchschnittlich sind hier zwischen 40 % und 50 % des Gesamtpotenzials aller Branchen angesiedelt. Auch im Temperaturbereich zwischen 250 °C und 500 °C liegen branchenübergreifend im Durchschnitt rund 40 % des Gesamtpotenzials vor. Einzig in der Herstellung von chemischen Erzeugnissen (WZ 20) entfallen auf dieses Temperaturniveau nur 12 % des Abwärmepotenzials. Der Bereich ab 500 °C ist einzig in der Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ 24) mit 11 % der Gesamtsumme signifikant vertreten. Die hier auftretende Temperaturverteilung ist vor allem auf die typischen Prozesse der einzelnen Branchen zurückzuführen. So sind gerade bei der Metallerzeugung sehr hohe Temperaturen für die Produktion notwendig.

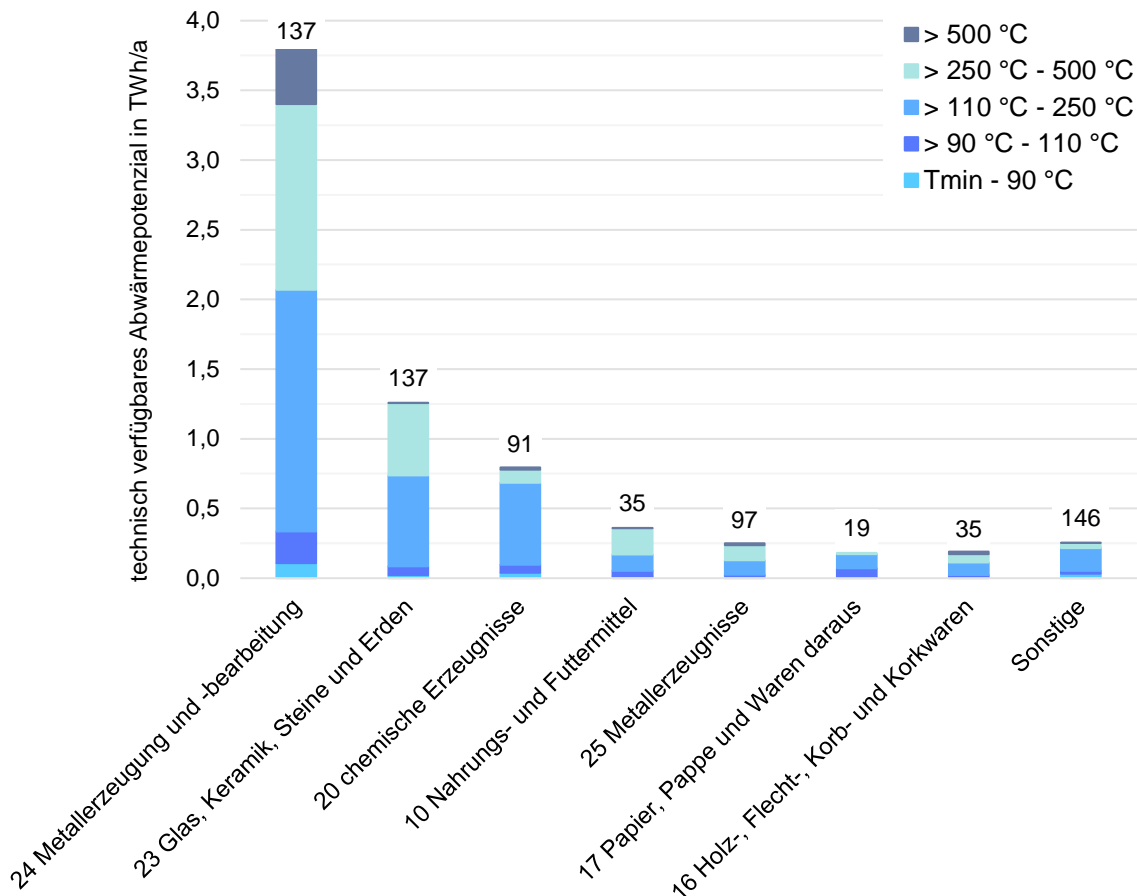


Abbildung 37: Abwärmepotenziale der abwärmeintensivsten Branchen im Verarbeitenden Gewerbe in Nordrhein-Westfalen mit Temperaturbezug; T_{min} bezeichnet die brennstoffspezifische Referenztemperatur (60, 70 oder 100 °C), die im Kamin nicht unterschritten werden darf

6.4.2 Branchenspezifische Abwärmefaktoren

Für eine detaillierte Betrachtung der Relevanz der untersuchten Betriebsstandorte sind in Tabelle 9 die ermittelten Abwärmefaktoren jeder Branche dargestellt. Der Abwärmefaktor beschreibt das Verhältnis aus eingesetztem Brennstoff zur nutzbaren Abwärme der Branchen, abgeleitet aus den Abwärmefaktoren der jeweils zugeordneten Betrieben. Auf diesen Faktor haben verschiedene Randbedingungen Einfluss. Die wichtigsten sind:

- Art der Produktionsprozesse bzw. Branchentechnologien
- Effizienz der Anlagen
- Umgesetzte Abwärmenutzung in Unternehmen

Tabelle 9: Ermittelte branchenspezifische Abwärmefaktoren nach 11. BImSchV

Nr. der Klassifikation und Wirtschaftszweige (WZ)	Abwärmefaktoren NRW		
	min.	max.	Mittelwert
10 Nahrungs- und Futtermittel	0,00	0,47	0,09
11 Getränke	0,00	0,12	0,05
12 Tabak	**	**	**
13 Textilien	0,02	0,52	0,27
14 Bekleidung	**	**	**
15 Leder, Lederwaren und Schuhe	**	**	**
16 Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren	0,01	0,19	0,08
17 Papier, Pappe und Waren daraus	0,02	0,42	0,13
18 Druckerzeugnisse	0,00	0,29	0,17
19 Kokerei und Mineralölverarbeitung	*	*	*
20 chemische Erzeugnisse	0,00	0,42	0,10
21 pharmazeutische Erzeugnisse	0,11	0,26	0,16
22 Gummi- und Kunststoffwaren	0,01	0,24	0,07
23 Glas, Keramik, Steine und Erden	0,00	0,49	0,10
24 Metallerzeugung und -bearbeitung	0,00	0,63	0,17
25 Metallerzeugnisse	0,00	0,61	0,18
26 Datenverarbeitungsgeräte	0,05	0,20	0,13
27 elektrische Ausrüstung	0,06	0,30	0,20
28 Maschinenbau	0,01	0,04	0,03
29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	0,11	0,25	0,17
30 Sonstiger Fahrzeugbau	0,02	0,06	0,04
31 Möbel	0,00	0,28	0,06
32 sonstige Ware	0,00	0,34	0,14
33 Reparatur und Installation von Maschinen	0,04	0,37	0,21

* Keine sichere Unterscheidung zwischen Prozessrohstoff und Brennstoff möglich

** Keine Betriebsstandorte (Brennstoffbedarfe oder Emissionsdaten) dieser Branche in der 11. BImSchV gelistet

Je größer der Faktor ist, desto mehr Abwärme fällt gemessen am Energieeinsatz an den Betriebsstandorten an. Die Abhängigkeit liegt hier vor allem in den Industrieprozessen selbst begründet, z. B. der Stahlschmelze.

Sollen also Betriebsstandorte mit großem Potenzial für eine Abwärmenutzung (sowohl intern als auch extern) identifiziert werden, könnte dementsprechend das Augenmerk auf jene mit hohem Abwärmefaktor und großen Abwärmemengen gelegt werden.

Die geringsten Mittelwerte bei den betrieblichen Abwärmefaktoren finden sich in der Branche Maschinenbau, sonstiger Fahrzeugbau, Getränke und Möbel im Bereich von 0,03 bis 0,06. Die höchsten Mittelwerte (0,20 bis 0,27) stammen aus den Branchen Textilien, Reparaturen und Installationen von Maschinen sowie elektrische Ausrüstung. Die energieintensiven Branchen (WZ 17, 20, 23, 24, 25) weisen durchschnittliche Faktoren von 0,10 bis 0,18 auf. Aufgrund des großen Mengeneinsatzes von Energieträgern im Verhältnis zu den anderen Branchen zeigt sich hier erneut, dass diese Wirtschaftszweige besonders abwärmerrelevant sind.

6.4.3 Sensitivitätsanalyse und Einordnung der Ergebnisse

Wie bereits dargestellt, ergibt sich für die analysierten 2512 (ausgehend von 16.000) Anlagen an 697 (Ausgehend von 2060) Standorten der 11. BImSchV-Liste, unter der Voraussetzung korrekt angegebener Daten des emissionsverursachenden Fluids (Normzustand), ein Abwärmepotenzial von ca. 7,2 TWh/a. Bei Annahme, dass die Daten der 11. BImSchV-Erklärungen bei Meldung nicht auf den Normzustand bezogen worden sind, wird nachfolgend eine variabel auf die Temperatur T_{AW} abgestimmten Dichte zugrunde gelegt. Das ermittelte Abwärmepotenzial sinkt bei dieser Betrachtung um 40 %. Eine variable spezifische Wärmekapazität hingegen bewirkt nur einen geringen Anstieg des Abwärmepotenzials um 10 %. In Summe überwiegt der Einfluss einer zumeist verringerten Dichte und der damit einhergehende geringere Massenstrom. So führen beide Variablen zusammen zu einer Abweichung von 38 % und somit zu einem Abwärmepotenzial von 4,5 TWh/a.

Vergleichend zum Vorgehen von Brückner (2016) ergeben sich vor allem die nachfolgend dargestellten Unterschiede:

- Die Temperatur des Abwärmestroms T_{AW} wurde nicht direkt als Temperatur des emissionsverursachenden Vorgangs sondern mit einer Grädigkeit von 15 K bestimmt. Hierdurch wird die Abkühlung der Abwärme zwischen in der 11. BImSchV-Erklärung angegebenen Temperatur an der Quellenmündung und der daraus sich ergebenden höchstmöglichen Temperatur in einem Wärmenetz mit in die Betrachtung einbezogen.
- Die minimale Referenztemperatur T_{min} wurde nicht konstant auf 35 °C festgelegt, sondern technologietypisch mit 60, 70 oder 100 °C angenommen.

Bei Annahme der identischen Rahmenbedingungen wie in Brückner (2016) ergibt sich ein Abwärmepotenzial in NRW von ca. 13,0 TWh/a. Brückner selbst gibt mit ungefähr 16,7 TWh/a für NRW ein Abwärmepotenzial in vergleichbarer Größenordnung an. Während Brückner ihre Berechnungen auf die Daten der Erhebung 2008 bezieht (19.100 Emissionsvorgänge), liegen dieser Studie die Daten aus 2012 (16.122 Emissionsvorgänge) zu Grunde. Abbildung 38 stellt die zuvor diskutierten Abwärmepotenziale gegenüber.

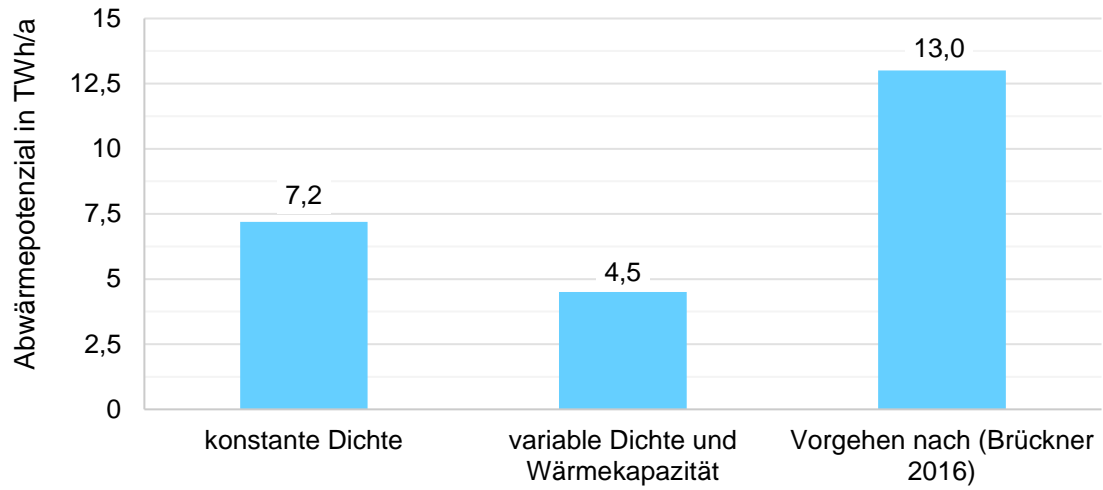


Abbildung 38: Gegenüberstellung der ermittelten Abwärmepotenziale nach 11. BImSchV

7 Aggregierte Abwärmepotenziale

In den Kapiteln 5 und 6 konnten die Abwärmepotenziale für insgesamt 840 Unternehmen ermittelt werden. Davon stammen zu 250 Unternehmensstandorten die Informationen aus der Unternehmensbefragung oder weiteren direkten Potenzialangaben (Befragung: 242, vier weitere Unternehmensstandorte gaben ihre Angaben verspätet ab, weitere vier Unternehmen gaben Potenziale im persönlichem Austausch weiter) und zu 590 Standorten aus der 11. BImSchV-Auswertung. Diese Zahl ist geringer als in Kapitel 6, da zu 107 Standorten aus beiden Quellen Daten zur Verfügung standen. Aufgrund der höheren Qualität der Befragungsergebnisse als der 11. BImSchV-Daten wurden für die Zusammenfassung diese bevorzugt genutzt. So ergibt sich eine Schnittmenge von 2,7 TWh/a, die von der Auswertung aus den BImSchV-Daten abgezogen wird. Demnach konnte ein technisch verfügbares Abwärmepotenzial von insgesamt 12 TWh/a bei den Unternehmen in NRW verortet werden. Die einzelnen Unternehmen haben zwischen einem und 51 abwärmerelevante Prozesse an ihrem Standort. Für jeden Unternehmensstandort wurden die Abwärmemenge, Laufzeit, Leistung, und Nutztemperatur der einzelnen Prozesse zusammengetragen.

Im Folgenden werden die Standortinformationen auf den Ebenen Land, Regierungsbezirk, Planungsregion, Kreis und Gemeinde räumlich zusammengefasst. Die Informationen können darüber hinaus auch im Wärmekataster des Energieatlas.NRW mit weiteren Fachdaten zur Wärmeplanung verschnitten werden.

Gemeindeebene

In 263 der 396 Gemeinden in NRW konnte ein Abwärmepotenzial verortet werden. Im Umkehrschluss ist in 133 Gemeinden keines der untersuchten 840 Unternehmen mit Abwärmepotenzial ansässig. Dennoch können Unternehmen mit Abwärmepotenzialen vorhanden sein, die in der Untersuchung nicht berücksichtigt wurden.

