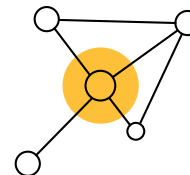
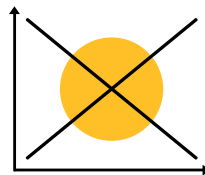
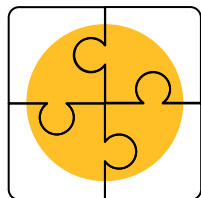
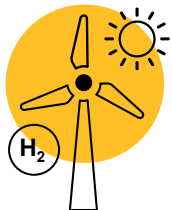


Integration von Abwärme

Perspektiven zur Integration von Abwärme in die Wärmeversorgung in NRW

Gefördert durch: Förderinitiative Wärmewende der Gesellschaft zur Förderung des
Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln e. V.

Januar 2024



**Energiewirtschaftliches Institut
an der Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

 +49 (0)221 650 853-60

 <https://www.ewi.uni-koeln.de>

Verfasst von:

Tobias Sprenger (Projektleitung)

Polina Emelianova

Maximilian Walde

Niklas Dierkes

Bitte zitieren als

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2024). Integration von Abwärme - Perspektiven zur Integration von Abwärme in die Wärmeversorgung in NRW.

Executive Summary (1/2)

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz hat sich die Bundesregierung zur Netto-Treibhausgasneutralität bis 2045 verpflichtet.¹ Die Nutzung von Abwärme - dem ungenutzten Anteil der Wärme, die als Nebenprodukt in Industrieprozessen anfällt - kann dabei zur Dekarbonisierung der Wärmenetze beitragen. Falls eine Vermeidung sowie eine prozess- oder betriebsinterne Nutzung der Abwärme technisch nicht möglich oder wirtschaftlich ist, kann eine externe Nutzung in Wärmenetzen erfolgen.

Diese Analyse stellt eine zweiteilige Untersuchung der Abwärmennutzung- sowie -potenziale mit Fokus auf Nordrhein-Westfalen (NRW) dar. Im ersten Teil wird die Nutzung von Abwärme aus regulatorischer, technischer und ökonomischer Sicht betrachtet. Dazu wird eine [Definition industrieller Abwärme](#) vorgenommen, die [Entwicklung des regulatorischen Rahmens](#) aufgezeigt und ein [Kriterienkatalog zur Abwärmennutzung](#) erstellt. Der zweite Teil befasst sich mit der [Darstellung der Datengrundlage in NRW](#) der branchenspezifischen [Analyse bestehender industrieller Potenziale](#) und der [Abschätzung neuer Abwärmepotenziale](#), wie Elektrolyseuren und Rechenzentren, in NRW. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der Analyse erläutert.

Unvermeidbare Abwärme erhält durch regulatorische Gleichstellung mit erneuerbarer Energie einen neuen Marktwert.

Im Jahr 2023 wurden mit dem Energieeffizienzgesetz (EnEfG), dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) und dem Wärmeplanungsgesetz (WPG) neue Rahmenbedingungen für unvermeidbare Abwärme geschaffen.

Unvermeidbarkeit wird in den drei Gesetzestexten aber nicht einheitlich definiert. Jedoch wird die Nutzung unvermeidbarer Abwärme als Dekarbonisierungsoption zur Versorgung von Wärmenetzen erklärt und erhält somit einen neuen Marktwert.

Aktuell stellt das Adressrisiko eines der größten Hemmnisse bei der Umsetzung von Abwärmennutzungsprojekten dar.

Die Realisierbarkeit von Abwärmeprojekten hängt von einer Reihe an technischen und ökonomischen Kriterien ab. Technische Kriterien umfassen dabei beispielsweise Abwärmeeigenschaften wie Abwärmemenge und Temperaturniveau, räumliche und zeitliche Verfügbarkeit sowie die Möglichkeit einer Prozessintegration. In Bezug auf Wirtschaftlichkeit sind für die Industrie insbesondere mögliche Erlöse und Auswirkungen auf die Produktionsprozesse entscheidend, während für die Versorger die Investitionskosten sowie der potenzielle Wegfall der Abwärmequelle - das sog. Adressrisiko - von hoher Relevanz sind.

Dank einer hohen Zahl von (energieintensiven) Unternehmen weist NRW gute Voraussetzungen für Abwärmennutzung auf.

Das industrielle Abwärmepotenzial in NRW wurde im Rahmen der *Potenzialstudie Industrielle Abwärme* des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) berechnet. Insgesamt wird ein hohes Abwärmeaufkommen ausgewiesen.² Die ermittelten Mengen entsprechen theoretischen Potenzialen und können die technisch sowie ökonomisch realisierbaren Potenziale, die u. a. von Standortspezifika abhängig sind, signifikant übersteigen.

1: [§ 3 Abs. 1 KSG](#) | 2: [LANUV \(2019\)](#)

Executive Summary (2/2)

Hohe Abwärmepotenziale in NRW sind auf energieintensive Industrien - insbesondere Metallindustrie - zurückzuführen.

Während sich der gesamte deutsche Fernwärmebedarf auf 122,3 TWh in 2022 belief¹, beträgt das theoretische Abwärmepotenzial der in NRW ansässigen Unternehmen zwischen 88 und 96 TWh/a². Das Abwärmepotenzial stammt vor allem aus den energieintensiven Branchen wie Metall (54 %), Glas, Steine & Erden (17 %), Chemie (11 %) und Papier (2 %). Die Abwärmepotenziale der Metall- und Chemieindustrie konzentrieren sich in der Metropolregion Rhein-Ruhr, während Abwärmepotenziale anderer Industrien flächendeckend in NRW anfallen (vgl. Abb. 1).³ Industrielle Abwärme steht daher - theoretisch und auf Basis öffentlicher Daten - für eine breite Einbindung zur Verfügung.

Zukünftige Entwicklung der Potenziale hängt von möglichen Prozessanpassungen sowie Effizienzsteigerungen ab.

Die Dekarbonisierung der industriellen Produktion setzt Prozessanpassungen voraus, die ausschlaggebend für die zukünftige Entwicklung der Abwärmemengen und -eigenschaften sind. So könnte bspw. das Abwärmepotenzial der Metallindustrie aufgrund der Elektrifizierung deutlich sinken. Bei Glas, Steinen & Erden sowie der Chemie wird die Entwicklung durch Effizienzsteigerungen und Einführung neuer energieintensiver Prozesse gegenläufig beeinflusst. Die Umsetzung neuer Verfahren und steigende Effizianzforderungen können insgesamt zum Rückgang des industriellen Abwärmepotenzials in NRW führen.

Industrien

- Metall
- Glas, Steine & Erden
- Chemie
- Papier
- Sonstige

Abwärmepotenzial

[GWh/a]

- < 0.1
- 0.1 - 1
- 1 - 10
- 10 - 100
- > 100

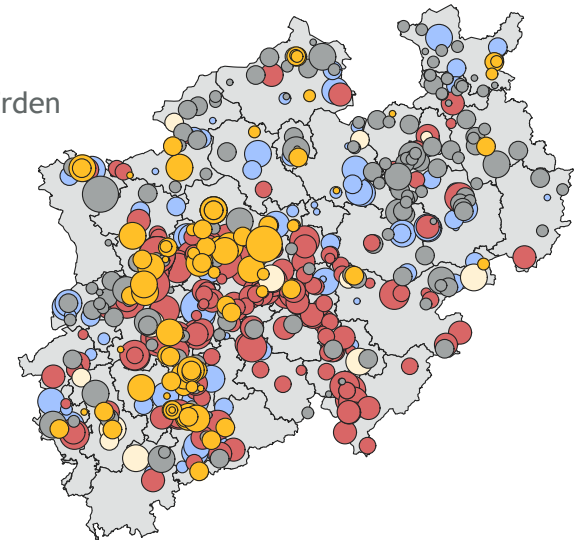


Abb. 1: Theoretisches Potenzial industrieller Abwärme in NRW. Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)³.

Elektrolyseure und Rechenzentren stellen mittelfristig weitere potenzielle Abwärmequellen dar.

Zusätzliche Abwärmepotenziale können mittelfristig durch neue Abwärmequellen entstehen. Nach den Ergebnissen dieser Analyse könnte bis 2030 ein theoretisches Abwärmepotenzial von 0,63 TWh/a durch Elektrolyseure entstehen. Dies basiert auf bisher in NRW verkündeten Elektrolyse-Projekten.⁴ Während das Abwärmepotenzial neuer Rechenzentren hoch ausfallen könnte, ist eine Abwärmenutzung bei bestehenden Anlagen laut standortspezifischen Einschätzungen weniger relevant, da eine Umrüstung meistens nicht wirtschaftlich ist.

Inhalte

- 1 Definition industrieller Abwärme
 - 2 Entwicklung des regulatorischen Rahmens
 - 3 Kriterienkatalog zur Abwärmenutzung
 - 4 Darstellung der Datengrundlage in NRW
 - 5 Analyse bestehender industrieller Potenziale
 - 6 Abschätzung neuer Abwärmepotenziale
- Qualitativ
- Quantitativ

Nutzung industrieller Abwärme nimmt an Bedeutung zu

Im Jahr 2022 hat die Prozesswärme rund 68 % des industriellen Endenergieverbrauchs in Deutschland ausgemacht (vgl. Abb. 2).¹ Die für die Prozesswärmeerzeugung aufgebrauchte Energie wird dabei nicht vollständig für die Wärmebereitstellung verwendet, sondern als Abwärme auf einem niedrigeren Temperaturniveau an die Umgebung abgegeben.²

Um die Prozesseffizienz zu steigern, setzen Unternehmen Maßnahmen zur Abwärmevermeidung um. Allerdings benötigen manche Prozesse ein hohes Temperaturniveau, sodass die Entstehung daran gekoppelter Abwärme thermodynamisch unvermeidbar ist.² Diese unvermeidbare Abwärme stellt ein großes energetisches Potenzial dar, deren Nutzung innerhalb oder außerhalb des Prozesses die Energieeffizienz deutlich steigern kann.

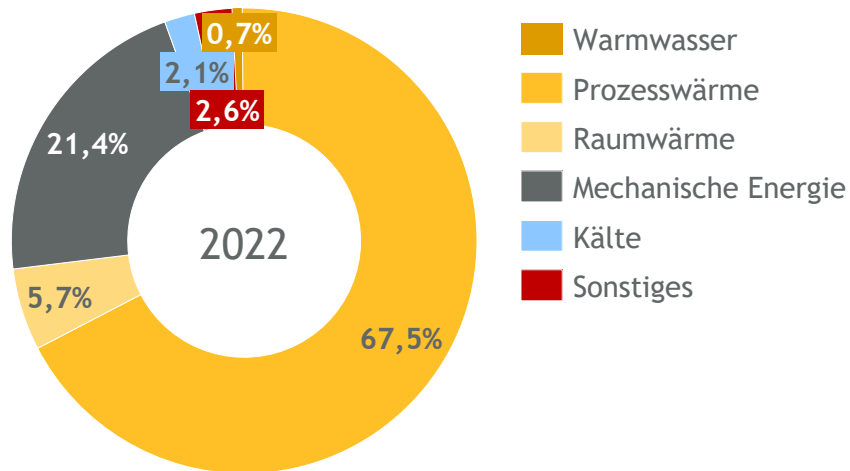


Abb. 2: Industrieller Endenergieverbrauch im Jahr 2022 nach Anwendung. Eigene Darstellung basierend auf AGEb (2023b)¹.

Mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz hat sich die Bundesregierung bis 2045 zur Netto-Treibhausgasneutralität verpflichtet.³ Die dafür notwendige Dekarbonisierung des Energiesystems setzt die Umstellung der Wärmenetzversorgung auf klimaneutrale Energieträger voraus. Mit 23,1 % in 2022⁴ spielt der Anteil an erneuerbaren Energien bei der Fernwärmeversorgung bisher eine untergeordnete Rolle.

Die Nutzung unvermeidbarer Abwärme kann zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse beitragen und stellt die Möglichkeit dar, die Versorgung bestehender sowie neu geplanter Wärmenetze klimaneutral zu gestalten. Außerdem kann die Nutzung von Abwärme aufgrund von Brennstoff- oder Stromeinsparungen potenziell Kostenvorteile gegenüber anderen Dekarbonisierungsoptionen bieten.

Insbesondere NRW zeigt dank seiner hohen Industrie- und Bevölkerungsdichte gute Voraussetzungen für die Abwärmennutzung. Unternehmen der energieintensiven Industrien wie der Herstellung von Metall, Glas, Steinen & Erden, Chemieerzeugnissen sowie Papier sind in NRW in großer Zahl ansässig. So wies NRW basierend auf den im Jahr 2008 im Rahmen der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (17. BImSchV) erhobenen Daten ca. 47 % des untersuchten Abwärmepotenzials in Deutschland auf.⁵

Die hier vorliegende Analyse gliedert sich in zwei Abschnitte. Zu Beginn werden die Entwicklung des regulatorischen Rahmens sowie Kriterien zur Abwärmennutzung in Deutschland dargelegt. Im Anschluss werden Abwärmepotenziale und deren mögliche Entwicklung mit Fokus auf NRW analysiert.