Die größten Potenziale sind in Duisburg (2,1 TWh/a bei 18 Unternehmen), Wesseling (1,1 TWh/a) und Düsseldorf (0,5 TWh/a) zu finden (Abbildung 39). In Hagen konnten mit 20 Unternehmen (0,2 TWh/a) die meisten Unternehmen untersucht werden.

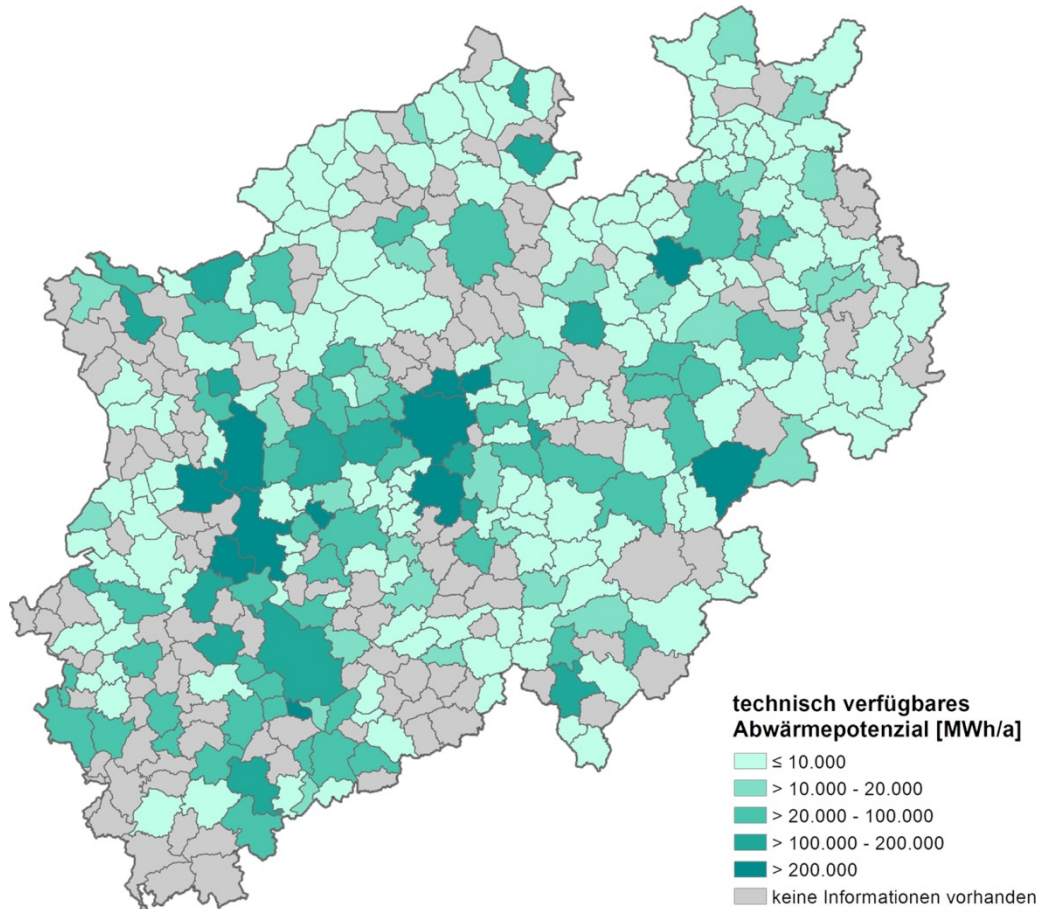


Abbildung 39: Aggregation der standortscharfen Abwärmepotenziale je Gemeinde

Kreisebene

In Abbildung 40 wurden die Abwärmepotenziale der untersuchten Industriestandorte der Kreise und kreisfreien Städte in NRW aggregiert. Duisburg und der Rhein-Erft-Kreis stellen mit 2,1 TWh/a (18 %) und 1,4 TWh/a (12 %) die höchsten Abwärmepotenziale auf Kreisebene. Das niedrigste Potenzial wird in Remscheid ausgewiesen. Hier können über die 11. BImSchV-Daten und die Umfrageergebnisse 5.010 MWh/a ausgewiesen werden, was einem Anteil von unter 0,1 % an den verorteten verfügbaren Abwärmepotenzialen von 12 TWh/a entspricht. Diese Ergebnisse beziehen sich jedoch ausschließlich auf die untersuchten Unternehmen.

Im Märkischen Kreis konnten mit 42 Unternehmen (15 Befragungs- und 27 11. BImSchV-Unternehmen) die meisten abwärmeproduzierenden Unternehmen lokalisiert werden. Der Märkische Kreis beheimatet somit die meisten Unternehmen mit Abwärmepotenzial, stellt jedoch mit 2,4 % nur einen kleinen Teil des gesamten Abwärmepotenzials in NRW dar.

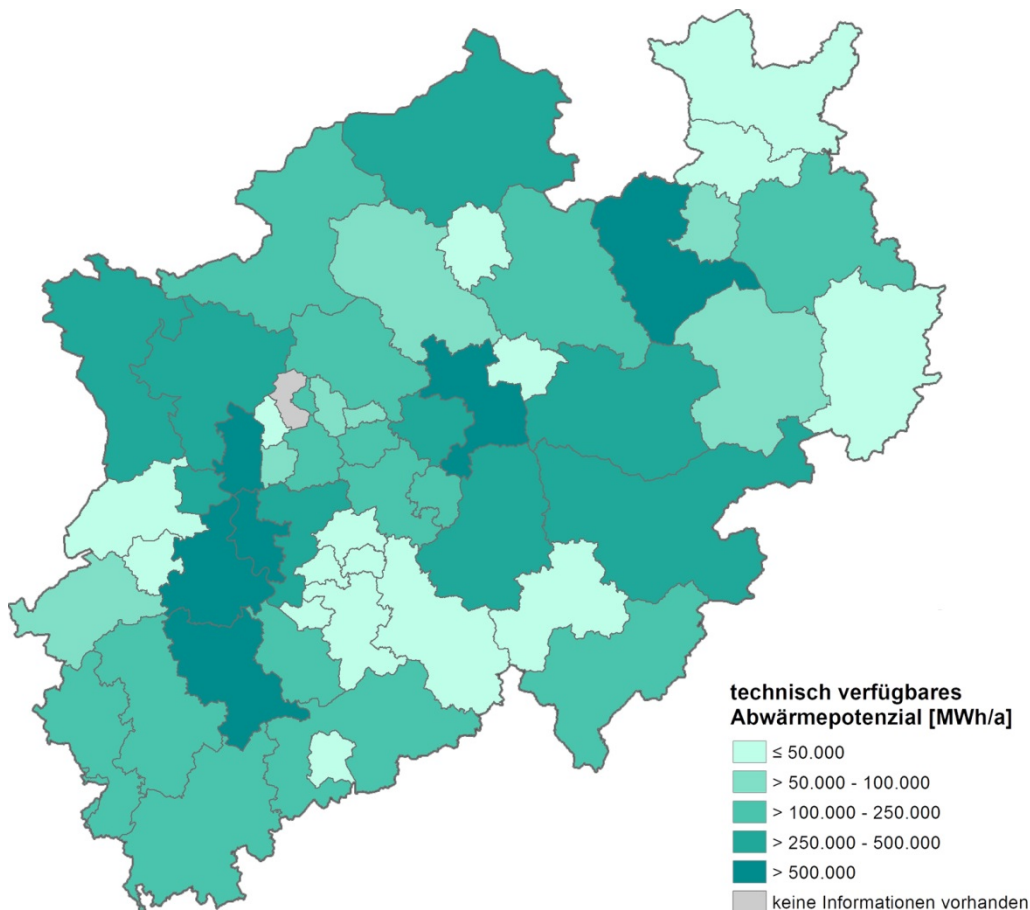


Abbildung 40: Aggregation der standortscharfen Abwärmepotenziale je Kreis und kreisfreier Stadt

Bezirksregierungsebene

Auf dieser Ebene werden die Abwärmepotenziale der Regierungsbezirke Arnsberg, Detmold, Düsseldorf, Köln und Münster betrachtet. Mit 40 % der 12 TWh/a, die in Nordrhein-Westfalen verortet werden konnten, stellt der Regierungsbezirk Düsseldorf den Großteil des Abwärmepotenzials. Das restliche Abwärmepotenzial ist auf die Regierungsbezirke Arnsberg 24 %, Köln 20 %, Münster 9 % und Detmold 7 % verteilt.

Im Regierungsbezirk Arnsberg sind mit 225 Unternehmen, die meisten untersuchten Unternehmen angesiedelt. Der Regierungsbezirk Münster stellt mit 131 die wenigsten der 840 Unternehmensstandorte.

Im Regierungsbezirk Arnsberg konnten zwölf Anlagen ermittelt werden, die bereits knapp 1,1 TWh industrielle Abwärme pro Jahr extern weitergeben. In Düsseldorf sind es elf Standorte (0,2 TWh/a), Köln (2,2 TWh/a), Detmold (0,3 TWh/a) und Münster (0,8 TWh/a) haben je 8 Anlagen, die Abwärme über die Werksgrenzen hinweg weitergeben. Zusätzlich konnten in Münster und Köln je ein sowie in Detmold, Arnsberg und Düsseldorf je zwei weitere Unternehmensstandorte mit vorhandener Abwärmennutzung ermittelt werden, deren Abwärmemengen jedoch im Rahmen der Recherche nicht näher bestimmt wurden.

Landesebene

Das Abwärmepotenzial der 840 standortscharf berücksichtigten Unternehmen in Nordrhein-Westfalen liegt bei 12 TWh/a. Davon entfallen 4,3 TWh/a (36 %) auf die Auswertung der 590 11. BImSchV-Unternehmen und 7,7 TWh/a (58 %) auf die 250 Unternehmen aus der Befragung (inklusive verspäteter Fragebögen und direkt weitergegebener Abwärmepotenziale). Insgesamt konnten 55 Produktionsanlagen mit externer Abwärmennutzung im Bundesland lokalisiert werden, 47 davon stellen rund 4,5 TWh/a Wärme extern zur Verfügung, zu den restlichen acht Anlagen liegen keine genutzten Wärmemengen vor.

Um aus dem technisch verfügbaren ein technisch verwendbares Potenzial abschätzen zu können, werden in Kapitel 8 die Wärmequellen mit den vorhandenen Wärmesenken verschnitten (bestehende Wärmenetze sowie der Raumwärmebedarf). Aufgrund fehlender Informationen wurde ein großer Teil der Unternehmen mit Abwärmepotenzial in NRW bei der Analyse nicht berücksichtigt. Um die tatsächlichen Abwärmemengen der NRW-Unternehmen auch außerhalb dieser Untersuchung dimensionieren zu können, werden die Ergebnisse in Kapitel 9 auf Landesebene extrapoliert.

8 Verschneidung der Wärmequellen und -senken

Um Abwärme sinnvoll extern nutzen zu können, müssen entsprechende Abnehmer im Umfeld der Abwärmequellen vorhanden sein. Durch Abgleich des Abwärmedargebots der Industrieanlagen mit dem Raumwärmebedarf der Wohn- und Nichtwohngebäude sowie bestehenden Wärmenetzen wird das technisch verfügbare zu einem technisch verwendbaren Abwärmepotenzial entwickelt. Dazu wurden sowohl vorhandene Daten für ganz NRW ausgewertet, als auch gezielt in zehn sogenannten Hot Spots der potenziellen Abwärmennutzung Detailuntersuchungen durchgeführt.

8.1 Datengrundlagen

Nachfolgend werden die verwendeten Datengrundlagen des Raumwärmebedarfmodells und der analysierten Fernwärmenetze vorgestellt.

8.1.1 Wohn- und Nichtwohngebäude

Alle Gebäude mit Raumwärmebedarf kommen für die energetische Nutzung von industrieller Abwärme in Frage. Eine umfassende Analyse des Wärmebedarfs aller Gebäude in NRW wurde bereits in der Potenzialstudie Geothermie durchgeführt und 2016 optimiert. Zusätzlich zu den Gebäudehöhen, -umrissen und -nutzungen findet auch das Baualter Berücksichtigung. Die Methode der Berechnung des Wärmebedarfs wird in der Potenzialstudie Geothermie (Fachbericht 40) des LANUV detailliert beschrieben (LANUV, 2015).

Das Wärmebedarfsmodell für NRW berücksichtigt über 9 Millionen Gebäude, darunter 4,1 Millionen Wohngebäude. Das Modell liegt sowohl gebäudescharf als auch in einer Auflösung von 100 m x 100 m flächendeckend für NRW vor. Das Modell weist für NRW einen Raumwärmebedarf von 260 TWh/a aus.

Zum Transport von der Quelle zu den Abnehmern werden Wärmenetze benötigt. Der Aufbau dieser Infrastruktur ist mit Investitionen verbunden, die sich erst ab einer gewissen Wärmelinieendichte lohnen, also einem Mindestenergiebedarf pro Trassenmeter. Dieser Grenzwert wurde durch die projektbegleitende Arbeitsgruppe für die Studie auf 0,5 MWh/(m a) festgesetzt. In der Praxis kann dieser Wert jedoch durch stark variierende Kosten für den Bau der Leitungen abweichen. Unterhalb dieses Wertes sind jedoch die Leitungsverluste meist zu hoch, um eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Energieversorgungslösung mit Wärmenetzen realisieren zu können.

Zur Ermittlung der Wärmelinieendichte wurde das Wärmebedarfsraster mit dem Straßennetz von OpenStreetMap (OSM) verschnitten. Hierzu wurden die OSM-Daten um Autobahnen und parallel zur Straße eingezeichnete Fuß- und Radwege bereinigt, um diese in die Kalkulation nicht mit einzubeziehen. Die in den Rasterzellen befindlichen Straßenlängen wurden aggregiert und so die potenzielle Netzlänge pro Zelle bestimmt. Durch Division des Wärmebedarfs durch die ermittelte Netzlänge ergibt sich die Wärmedichte in MWh/(m-a) (Abbildung 41). Rasterzellen, deren Wärmelinieendichte unter 0,5 MWh/(m a) lag, wurden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen (Knies, 2016).

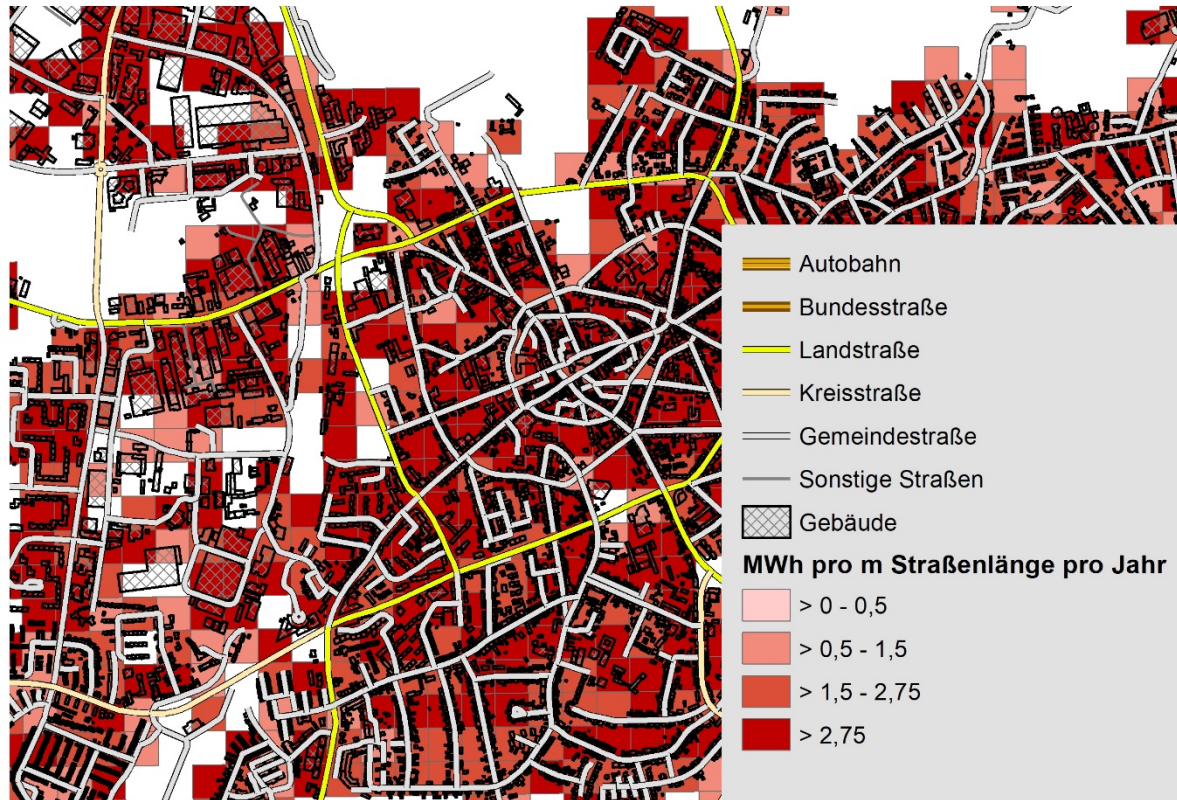


Abbildung 41: Beispielhafte Darstellung der Wärmelinien-dichte pro Rasterzelle in MWh pro Meter Straßenlänge pro Jahr

Nach Ausschluss dieser Bereiche verbleibt ein Raumwärmebedarf von 229 TWh/a in NRW. Vor allem im Bereich der Großstädte zeigen sich große Potenziale zur Versorgung mit Wärmenetzen. Doch auch in den ländlichen Regionen verbleiben viele zusammenhängende Gebiete, die sich demnach zur kollektiven Wärmeversorgung der Gebäude eignen würden.

8.1.2 Bestehende Wärmenetze

Um Informationen zu bereits vorhandenen Wärmenetzen und den damit versorgten Gebieten in der Studie zu berücksichtigen, wurden die Wärmenetze in Nordrhein-Westfalen durch die Auswertung von Förderprogrammen (progres.nrw), Gutachten zum Primärenergiefaktor von Wärmenetzen (Datenbank District Energy Systems (DESI) des AGFW) und weiteren Quellen recherchiert. So konnten insgesamt 187 bestehende Wärmenetze lokalisiert werden. Für einen Großteil der Netze liegen Lageinformationen zu den Gemeinden und z. T. zu versorgten Objekten oder Quartieren vor. Über 30 Netze konnten durch bereitgestellte Geodaten der Energieversorger verlaufsgenau in der Studie berücksichtigt werden (Abbildung 42).

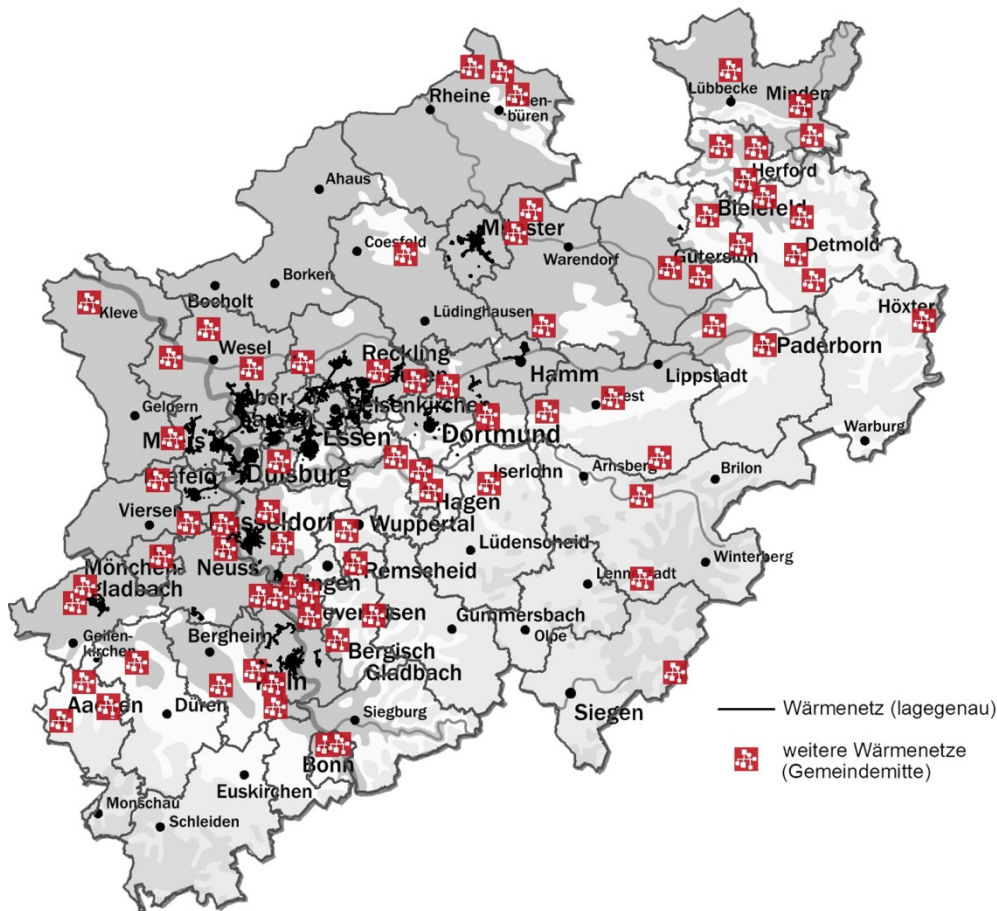


Abbildung 42: Lagegenau und in der Gemeindemitte verortete bestehende Wärmenetze in NRW

Einige Netzbetreiber gaben neben der Lage zusätzlich Informationen zu im Netz vorliegenden Temperaturniveaus an. Bei der Verschneidung der Quellen und Senken in den betrachteten Hot Spots wurden diese Informationen herangezogen, um die Kompatibilität des Netzes mit der Wärmequelle zu prüfen.

8.2 Hot-Spot-Betrachtung

Im Rahmen von Hot-Spot-Untersuchungen wurden zehn unterschiedlich strukturierte Gebiete genauer betrachtet, um die Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme vor Ort qualitativ und quantitativ bewerten zu können. Die Hot Spots zeichnen sich durch stark variierende Rahmenbedingungen aus, wie etwa bestehende oder neu zu bauende Wärmenetze, ländliche oder urbane Bebauungsstrukturen sowie verschiedene Branchenzugehörigkeiten der darin befindlichen Unternehmen.

8.2.1 Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung

Als mögliche Wärmesenken wurden, neben dem Modell des gebäudescharfen Raumwärmebedarfs, die Bestandswärmenetze berücksichtigt. Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, dass, aufgrund vollständig optimierter Prozesse, die Abwärme nicht weiter betriebsintern genutzt und somit extern zur Verfügung gestellt werden kann. Betrachtet wurde die Einspeisung der Abwärme in ein bestehendes Wärmenetz, die Versorgung eines einzelnen Abnehmers durch eine Stichleitung und die flächenhafte Versorgung ganzer Gebiete durch den Bau neuer Wärmenetze. Dabei wurden Restriktionen, wie die Querung von Flüssen, Autobahnen, Bahntrassen oder Naturschutzgebieten ebenso beachtet wie die Wirtschaftlichkeit der Versorgungsoption.

Hierfür wurde zuerst mit der technisch verfügbaren Abwärmemenge und der zeitlichen Verfügbarkeit das Leistungsangebot der Quelle ermittelt. Bei mehreren Abwärmequellen innerhalb eines Betriebes wurden zuerst die Einzelleistungen der Abwärmequellen über die individuellen Mengen und Laufzeiten berechnet. Anschließend wurde die Summe der Einzelleistung mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,8 multipliziert. Weiterhin wurde für die Leitungsdimensionierung eine in der Fernwärmewirtschaft übliche Auskühlung von 30 K angesetzt (Auskühlung = Vorlauftemperatur - Rücklauftemperatur). Größere Temperaturdifferenzen, die vor allem bei Netzen mit einer Vorlauftemperatur größer als 110 °C möglich sind, wurden nicht angesetzt, weil die sich ergebenden kleineren Leitungsdimensionen durch höhere Materialanforderungen bei Temperaturen über 110 °C kompensiert werden.

Die Kosten für die Trassenverlegung sind grundsätzlich abhängig von der Rohrennweite und dem Geländetyp. Für die Dimensionierung der Nennweite ist der notwendige Massenstrom ausschlaggebend, der sich in Abhängigkeit der Auskühlung beim Verbraucher (Senke) aus der zu übertragenen Leistung ergibt. Für die Ermittlung der spezifischen Trassenkosten sind aus verschiedenen Quellen aus dem In- und Ausland Referenzwerte sowohl für bebauten als auch für unbebauten Gelände herangezogen worden. Aus den Mittelwerten wurde eine Ausgleichsfunktion gebildet, die in Abbildung 43 dargestellt ist (Biedermann & Kolb, 2014; Energie-Consulting, 2004; Hensel, 2013; Nussbaumer, Thalmann, Jenni, & Ködel, 2017; Svensk Fjärrvärme AB, 2007). Weiterhin erfolgte im Rahmen der projektbegleitenden Arbeitsgruppe ein Abgleich der ermittelten Trassenkosten mit dem AGFW. Die dargestellten Werte sind Mittelwerte um die ein Toleranzband von $\pm 30\%$ gelegt wurde, sodass alle angegebenen Quellen eingeschlossen sind.

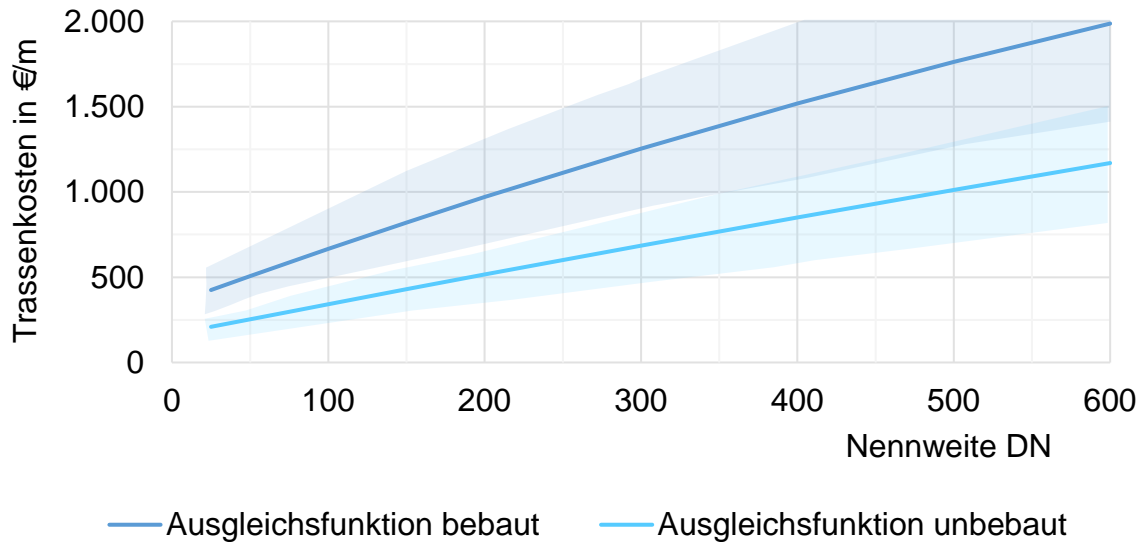


Abbildung 43: Mittelwerte der Trassenkosten nach Geländetypen mit Toleranzband von $\pm 30\%$

Dabei ist zu beachten, dass die örtlichen Kosten für den Bau von Fernwärmeleitungen teilweise erheblich vom Mittelwert abweichen können. Gründe hierfür sind die örtlichen Begebenheiten (Kopfsteinpflaster, Kriegshinterlassenschaften, sonstige Leitungen) und die hohe Auslastung im Baugewerbe und den damit derzeit tendenziell steigenden Kosten im Bereich des Tiefbaus. Aktuell wird bei öffentlichen Ausschreibungen für Tiefbau das angesetzte Budget regelmäßig um das zwei bis dreifache übertroffen. Dementsprechend ist in Zukunft mit einem Anteil von 60 bis 75 % für den Tiefbau zu rechnen, bei gleichzeitig konstanten Kosten für die Rohrleitungen selbst (AGFW, 2018).

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurden die Investitionen für die Fernwärmetrassen den möglichen Brennstoffeinsparungen über einen Abschreibungszeitraum von 10 Jahren gegenübergestellt. Längere Vertragslaufzeiten sind für Wärmelieferverträge im Sinne des § 32 Abs. 1 S. 1 AVBFernwärmeV nicht zulässig (BGBl. I S. 2722) und übersteigen eventuell auch den Planungshorizont einiger Industrieunternehmen.

Da durch den Einsatz von Abwärme ein anderer Brennstoff ersetzt wird, wurde ein in der industriellen Wärmeversorgung üblicher Brennstoffpreis von 20 €/pro MWh in der projektbegleitenden Arbeitsgruppe abgestimmt. Dieser ist tendenziell konservativ (preiswert) angesetzt, insbesondere im Hinblick auf die aktuelle Diskussion zur Einführung einer CO₂-Komponente bei der Energiesteuer. Wenn die Abwärme in ein Fernwärmenetz eingebunden werden sollte, kalkuliert der Fernwärmenetzbetreiber gegen seine Brennstoffkosten der bisherigen Wärmeerzeugung.

Die Wärmeverluste der Trasse und die damit verbundene reduzierte nutzbare Leistung beim Abnehmer wurden in der Berechnung der Wirtschaftlichkeitsradien nicht berücksichtigt. Beispielrechnungen haben ergeben, dass der hierdurch entstehende Fehler etwa 5 % beträgt, was gegenüber der Schwankungsbreite der Trassenkosten und den tatsächlichen Brennstoffpreisen vernachlässigbar ist.