Definition und Abgrenzung industrieller Abwärme

Derzeit liegt in der Wissenschaft keine einheitliche Definition industrieller Abwärme vor.^{1,2} Aus der technischen Perspektive kann die Abwärme als „Wärme, die unerwünscht durch Industrieprozesse erzeugt wird“³ definiert werden. Eine weitere Definition bezeichnet die Abwärme als „Wärme, die ein Nebenprodukt industrieller Prozesse ist“⁴. Während Abwärme anhand vieler Merkmale charakterisiert wird, sind die folgenden Abwärmeeigenschaften von besonderer Bedeutung: die Weise, auf die die Abwärme anfällt, das Temperaturniveau sowie die Nutzungsmöglichkeiten.

Industrielle Abwärme fällt auf zwei Weisen an: Zum einen kann sie an Trägermedien wie Wasserströme oder Abgase gebunden werden. Zum anderen kann sie diffus durch Konvektion oder Wärmestrahlung von abkühlenden Produkten an die Umwelt abgegeben werden. An ein Trägermedium gebundene Abwärme ist grundsätzlich mit geringerem technischem Aufwand nutzbar, da dem Trägermedium die Abwärme direkt entzogen werden kann.^{4,5} So muss diffuse Abwärme meist erst an ein Trägermedium gebunden werden, bspw. Kühlluft.

Das Temperaturniveau spielt eine große Rolle für die potenzielle Abwärmenutzung. Für einige Nutzungsprozesse wird ein bestimmtes Temperaturniveau benötigt, z. B. bei der Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme. Abwärme wird daher in Niedertemperatur- (< 150°C), Mitteltemperatur- (150-500°C) und Hochtemperaturabwärme (> 500°C) eingeteilt.⁶ Darüber hinaus gilt grundsätzlich, dass mit höherer Temperatur mehr nutzbare Wärme im Abwärmestrom vorliegt und eine bessere Wärmeübertragung möglich ist.⁵

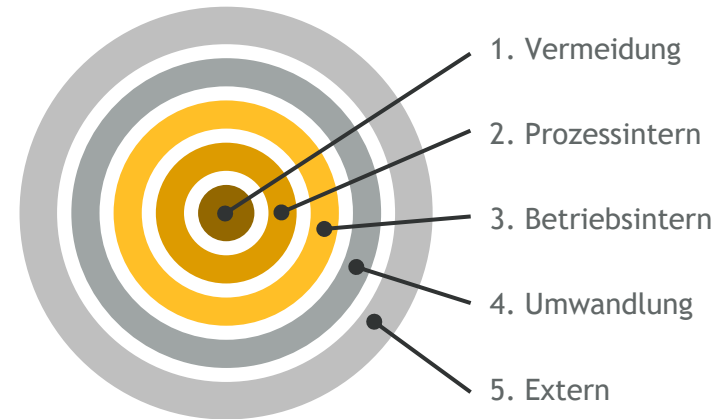


Abb. 3: Priorisierung der Abwärmenutzung.
Eigene Darstellung basierend auf Fraunhofer ISI (2019)⁵.

Die entstehende Abwärme kann unterschiedlich genutzt werden. Abbildung 3 veranschaulicht die Priorisierung der Abwärmenutzung aus Energieeffizienz­sicht. Zunächst sollten Vermeidungsmaßnahmen getroffen werden, um die Abwärmemenge zu minimieren. Wenn eine Vermeidung nicht möglich ist, sollte eine prozessinterne Verwendung der Abwärme durch Wärmerückgewinnung erfolgen. Anschließend sollten eine betriebsinterne Nutzung, oder die Umwandlung in andere Nutzenergieformen wie bspw. Strom oder Druckluft erwogen werden. Die Abwärme, die darüber hinaus anfällt, kann zur externen Nutzung verwendet werden.^{5,7} Grundsätzlich ist es u.a. aufgrund benötigter Transportinfrastruktur und entstehender Verluste zweckmäßig, Abwärme am Ort ihrer Entstehung bzw. so nah wie möglich an diesem zu nutzen.⁸

Fokus dieser Analyse ist im Folgenden die externe Nutzung industrieller Abwärme, welche an Trägermedien gebunden ist.

Analyse der aktuellen Regulatorik zu industrieller Abwärme

Mit den in 2023 verabschiedeten Gesetzen EnEFG, GEG und WPG ist die Abwärmenutzung mehr in den Fokus gerückt. Dies ist u. a. im Kontext des Pariser Abkommens¹, dem European Green Deal² sowie des Bundes-Klimaschutzgesetzes³ zu sehen, in dem sich Deutschland bis 2045 zur Netto-Treibhausgasneutralität verpflichtet. Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung spielt eine wichtige Rolle, da der Gebäudesektor seine Reduktionsziele für Treibhausgas-Emissionen mehrfach überschritten hat.⁴

Mit den oben genannten Gesetzen wurden für die **gesamte Wertschöpfungskette** der Abwärmenutzung neue Bedingungen geschaffen: Das EnEFG gilt für die Angebotsseite, das WPG für die Infrastruktur und das GEG für die Nachfrageseite (vgl. Abb. 4). Begleitet von Fördermaßnahmen verschiebt sich die relevante **rechtliche Steuerung** der Nutzung industrieller Abwärme somit zum EnEFG, GEG und WPG - das zuvor maßgebliche BImSchG verliert an Bedeutung.⁵ Die Nutzung industrieller Abwärme ist damit weiterhin in **keinem einheitlichen Fachgesetz** geregelt.

Zudem besteht **keine einheitliche Rechtsdefinition** unvermeidbarer Abwärme. So wird im GEG vom Anteil der Wärme, der „nicht durch Anwendung des Standes der Technik vermieden werden kann [und] in einem Produktionsprozess nicht nutzbar ist“⁶, im EnEFG vom Teil der Abwärme, der „nicht durch Anwendung des Standes der Technik, mit vertretbarem Aufwand, vermieden oder reduziert werden kann“⁷ und im WPG von unvermeidbarer Abwärme, die „aus wirtschaftlichen, sicherheitstechnischen oder sonstigen Gründen im Produktionsprozess nicht nutzbar ist und nicht mit vertretbarem Aufwand verringert werden kann“⁸ gesprochen.

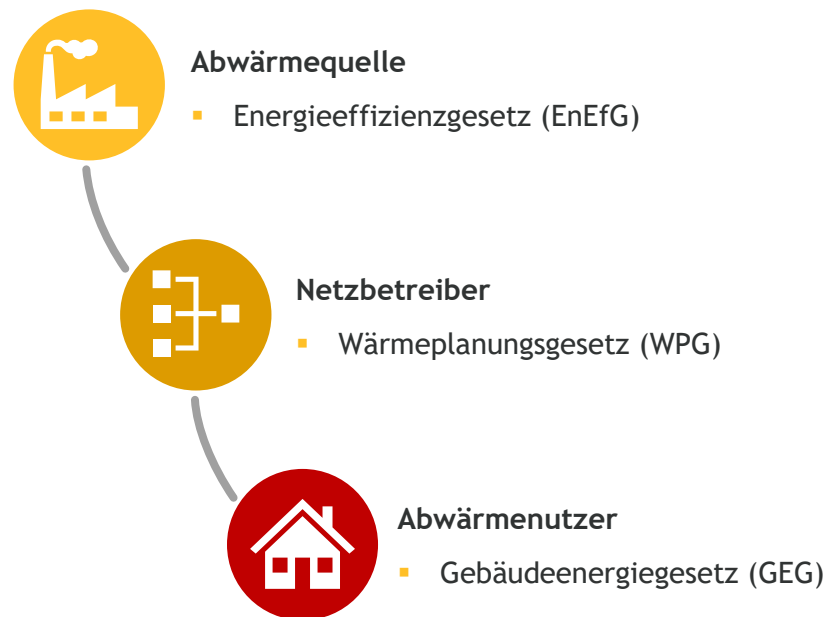


Abb. 4: Ebenen der Regulatorik. Darstellung nach Nebel (2023)⁵.

Gleichzeitig stellen das GEG und WPG in mehreren Absätzen **unvermeidbare Abwärme mit erneuerbaren Energien gleich** und verschaffen der Nutzung von industrieller Abwärme damit einen neuen Stellenwert. Die Integration von unvermeidbarer Abwärme wird dadurch für Wärmeversorger deutlich attraktiver, da sie dazu beitragen kann, (regulatorische) Dekarbonisierungsziele zu erreichen.

Betrachtet man die Gesetzeslage zu Abwärme, hat sich diese von ersten Effizienzgeboten über zahlreiche Förderinstrumente zu strikten ordnungspolitischen Vorgaben entwickelt. Im Folgenden wird diese Entwicklung im Detail beschrieben.

Regulatorische Entwicklung: Erste Effizienzgebote (bis 2009)

Die Entwicklung der Regulatorik zu Abwärme bezieht sich bis 2009 auf eine effiziente Verwendung der entstehenden Wärme. Mit dem **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz** (EEWärmeG) wird Abwärme erstmals als Erfüllungsoption für andere regulatorische Vorgaben eingebracht.

Bis zum Jahr 2009 gab es wenig explizite Gesetze oder Verordnungen zur Vermeidung und Nutzung industrieller Abwärme. Mit der Novelle des **Bundesimmissionsschutzgesetzes** (BlmSchG) im Jahr 1985 wurde ein Gebot zur betriebsinternen Nutzung von Abwärme, die nicht an Dritte abgegeben werden kann, eingeführt (§ 5 Abs. 1 Nr. 4).¹ 2001 wurde dies durch das Gebot abgelöst, dass genehmigungspflichtige Anlagen „Energie sparsam und effizient zu verwenden haben“².

Auch in der **13. und 17. Bundesimmissionsschutzverordnung** (BlmSchV), wurde die Abwärmenutzung erwähnt. So verweist die 13. BlmSchV auf § 5 Abs. 1 Nr. 4 des BlmSchG³. In der 17. BlmSchV wird Wärme, die „in Anlagen des Betreibers zu nutzen [ist], soweit dies nach Art und Standort dieser Anlagen technisch möglich und zumutbar ist“⁴ definiert.

Mit dem Inkrafttreten des EEWärmeG im Jahr 2009 wurde die externe Abwärmenutzung explizit erwähnt. Im EEWärmeG wird verpflichtend festgelegt, dass bei bestimmten Neubauten⁵ und öffentlichen Gebäuden die Wärme- bzw. Kälteversorgung anteilig über erneuerbare Energien gedeckt wird. Die Nutzung von Abwärme wurde explizit nur als Ersatzmaßnahme definiert, die erfüllt ist, wenn der Wärme- oder Kälteenergiebedarf zu mindestens 50 % aus Abwärmeanlagen stammt.⁶ Im Jahr 2020 wurde das EEWärmeG durch das GEG abgelöst.

Bis 2009: Erste Effizienzgebote

- Bundesimmissionsschutzgesetz (BlmSchG)
- 13. und 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (BlmSchV)
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

2012 bis heute: Zahlreiche Förder- instrumente

- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)
- Förderprogramm Wärmenetzsysteme 4.0
- Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)
- Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

2019 bis heute: Regulatorische Vorgaben

- Bundesemissionshandelsgesetz (BEHG)
- Energieeffizienzgesetz (EnEfG)
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)
- Wärmeplanungsgesetz (WPG)

1: [Meng \(1995\)](#) 2: [§ 5 Abs. 1 Nr. 1 BlmSchG](#) | 3: [§ 1 Abs. 3 Nr. 1 13. BlmSchV](#) | 4: [§ 13 17. BlmSchV](#) | 5: [§ 3 EEWG](#) | 6: [§ 7 Abs. 1 Nr. 1a EEWG](#)

Regulatorische Entwicklung: Förderinstrumente (2012 bis heute)

Mit der Berücksichtigung der externen Abwärmenutzung in mehreren Förderprogrammen und Gesetzen ab 2012 kann die steigende politische Bedeutung der Abwärme bei der Dekarbonisierung des Wärmesektors beobachtet werden. Diese werden im Folgenden erläutert.

Mit Inkrafttreten der 2. Novelle des **Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG)** im Jahr 2012 ist die Nutzung von Abwärme erstmals förderfähig. So wird im KWKG bestimmt, dass Betreiber von Wärmenetzen Anspruch auf Zuschlagszahlungen haben, wenn mindestens 60 % der Wärme aus industrieller Abwärme ohne zusätzlichen Brennstoffeinsatz stammt.¹ Mit der 3. Novelle des KWKG im Jahr 2016 wurde die Maßgabe auf mindestens 75 % erhöht und zusätzlich eine Zuschlagszahlung für Anlagen, die Strom auf Basis von Abwärme erzeugen, eingebracht.²

Mit dem **Förderprogramm Wärmenetzsysteme 4.0** wurde im Jahr 2019 die Verwendung von Abwärme oder erneuerbaren Energien mit einer Nachhaltigkeitsprämie gefördert.⁴ 2022 wurde diese Förderung durch die **Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)**, die die Abwärmeintegration mit dem Ziel der Dekarbonisierung von Wärmenetzen durch Aus- und Umbau fördert, abgelöst.

Im Jahr 2019 wurde auch die **Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)** eingeführt, welche Investitionen zur inner- und außerbetrieblichen Abwärmenutzung zu einem gewissen Anteil fördert.⁷

Bis 2009:
Erste
Effizienzgebote

- Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG)
- 13. und 17. Bundesimmissionschutzverordnung (BImSchV)
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

2012 bis heute:
Zahlreiche Förderinstrumente

- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)
- Förderprogramm Wärmenetzsysteme 4.0
- Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)
- Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

2019 bis heute:
Regulatorische
Vorgaben

- Bundesemissionshandelsgesetz (BEHG)
- Energieeffizienzgesetz (EnEfG)
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)
- Wärmeplanungsgesetz (WPG)

Regulatorische Entwicklung: Regulatorische Vorgaben (2019 bis heute)

Neben den beschriebenen Förderinstrumenten wurden in den Jahren seit 2019 und 2023 wichtige regulatorische Vorgaben geschaffen, in denen die Nutzung unvermeidbarer Abwärme u. a. als Erfüllungsoption zur Dekarbonisierung gilt. Dadurch rückt unvermeidbare Abwärme zu einem zentralen Baustein in der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung auf.

Das 2019 in Kraft getretene Bundesemissionshandelsgesetz (BEHG) stellt eine wesentliche Neuregelung dar. Ab 2021 wurde damit ein Emissionshandel u. a. für den Wärmesektor eingeführt, der bis dahin nicht vom europäischen Emissionszertifikatehandel, dem EU-ETS 1, erfasst wurde.¹ Dadurch wurde die CO₂-Bepreisung auch im Wärmesektor eingeführt. Auf EU-Ebene kommt diese erst mit dem für 2027 geplanten EU-ETS 2². Durch diese CO₂-Bepreisung erhält die Nutzung industrieller Abwärme durch Vermeidung von Brennstoffemissionen einen monetären Wert.

Mit den 2023 neu eingeführten oder novellierten Gesetzen **EnEFG**, **GEG** und **WPG** wurden für die gesamte Wertschöpfungskette der Abwärmenutzung neue Bedingungen geschaffen. Mit dem GEG und dem WPG werden regulatorische Vorgaben gemacht, wonach unvermeidbare Abwärme als gleichberechtigte Erfüllungsoption der Dekarbonisierung neben Erneuerbaren Energien eingestuft wird.^{3,4}

Im EnEFG werden neue Pflichten zur Meldung von Abwärmepotenzialen, zur Abwärmevermeidung bzw. -nutzung und zur Einrichtung eines Energie- bzw. Umweltmanagementsystems eingeführt. Zudem werden Einspeiseregelungen für Abwärme von Rechenzentren definiert.⁵

Bis 2009:
Erste
Effizienzgebote

- Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG)
- 13. und 17. Bundesimmissionschutzverordnung (BImSchV)
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

2012 bis heute:
Zahlreiche Förder-
instrumente

- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)
- Förderprogramm Wärmenetzsysteme 4.0
- Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)
- Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

2019 bis heute:
Regulatorische
Vorgaben

- Bundesemissionshandelsgesetz (BEHG)
- Energieeffizienzgesetz (EnEFG)
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)
- Wärmeplanungsgesetz (WPG)

Vorstellung technischer und ökonomischer Kriterien für Abwärme

Zur Bewertung industrieller Abwärme als Baustein zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung spielt die Abschätzung des Abwärmepotenzials eine wichtige Rolle. Das Potenzial bezieht sich dabei auf die mögliche Energie, die durch Abwärme bereitgestellt werden kann. Es wird zwischen drei verschiedenen Potenzialarten unterschieden: dem theoretischen, technischen und ökonomischen Potenzial.^{1,2,3} In diesem Kapitel wird ein Kriterienkatalog zur technischen und ökonomischen Einschätzung theoretischer Potenziale definiert.

Das *theoretische* Abwärmepotenzial umfasst das gesamte, im Untersuchungsraum zur Verfügung stehende Potenzial.^{1,2} Für Abwärme bedeutet dies die maximal nutzbare Energiemenge, die thermodynamisch in der Abwärme enthalten ist. Das *technische* Potenzial grenzt das theoretische Potenzial ein und kann als unter technischen und ökologischen Restriktionen nutzbares Potenzial^{2,3} oder technisch handhabbares Potenzial^{1,4} bezeichnet werden. Abwärme, die diffus vorliegt, wäre damit ausgeschlossen. Beim *ökonomischen* Potenzial wird das technische Potenzial unter Betrachtung finanzieller, organisatorischer, vertraglicher und rechtlich-institutioneller Aspekte weiter eingegrenzt.¹ Ein Beispiel hierfür wäre die Wirtschaftlichkeit des Abwärmetransports zur Wärmesenke.

Die vorliegenden Definitionen bieten einen breiten Interpretationsraum für die Abgrenzung des technischen bzw. ökonomischen Potenzials. Betrachtet man die vorliegende Literatur, werden teilweise unterschiedliche Kriterien für die Definition des technischen sowie ökonomischen Potenzials festgelegt.^{5,6,7,8,9,10} Auch Studien, die Potenziale quantifizieren, greifen dabei auf sehr unterschiedliche Methoden zurück. Diese reichen von realen Messungen über die Nutzung von Unternehmensdaten bis hin zu Sektorabschätzungen.¹¹

Um einen Leitfaden für die Umsetzung von Abwärmeprojekten zu bieten, wird in dieser Analyse ein Kriterienkatalog zusammengestellt. Dieser bereitet die wichtigsten Kriterien zur Bewertung möglicher Projekte für die Integration industrieller Abwärme auf. Die Kriterien wurden auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche sowie mehrerer Experten-Interviews erstellt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Kriterien vorgestellt, die in zwei Hauptkategorien - technische und ökonomische Kriterien - aufgeteilt sind. Auf ein besonders entscheidendes ökonomisches Risiko seitens Versorger, das sog. Adressrisiko, wird separat eingegangen.



Technische Kriterien

- [Technische Eigenschaften der Abwärme](#)
- [Räumliche und zeitliche Verfügbarkeit](#)
- [Integration der Abwärmeanlage in den Produktionsprozess](#)



Ökonomische Kriterien

- [Faktoren aus Industrieperspektive](#)
- [Faktoren aus Versorgerperspektive](#)
- [Kooperation zwischen Industrie und Versorger](#)

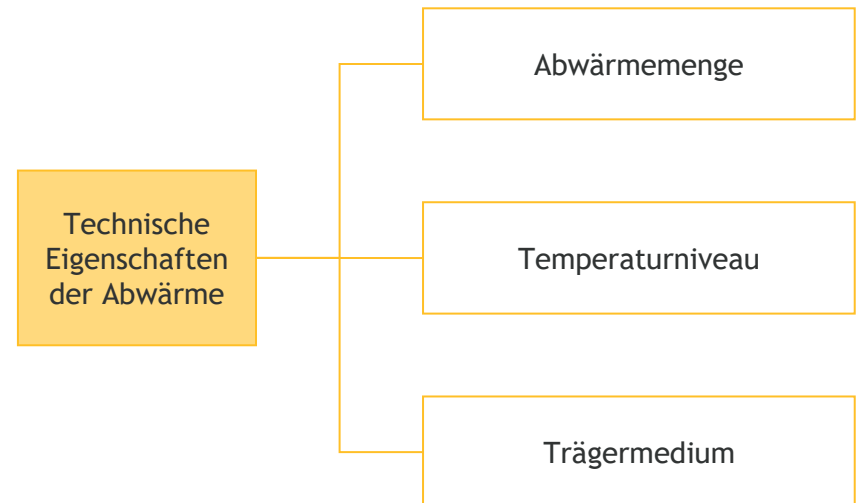
Technische Kriterien (I/III): Technische Eigenschaften der Abwärme

Im Folgenden werden drei übergeordnete technische Kriteriengruppen dargelegt, die für eine technische Umsetzung von Projekten relevant sind. Die erste Gruppe - **technische Eigenschaften der Abwärme** - umfasst Abwärmemenge, Temperaturniveau und Trägermedium.

Die **Abwärmemenge** ist ein Maß für die nutzbare Wärme eines Abwärmestroms. Sie ist von der Temperatur, der Dichte, der Wärmekapazität sowie dem Volumenstrom des Trägermediums abhängig. Durch prozessbedingte Variation des Volumenstroms und der Temperatur variiert auch die Abwärmemenge im Zeitverlauf. Je höher und konstanter die Abwärmemenge, desto profitabler ist i.d.R. die Integration der Abwärmequelle.^{1,2}

Das **Temperaturniveau** des Abwärmestroms ist eine entscheidende Größe für die Abwärmenutzung. Es beeinflusst, wie viel Abwärme im Abwärmestrom enthalten ist, wie die Abwärme genutzt wird und wie gut die enthaltene Abwärme übertragen werden kann. Grundsätzlich gilt, dass mit höherer Temperatur mehr Nutzungsmöglichkeiten für die Abwärme möglich sind. Man spricht dabei von einer „höheren Qualität“.^{1,5} Abwärme kann in Niedertemperatur- (< 150°C), Mitteltemperatur- (150-500°C) und Hochtemperatur-Abwärme (> 500°C) eingeteilt werden.³ Hochtemperatur-Abwärme kann z. B. zur Stromerzeugung und Niedertemperatur-Abwärme zur Einspeisung in Wärmenetze verwendet werden.⁴ In Wärmenetzen, die zur Erwärmung von Trinkwasser genutzt werden, muss eine Temperatur von 90°C (zuzüglich Leitungsverlusten) garantiert werden.⁵ Durch Einsatz von Wärmepumpen sind aber auch niedrigere Temperaturen in sog. Low-Exergie-Netzen, die unter 60°C betrieben werden, möglich.^{6,7}

Das **Trägermedium** ist das stoffliche Medium, an das die Abwärme gebunden ist. Die Eigenschaften des Trägermediums sind maßgeblich bei dem Bau einer Abwärmeanlage. So bestimmen der Aggregatzustand - fest oder gasförmig -, welche Art von Wärmetauscher einzusetzen ist. Ein Wärmetauscher bezeichnet eine Anlage, die die Wärme vom Trägermedium auf ein anderes nutzbares Medium, meist Wasser, überträgt. Durch bestimmte chemische und physikalische Eigenschaften, bspw. die Korrosivität, oder mögliche Verunreinigungen des Trägermediums kann der Wärmetauscher potenziell beschädigt werden. Diese Eigenschaften bestimmen also, ob die Abwärme dem Trägermedium entzogen werden kann oder ob ggfs. weitere vorgelagerte Prozessschritte notwendig sind.^{1,2}



Technische Kriterien (II/III): Räumliche und zeitliche Verfügbarkeit

Die zweite technische Kriteriengruppe stellt die **räumliche und zeitliche Verfügbarkeit** der Abwärme dar. Diese unterteilt sich in die räumliche Nähe zu Wärmeabnehmern, Volllaststunden, die Gleichzeitigkeit des Bedarfs sowie die zeitliche Planbarkeit.

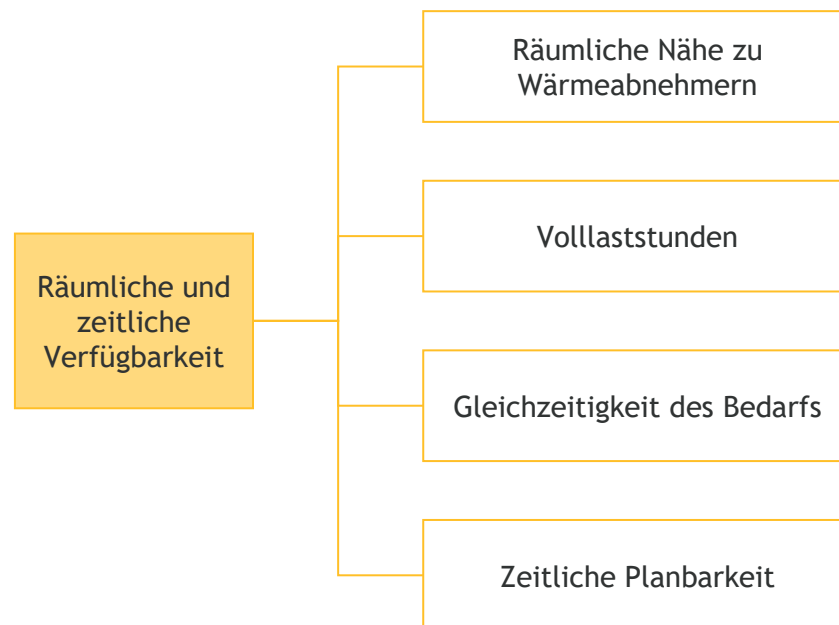
Die **räumliche Nähe zu Wärmeabnehmern** ist entscheidend für die Nutzung einer Abwärmequelle. Mit steigender Entfernung der Abwärmequelle zu den Wärmeabnehmern muss eine längere Transportinfrastruktur errichtet werden. Dies beeinflusst stark die Höhe der Investitionskosten sowie die Energieverluste während des Transports. Neben der räumlichen Entfernung kann noch die Zugänglichkeit der Verbindungsstrecke entscheidend sein. So sind bebaute Gebiete bspw. schwieriger und kostenintensiver zu erschließen als brachliegendes Land.^{1,2,3,4,5}

Die **Volllaststunden** beziehen sich auf die zuvor beschriebene maximale thermische Leistung der Abwärme. Die Volllaststunden ergeben sich, indem die im gesamten Jahr angefallene Energie aus Abwärme durch die maximale thermische Leistung geteilt wird. Dadurch dienen sie als ein theoretisches Maß, um zu bestimmen, wie viele Stunden im Jahr die volle Leistung vorliegt bzw. wie hoch die zu erwartende Auslastung der Abwärmequelle sein wird.^{1,4,5}

Die **Gleichzeitigkeit des Bedarfs** zur anfallenden Abwärme ist relevant für die tatsächliche Nutzbarkeit der Abwärme. Während die Volllaststundenzahl die Auslastung der Abwärmequelle beschreibt, zielt die Gleichzeitigkeit auf den Bedarf der Wärmeabnehmer. Stellt die Abwärmequelle Energie in Zeiten bereit, in denen diese von den Abnehmern nicht benötigt wird, kann diese Energie nicht oder nur unter Einsatz

von thermischen Speichern genutzt werden. Produziert ein Betrieb z. B. konstant über das gesamte Jahr, besteht die Möglichkeit, dass die Abwärme im Sommer weitgehend ungenutzt bleibt, da der Raumwärmebedarf niedrig ist.^{1,3,4,5,6}

Als weiteres zeitliches Kriterium kann für den Wärmeversorger die **zeitliche Planbarkeit** der anfallenden Abwärme relevant sein. Fällt die Abwärme durch spontane Produktionsschwankungen sehr unregelmäßig an, kann dies den Betrieb des Wärmenetzes bzw. einer möglichen Ersatzanlage erschweren. Fällt die Abwärme größtenteils planbar an, kann dies schon bei der Konstruktion einer möglichen Ersatzanlage berücksichtigt werden.^{4,5}



Technische Kriterien (III/III): Integration der Abwärmeanlage

Die dritte technische Kriteriengruppe umfasst die **Integration der Abwärmeanlage in den Produktionsprozess**. Dabei sind der vorhandene Bauraum für die Abwärmeanlage, die zusätzlich benötigten Genehmigungen sowie die Abstimmung der Betriebsparameter relevant.