8.2.2 Auswahl der Hot Spots

Anhand einer Vielzahl von Kriterien erfolgte die Auswahl von zehn Hot Spots. Diese sollten sich untereinander möglichst stark unterscheiden, um so die Heterogenität des Bundeslandes sowohl naturräumlich als auch von der industriellen Prägung möglichst gut zu repräsentieren. Die Hot Spots sollten sich bezüglich der enthaltenen abwärmeverursachenden Prozesse unterscheiden, damit verbunden auch durch unterschiedliche Laufzeiten, Temperaturniveaus und Abwärmemenge der Anlagen. Weiter sollten Unternehmen verschiedener Branchen und Größe untersucht werden, auch die Untersuchung einzelner oder mehrerer Industrieunternehmen an einem Standort. Zuletzt sollten die Hot Spots in verschiedenen Regionen des Bundeslands positioniert sein und z. T. bestehende Fernwärmenetze oder Gebiete für neu zu planende Wärmenetze aufweisen.

Folgende Standorte wurden aufgrund der beschriebenen Kriterien als Untersuchungsgebiete ausgewählt (siehe auch Abbildung 44):

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1. Dinslaken | 6. Ibbenbüren/Hörstel |
| 2. Köln/Wesseling | 7. Gütersloh |
| 3. Castrop-Rauxel | 8. Brilon |
| 4. Dortmund | 9. Duisburg |
| 5. Rahden | 10. Stolberg |

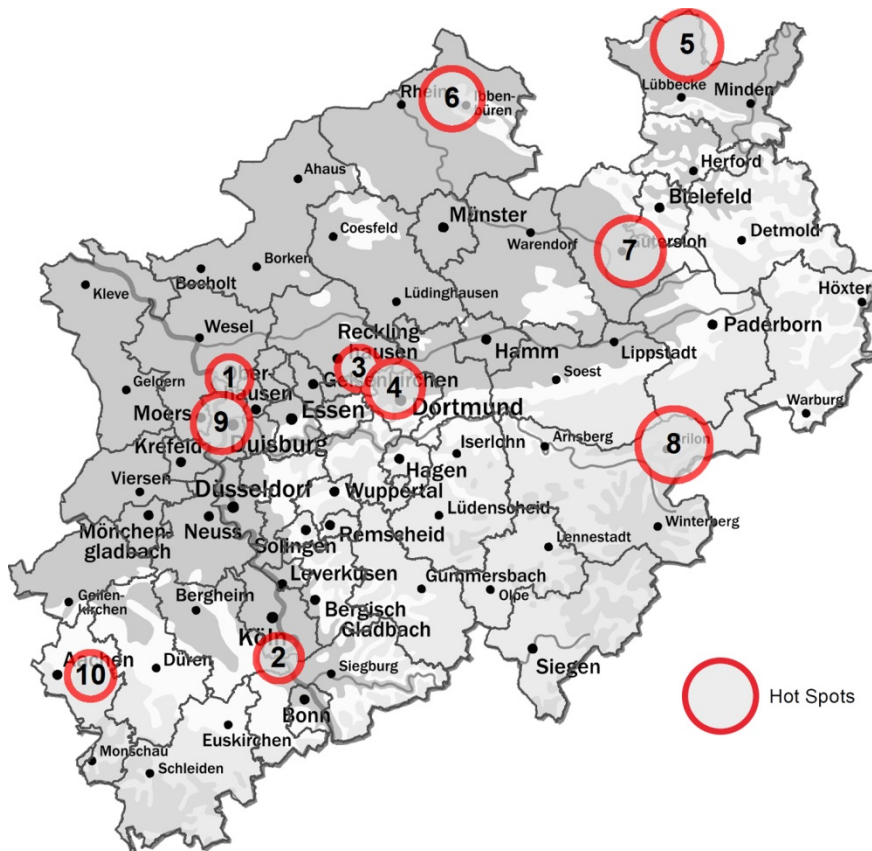


Abbildung 44: Lage der gewählten Hot Spots

Zur Definition der Hot-Spot-Gebiete wurde jeweils ein zentrales Unternehmen ausgewählt, das laut Umfrage zur Einspeisung von Wärme bereit wäre. Um dieses Unternehmen erfolgte die Abgrenzung eines Untersuchungsgebietes. Die darin ansässigen Unternehmen wurden in der nachfolgenden Untersuchung betrachtet.

8.2.3 Untersuchung

Im Rahmen der Hot-Spot-Auswertung wurden zu jedem darin befindlichen Unternehmen die Möglichkeit der Abwärmenutzung untersucht. Zudem wurden bei Kreisen und Gemeinden weitergehende Informationen eingeholt, beispielsweise zu bereits geleisteten Vorarbeiten, Interessenslage der Versorger bezüglich Fernwärmeaus- oder -neubau sowie anstehende Neubauprojekte und den sich daraus ergebenden Chancen einer Neuerschließung von Abwärmequellen und -senken.

Zur Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme sind zunächst zu jedem Unternehmen Wirtschaftlichkeitsradien berechnet worden. Diese Radien beschreiben die maximale Länge einer direkten Wärmeleitung zwischen Wärmequelle und -senke, damit sich die Investitionen nach zehn Jahren rentieren. Verzweigungen sind bei dieser Berechnung nicht vorgesehen.

Die Wirtschaftlichkeitsradien wurden jeweils so berechnet, dass die Senke genauso viele Nutzungsstunden aufweist, wie die Quellenlaufzeit im Unternehmen beträgt. In diesem Fall kann die vollständige Abwärmemenge genutzt werden. Dieser Radius wurde für die Analyse zur Einspeisung in ein vorhandenes Wärmenetz und zur Versorgung einzelner Abnehmer herangezogen.

Zudem wurde ein zweiter Radius mit einer Nutzungszeit von 1.100 h/a berechnet. Diese Nutzungs- bzw. Volllaststunden werden für die Versorgung von Wohn- und Mischgebieten mit Heizwärme angenommen, da diese nicht über das ganze Jahr mit voller Leistung versorgt werden müssen. Für die Angaben von Volllaststundenzahlen für Heizungsanlagen sind in der Literatur viele Angaben insbesondere zu älteren Heizungsanlagen in der Größenordnung von 1.500 h/a zu finden. In heutiger Zeit spielt Komfort eine immer größere Rolle. Bei der Festlegung der benötigten Anschlussleistung für eine Fernwärmeübergabestation wird in der Praxis auf die Ergebnisse der Wärmebedarfsberechnung nach DIN EN 12831 eine erhebliche Reserveleistung aufgeschlagen. Dies führt dazu, dass die Volllaststunden (=Jahresenergieverbrauch geteilt durch Anschlussleistung) sinken – und zwar in die Größenordnung von 1.100 h/a. Bei dieser Berechnung wurde angenommen, dass die Abwärme an den Übergabestationen nicht durch Reservewärmequellen abgesichert ist.

Einspeisung in ein vorhandenes Wärmenetz

Als erster Schritt bei der Standortanalyse wurde geprüft, ob sich innerhalb des Wirtschaftlichkeitsradius für die Einzelversorgung des jeweiligen Unternehmens ein bestehendes Wärmenetz befindet. Der Anschluss eines Unternehmens an dieses Netz ist in den meisten Fällen die günstigste Alternative zur Abwärmenutzung, da vorhandene Infrastrukturen genutzt werden können. Für die Netze, für die Informationen zum vorhandenen Temperaturniveau und zu

den Nutzungszeiten bekannt waren, wurde geprüft, ob diese mit der Abwärmequelle kompatibel sind. Wäre eine Einspeisung möglich, wurde die wirtschaftlich nutzbare Wärmemenge durch Multiplikation der verfügbaren Leistung des Unternehmens mit einer Vollaststundenzahl von 3.300 h/a bestimmt (AGFW, 2017). Zum Vergleich wurde je Hot Spot die wirtschaftlich verwendbare Abwärmemenge bei einer Vollaststundenzahl berechnet, wie sie je Unternehmen in der Umfrage oder in den 11. BImSchV-Daten angegeben ist.

Versorgung eines einzelnen Abnehmers (Einzelversorgung)

Wenn kein Bestandswärmenetz innerhalb des Wirtschaftlichkeitsradius zur Einzelversorgung vorhanden war, wurde die Versorgung einzelner nahegelegener Gebäude geprüft. Dies kommt einer klassischen Wärme Kooperation zwischen einer Wärmequelle und einem Abnehmer gleich.

Versorgung eines Wohn- oder Mischgebietes

Wenn sich weder die Einspeisung in ein vorhandenes Netz noch eine Einzelversorgung anbot, wurde die Versorgung des Gebäudebestands in der näheren Umgebung untersucht. Zur Prüfung wurde der Wirtschaftlichkeitsradius für die Wohngebietsversorgung herangezogen. Dieser beschreibt die maximale Entfernung zwischen Quelle und Senke bei Lieferung der Abwärme zu einem Einspeisepunkt. Die Verzweigungen des Netzes wurden nicht berücksichtigt. Der Radius wurde daher lediglich zur Selektion potenziell geeigneter Gebiete herangezogen und bedeutete nicht, dass sämtliche eingeschlossene Gebäude wirtschaftlich mit Abwärme versorgt werden könnten. Als geeignete Wohn- oder Mischgebiete wurden Gebiete identifiziert, in denen die Wärmelinien dichte bei mindestens 0,5 kWh/(m a) liegt. Ist ein geeignetes Wohn- oder Mischgebiet innerhalb des Radius vorhanden, wird die technisch verwendbare Abwärmemenge des Unternehmens berechnet. Diese ergibt sich aus der zur Verfügung stehenden Abwärmeleistung des Unternehmens multipliziert mit einer Nutzungszeit von 1.100 h/a. Anschließend wurde die Länge der Straßen ermittelt, die innerhalb des selektierten Gebietes liegen.

8.2.4 Ergebnis der Hot-Spot-Analyse

Insgesamt wurden 104 Unternehmen, deren Potenziale anhand der Unternehmensbefragung oder der Auswertung der 11. BImSchV ermittelt wurden, in den zehn untersuchten Hot Spots betrachtet. Für jedes Unternehmen wurde als erstes die Möglichkeit in ein vorhandenes Wärmenetz einzuspeisen untersucht. War dies nicht möglich, wurde versucht, einen Ankerkunden für eine Direktversorgung zu finden. War auch dies nicht erfolgreich, wurde die Möglichkeit der Versorgung von Wohn- und Mischgebieten durch den Bau neuer Wärmenetze geprüft.

Für 38 Unternehmen bietet sich die Einspeisung in bestehende Wärmenetze an. 25 Unternehmen könnten ihre Abwärme per Direktleitung an einen einzelnen Abnehmer (Ankerkunden) weitergeben. Für vier weitere Unternehmen wäre der Aufbau neuer Wärmenetze zur Versorgung von Gebäuden eine sinnvoll erscheinende Option. Bei 37 untersuchten Unternehmen konnte keine Variante für die externe Nutzung ermittelt werden. Von den 4,6 TWh/a technisch verfügbarer Abwärme in den Hot Spots könnten unter den getroffenen Annahmen 2,3 TWh/a wirtschaftlich genutzt werden, dieses entspricht 50 %. Davon könnten 2,2 TWh/a (48 %) in

bestehende Wärmenetzen eingespeist werden. Die zusammengefassten Ergebnisse der Analyse sind für die Untersuchungsgebiete in Tabelle 10 aufgeführt.

Die hier dargestellten technisch verfügbaren und technisch verwendbaren Potenziale beruhen auf einer Vielzahl pauschalisierter Annahmen, um für große Gebiete Abschätzungen bezüglich der Potenziale machen zu können. Die Ergebnisse ersetzen keine konkrete Planung vor Ort und dienen dazu, die regionalen Potenziale besser einschätzen zu können.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse der Hot-Spot-Analyse

Hot Spot	Anzahl Unternehmen	technisch verfügbar [MWh/a]	wirtschaftlich nutzbar [MWh/a]	Nutzungsoptionen E, B, N*	Nutzbar in Bestandswärmenetz [MWh/a]
1 Dinslaken	6	15.206	6.489 (43%)	B	6.489
2 Köln/Wesseling	12	1.063.679	475.351 (45%)	E,B,N	466.372
3 Castrop-Rauxel	5	28.419	15.551 (55%)	E,B	14.896
4 Dortmund	13	392.449	161.737 (41%)	B	161.737
5 Rahden	3	8.986	3.508 (39%)	N	-
6 Ibbenbüren/ Hörstel	10	16.507	10.672 (65%)	E,N	Prüfung erforderlich
7 Gütersloh	13	377.622	145.191 (38%)	E,B	140.137
8 Brilon	6	222.207	39.498 (18%)	E,N	-
9 Duisburg	25	2.425.288	1.408.002 (58%)	E,B	1.406.567
10 Stolberg	11	78.707	35.803 (45%)	E,B,N	21.848

* Erläuterung: E=Einzelversorgung, B=Bestandswärmenetz, N=Neues Wärmenetz

Zusammenfassend kann also etwa 50 % der in den Hot Spots anfallenden Abwärme an die vorhandenen Wärmesenken (bestehende Wärmenetze, Wohn- und Nichtwohngebäude) wirtschaftlich abgegeben werden. Dieser Anteil wird genutzt, um aus der im Kapitel 9 für NRW hochgerechneten technisch verfügbaren die technisch verwendbare Abwärmemenge abzuschätzen. Diese kann jedoch vor Ort, je nach Abnehmer- und Bedarfsstruktur, deutlich von diesem abgeschätzten Anteil abweichen.

Aufgrund der Datenschutzbestimmungen können die Ergebnisse der Hot-Spot-Untersuchungen nicht im Detail in diesem Fachbericht dargelegt werden. Die Analyse dient stattdessen der Quantifizierung der technisch verwendbaren Abwärmepotenziale.

9 Abwärmepotenziale des Verarbeitenden Gewerbes in Nordrhein-Westfalen

Die Erkenntnisse aus den Analysen der Umfrageergebnisse, der Auswertung der BImSchV-Daten und der Hot-Spot-Untersuchungen werden im Folgenden auf alle Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in NRW extrapoliert.

9.1 Hochrechnung der technisch verfügbaren Potenziale des Verarbeitenden Gewerbes

Im Folgenden werden die drei verwendeten, grundlegenden Hochrechnungsmethoden vorgestellt:

1. Extrapolation auf Basis der Emissionsdaten nach 11. BImSchV
2. Extrapolation auf Basis der intuitiven Angaben aus der Unternehmensbefragung
3. Extrapolation auf Basis der fundierten Abwärmedaten aus der Unternehmensbefragung
 - a) Strukturfaktor und Brennstoffeinsatz anhand der 11. BImSchV-Daten
 - b) branchengenaue Renormierung über Anzahl der Mitarbeitenden und das Statistische Jahrbuch NRW

9.1.1 Extrapolation auf Basis der Emissionsdaten nach 11. BImSchV

Zur Extrapolation des NRW-weiten Abwärmepotenzials auf Basis der 11. BImSchV-Daten von 2012 wurde auf die zuvor ermittelten Daten zurückgegriffen. Neben dem so bestimmten Abwärmepotenzial von 7,2 TWh/a, gingen in die weiteren Berechnungen die branchenspezifischen Abwärmefaktoren ein (Tabelle 9 in Kapitel 6). Diese definieren das Verhältnis zwischen der Energie des Abgasstroms und der eingesetzten Brennstoffenergie je Unternehmensstandort. Für die nachfolgende Berechnung wurden diese Faktoren branchenspezifisch zusammengefasst.

Der Energieverbrauch der einzelnen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes in NRW konnte aus dem Statistischen Jahrbuch NRW entnommen werden. In Summe betrug dieser im Jahr 2012, abzüglich des Stromverbrauchs, 339,4 TWh (IT.NRW, 2014).

Im folgenden Schritt wurde nun das Abwärmepotenzial mittels Gleichung (5) über die Branchenwerte extrapoliert.

$$Abwärme_{NRW} = \sum_{Branche} Abwärmefaktor \cdot Brennstoffeinsatz \quad (5)$$

Durch Aufsummierung aller Branchen des Verarbeitenden Gewerbes ergibt sich ein extrapoliertes Abwärmepotenzial in NRW von 42 TWh/a. Bei weiterer Betrachtung des auf den Stromverbrauch (65,6 TWh/a) basierenden Abwärmepotenzials und zeitgleicher Annahme eines durchschnittlichen, branchenübergreifenden und auf den Gesamtenergieverbrauch basierenden Abwärmekennwerts von durchschnittlich ca. 20 % (Pehnt, Bödeker, Arens, Jochem, & Idrissova, 2010; Reckzügel & Waldhoff, 2014; Schnitzer, et al., 2012; Sollesnes & Helgerud, 2009) würde sich das Abwärmepotenzial nochmals um ein Drittel auf ca. 55 TWh/a erhöhen. Dieses Zusatzpotenzial geht jedoch in keine weitere Bewertung ein.

9.1.2 Extrapolation auf Basis der intuitiven Angaben aus der Unternehmensbefragung

Im Fragebogen schätzten die Unternehmen den Anteil der sinnvoll nutzbaren Abwärme aus Energieanlagen und Produktionsprozess bezogen auf den unternehmensspezifischen Gesamtenergiebezug ein.

Daran anschließend erfolgte die Einschätzung des bereits genutzten Anteils an diesem vermuteten Abwärmepotenzial. Hier wurde auch zwischen intern und extern genutzten Abwärmepotenzialen unterschieden. Anhand dieser Angaben wurde der frei verfügbare Abwärmeanteil des Unternehmensstandortes berechnet. Aus den Einzelangaben der Unternehmen konnte anschließend für jede Branche die branchenspezifische freie Abwärme berechnet werden. Diese Kennzahl wurde mit den Energieverbräuchen der Branchen aus dem Statistischen Jahrbuch NRW (IT.NRW, 2017) multipliziert und für alle Branchen aufsummiert. Wie in Tabelle 11 ausführlich dargestellt, beläuft sich die nach dieser Methode ermittelte Abwärmemenge auf 69 TWh/a. Im Rahmen der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurde seitens der Branchenverbände der Einwand eingebracht, dass die Energieverbräuche aus dem Statistischen Jahrbuch NRW (IT.NRW, 2017), vor allem in den Branchen chemische Erzeugnisse und Metallherzeugung nicht nur den Brennstoffbedarf zur Energieerzeugung, sondern auch Prozessstoffe enthalten. Hierdurch würden auf diesen Weg zu hohe Abwärmepotenziale ermittelt werden. Andererseits fallen bei dieser Betrachtung die stromintensiven Prozesse heraus.

Die Unternehmen gaben außerdem an, ob in den nächsten fünf Jahren Produktions- oder Energieanlagen durch abwärmefreie oder -ärmere Prozesse (z. B. Elektrokessel) ersetzt werden sollen und schätzten die damit verbundene prozentuale Reduzierung der Abwärme ab. Diese Daten wurden ebenfalls für die befragten Branchen einzeln ermittelt und zu einem Mittelwert zusammengefasst. Das freie Abwärmepotenzial reduziert sich branchenübergreifend entsprechend um einen Anteil von 2,1 % auf ca. 67 TWh/a nutzbares, freies Abwärmepotenzial. Die Zahlen sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Der nach dieser Methode abgeleitete aktuelle und zukünftige freie Abwärmeanteil ist den Spalten I und J zu entnehmen.

Tabelle 11: Branchenaufgelöste Auswertung der Schieberegler zu Abwärmeanteil an Unternehmens-Energieeinsatz und Hochrechnung über Branchen-Energieeinsatz auf Abwärmepotenzial in NRW

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Formelbezug	Anteil Abwärme in % am Energieeinsatz	Anteil bereits intern genutzt in % von B	Anteil bereits extern genutzt in % von B	Anteil entfällt wegen Effizienz in % von B	=B·(1-C-D) freier Abwärmeanteil aktuell in % am Energieeinsatz	=B·(1-C-D-E) freier Abwärmeanteil zukünftig in % am Energieeinsatz	Energieeinsatz in TWh/a (IT.NRW, 2017)	=F·H freie Abwärme aktuell in TWh/a	=G·H freie Abwärme zukünftig in TWh/a
10 Nahrungs- und Futtermittel	33,2%	64,6%	28,6%	2,4%	2,2%	1,5%	10,85	0,24	0,16
11 Getränke	10,0%	85,0%	0,0%	0,0%	1,5%	1,5%	1,18	0,02	0,02
13 Textilien	38,7%	49,1%	2,2%	0,0%	18,8%	18,8%	1,53	0,29	0,29
16 Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren	52,1%	45,3%	3,8%	7,2%	26,5%	22,8%	3,91	1,03	0,89
17 Papier, Pappe und Waren daraus	17,5%	42,9%	0,0%	0,0%	10,0%	10,0%	11,30	1,13	1,13
18 Druckerzeugnisse	75,0%	42,2%	3,3%	0,0%	40,8%	40,8%	1,35	0,55	0,55
19 Kokerei und Mineralölverarbeitung	40,0%	19,0%	24,0%	2,9%	22,8%	21,7%	24,38	5,56	5,28
20 chemische Erzeugnisse	23,0%	27,1%	6,4%	2,5%	15,3%	14,7%	167,01	25,53	24,56
22 Gummi- und Kunststoffwaren	23,9%	29,3%	0,0%	0,7%	16,9%	16,7%	4,87	0,82	0,81
23 Glas, Keramik, Steine und Erden	32,9%	56,8%	0,4%	6,8%	14,1%	11,8%	18,67	2,62	2,21
24 Metallherzeugung und -bearbeitung	29,0%	22,1%	6,9%	0,2%	20,6%	20,5%	124,93	25,69	25,61
25 Metallherzeugnisse	26,7%	15,3%	1,1%	1,0%	22,3%	22,0%	7,91	1,76	1,74
27 elektrische Ausrüstung	33,3%	80,0%	2,0%	4,0%	6,0%	4,7%	2,04	0,12	0,10
28 Maschinenbau	26,0%	39,3%	0,0%	0,0%	15,8%	15,8%	4,03	0,64	0,64
29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	37,0%	87,4%	0,0%	0,0%	4,7%	4,7%	3,92	0,18	0,18
31 Möbel	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,95	0,00	0,00
32 sonstige Ware	22,5%	22,2%	0,0%	18,0%	17,5%	13,5%	0,22	0,04	0,03
35 Energieversorgung	27,0%	48,6%	43,1%	0,0%	2,2%	2,2%	-	-	-
38 Abfälle	24,7%	72,4%	0,0%	0,0%	6,8%	6,8%	-	-	-
Sonstige	44,8%	16,5%	14,9%	1,1%	30,7%	30,3%	18,21	2,79	2,68
Gesamtheit	30,2%	40,1%	9,1%	2,1%	15,3%	14,7%	407,25	69,03	66,86

9.1.3 Extrapolation auf Basis der fundierten Abwärmedaten aus der Unternehmensbefragung

Zur Extrapolation der exakten Abwärmedaten aus der Unternehmensbefragung wurden zwei Methoden genutzt. Diese werden im folgenden Teil näher erläutert.

Methode a)

Anwendung des Strukturfaktors und Brennstoffeinsatzes der Anlagen der 11. BImSchV auf die Befragungsergebnisse

Die Basis für diese Extrapolation bildeten 242 Unternehmen, die konkrete Abwärmepotenziale in den Energieanlagen und Produktionsprozessen angegeben haben. In Summe beläuft sich das Abwärmepotenzial dieser Unternehmen auf 7,5 TWh/a (Kapitel 5).

In einem ersten Schritt wurde auf die verbliebenen 284 Unternehmen extrapoliert, die ebenfalls an der Umfrage teilgenommen haben, jedoch keine konkreten Daten zu Abwärmemengen zur Verfügung stellten. Unternehmen, die keine konkreten Abwärmeströme quantifizieren konnten, wurden auf Basis ihrer geschätzten Angaben bewertet. Dieses Vorgehen fand bei insgesamt 48 Unternehmen Anwendung. Ebenso wurde bei den Unternehmen verfahren, die zwar Abwärmepotenziale abschätzten, deren Angaben zur bereits umgesetzten internen und externen Nutzung jedoch in Summe 100 % des angegebenen Abwärmepotenzials erreichten oder überschritten. In diesem Fall wurde davon ausgegangen, dass kein freies Abwärmepotenzial vorliegt. Dadurch fielen 19 Unternehmen aus der Betrachtung. Somit wurden die Angaben von 217 Unternehmen als Basis der Extrapolation angesetzt.

Für diese 217 Unternehmen wurde angenommen, dass bei ihnen ein vergleichbares mittleres Abwärmepotenzial vorliegt wie bei den übrigen 242 Unternehmen, die Angaben zu konkreten Abwärmemengen tätigten. Damit ergibt sich eine über alle 526 Befragungsteilnehmer erfasste Abwärmemenge von 14,2 TWh/a.

Insgesamt wurden bei der Unternehmensbefragung 1.857 Unternehmen angeschrieben, woraus sich eine Rückläuferquote von gut 28 % ergibt. Es ist nicht davon auszugehen, dass alle angeschriebenen Unternehmen hinsichtlich ihrer Energieintensität oder Unternehmensgröße exakt mit den Unternehmen, die geantwortet haben, vergleichbar sind. Um das Abwärmepotenzial der Unternehmen, die in der Befragung nicht geantwortet haben, nicht zu überschätzen, wurde ein konservativer Strukturfaktor von 0,8 angesetzt, der diesen Effekt berücksichtigen sollte. Das bedeutet, die Unternehmen, die nicht an der Unternehmensbefragung teilgenommen haben, werden im Mittel nur mit 80 % der Abwärmepotenziale bewertet, die durchschnittlich für die 526 teilnehmenden Unternehmen ermittelt wurden. Nach diesem Ansatz errechnet sich für die 1.857 angeschriebenen Unternehmen ein freies Abwärmepotenzial von 40,1 TWh/a.

In einem letzten Schritt erfolgte die Extrapolation des ermittelten Potenzials der angeschriebenen Unternehmen auf alle Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in NRW. Aus dem Statistischen Jahrbuch NRW geht hervor, dass 2017 ca. 10.000 Betriebe mit mehr als 20 Mitarbeitenden in NRW ansässig waren, die sich zum Verarbeitenden Gewerbe zählen (IT.NRW, 2017). Die Liste der angeschriebenen Unternehmen stützt sich dagegen im Wesentlichen auf

die 11. BImSchV-Daten. Im Prinzip ist die Pflicht, Emissionen nach 11. BImSchV zu erklären, kein geeignetes Ein- oder Ausschlusskriterium für abwärmerrelevante Energieanlagen oder Produktionsprozesse. Die Abschätzung eines Strukturfaktors, ähnlich des vorangegangenen Extrapolationsschritts, wäre hier nicht ausreichend. Eine solidere Bemessungsgrundlage bietet aber der in den 11. BImSchV-Daten ebenfalls erfasste Jahresbrennstoffeinsatz. In Summe deckt dieser in den angeschriebenen Unternehmen etwa 42 % des Brennstoffeinsatzes des gesamten Verarbeitenden Gewerbes in NRW ab (IT.NRW, 2017). Die übrigen 58 % entfallen auf die Unternehmen, die nicht angeschrieben wurden. Bei Annahme ähnlicher Brennstoffverteilungs- und Verwendungsstrukturen der Branchen wie im Mittel der 1.857 angeschriebenen Unternehmen, ergibt sich nach der Extrapolation auf Basis der Befragung eine freie Abwärme aus dem Verarbeitenden Gewerbe in NRW von 95,5 TWh/a. Tabelle 12 fasst alle relevanten Zahlen und Zwischenschritte zusammen.

Zusätzliches technisches Abwärmepotenzial der Energieanlagen aus der Befragung

Die Berechnung der Abwärme aus Rauchgas für Wärmeerzeuger oder KWK-Anlagen erfolgt auf Basis der Temperaturen, die die Befragungsteilnehmer als niedrigste mögliche Rauchgastemperatur am Eintritt in den Kamin angegeben haben. Diese Temperaturangaben berücksichtigen die individuelle Einbausituation, bestehende genehmigungstechnische Auflagen und die verwendeten Materialien im Rauchgaszug, aber in der Regel nicht das grundsätzlich technisch erreichbare Abwärmepotenzial. Um abschätzen zu können, welche Rauchgastemperatur am Eintritt in den Kamin technisch möglich ist (durch Anpassung örtlicher Gegebenheiten oder einer einfachen Neubewertung), wurden die Potenziale dieser Abwärmequellen ein weiteres Mal bewertet. Hierbei liegt die Annahme zu Grunde, dass das Rauchgas auf eine brennstoffspezifisch niedrigst mögliche Temperatur (60 °C für Erdgas und 100 °C für alle weiteren Brennstoffe) abgekühlt werden kann. Die so ermittelten technisch möglichen Abwärmemengen werden den auf Basis der Unternehmensangaben berechneten Abwärmemengen gegenübergestellt. Diese Betrachtung kommt zu dem Ergebnis, dass für die angegebenen KWK-Anlagen und Wärmeerzeuger (Kesselanlagen) unter Ausnutzung der optimalen Kamintemperaturen das technische Abwärmepotenzial um ungefähr den Faktor 2,35 gesteigert werden kann (Abbildung 45).

Das Abwärmepotenzial aus Rauchgas (nur dort, wo die Unternehmen Angaben zur niedrigst möglichen Rauchgastemperatur gemacht haben) beläuft sich in Summe auf 2,81 TWh/a. Zur Ermittlung des technisch möglichen Potenzials kann der zuvor ermittelte Faktor von 2,35 angewandt werden. So ergibt sich eine technisch mögliche Abwärmemenge laut Umfrage von 11,3 TWh/a ($= 7,5 + 2,81 \cdot (2,35 - 1)$).

Diese Zahl kann alternativ zu den 7,5 TWh/a als Basis für die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebene Extrapolation verwendet werden. Die freie, theoretische und technisch mögliche Abwärmemenge aus dem Verarbeitenden Gewerbe in NRW würde sich demnach auf 144 TWh/a erhöhen.