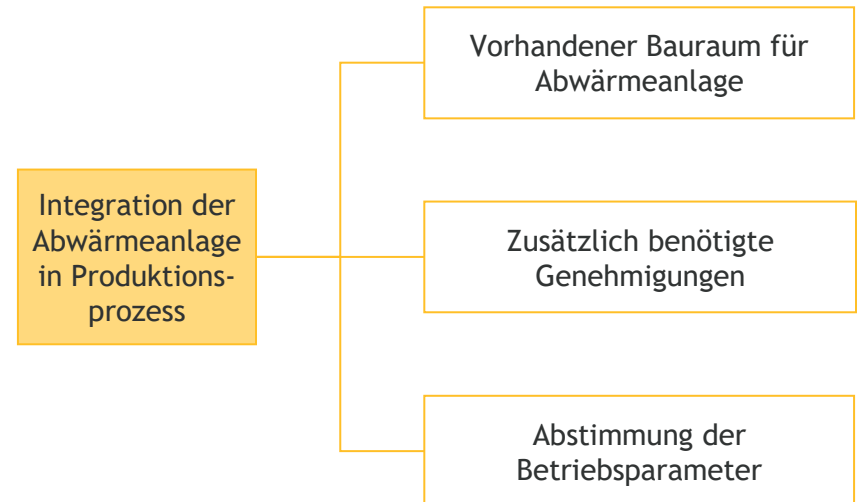
Der **vorhandene Bauraum für die Abwärmeanlage** im Produktionsprozess ist Voraussetzung für die Umsetzung eines Abwärmeproyektes. Produktionsanlagen durchlaufen umfassende Planungen bevor sie gebaut werden. Dadurch ist der nachträgliche Einbau eines Wärmetauschers oft nicht trivial. Der Wärmetauscher muss in den Teil der Anlage eingebaut werden, in der der Abwärmestrom nicht mehr mit dem eigentlichen Produktionsprozess interagiert und nur noch an die Umgebung abgegeben wird. Zusätzlich müssen weitere Anlagenteile auf dem Betriebsgelände verbaut werden, wie bspw. eine Übergabestation zum Wärmenetz oder eine Pumpanlage.^{1,2}

Durch den Bau einer Abwärmeanlage und ggfs. die Änderung einer bestehenden Anlage sind **zusätzlich benötigte Genehmigungen** einzuholen. Dies kann bspw. eine Prüfung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz, nach Gewässer- und Bodenschutz oder eine Umweltverträglichkeitsprüfung sein. Neue oder wiedereingeholte Genehmigungen können Auswirkungen auf die restliche Produktionsanlage haben und sind daher bei der Integration zu berücksichtigen.^{1,2,3}

Die **Abstimmung der Betriebsparameter** des Produktionsprozesses, der Abwärmeanlage sowie des Wärmenetzes muss bei der Konstruktion der Abwärmeanlage berücksichtigt

werden. Die Abwärmeanlage soll dabei als Verbindungsstück sowohl an die Produktionsanlage als auch an das Wärmenetz angepasst werden. Für eine Einbindung ins Wärmenetz muss bspw. ein möglicher Einfluss der Abwärmeeinspeisung auf die Netztemperatur, die Netzhydraulik und die Wasserqualität verhindert werden. Hierfür ist eine genaue Abstimmung der Betriebsparameter und die Errichtung entsprechender technischer Anlagen nötig.³

Mit den drei beschriebenen Kriteriengruppen sind die besonders relevanten technischen Kriterien zur Umsetzung einer Abwärmeanlage erfasst. Allerdings können auch weitere technische Kriterien herangezogen werden, die nicht Teil dieser Analyse sind.



Ökonomische Kriterien (I/III): Faktoren aus Industrieperspektive

Im Folgenden werden die ökonomischen Kriterien dargelegt, die für eine wirtschaftliche Umsetzung von Projekten relevant sind. Diese sind als Ergänzung des technischen Kriterienkatalogs zu sehen. Die erste ökonomische Kriteriengruppe beschreibt die **Faktoren aus Industrieperspektive**.

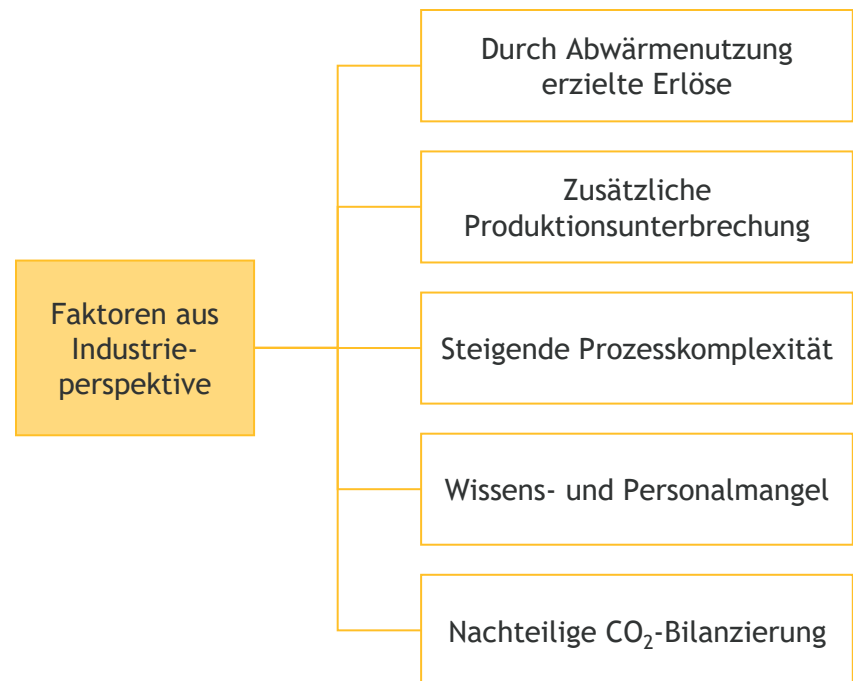
Durch die Auskopplung von Abwärme können Kosten vermieden (bspw. für Kühlprozesse) oder **Erlöse** erzielt werden, deren Höhe maßgeblich die Attraktivität des Projekts bestimmt.^{1,2,3}

Durch den Bau und die Wartung einer Abwärmanlage können **zusätzliche Produktionsunterbrechungen** auftreten. Dies kann sich negativ auf die betriebliche Profitabilität auswirken.^{1,2}

Durch die Abwärmanlage können sich zusätzliche Abhängigkeiten für den Betrieb der Produktionsanlage ergeben. Dies hat eine **steigende Prozesskomplexität** zur Folge. Dies wird verstärkt durch eine etwaige Mitsprache des Wärmeversorgers als externe Partei bei betrieblichen Umstellungen, die Einfluss auf die ausgekoppelte Abwärme haben können.^{1,2}

Die Nutzung von Abwärme ist i.d.R. das Kerngeschäft eines Industrieunternehmens. Aus diesem Grund kann ein **Wissens- und Personalmangel** bzgl. der Nutzung von Abwärme vorliegen. Demnach muss ggfs. zusätzliches Personal aufgebaut oder geschult werden, um die Abwärmanlagen im täglichen Betrieb bzw. bei Vorfällen mit kurzer Reaktionszeit ausreichend zu berücksichtigen.^{1,2,4,5}

Letztlich besteht für die Industrie eine **nachteilige CO₂-Bilanzierung**. Derzeit benötigt die Industrie unverändert CO₂-Zertifikate im Rahmen des EU-ETS für Prozesse, in denen Abwärme extern genutzt wird. Die Bilanzierung findet ausschließlich beim Wärmeversorger statt. Es besteht für die Industrie lediglich die Möglichkeit, durch die Klassifizierung als umweltfreundlichste Anlagen der Branche Gratiszertifikate zu erhalten. Dies stellt jedoch lediglich einen geringen regulatorischen Anreiz zur Abwärmevermarktung dar. Ein zusätzlicher Anreiz könnte ein „grünes Image“ durch die Lieferung von Abwärme an ein kommunales Wärmenetz sein.¹



Ökonomische Kriterien (II/III): Faktoren aus Versorgerperspektive

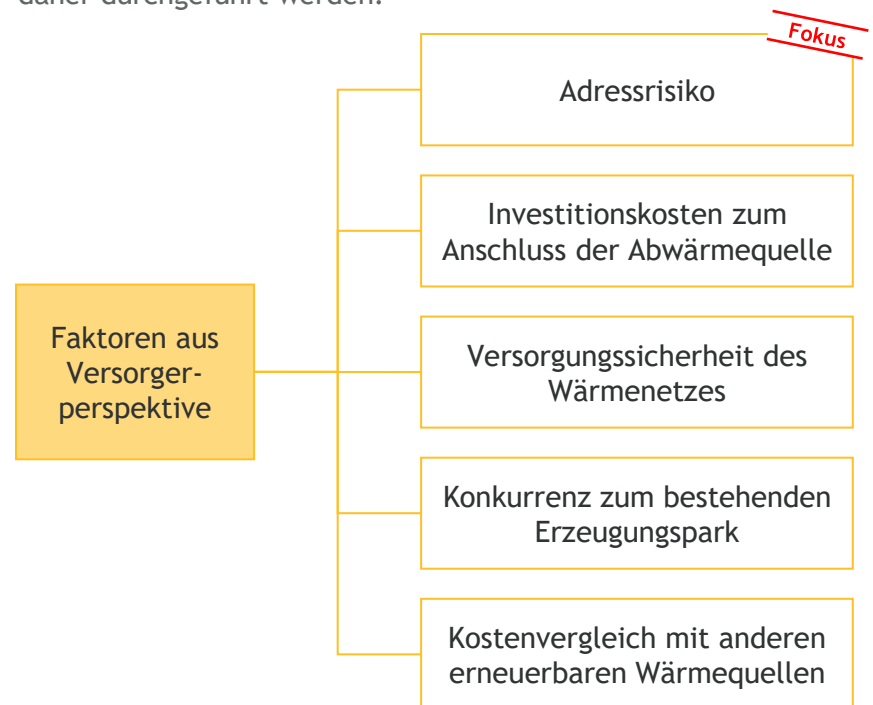
Die zweite ökonomische Kriteriengruppe umfasst die **Faktoren aus Versorgerperspektive** wie das Adressrisiko, Investitionskosten zum Anschluss einer Abwärmequelle, Versorgungssicherheit des Wärmenetzes, Konkurrenz zum bestehenden Erzeugungspark sowie den Kostenvergleich mit anderen erneuerbaren Wärmequellen. Das **Adressrisiko** wird separat betrachtet.

Die Höhe der anfallenden **Investitionskosten zum Anschluss einer Abwärmequelle** an das Wärmenetz ist ein wichtiges Entscheidungskriterium. Diese Investitionskosten maßgeblich von der Entfernung des Industriestandorts zum Wärmenetz beeinflusst, da i. d. R. neue Leitungen gelegt werden müssen. Zusätzlich ist die ggfs. vorhandene Bebauung sowie die Art des vorliegenden Geländes für die entstehenden Kosten von Bedeutung.^{1,2,3}

Um den Bedarf der Kunden jederzeit zu decken, muss die **Versorgungssicherheit des Wärmenetzes** gewährleistet sein. Für Abwärmequellen, deren Wärme unregelmäßig zur Verfügung steht, muss daher eine Ersatzanlage im Wärmenetz vorgehalten werden. Die Dimensionierung der Ersatzanlage hängt dabei von der zeitlichen Verfügbarkeit der Abwärmequelle ab. Der Bau der Ersatzanlage verursacht dabei zusätzliche Kosten.^{1,4}

Für den Wärmeversorger spielt auch die **Konkurrenz zum bestehenden Erzeugungspark** eine Rolle. Sind im Erzeugungspark bereits Grundlast-Wärmequellen wie KWK- oder Müllverwertungsanlagen vorhanden, steht die zeitlich schwer steuerbare Abwärme in direkter Konkurrenz mit diesen, was die

Attraktivität der Abwärmenutzung senken kann.^{1,2,3} Abwärmeprojekte sind unter den heutigen Rahmenbedingungen i. d. R. nicht wirtschaftlich.¹ Trotz ggfs. eingesparter Strom- und Brennstoffkosten ist es unklar, ob Abwärmenutzung im **Kostenvergleich mit anderen erneuerbaren Wärmequellen** günstiger ist. Andere erneuerbare Wärmequellen, die ohne Netzerweiterung an das Wärmenetz angeschlossen werden können, könnten je nach Projektbedingungen günstiger sein (z. B. Großwärmepumpen)⁵. Eine Prüfung anderer erneuerbarer Wärmequellen sollte bei der Planung von Abwärmeprojekten daher durchgeführt werden.



Adressrisiko, oder der vorzeitige Wegfall einer Abwärmequelle

Das **Adressrisiko** beschreibt den möglichen, vorzeitigen Wegfall von Abwärmequellen durch industriellen Wandel oder Standortschließungen.¹ Viele Partnerunternehmen in der Industrie sind von Preis- und Nachfrageentwicklungen des globalen Marktes abhängig, wodurch in der kurzen und mittleren Frist über z. B. Produktionsauslastung, Prozessumstellungen und Standortschließungen entschieden wird. Dies ist aus Versorgersicht kritisch, da für den Anschluss industrieller Anlagen an das Wärmenetz längere Planungs- und Investitionszyklen angelegt werden.^{1,2,3,4} Abschreibungszeiträume für Wärmeversorger sind i. d. R. mindestens auf 10 bis 20 Jahre angelegt.³

Verringert sich die Leistung der Abwärmequelle aufgrund von Produktions- sowie Prozessänderungen signifikant oder fällt durch Standortschließungen sogar komplett weg, können sich die getätigten Investitionen noch nicht amortisiert haben. Durch den Betrieb und ggfs. Neubau einer Ersatzanlage würden dann zusätzliche Kosten für die Wärmeversorgung entstehen. Das beschriebene Adressrisiko lässt sich auf dem Versicherungsmarkt nur für wenige Jahre absichern.^{1,4} Die Wärmeversorger tragen das Adressrisiko daher oft zum Großteil selbst.

Wenn die Integration industrieller Abwärme zur Wärmeversorgung angereizt werden soll, kann die Mitigation des Adressrisikos für Wärmeversorger eine Option sein. Dies kann bspw. über staatliche Bürgschaften oder Fonds geschehen.^{1,4} Diese könnten im Eintritt des Risikofalls die für den Wärmeversorger zusätzlich entstandenen Kosten übernehmen.



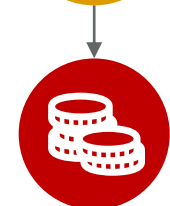
Projektumsetzung

- Industrie plant Produktion (kurzfristig)
- Versorger plant Investitionen (langfristig)



Änderung in Abwärmequelle

- Rückgang der Abwärmeleistung
- Ggfs. kompletter Wegfall der Quelle



Gestrandete Investitionen

- Zusätzliche Kosten durch Ersatzbetrieb
- Ggfs. Zubau neuer Ersatzanlage nötig

Abb. 5: Schematische Darstellung des Adressrisikos.
Eigene Darstellung nach GEF Ingenieur AG (2022)¹, UBA (2023b)², AGFW (2020)³ & BDEW (2021)⁴.

- Adressrisiko beschreibt den möglichen Wegfall von Abwärmequellen vor Abschreibungsende der neuen Infrastruktur
- Grund sind unterschiedliche Planungs- und Investitionszyklen von Wärmeversorgern und Industriepartnern
- Risiko wird von Wärmeversorgern getragen und ist ein Hemmnis für Umsetzung von Abwärmeprojekten
- Staatliche Bürgschaften zur Übernahme von Kosten bei Eintritt des Risikofalls könnten eine Lösung sein

Ökonomische Kriterien (III/III) : Kooperation von Industrie & Versorger

Die dritte ökonomische Kriteriengruppe betrifft die **Kooperation zwischen Versorger und Industrie**. Dazu gehören die Einigung auf einen Abnahmepreis, Regelung der Eigentums- und Zutrittsrechte, die Vereinbarung zur Vertragslaufzeit sowie die gemeinsame Umsetzung des Projekts.

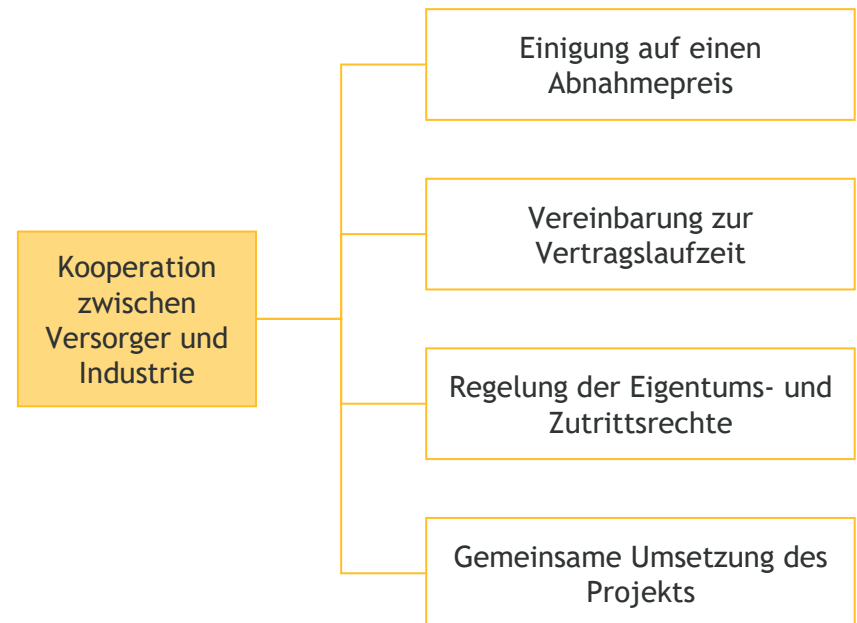
Zuvorderst ist die **Einigung auf einen Abnahmepreis** nötig, der den beiden Kooperationspartnern aus der Abgabe bzw. Nutzung der Abwärme ein profitables Geschäftsmodell erlaubt. Für die Industrie muss der Abnahmepreis die möglichen negativen Effekte auf den Produktionsbetrieb ausgleichen. Für die Wärmeversorger darf der Abnahmepreis nur so hoch sein, dass die Abwärmenutzung in der Gesamtkostenbetrachtung günstiger als die Nutzung anderer erneuerbarer Wärmequellen ist.¹

Gleichzeitig gilt es eine **Vereinbarung zur Vertragslaufzeit** zu treffen. Wie bereits beschrieben, sind die Planungszeiträume von Industrie und Wärmeversorgern sehr unterschiedlich. Aus Sicht der Wärmeversorger ist daher eine möglichst lange Vertragslaufzeit gewünscht, in der die Abwärme gesichert zur Verfügung gestellt wird. Die Industrie bevorzugt hingegen kurze Vertragslaufzeiten, um nicht in betrieblichen Entscheidungen eingeschränkt zu sein. Die Vertragslaufzeit stellt daher auch eine implizite Verteilung des Adressrisikos dar.^{1,2}

Zudem ist abzustimmen, wer die **Eigentumsrechte**, z. B. an der Abwärmanlage auf dem Werksgelände, trägt und inwiefern der Wärmeversorger **Zutrittsrechte** zum Werksgelände hat, bspw. für eine regelmäßige Wartung der Anlage.^{1,3}

Zuletzt stellt die **gemeinsame Umsetzung des Projekts** einen zentralen Punkt dar. Für eine erfolgreiche Umsetzung müssen mehrere Faktoren abgestimmt werden, bspw. die geplanten Umsetzungs- und Betriebszeiträume, die Zusammenarbeit bei Planung und Bau der Anlage sowie die Aufgabenverteilung und Kommunikation beim Betrieb der Abwärmanlage.^{1,4}

Ein Projekt sollte aus Industrie- und Versorgerperspektive bereits interessant sein, um eine Verhandlung über eine potenzielle Kooperation zu ermöglichen. Bei der Verhandlung zeigt sich dann u.a. anhand der hier beschriebenen Kriterien, ob ein Abwärmeprojekt tatsächlich umgesetzt wird.



Bisherige Datenlage zur industriellen Abwärme in NRW

NRW ist für die Nutzung von Abwärme besonders geeignet. Die Region bietet gute Bedingungen für die zentrale Wärmeversorgung, da das Bundesland die höchste Bevölkerungsdichte¹, mit 6.461 km die größte Wärmenetzlänge und mit 22,6 TWh/a die höchste zentrale Wärmeversorgungsenergie aufweist.² Zudem sind in NRW viele Betriebe der energieintensiven Industrie wie Metall, Glas & Steine sowie Chemie ansässig. Im Jahr 2008 wies NRW ca. 47 % des untersuchten Abwärmepotenzials in Deutschland auf.³

Im Auftrag des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) wurden mehrere Untersuchungen der Wärmeversorgung in NRW durchgeführt, darunter die *Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung (2021)*⁴ und die *Potenzialstudie Industrielle Abwärme (2019)*⁵. Die Ergebnisse dieser und weiterer Studien sind im *Wärmekataster*⁶ des LANUV zusammengefasst (Abb. 6).

Die *Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung* quantifiziert auf Basis des Zensus 2011 die bestehenden Bedarfe für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme und lokalisiert diese in Form von Wärmelinien für NRW. Dazu wird die zukünftige Entwicklung der Wärmebedarfe mit Hilfe von Szenarien analysiert. Die georeferenzierten Daten zu bestehenden Wärmenetzen in NRW sind öffentlich zugänglich.

Die *Potenzialstudie Industrielle Abwärme* schätzt Abwärmepotenziale auf Basis von im Rahmen der 11. Bundesimmissionschutzverordnung (11. BImSchV) erhobenen Daten. Die Abwärmepotenziale werden nur für 697 von insgesamt 2.058

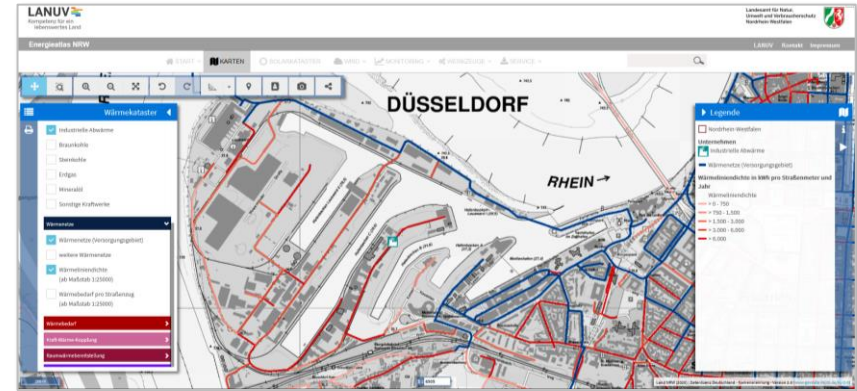


Abb. 6: Ausschnitt aus Wärmekataster des LANUV⁶

erfassten Betriebsstandorten mit Brennstoffeinsatz berechnet, da nur bei diesen Standorten eine vollständige Datenverfügbarkeit vorlag. Die Potenzialstudie bezieht sich dabei auf die Daten aus dem Jahr 2012. Die abgeschätzten Abwärmepotenziale werden im Rahmen einer neuen Studie des LANUV aktualisiert, die im Laufe des Jahres 2024 veröffentlicht werden soll. Der Aufbau sowie die Inhalte der neuen Studie werden im Folgenden weiter ausgeführt.

Diese Studie fokussiert sich auf eine qualitative Bewertung des in der *Potenzialstudie Industrielle Abwärme* berechneten theoretischen Abwärmepotenzials. Da insbesondere energieintensive Industrien ein hohes Abwärmepotenzial aufweisen, werden diese im Rahmen der nachfolgenden Analyse explizit betrachtet und hinsichtlich einer möglichen zukünftigen Entwicklung bewertet. Die Analyse liefert somit einen Einblick in die räumliche Verteilung und strukturelle Eigenschaften des industriellen Abwärmeaufkommens in NRW.

Exkurs: Neue Potenzialstudie von LANUV (2024)

Derzeit wird eine neue Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in NRW erarbeitet, die in 2024 veröffentlicht werden soll. In dieser werden - mit dem Ziel der Durchführung einer regionalen Wärmeplanung für NRW - die existierenden Daten aktualisiert. Die Studie wird vom LANUV in Kooperation mit dem Fraunhofer IEG, IFAM, UMSICHT & Solar-Institut Jülich sowie der Hochschule Bochum erstellt (vgl. Abb. 7).

Die Studie soll sich dabei in 4 Leistungspakete aufteilen: Wärmebedarfsberechnung, Aktualisierung und Erweiterung von Potenzialen von Wärmequellen, Erstellung von Zielszenarien für klimaneutrale Wärmeversorgung bis 2045 sowie Ableitung von Handlungsempfehlungen und Eckpunkten für eine Wärmewendestrategie.