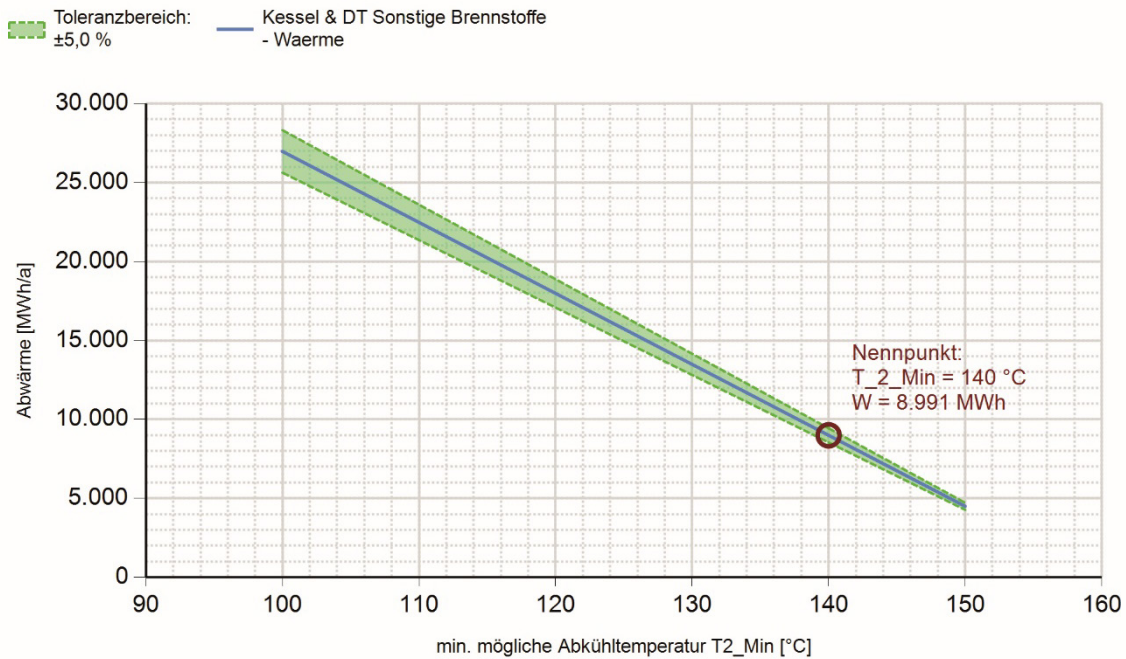


Abbildung 45: Beispielhafte Darstellung des technischen verfügbaren Abwärmepotenzials einer Energieanlage bei Ausnutzung der brennstoffspezifischen minimalen Kamintemperaturen

Tabelle 12: Zusammenfassung der Zwischenergebnisse und Zahlen der Extrapolationsschritte der Methode a in Kapitel 9.1.3

Beschreibung	Unternehmen	Abwärmepotenzial
Basis der Extrapolation: Detaillierte Angaben aus Unternehmensbefragung (Kapitel 5)	242	7,5 TWh/a
- Weitere Unternehmen aus Befragung ohne konkrete Abwärmeangaben abzüglich der Unternehmen, deren Abwärmemenge 0 ist (48) oder die ihre Abwärme zu 100 % nutzen (19)	217	6,7 TWh/a
Zwischensumme	459	14,2 TWh/a
- Alle bei Befragung angeschriebene Unternehmen (Strukturfaktor: 0,8)	1857	40,1 TWh/a
- Übertragung auf alle Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes in NRW (Annahme: 1857 Unternehmen = 42 % des gesamten Brennstoffeinsatzes im Verarbeitenden Gewerbe)	ca. 10.000	95,5 TWh/a
Erhöhtes technisches Potenzial bei brennstoffspezifischer optimierter minimaler Kamintemperatur		
- Unternehmen aus Befragung mit Detailangaben	242	11,3 TWh/a
- Verarbeitendes Gewerbe in NRW	ca. 10.000	144 TWh/a

Methode b)

Branchengenaue Renormierung über Anzahl der Mitarbeitenden und das Statistische Jahrbuch NRW

Als Basis dieser Methode dienten auch die 242 Unternehmen, die konkrete Abwärmeströme im Fragebogen darlegten. Im Unterschied zu Methode a) wurde jedoch die Größe der teilnehmenden Unternehmen berücksichtigt. Außerdem ging die Verteilung nach Unternehmensgrößen und Branchen in NRW in die Extrapolation mit ein (Abbildung 46).

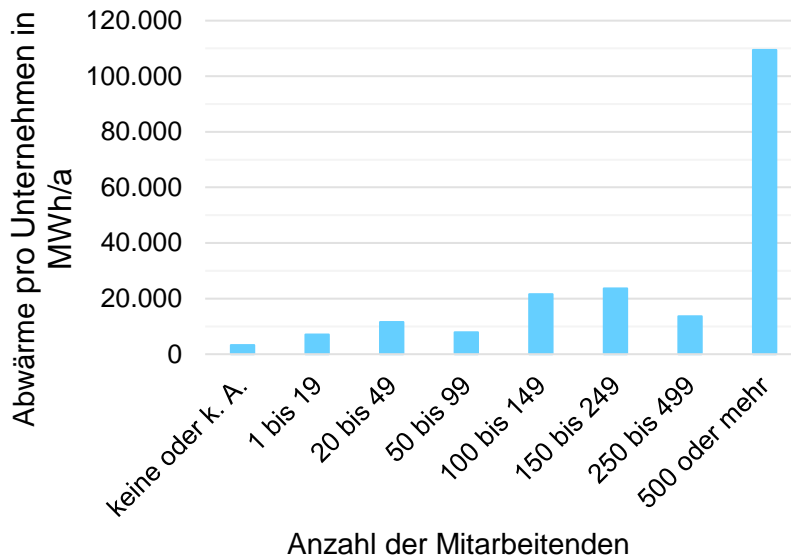


Abbildung 46: Durchschnittlich erfasste Abwärmemenge pro Unternehmen, aufgeteilt nach Anzahl der Mitarbeitenden

Für diese Auswertung erfolgte in einem ersten Schritt eine Angleichung der im Fragebogen erfassten Unternehmensgröße an die Klassierung des Statistischen Jahrbuchs NRW (Grenzen: 50, 100, 250 und 500 Mitarbeitende). Nach dieser Einteilung der Mitarbeitendenzahl wurde für jedes Größensegment über alle Ergebnisse der Prozess- und Energiedaten aus der Befragung die mittlere Abwärmemenge pro Unternehmen berechnet (Abbildung 47). Das mittlere, dunkelblau markierte Größensegment wurde hierbei als ein Unternehmensäquivalent (UÄ) und somit auf 100 % festgesetzt. Um Ausreißer aufgrund der nur begrenzt vorliegenden Datensätze in den Unternehmensgrößen 50 bis 99 und 250 bis 499 Mitarbeitenden zu vermeiden, wurden jeweils die beiden größten und kleinsten Segmente durch Mittelwertbildung zusammengefasst (Abbildung 47 a). Die so gebildeten drei Wertepunkte bildeten im Weiteren die Basis zur Extrapolation. Die hieraus abgeleiteten Unternehmensäquivalente sind in Abbildung 47 b dargestellt. Anhand dieser Vorgehenseise zeigt sich, dass Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitenden im Durchschnitt etwa die Abwärmequellen in der Größenordnung von 25 % Unternehmensäquivalenten repräsentieren. Ebenso stellen Unternehmen mit 500 oder mehr Mitarbeitenden die Abwärmequellen von 368 % Unternehmensäquivalenten dar.

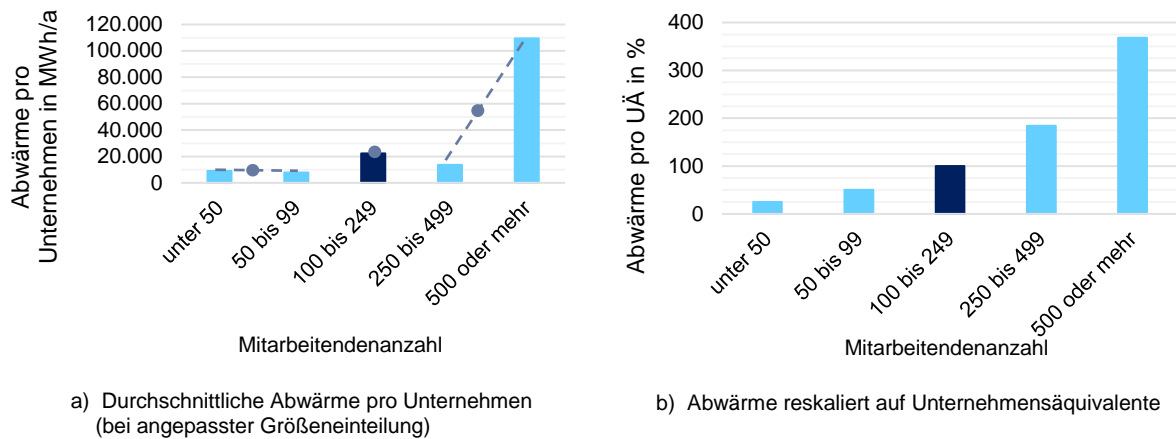


Abbildung 47: Überführung der Mitarbeiteranzahl auf die Kategorien aus dem Statistischen Jahrbuch NRW (IT.NRW, 2017)

Im nächsten Schritt wurden die teilnehmenden Unternehmen auf Unternehmensäquivalente umgerechnet, um die branchenspezifisch vorliegende, mittlere Abwärme pro Unternehmensäquivalente ermitteln zu können. Diese Berechnung wird in Tabelle 13 für die Branche chemische Erzeugnisse (WZ 20) beispielhaft gezeigt.

Innerhalb dieser Branche haben 26 Unternehmen konkrete Potenziale in der Befragung angegeben. Hieraus berechnet sich ein Abwärmepotenzial von 1.362 GWh/a. Unter Berücksichtigung der angegebenen Anzahl der Mitarbeitenden ergeben sich für diese Unternehmen 45,3 Unternehmensäquivalente. Bei Annahme dieser ermittelten Abwärme, ergibt sich für die chemische Industrie ein branchenspezifischer Faktor von 30 GWh pro Jahr und Unternehmensäquivalent. Unternehmen, bei denen laut Befragung keine Abwärme anfällt oder diese bereits zu 100 % genutzt wird, wurden auf identische Weise berücksichtigt und repräsentieren 20,7 Unternehmensäquivalente (Tabelle 13). Die Abwärmesumme dieser Unternehmen wurde mit 0 GWh/a/UÄ angesetzt. Durch Aufsummierung dieser beiden Werte wurde für 37 Unternehmen der Branche chemische Erzeugnisse eine quantitative Angabe zur Abwärmemenge erfasst. Hieraus ergeben sich auf Basis der Mitarbeitendenzahl 66 UÄ. Der so bereinigte branchenspezifische Abwärmefaktor beträgt 20,6 GWh/a/UÄ. Anhand dieses Abwärmefaktors wird im letzten Schritt auf alle Unternehmen der untersuchten Branche hochgerechnet. Laut Statistischem Jahrbuch NRW sind 444 Unternehmen dieser Branche zugeordnet, umgerechnet ergeben sich hieraus 404,7 UÄ (IT.NRW, 2017). Nach Multiplikation mit dem zuvor ermittelten branchenspezifischen Abwärmefaktor von 20,6 GWh/a/UÄ ergibt sich für die Branche chemische Erzeugnisse in NRW eine hochgerechnete Abwärmemenge von 8.352 GWh/a. Für die Chemie-Branche würde das bedeuten, dass ein Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitenden im Schnitt ein Abwärmeaufkommen von 5 GWh/a aufweist. Ein Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitenden weist hiernach im Schnitt 76 GWh/a an Abwärme auf.

Der Effekt dieser Reskalierung wird bei Gegenüberstellung der Unternehmensanzahl und der Unternehmensäquivalente deutlich. Die Unternehmen, die sich an der Umfrage beteiligt ha-

ben, repräsentieren tendenziell überdurchschnittlich große Unternehmen. Dieser Reskalierungs-Effekt wird durch die vorgenommene Umrechnung auf Unternehmensäquivalente branchengenau berücksichtigt.

Tabelle 13: Umrechnung der Abwärme auf Unternehmensäquivalente und Hochrechnung der Branche chemische Erzeugnisse

	Teilnehmer Detailangaben	keine Abwärme laut Befragung	Summe Umfrage	Unternehmen in NRW (IT.NRW, 2017)
Anzahl der Unternehmen	26	11	37	444
davon unter 50 Mitarbeitende	6	3	9	164
davon 50 bis 99 Mitarbeitende	4	1	5	99
davon 100 bis 249 Mitarbeitende	5	1	6	102
davon 250 bis 499 Mitarbeitende	2	2	4	43
davon 500 und mehr Mitarbeitende	9	4	13	36
Unternehmensäquivalente	45,3	20,7	66,0	404,7
Abwärme Branchensumme Befragung (Detailangaben)	1.362 GWh/a	0 GWh/a	1.362 GWh/a	
Abwärme pro UÄ	30,0 GWh/a/UÄ	0 GWh/a/UÄ	20,6 GWh/a/UÄ	20,6 GWh/a/UÄ
Abwärme auf NRW hochgerechnet				8.352 GWh/a

In Tabelle 14 sind die Zwischenwerte und die Ergebnisse dieser Hochrechnung für alle Branchen zusammengefasst. In der letzten Spalte sind die Abwärmepotenziale der einzelnen Branchen enthalten. Bei weniger als vier teilnehmenden Unternehmen einer Branche mit Angaben von Prozessdetails (orange dargestellt) erfolgte die Ermittlung der Abwärme pro Unternehmensäquivalent als Mittelwert über alle nicht energieintensiven Branchen. Die in grülicher Schrift dargestellten Werte entstammen nicht dem Statistischen Jahrbuch NRW, sondern stehen für die absolut mit der Umfrage angeschriebenen Unternehmen dieser Branchen. Zur Hochrechnung der Potenziale dieser Unternehmen auf NRW wurde angenommen, dass das Verhältnis von Unternehmensäquivalenten sich im Mittel an allen weiteren im Statistischen Jahrbuch NRW verzeichneten Branchen orientiert. Nach Aufsummierung aller Branchen ergibt sich, anhand der am Beispiel der Branche chemische Erzeugnisse dargestellten Vorgehensweise, ein hochgerechnetes Abwärmepotenzial für das Verarbeitende Gewerbe in NRW von 87,7 TWh/a.