Im ersten Leistungspaket, der Wärmebedarfsberechnung, wird eine Methodik zur Ermittlung der Wärmebedarfe von Gebäuden entwickelt und anhand tatsächlicher Verbräuche validiert. Die Wärmebedarfe werden entsprechend aktualisiert und für den Zeitraum zwischen 2030 und 2045 in Fünf-Jahres-Schritten berechnet. Die Prozesswärmebedarfe werden ebenfalls aktualisiert und um Bedarfe über 500°C ergänzt. Außerdem werden die Kosten verschiedener Sanierungspakete szenariobasiert untersucht.

Das zweite Leistungspaket befasst sich mit der Aktualisierung der Bestände und Potenziale verschiedener Wärmequellen. Neben der oberflächennahen sowie der tiefen Geothermie, Biomasse und sonstigen Quellen soll auch das Potenzial der industriellen Abwärmequellen neu ermittelt werden.



Abb. 7: Ausschnitt aus der Präsentation des LANUV¹ auf BMWK-Fachtagung „Klimaschutz durch Abwärmennutzung“

Die industriellen Abwärmepotenziale werden mit neuen Daten aus den Emissionserklärungen im Rahmen der 11. BImSchV aus dem Jahr 2020 berechnet. Die Ermittlung beruht dabei auf der in Brückner (2016)² entwickelter Methodik. Darüber hinaus werden Szenarien für die zukünftige Entwicklung der Abwärmepotenziale - unter der Annahme, dass die Produktionsmengen konstant bleiben - untersucht. Die Daten werden im Wärmekataster entsprechend aktualisiert.

Da die unveröffentlichte Potenzialstudie eine neue Grundlage für die quantitative Untersuchung industrieller Abwärmepotenziale in NRW schafft, legt die vorliegende Studie den Fokus auf eine qualitative Analyse des zukünftigen Abwärmeeaufkommens.

Grundlagen und Vorgehen zur Analyse bestehender Potenziale in NRW

Diese Analyse befasst sich im Folgenden mit einer detaillierten Untersuchung theoretischer Potenziale industrieller Abwärme in NRW. Dabei werden die bestehenden Potenziale, basierend auf dem im [Kapitel 4](#) beschriebenen Datensatz des LANUV¹, visualisiert und nach Industriebranchen ausgewertet.

Wie in [Kapitel 3](#) bereits dargelegt ist bei einer Potenzialanalyse grundsätzlich zwischen vier Potenzialarten zu unterscheiden. Das *theoretische* Abwärmepotenzial bezeichnet die maximal nutzbare Energiemenge, die in der Abwärme enthalten und nur durch physikalische Einschränkungen begrenzt ist.^{2,3} Wie auf der Abbildung 8 dargestellt, macht das *technische* Potenzial, das sich unter Berücksichtigung technischer Restriktionen ermitteln lässt, ein Teil des theoretischen Potenzials aus. Je nach genutzter Produktionstechnologie sind die folgenden Faktoren wie das Temperaturniveau, das Trägermedium oder Verluste bei der Wärmeübertragung entscheidend dafür, ob die Nutzung industrieller Abwärme technisch umsetzbar ist. Anhand einer Reihe an ökonomischen Kriterien wird das *ökonomische* Potenzial bestimmt. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse kann aus betriebs- und/oder volkswirtschaftlicher Perspektive erfolgen und sowohl finanzielle als auch vertragliche und rechtliche Gesichtspunkte enthalten.

Die für die Analyse verwendeten theoretischen Potenziale können die technischen, ökonomischen sowie erschließbaren Potenziale signifikant übersteigen, da insbesondere die Letzteren standortspezifischen Gegebenheiten unterliegen.

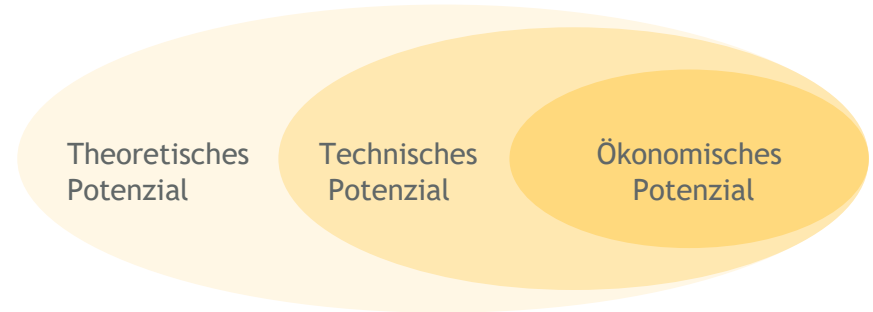


Abb. 8: Abstufung der Potenzialarten
Eigene Darstellung

Die theoretischen Abwärmepotenziale lassen sich mit Hilfe der in Brückner (2016)² entwickelter Methodik ermitteln, indem das Abwärmeeaufkommen nach Industriesektoren aufgeteilt wird, die nach ihren (Haupt-)Produkten unterschieden werden. Dabei wird nur eine Art der Auskopplung als Abgas oder Abluft betrachtet. Um die theoretischen Potenziale anhand der Methodik zu berechnen, werden die Emissionsdaten nach 11. BImSchV verwendet. Die Bestimmung des Abwärmeeaufkommens erfolgt demnach als Bottom-Up-Berechnung wie folgt:

$$\text{Abwärme für jeden Abgasstrom} = \text{Abgasstromvolumen} * \text{konstante Wärmekapazität} * \text{konstante Dichte des Abgasstromes} * (\text{Temperatur} - \text{Referenztemperatur})$$

Diese Analyse stützt sich auf die anhand der beschriebenen Methodik ermittelten industriellen Abwärmepotenziale des LANUV¹. Dabei werden für jede energieintensive Industriebranche insbesondere die Wirtschaftsleistung und Bedeutung für NRW, das aktuelle Abwärmepotenzial und die zukünftige Entwicklung mit Hinblick auf die Dekarbonisierung.

Theoretische Potenziale industrieller Abwärme in NRW

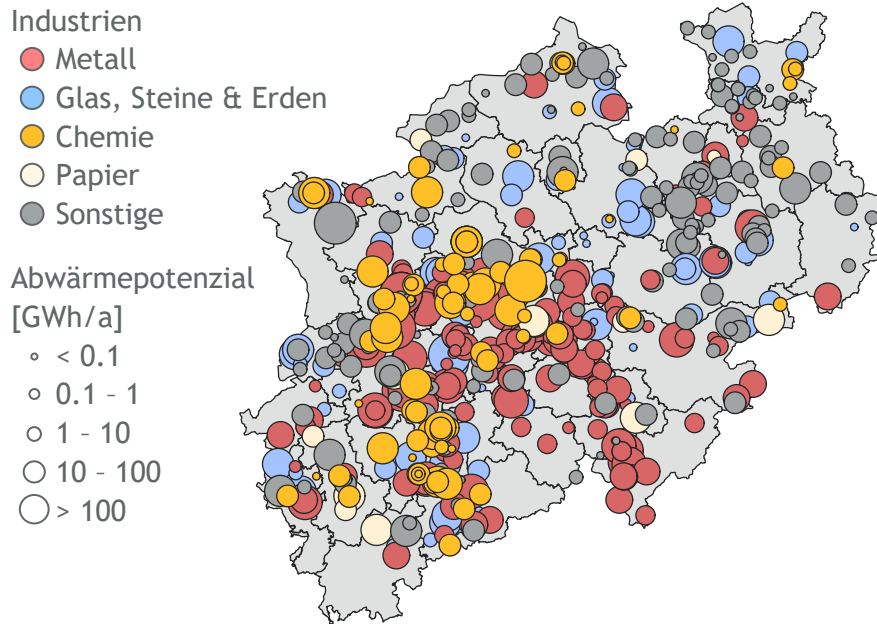


Abb. 9: Theoretisches Potenzial industrieller Abwärme in NRW.
Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)⁴.

- NRW weist hohe theoretische Abwärmepotenziale auf
- Abwärme fällt weitgehend flächendeckend an
- Besonders hohe Potenziale verzeichnen energieintensive Industrien wie Metall, Glas, Steine & Erden sowie Chemie

NRW zählt zu einem der wichtigsten Industriestandorte Deutschlands, der sich insbesondere durch eine vollständige industrielle Wertschöpfungskette auszeichnet.¹ Von den Grundstoffindustrien bis hin zu spezialisierten Zulieferern sowie Systemanbietern sind die in NRW ansässigen Unternehmen durch hohe Internationalisierung gekennzeichnet. Die umsatzstärksten Branchen sind dabei aktuell die Chemie, der Maschinenbau sowie Metallerzeugung und -bearbeitung.²

Aufgrund der hohen Industriedichte sowie einer Vielzahl an kleinen, mittelständischen sowie großen Unternehmen weist NRW insgesamt ein hohes Potenzial an industrieller Abwärme auf. Das gesamte theoretische Potenzial beläuft sich auf ca. 88 bis 96 TWh/a.³ Industrielle Abwärme steht in NRW theoretisch weitgehend flächendeckend zur Verfügung (siehe Abb. 9). Rund 50 % des Potenzials weist Temperaturen zwischen 110 und 250°C auf. Dieses Temperaturniveau stellt, wie im [Kapitel 3](#) ausgeführt, gute Voraussetzungen zur Abwärmenutzung in Wärmenetzen dar.

Der Großteil des abgeschätzten theoretischen Abwärmepotenzials fällt dabei bei den energieintensiven Industrien an wie Metallerzeugung und -bearbeitung (54 %), Herstellung von Glas und Verarbeitung von Steinen & Erden (17 %), chemische Industrie (11 %) sowie Papierindustrie (2 %).³ Aufgrund der hohen Relevanz dieser Industrien in Bezug auf die zukünftige Abwämeerzeugung und -nutzung werden die Branchen im Folgenden näher untersucht. Weitere Industriezweige (Sonstige) werden gebündelt analysiert.

Analyse der Abwärmepotenziale: Metallindustrie

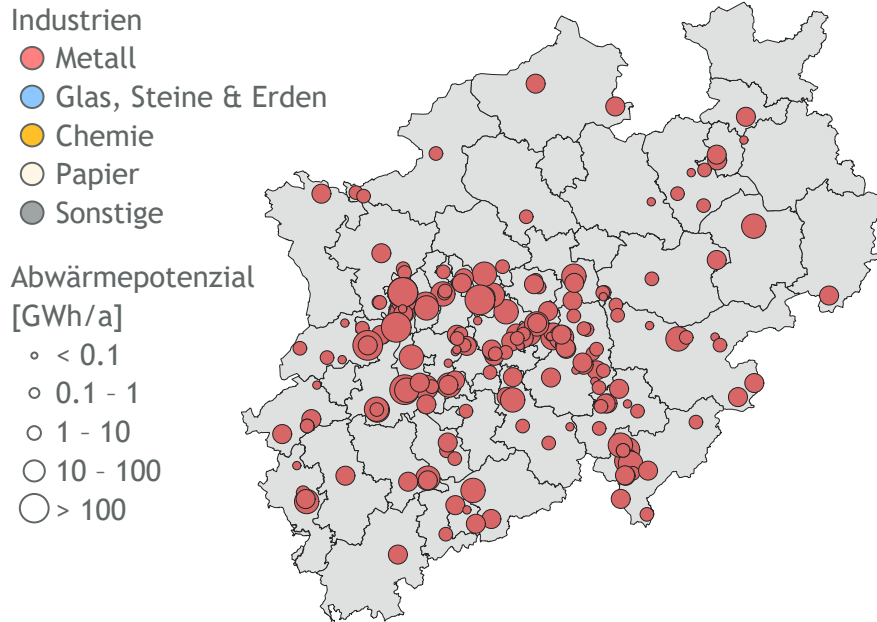


Abb. 10: Theoretisches Abwärmepotenzial der Metallindustrie.
Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)⁴.

- 54 % des gesamten theoretischen Abwärmepotenzials in NRW²
- Hohe Potenziale in der Nähe von (Groß-)Städten
- Signifikanter Rückgang des Potenzials durch Prozessumstellung und Effizienzsteigerungen möglich

Die hier analysierte Metallindustrie umfasst sowohl Metall-erzeugung und -bearbeitung als auch die Herstellung von Metallerzeugnissen. Dabei spielt insbesondere die Stahlindustrie eine bedeutende Rolle für NRW. Mit einer Produktion von 16,5 Millionen Tonnen Rohstahl (38 % der Gesamtproduktion in Deutschland) und nahezu 48.000 Beschäftigten (ca. 56 % der Stahlbelegschaften in Deutschland) prägt sie das Bundesland.¹

Bei der Analyse des zugrundeliegenden Datensatzes konnten 193 Unternehmen der Branche zugeordnet werden, die 54 % des gesamten Abwärmepotenzials ausmachen.² Die Metallindustrie ist insbesondere durch eine große Anzahl an hohen Potenzialen gekennzeichnet: 34 % der untersuchten Unternehmen weisen Potenziale von 10-100 GWh/a auf, 4 % über 100 GWh/a. Die Potenziale fallen dabei überwiegend in der Metropolregion Rhein-Ruhr sowie in der Region Südwestfalen an und befinden sich oft nahe (Groß-)Städte. Durch die hohe Wärmedichten eignen sie sich demnach gut für die externe Abwärmenutzung.