Auch bei dieser Methode bildete das von den teilnehmenden Unternehmen angegebene Abwärmepotenzial von 7,5 TWh/a die Basis der Hochrechnung. Um eine Abschätzung des technisch möglichen Potenzials zu treffen, sind bei 2,81 TWh/a (Abwärme aus Rauchgas für Wärmeerzeuger oder KWK-Anlagen) die Potenziale noch einmal unter der Annahme berechnet worden, dass das Rauchgas auf eine brennstoffspezifische niedrigst mögliche Temperatur (60 °C für Erdgas und 100 °C für alle weiteren Brennstoffe) abgekühlt wird (siehe Methode a)). Aus dieser Berechnung ergibt sich eine technisch mögliche Abwärmemenge von 11,3 TWh/a. Diese Zahl kann alternativ zu den 7,5 TWh/a als Basis für die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebene Extrapolation verwendet werden. Die freie theoretisch und technisch mögliche Abwärmemenge aus dem Verarbeitenden Gewerbe in NRW würde sich hiernach auf 132 TWh/a belaufen.

Tabelle 14: Umrechnung der Abwärme auf Unternehmensäquivalente und Hochrechnung aller Branchen. In oranger Schrift sind die Branchen mit weniger als vier Unternehmen in den Bereichen E und F gekennzeichnet. Die in grau dargestellte Zahlen wurden über die durchschnittlichen Mitarbeiteranzahlen aller anderen Branchen im Statistischen Jahrbuch von NRW 2017 bestimmt.

Branche	Teilnehmer Teile E und F		Teilnehmer ohne Abwärme nach Schieberregler in Teil C		Summe Teilnehmer nach Umfrage		Abwärme in GWh/a	Abwärme pro UÄ in GWh/a/UÄ	Unternehmen in NRW (IT.NRW, 2017)		Abwärme NRW in GWh/a
	absolut	UÄ	absolut	UÄ	absolut	UÄ			absolut	UÄ	
8 Steine und Erden	0	0	0	0	0	0	0	9,8	132	42,2	414,2
10 Nahrungs- und Futtermittel	21	25,4	5	1,8	26	27,2	350,7	12,9	960	567,5	7.319,6
11 Getränke	1	3,7	0	0	1	3,7	0	9,8	69	54,9	538,0
12 Tabak	0	0	0	0	0	0	0	9,8	5	3,5	34,4
13 Textilien	12	13,5	0	0	12	13,5	213,8	15,8	200	124,5	1.967,9
14 Bekleidung	0	0	0	0	0	0	0	9,8	53	35,3	346,3
15 Leder, Lederwaren und Schuhe	0	0	0	0	0	0	0	9,8	16	10,5	103,4
16 Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren	6	13,0	0	0,0	6	13,0	515,3	39,5	211	104,2	4.116,6
17 Papier, Pappe und Waren daraus	10	13,2	1	3,7	11	16,9	123,6	7,3	210	164,0	1.199,9
18 Druckerzeugnisse	6	10,4	0	0,0	6	10,4	341,5	33,0	279	145,4	4.790,3
19 Kokerie und Mineralölverarbeitung	4	7,9	1	0,3	5	8,1	630,5	77,7	16	19,7	1.526,4
20 chemische Erzeugnisse	26	45,3	11	20,7	37	66,0	1.362,0	20,6	444	404,7	8.352,3
21 pharmazeutische Erzeugnisse	1	3,7	0	0	1	3,7	327,9	9,8	63	56,0	549,5
22 Gummi- und Kunststoffwaren	10	15,6	3	2,5	13	18,1	10,5	0,6	744	469,9	272,1
23 Glas, Keramik, Steine und Erden	36	23,5	4	1,0	40	24,5	373,4	15,2	567	254,8	3.883,0
24 Metallherzeugung und -bearbeitung	31	50,8	7	1,8	38	52,5	2.146,0	40,9	453	464,2	18.966,9
25 Metallherzeugung	41	49,6	6	5,7	47	55,3	408,2	7,4	2.065	1.139,4	8.416,5
26 Datenverarbeitungsgeräte	0	0	1	1,8	1	1,8	0	9,8	303	203,3	1.993,9
27 elektrische Ausrüstung	3	6,5	2	3,9	5	10,5	4,6	9,8	484	410,1	4.022,1
28 Maschinenbau	4	7,9	1	0,3	5	8,1	58,0	7,1	1.472	1.084,0	7.742,7
29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	3	11,0	0	0	3	11,0	363,1	9,8	235	284,6	2.791,0
30 Sonstiger Fahrzeugbau	1	3,7	0	0	1	3,7	1,1	9,8	51	44,0	431,5
31 Möbel	0	0	6	3,5	6	3,5	0	9,8	287	182,8	1.792,5
32 sonstige Ware	7	4,0	1	0,3	8	4,3	4,8	1,1	257	109,7	124,5
33 Reparatur und Installation von Maschinen	0	0	0	0	0	0	0	9,8	517	266,1	2.609,8
35 Energieversorgung	12	8,9	8	14,6	20	23,6	110,1	4,7	161	106,0	494,8
38 Abfälle	5	1,5	6	2,3	11	3,8	167,5	44,4	35	23,0	1.023,0
81 Gartenbau	1	0,3	0	0	1	0,3	3,5	9,8	8	5,3	51,7
86 Gesundheit	1	3,7	0	0	1	3,7	0,2	9,8	1	0,7	6,5
96 persönliche Dienstleist.	0	0	0	0	0	0	0	9,8	2	1,3	12,9
nicht zuzuordnen	0	0	4	2,0	4	2,0	0	9,8	278	183,0	1.795,0
Summe:	242	323,0	67	66,0	309	389,1	7.516,3		10.578	6.964,6	87.689,0

9.2 Ergebnisübersicht und Ableitung technisch verwendbarer Potenziale

Eine grafische Übersicht der unterschiedlichen Herangehensweisen zur Extrapolation der Abwärmepotenziale auf NRW ist Abbildung 48 zu entnehmen.

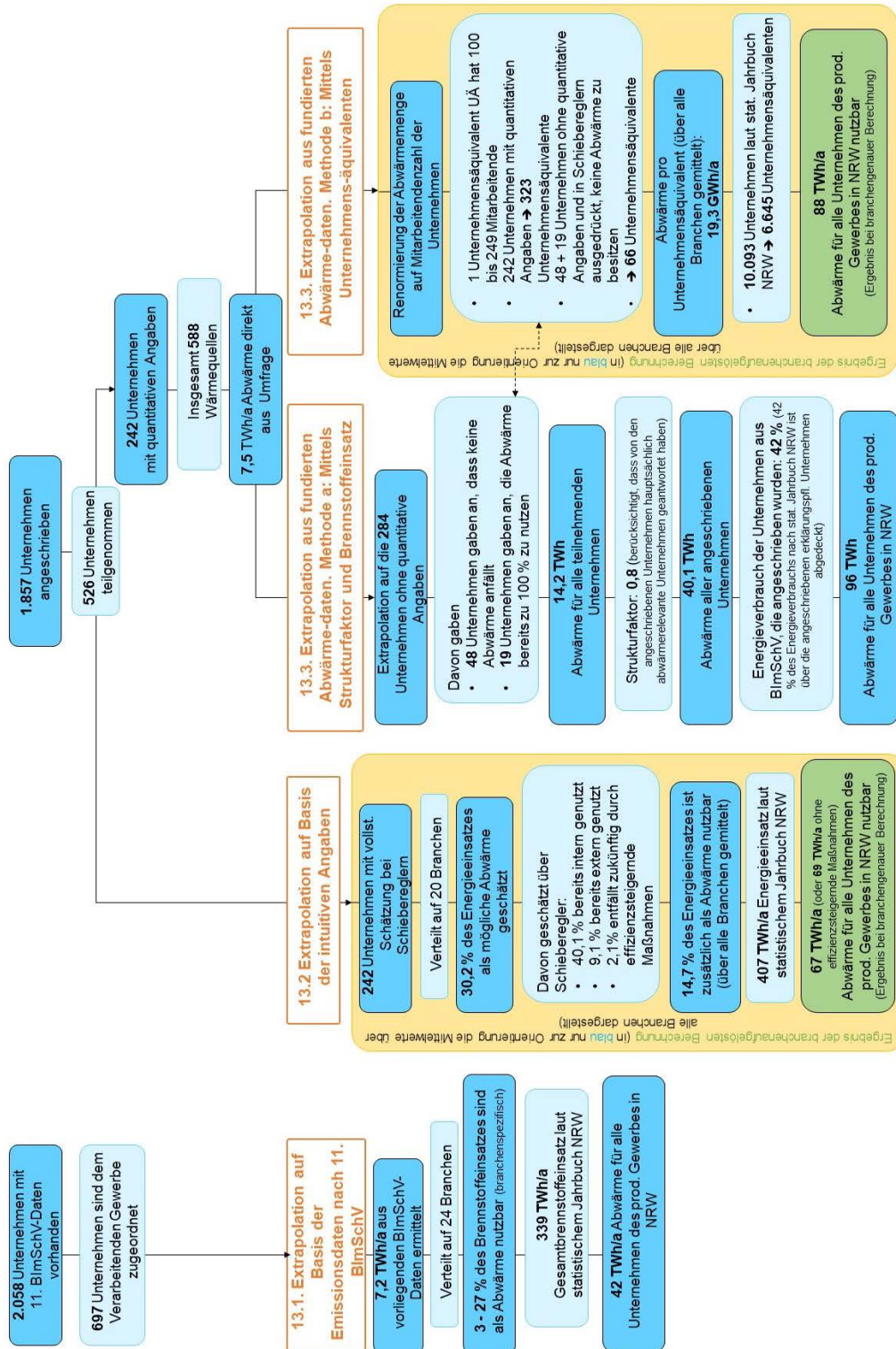


Abbildung 48: Vergleich der unterschiedlichen Herangehensweisen zur Extrapolation der Abwärmepotenziale auf NRW

Die beschriebenen Extrapolationsansätze zeigen unterschiedliche Stärken und Schwächen auf. In den Methoden wurden sehr unterschiedliche Ansätze gewählt, um das freie Abwärmepotenzial der produzierenden Unternehmen in NRW zu ermitteln. Trotzdem liegen die Ergebnisse alle in der gleichen Dimension. Einzig die untere Grenze des Potenzials nach BImSchV-Berechnung fällt aus diesem Rahmen. Die Datengrundlage wird aufgrund der Entstehung jedoch als deutlich weniger geeignet eingeschätzt als die Auswertung der Befragungsdaten, sodass sich das tatsächliche Potenzial eher im Bereich der anderweitig ermittelten Werten angleichen dürfte. Auf Basis dieser Extrapolationsmethoden ergibt sich ein **technisch verfügbares Abwärmepotenzial** im Bereich von 88 bis 96 TWh/a.

Die zur Verfügung stehenden Daten wurden auf Grundlage konservativer Annahmen extrapoliert, sodass das tatsächliche Abwärmepotenzial wahrscheinlich höher ausfallen dürfte, als hier ausgewiesen. Nicht zu vergessen sind jene Wärmemengen, die zwar sinnvoll ins Energiesystem eingebunden werden könnten, aufgrund des Niedertemperaturbereichs in dieser Studie jedoch nicht weiter berücksichtigt wurden. Zudem erhöht sich das Potenzial bei Annahme der zuvor beschriebenen technisch optimierten, niedrigst möglichen Rauchgastemperatur am Kaminaustritt um 50 %.

Um das **technisch verwendbare Potenzial** für ganz NRW abzuschätzen, wurden die Ergebnisse aus der Hot-Spot-Analyse genutzt. Diese berücksichtigt eine große Vielfalt unterschiedlicher Bebauungs-, Wärmebedarfs- und Versorgungsstrukturen. In den Hot Spots konnte durch die Nutzung in vorhandenen Wärmenetzen und der zusätzlichen Versorgung von Wohn- und Nichtwohngebäuden 50 % der ermittelten technisch verfügbaren Abwärmemenge abgenommen werden. Hier ist anzumerken, dass konservative Rahmenbedingungen zugrunde gelegt wurden. Eine zusätzliche räumliche Analyse zeigt, dass sich im Umkreis von drei Kilometern bei 182 der 840 betrachteten Unternehmen ein bestehendes Wärmenetz befindet. Somit ist im Umfeld von etwa jedem fünften Industriestandort mit Potenzial bereits eine Versorgungsstruktur vorhanden, die die anfallende Abwärme verteilen könnte.

Eine Übersicht aller diskutierten Zahlen ist Abbildung 49 zu entnehmen. Die Extrapolationen basieren auf den Ergebnissen der Auswertung der 11. BImSchV-Erklärungen (7,2 TWh/a) sowie der Befragung (7,5 TWh/a). Bei Verschneidung der beiden Datensätze, die zum Teil die Abwärmepotenziale der Industrieanlagen durch beide Methoden haben, ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 12 TWh/a, die an den 840 Standorte verortet werden können. Ständen Ergebnisse beider Methoden zur Verfügung, so wurden die Ergebnisse der Befragung aufgrund der höheren Qualität bevorzugt.

Es lässt sich festhalten, dass das technisch verfügbare Abwärmepotenzial im Bereich von 88 bis 96 TWh/a zu etwa 50 % auch verwendbar ist. Daraus ergibt sich ein technisch verwendbares Potenzial von 44 bis 48 TWh/a. Das tatsächlich verwendbare Potenzial variiert jedoch stark zwischen den Standorten, sodass Detailuntersuchungen vor Ort unumgänglich sind.

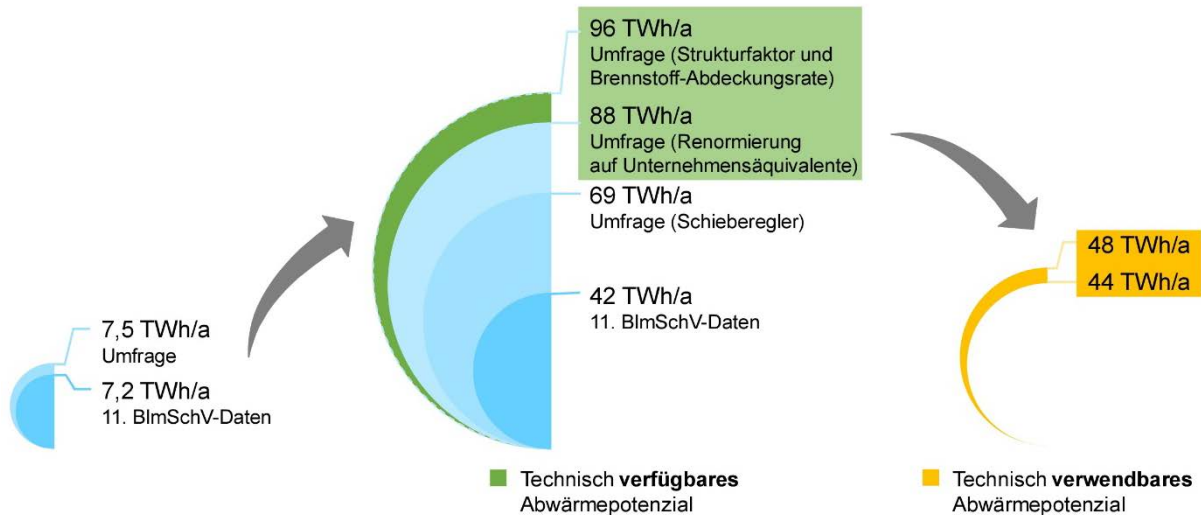


Abbildung 49: Gegenüberstellung der erhobenen (links), extrapolierten technisch verfügbaren (Mitte) sowie berechneten technisch verwendbaren (rechts) Abwärmepotenziale in Nordrhein-Westfalen

Im Hinblick auf den beschlossenen Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2038, von dem auch die kohlebetriebenen KWK-Anlagen mit den dazugehörigen Wärmenetzen betroffen sind, bieten die hier vorgestellten Potenziale einen möglichen Lösungsansatz. Allein im Bereich der KWK-Anlagen müssen rund 16 TWh Wärme, die im Bezugsjahr 2016 durch Stein- und Braunkohle erzeugt wurden, künftig durch möglichst emissionsarme bzw. -freie Energieträger ersetzt werden. Dies betrifft sowohl die industrielle Wärmebereitstellung als auch die Wärmenetze zur Versorgung der Gebäude in NRW.

9.3 CO₂-Einsparungspotenziale

Im folgenden Teil werden die möglichen CO₂-Einsparpotenziale ausgewiesen, die durch Nutzung der industriellen Abwärme in NRW gehoben werden könnten. Zusätzliche CO₂-Emissionen, die bei der Auskopplung der industriellen Abwärme in den Unternehmen anfallen könnten, werden nicht betrachtet. Ebenso fließt der elektrische Strombedarf zum Transport des Wärmeträgermediums innerhalb des Wärmenetzes nicht in die Bewertung mit ein. Dieser ist unabhängig von der gewählten Wärmeeinspeisung (konventionelle Erzeugung oder industrielle Abwärme) und führt somit zu keiner Veränderung der Bilanz.

Zur Ermittlung der Einsparpotenziale werden nachfolgende zwei CO₂-Emissionsfaktoren zu Grunde gelegt (Pfnür, Winiewska, Mailach, & Oschatz, 2016):

- Fern-/Nahwärme (Heizwerk fossil): 274 g/kWh
- Fern-/Nahwärme (KWK fossil): 158 g/kWh

Wird das im Rahmen dieser Studie ermittelte technisch verfügbare Potenzial von ca. 96 TWh/a vollständig genutzt, könnten gegenüber der Produktion derselben Wärmemenge in einem Heizwerk mit fossilen Energieträgern 26,3 Mio. t/a CO₂ eingespart werden. Gegenüber fossil

betrieblenen KWK-Anlagen könnten bei dieser Wärmemenge 15,2 Mio. t/a CO₂ eingespart werden. Eine Aufstellung der Einsparmöglichkeiten bei Umsetzung der unterschiedlich errechneten Potenziale der Industriellen Abwärme ist in Abbildung 50 dargestellt. 42 TWh/a entsprechen dabei dem Ergebnis der Extrapolation der Potenziale auf Basis der 11. BImSchV-Auswertung, 69 TWh/a der Hochrechnung der intuitiven Angaben aus der Befragung, 88 und 96 TWh/a der Auswertung auf Grundlage der fundierten Abwärmedaten aus den Unternehmen und 132 bzw. 144 TWh/a dem Potenzial zur Hebung des Abwärmepotenzials nach den gleichen Zahlen bei Optimierung der Abgasführung bei Energieanlagen in den Unternehmen.

Bei Nutzung der zuvor aus der Hochrechnung aus der Hot-Spot-Analyse ermittelten technisch verwendbaren Abwärmemenge von 44 bis 48 TWh/a könnten gegenüber der Produktion derselben Wärmemenge in einem Heizwerk mit fossilen Energieträgern 12,1 bis 13,2 Mio. t/a an CO₂-Emissionen vermieden werden. Auch gegenüber einer Produktion derselben Wärmemenge mittels fossil betriebener KWK-Anlagen könnten durch Nutzung von industrieller Abwärme immer noch 7,0 bis 7,6 Mio. t/a CO₂-Emissionen vermieden werden.

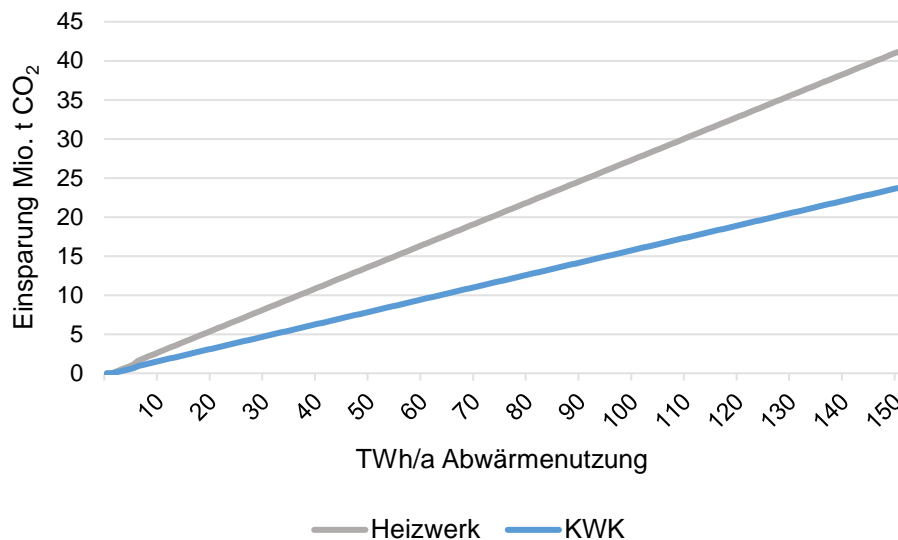


Abbildung 50: CO₂-Einsparungspotenziale durch Nutzung industrieller Abwärme im Vergleich zu Wärmeerzeugung durch Heizwerke und KWK-Anlage

Zusammenfassend zeigt sich, dass das CO₂-Einsparpotenzial durch Nutzung der derzeitigen industriellen Abwärme in NRW im Bereich zwischen 7 und 26 Mio. t/a CO₂ liegt. Aufgrund der konservativen Annahmen kann davon ausgegangen werden, dass der tatsächlich zu erreichende Wert deutlich oberhalb der Untergrenze von 7 Mio. t/a CO₂ liegt. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geht von einem Potenzial von bundesweit 35 Mio. t/a CO₂ aus, dessen Hebung erfolgskritisch für die Erreichung der Klimaschutzziele ist (BMW, 2018). Aufgrund der Größe und der industriellen Prägung des Landes NRW ist daher davon auszugehen, dass ein großer Teil der zu erzielenden CO₂-Einsparungen für den Bund Aufgabe des Landes ist. Aufgrund der ermittelten Abwärmepotenziale ist davon auszugehen, dass NRW dieser Herausforderung durch eine konsequente Umsetzung von Abwärmennutzungs- und -effizienzmaßnahmen gerecht werden kann.

Literatur

- AGEB (2017): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2016. AG Energiebilanzen e. V., Berlin. Abgerufen am 22.12.2017: <https://ag-energiebilanzen.de/8-0-Anwendungsbilanzen.html>
- AGFW (2017): AGFW - Hauptbericht 2016. Variante 2, AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt am Main.
- AGFW (2018): Rohrleitungskosten. AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt am Main (unveröffentlicht).
- AGFW (2018): Zahlen und Statistiken des AGFW. (AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.) Abgerufen am 30.05.2018: <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken>
- Bartelt, M., Beck, J., Donner, O., Marambio, C., Michels, A., Ritzau, M., Schrader, K., Eikmeier, B., Janßen, K. (2013): Perspektiven der Fernwärme im Ruhrgebiet bis 2050. Abschlussbericht, Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Bremer Energie Institut, Aachen.
- BDEW (2015): Wie heizt Nordrhein-Westfalen? Studie zum Heizungsmarkt. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Abgerufen am 01.12.2017: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20151207-wie-heizt-deutschland_daten-nach-bundeslaendern-de?open&ccm=500065100
- Biedermann, F., & Kolb, M. (2014): Faktenblatt Nah-/Fernwärme. Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE). Wetzlar: Arbeitsgemeinschaft der Hessischen Industrie- und Handelskammern. Abgerufen am 12.07.2018: www.ffegmbh.de/download/informationen/528_ihk_hessen_waerme/fb_nah-fernwaerme.pdf
- BMWi (28. Juni 2018): BMWi-Förderung „Abwärmevermeidung und Abwärmenutzung in gewerblichen Unternehmen“. Essen, NRW, Deutschland.
- Brückner, S. (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland – Bestimmung von gesicherten Aufkommen und technischer bzw. wirtschaftlicher Nutzbarkeit. Dissertation, Technische Universität München, München.
- Donnerbauer, R. (2015): Effiziente Wärme für die Industrie. VDI Nachrichten (Nr. 6). Abgerufen am 10.07.2018: <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Effiziente-Waerme-fuer-Industrie>
- Energie-Consulting (2004): Kennziffernkatalog 2004. GfEM – Gesellschaft für Energiemanagement, Neuhagen/Berlin. <http://www.ener-cons.de/Kennziffern.htm>
- energy2.0 (April 2012): Effiziente Energieversorgung durch Abwärme. energy2.0.net Fachmagazin, S. 10 ff.
- Frisch, S., Pehnt, M., Otter, P., & Nast, M. (2010): Prozesswärme im Marktanreizprogramm. Projektbericht, ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Heidelberg, Stuttgart. <http://elib.dlr.de/82173>
- Groß, B., & Manns, H. (2018): Stromerzeugungstechnologien zur Abwärmenutzung, in: Technologie für die Energiewende. Wuppertal Institut, ISI, IZES.
- Grote, L., Hoffmann, P., & Tänzler, G. (2015): Abwärmenutzung – Potenziale, Hemmnisse und Umsetzungsvorschläge. Studie, IZES gGmbH (Institut für ZukunftsEnergieSysteme),

- Saarbrücken. Abgerufen am 08.02.2018: http://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/20150901_BMUB_Studie_Abwaerme_V.1.1.pdf
- Hensel, P. (2013): Optimierung des Ausbaus von Nah- und Fernwärmenetzen unter Berücksichtigung eines bestehenden Gasnetzes. Dissertation, Universität Paderborn, Paderborn. <https://d-nb.info/104378005X/34>
- Hirzel, S., Sonntag, B., & Rohde, C. (2013): Industrielle Abwärmenutzung. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- IT.NRW (2014): Statistisches Jahrbuch Nordrhein-Westfalen 2012. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Geschäftsbereich Statistik (Hrsg.).
- IT.NRW (2017): Die Industrie in Nordrhein-Westfalen. Homogener Wirtschaftssektor oder heterogenes Konglomerat? (Nordrhein-Westfalen, Information und Technik) Statistik kompakt (10/2017). <https://webshop.it.nrw.de/details.php?id=21161>
- IT.NRW (2017): Statistische Berichte. Energiebilanz und CO₂-Bilanz in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Geschäftsbereich Statistik (Hrsg.).
- IT.NRW (2017): Statistisches Jahrbuch Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Geschäftsbereich Statistik (Hrsg.).
- IT.NRW (2018): Fernwärmeverbrauch NRW aufgeteilt auf die Sektoren. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Geschäftsbereich Statistik (Hrsg.). (unveröffentlichte Auswertung des LANUV)
- ITAD (2018): Thermische Abfallbehandlung – Anlagen. (Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.) Abgerufen am 15.05.2018: <https://www.itad.de/information/anlagen>
- IWR (2018): Energiestatistik NRW. (Institut für Regenerative Energiewirtschaft) Abgerufen am 13.06.2018 von Endenergieverbrauch nach Sektoren: <http://www.energiestatistik-nrw.de/energie/verbrauch/endenergieverbrauch>
- König, J. D. (2016): BINE Informationsdienst: Stromerzeugung durch Abwärme. Eggestein-Leopoldshafen: FIZ Karlsruhe.
- LANUV (2015): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 4 – Geothermie. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen.
- LowExTra (2018): Niedrig-Exergie-Trassen zum Speichern und Verteilen von Wärme: www.lo-wextra.de
- MWIDE (2018): Wirtschaft.NRW. (Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie NRW) Abgerufen am 29.05.2018: <https://www.wirtschaft.nrw/industriebereichen>
- Nussbaumer, T., Thalmann, S., Jenni, A., & Ködel, J. (2017): Planungshandbuch Fernwärme (Version 1.1). (Arbeitsgemeinschaft QM Fernwärme) Bern: EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE.
- Otto, A., Grube, T., Ortwein, A., Zunft, S., Kaiser, J., Krause, M., Platzer, W., Schneider, E., Tänzer, G., Schneider, C., Krönauer, A. (2015). Wärme und Effizienz für die Industrie. (Themen 2015: FVEE) o.O.
- Pehnt, M., Bödeker, J., Arens, M., Jochem, E., & Idrissova, F. (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Heidelberg Karlsruhe.

- Pfnür, A., Winiewska, B., Mailach, B., & Oschatz, B. (2016): Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt. Vergleichende Studie aus energetischer und ökonomischer Sicht. Institut für Technische Gebäudeausrüstung (ITG) Dresden Forschung und Anwendung GmbH, Forschungscenter Betriebliche Immobilienwirtschaft FBI an der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, Dresden. Abgerufen am 09.07.2018: http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/pressemitteilungen_pdf/studie_dezentrale_vs_zentrale_waermeversorgung.pdf
- PtJ (2018): EnArgus: Zentrales Informationssystem Energieforschungsförderung. (Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH) Abgerufen am 04.07.2018: https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d3451936-2/*/*Gr%c3%a4digkeit.html?search=Gr%c3%a4digkeit&op=Wiki.getwiki
- Reckzügel, M., & Waldhoff, C. (2014): ReWIn - Regionales Wärmekataster Industrie. Strategieentwicklung für die systematische Optimierung der Abwärmenutzung in Industrie und Gewerbe. Hochschule Osnabrück, Innovative Energiesysteme, Osnabrück. Abgerufen am 30.11.2017: <https://www.kompetenzzentrum-energie.de/de/projekte/#c304682>
- saena (2016): Technologien der Abwärmenutzung. Dresden: Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH. Abgerufen am 13.08.2017: http://www.saena.de/download/Broschueren/BU_Technologien_der_Abwaermenutzung.pdf
- Schnitzer, H., Schmied, J., Titz, M., Jägerhuber, P., Enzi, C., & Filzwieser, P. (2012): Abwärmekataster Steiermark, Endbericht Projekt des Landes Steiermark. Technische Universität Graz, Graz.
- Solites (2018): Das Wissensportal für die saisonale Wärmespeicherung. (Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme) Abgerufen am 21.05.2018 von: <http://www.saisonalspeicher.de>
- Sollesnes, G., & Helgerud, H. E. (2009): Potensialstudie for utnyttelse av spillvarme fra norsk industri. Norwegen.
- Svensk Fjärrvärme AB (2007): Kulvertkostnadskatalog. Art nr 07-01. Stockholm.
- Wuppertal-Institut, DLR (Juni 2015): Kurzstudie Industrielle Abwärmepotenziale in NRW.

Gesetze/ Verordnungen

- Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440).
- Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist.
- Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 742), die zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2722) geändert worden ist.

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de