Im Zuge der Dekarbonisierung werden sich die Produktionsprozesse in der Metallindustrie voraussichtlich stark ändern. So wird die Stahlherstellung von der gängigen Hochofenroute auf Direktreduktion und anschließende Schmelze im Elektrolichtbogenofen umgestellt. Durch Elektrifizierung und Effizienzsteigerungen kann bei angenommen gleichen Produktionsmengen ein deutlicher Rückgang des Endenergieverbrauchs erwartet werden. So könnte der Endenergieverbrauch für Eisen & Stahl von 178 TWh in 2018 sukzessive auf 92 TWh in 2045 sinken.³ Bei Eintritt dieses Rückgangs würde dies auch einen signifikanten Rückgang des Abwärmepotenzials bedeuten.

Analyse der Abwärmepotenziale: Glas, Steine & Erden

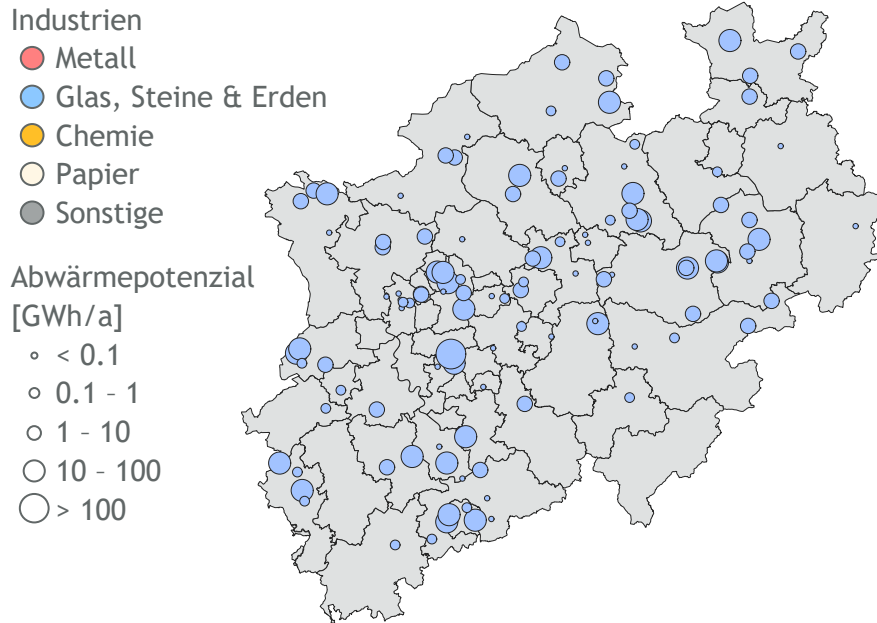


Abb. 11: Theoretisches Abwärmepotenzial der Glas-, Steine- und Erdenindustrie. Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)⁴.

- 17 % des gesamten theoretischen Abwärmepotenzials in NRW²
- Flächendeckend kleine bis große Abwärmepotenziale
- Effekte von effizienteren Prozessen und stromintensive CO₂-Abscheidung auf Abwärmepotenziale unklar

Die betrachtete Industrie setzt sich aus der Herstellung von Glas, Glaswaren und Keramik sowie der Verarbeitung von Steinen und Erden zusammen. In NRW finden sich reichhaltige Vorkommen an Rohstoffen wie Kies, Sand, Kalkstein und anderen Festgesteinen. Die darauf bauende Industrie besitzt eine überregionale Relevanz und wurde dadurch zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor.¹

Auf Basis der genutzten Daten konnten 116 Unternehmen der Industrie zugeordnet werden, die 17 % des gesamten Abwärmepotenzials ausmachen.² Die Unternehmen sind gleichmäßig über die definierten Potenzialintervalle verteilt. Durch die flächendeckende geografische Verteilung bietet die Industrie theoretisch eine Möglichkeit zur externen Abwärmenutzung, auch außerhalb der Metropolregion Rhein Ruhr.

Durch Wärmebereitstellung mit fossilen Brennstoffen werden in der Branche hohe CO₂-Mengen emittiert. Diese könnten in Zukunft durch Elektrifizierung oder Einsatz von klimaneutralen Energieträgern und damit verbundenen Effizienzsteigerungen vermieden werden. Bestimmte prozessbedingte CO₂-Emissionen lassen sich zwar reduzieren aber nicht vermeiden.³ Daher ist eine Anwendung von stromintensiver CO₂-Abscheidung erwartbar, die wiederum Abwärmepotenziale bieten kann. Durch die kombinierten Effekte, die es auf die Abwärmemenge sowie -temperatur geben kann, ist die zukünftige Entwicklung des Abwärmepotenzials nicht eindeutig. Bei Erreichung von Klimaneutralität könnte der Endenergieverbrauch der Branche von 60 TWh in 2018 auf 50 TWh in 2045 sinken³, was zu einem Rückgang des Abwärmepotenzials führen könnte.

Analyse der Abwärmepotenziale: Chemische Industrie

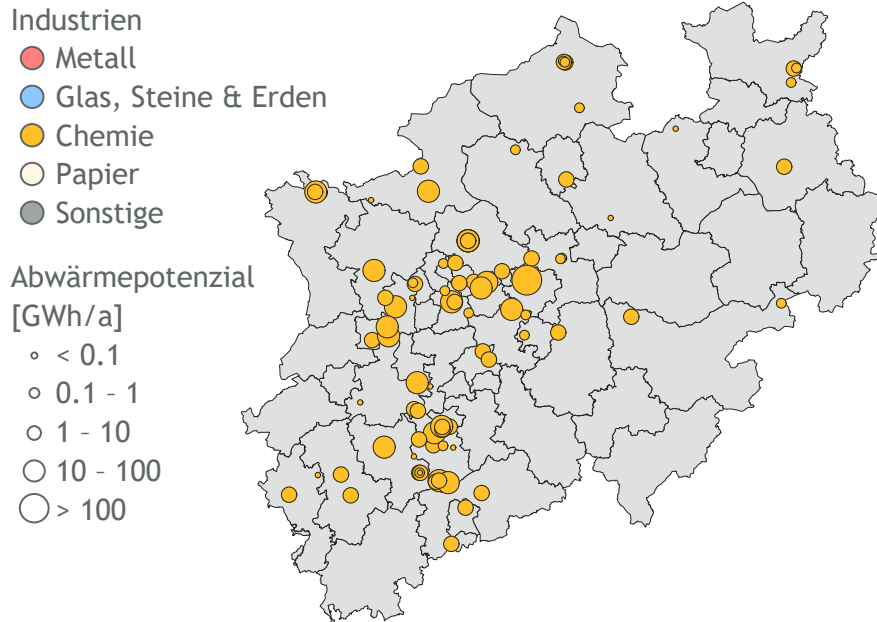


Abb. 12: Theoretisches Abwärmepotenzial der chemischen Industrie.
Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)⁴.

- 11 % des gesamten theoretischen Abwärmepotenzials in NRW²
- Potenziale überwiegend in Metropolregion Rhein-Ruhr
- Stark von Transformation betroffen, was das gesamte Abwärmepotenzial in NRW deutlich beeinflussen könnte

Die untersuchte Chemieindustrie beinhaltet sowohl die Produktion chemischer als auch pharmazeutischer Erzeugnisse. Etwa ein Drittel der Umsätze der deutschen chemischen Industrie stammt aus den mittelständischen sowie großen internationalen Unternehmen, die in NRW ansässig sind.¹

Anhand der analysierten Daten konnten 94 Unternehmen der chemischen Industrie zugeordnet werden, die insgesamt 11 % des Abwärmepotenzials in NRW ausmachen.² Die Potenziale fallen dabei überwiegend in der Metropolregion Rhein-Ruhr an. Dank der hohen Bevölkerungsdichte und entsprechend hohen Wärmedichten bietet die chemische Industrie gute Voraussetzungen zur Realisierung externer Abwärmenutzung.

Durch eine hohe Nutzung fossiler Energieträger für energetische und stoffliche Prozesse ist die chemische Industrie stark von der Transformation zum klimaneutralen Energiesystem betroffen. Während die energetischen Bedarfe über den Einsatz klimaneutraler Energieträger gedeckt werden können, müssen die stofflichen Prozesse umgestellt werden. Bei Bau neuer Anlagen könnte dies mittels Elektrolyse für Wasserstoff, Synthese von Methanol und weiteren Verfahren wie bspw. Methanol-to-Olefins geschehen.³ Die neuen Prozesse bleiben dabei energieintensiv. Unter Annahme einer in etwa konstanten Produktionsmenge könnte der Endenergieverbrauch der Branche von 152 TWh in 2018 auf 161 TWh in 2045 steigen.³ Durch die Umstellung auf klimaneutrale Energieträger und Einführung neuer Prozesse könnten sich das Potenzial, das Temperaturniveaus sowie die zeitliche und räumliche Verfügbarkeit der Abwärme jedoch stark verändern.

Analyse der Abwärmepotenziale: Papierindustrie

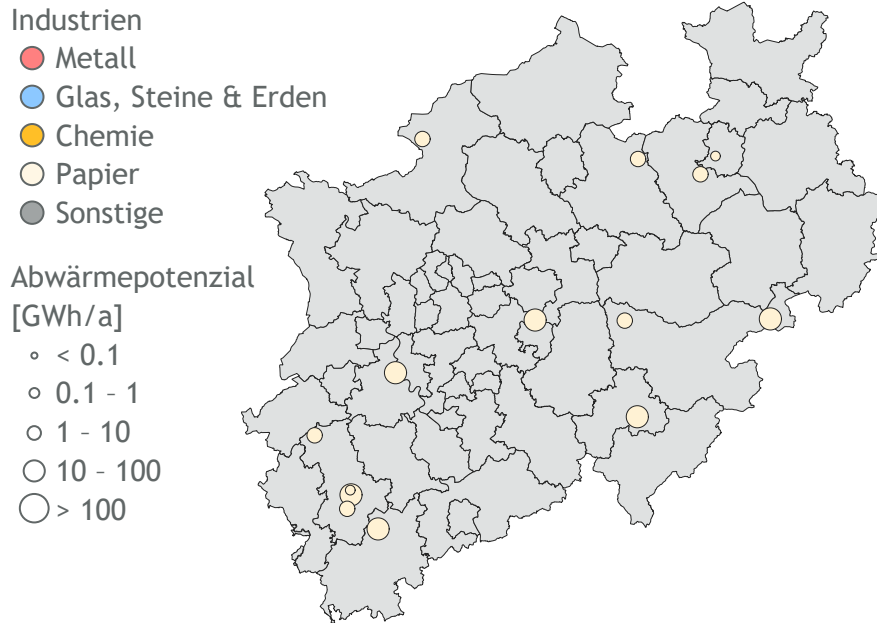


Abb. 12: Theoretisches Abwärmepotenzial der Papierindustrie.
Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)⁴.

- 2 % des gesamten theoretischen Abwärmepotenzials in NRW²
- Vereinzelte Potenziale im mittleren Bereich mit niedrigem Temperaturniveau
- Sinkendes Abwärmepotenzial durch niedrigeren Endenergieverbrauch möglich

Die analysierte Papierindustrie umfasst die Herstellung von Papier, Pappen und Waren daraus. Mit etwa 7.000 Mitarbeitern in 30 Betrieben erzielte die Branche in NRW im Jahr 2020 einen Umsatz von 2,1 Milliarden Euro.¹ Ähnlich zu den Branchen wie Metall, Glas, Steine & Erden sowie Chemie ist die Papierindustrie durch hohe Energieintensität gekennzeichnet.

Für die Abwärmenutzung spielt die Papierindustrie in NRW keine überragende Rolle. Anhand des zugrundeliegenden Datensatzes konnten 14 Unternehmen der Branche zugeordnet werden, die 2 % des gesamten Abwärmepotenzials in NRW ausmachen.² Die Unternehmen weisen mittlere bis hohe Abwärmepotenziale sowie ein niedriges Temperaturlevel von 60-110°C auf. Sie sind über das Bundesland verstreut und bieten daher für einzelne Gemeinden, bspw. die Stadt Düren, die Möglichkeit zur externen Abwärmenutzung.

Für die Herstellung von Papier wird Niedrigtemperaturdampf benötigt, der derzeit überwiegend über fossile Energieträger wie Kohle, Erdgas und Öl erzeugt wird. Zur Dekarbonisierung kann u. a. die elektrische Dampferzeugung umgestellt werden. Neben Elektrifizierung könnte der Endenergieverbrauch bei gleichbleibender Produktion auch durch weitere Maßnahmen reduziert werden, wie z. B. Effizienzsteigerungen, Erhöhung von Recyclingquoten sowie Produktionsverschiebung zu Papier niedriger Qualität, das weniger energieintensiv hergestellt wird.³ Durch den daraus resultierenden sinkenden Endenergieverbrauch könnten sich das Potenzial sowie ggfs. das Temperaturniveau der Abwärme zukünftig verringern.

Analyse der Abwärmepotenziale: Sonstige Industrien

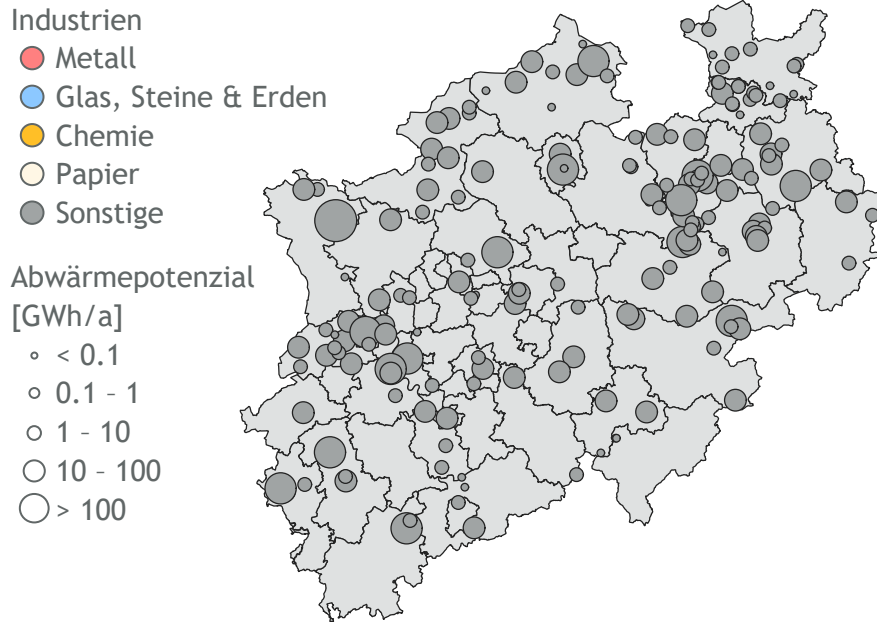


Abb. 13: Theoretisches Abwärmepotenzial sonstiger Industrien.
Eigene Darstellung basierend auf LANUV (2022)³.

- 16 % des gesamten theoretischen Abwärmepotenzials in NRW¹
- Hohe Potenziale in Regionen mit wenig energieintensiven Industrien
- Moderater Rückgang des Potenzials möglich

Die hier dargestellten sonstigen Industrien fassen die nicht energieintensiven Industriezweige zusammen und bilden somit ein breites Spektrum ab. Die sonstigen Industrien umfassen u. a. die Herstellung von Nahrungs- & Futtermitteln, Textilien & Bekleidung, Holzwaren, Möbeln, Gummi- und Kunststoffwaren, elektrischer Ausrüstungen und Datenverarbeitungsgeräten sowie Maschinen- und Fahrzeugbau.

Anhand der analysierten Daten wurden 175 Unternehmen den sonstigen Industrien zugeordnet, die 16 % des gesamten Abwärmepotenzials in NRW ausmachen.¹ Die Industrien weisen dabei lokal teilweise hohe Potenziale auf; 41 % der untersuchten Unternehmen haben ein Potenzial von 10 - 100 GWh/a. Sonstige Industrien fallen flächendeckend in NRW an, mit einer leichten Konzentration in den Regionen Niederrhein, Münsterland und Ostwestfalen-Lippe. Dies bietet auch in den Regionen, in denen die energieintensiven Industrien weniger vertreten sind, die Möglichkeit zur externen Abwärmenutzung.

Aufgrund der großen Heterogenität der untersuchten Industrien ist eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des gebündelten Abwärmepotenzials nicht möglich. Wie bei den energieintensiven Industrien kann im Rahmen der Transformation zu einem klimaneutralen Energiesystem von Elektrifizierung, Umstellung auf klimaneutrale Energieträger sowie Effizienzsteigerungen ausgegangen werden. Unter Annahme konstanter Produktionsmengen kann eine Reduktion des Endenergieverbrauchs von 223 TWh in 2018 auf 172 TWh in 2045 erwartet werden.² Dies würde auch einen moderaten Rückgang des Abwärmepotenzials ergeben.

Vorgehensweise bei der Abschätzung neuer Abwärmepotenziale

Neben den untersuchten Abwärmepotenzialen, die aus der industriellen Produktion entstammen, könnten in der Zukunft auch weitere Abwärmequellen wie Elektrolyseanlagen sowie Rechenzentren an Bedeutung gewinnen. Während bereits heute eine hohe Anzahl an Rechenzentren in NRW existiert, handelt es sich bei den Elektrolyseuren um eine neue Abwärmequelle, die mittelfristig (bis 2030) ein relevantes Abwärmepotenzial aufweisen könnte. Dabei sind sowohl die zukünftige räumliche Verteilung der beiden Abwärmequellen als auch die Höhe und Eigenschaften der entstehenden Abwärmepotenziale entscheidend für die potenzielle Abwärmenutzung.

Um das zukünftige Abwärmepotenzial der *Elektrolyseanlagen* abzuschätzen, greift die Analyse auf die Power-to-X (PtX) Projektdatenbank des EWI zurück.¹ Die Datenbank enthält Angaben zu allen bis einschließlich August 2023 angekündigten Wasserstoffelektrolyseprojekten inkl. der Standorte und geplanter bzw. installierter elektrischer Leistung. Auf dieser Basis werden die theoretischen Abwärmepotenziale der in NRW zurzeit geplanten Elektrolyseanlagen für das Jahr 2030 abgeschätzt. Zusätzlich werden Annahmen zu den Volllaststunden sowie dem Verhältnis zwischen der elektrischen Eingangsleistung und der Ausgangsleistung der Abwärme getroffen. Die theoretischen Potenziale werden demnach wie folgt ermittelt:

$$\text{Installierte elektrische Leistung [GW]} * \text{Volllaststunden [h]} * \text{Ausgangsleistung der Abwärme [\%]} = \text{theoretisches Abwärmepotenzial [GWh]}$$

Während die installierte elektrische Leistung auf der PtX-Projektdatenbank des EWI basiert, werden für die Berechnung 4.000 Volllaststunden angenommen. Dies stellt einen durchschnittlichen in der Literatur verwendeten Wert dar.² Als Verhältnis zwischen der elektrischen Eingangsleistung und der Ausgangsleistung der Abwärme werden 20 %² angenommen.

Für die *Rechenzentren* werden die zukünftigen Abwärmepotenziale in NRW aufgrund der fehlenden Informationen zur zukünftigen installierten Leistung sowie räumlichen Verteilung qualitativ untersucht. Da es schwer abschätzbar ist, wo neue Rechenzentren gebaut werden und wie hoch deren Leistung sein wird, beschränken wir uns bei der Analyse auf die bereits installierten Anlagen. Die Bewertung bezieht sich dabei insbesondere auf die aktuelle räumliche Verteilung der existierenden Rechenzentren innerhalb der Region basierend auf der Data Center Map (2023)³ und beinhaltet Voraussetzungen, die für die Nutzung der theoretisch anfallenden Abwärmepotenziale notwendig sind.

Im Folgenden werden im ersten Schritt die anhand der beschriebenen Methodik abgeschätzten zukünftigen Abwärmepotenziale der Elektrolyseanlagen für das Jahr 2030 betrachtet und mit Hinblick auf die Relevanz und praktische Nutzung analysiert. Im Nachgang wird die Rolle der Rechenzentren in der Bereitstellung regionaler realisierbarer Abwärme diskutiert.

Abschätzung neuer Potenziale: Elektrolyseanlagen

Abwärmepotential
[GWh/a]

- < 0.1
- 0.1 - 1
- 1 - 10
- 10 - 100
- > 100

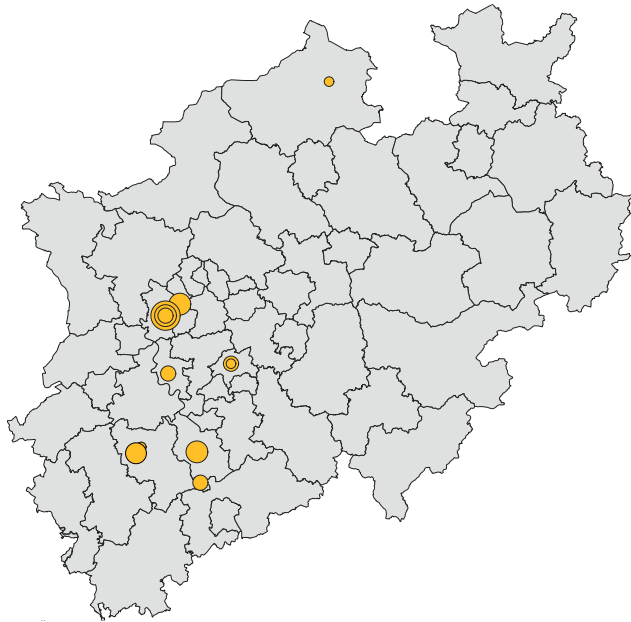


Abb. 14: Theoretisches Potenzial der aktuell geplanten Elektrolyseanlagen.
Eigene Darstellung basierend auf EWI (2023).¹

Basierend auf der PtX-Projekt Datenbank des EWI wird in NRW bis zum Jahr 2030 eine Elektrolyseleistung von 0,8 GW_{el} erwartet. Dabei werden angekündigte Projekte bis einschließlich August 2023 berücksichtigt. Dies entspricht 9 % der gesamten geplante installierten Leistung in Deutschland.¹ Die Datenbank enthält insgesamt 12 Projekte in NRW, die sich überwiegend im Ruhrgebiet konzentrieren. Dies hat den Grund, dass die Projekte zurzeit insbesondere an industriellen Standorten geplant werden, die in Zukunft klimaneutralen Wasserstoff für die Produktion nutzen, wie bspw. Anlagen der Stahl- und Chemieindustrie.

Die Höhe der potenziell anfallenden Abwärmemengen richtet sich nach der geplanten installierten Leistung. Insgesamt weisen die Anlagen laut der Abschätzung ein theoretisches Abwärmepotenzial von etwa 630 GWh/a. Während nur eine Anlage das Potenzial über 100 GWh/a zeigt, liegt das Abwärmepotenzial bei 8 von 12 Anlagen unter 10 GWh/a (s. Abb. 14). Da die Abschätzung stark von den zugrundeliegenden Annahmen abhängt, können die Abwärmepotenziale in der Zukunft sowohl höher als auch geringer ausfallen. Insbesondere können sich die Volllaststunden im Zeitverlauf sowie von Standort zu Standort stark unterscheiden.

Die kleine Dimensionierung der Projekte veranschaulicht die Grenzen des theoretischen Abwärmepotenzials. Das Potenzial könnte allerdings durch weitere geplante Projekte stark ansteigen, wobei technische Möglichkeit der Abwärmenutzung jeweils standortspezifisch zu prüfen sind.

- Aktuell werden H₂-Projekte überwiegend an industriellen Standorten geplant
- Die Mehrheit der Anlagen weist ein Abwärmepotenzial von weniger als 10 GWh/a auf

Abschätzung neuer Potenziale: Rechenzentren

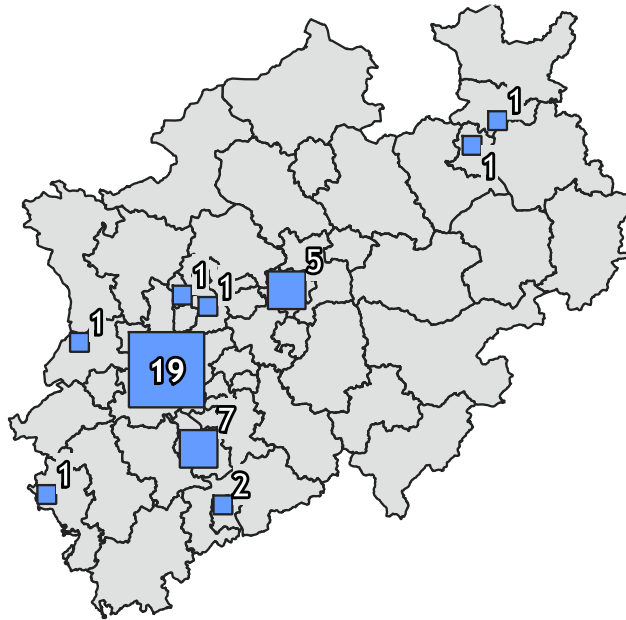


Abb. 15: Anzahl und Verteilung von Rechenzentren in NRW.
Eigene Darstellung basierend auf Data Center Map (2023).¹

Laut der Data Center Map (2023) sind aktuell insgesamt 39 Rechenzentren innerhalb NRWs installiert, was 15 % der bisher in Deutschland gebauten Anlagen entspricht (Abb. 15).¹ Die existierenden Rechenzentren befinden sich primär in der Nähe von (Groß-)Städten. Allein 19 Rechenzentren wurden bereits nahe Düsseldorf gebaut. Aufgrund einer hohen Stromintensität ist bei der Standortwahl insbesondere die netztechnisch ausreichende und zuverlässige Energieversorgung sowie die Nähe zu den Glasfaserstrecken entscheidend.²

Die bestehenden Rechenzentren lassen sich u. a. aufgrund der verwendeten Kühltechnologien, Notwendigkeit eines Umbaus im laufenden Betrieb sowie Platzmangel nur unter erheblichem Aufwand für die Abwärmenutzung umrüsten.^{2,3} Darüber hinaus ist mit verhältnismäßig niedrigen Abwärmepotenzialen zu rechnen. So könnten bei den bestehenden Rechenzentren gemäß verschiedenen standortspezifischen Untersuchungen lediglich Temperaturniveaus von 15-60°C erzielt werden. Dies macht den Einsatz einer Wärmepumpe für die Erhöhung der Abwärmepotenziale notwendig, da für Nah-/Fernwärmenetze Vorlauftemperaturen von 70-130°C benötigt werden.^{3,4,5}

In der Zukunft wird dennoch ein hohes Potenzial von neuen Rechenzentren erwartet.³ Laut Simulationen kann der Anteil der maximal nutzbaren Energie unter Berücksichtigung der Netzrestriktionen 39-54 % betragen.⁶ Ausreichende Verfügbarkeit von Wärmenetzen, technische Umsetzbarkeit und die Nähe potenzieller Abnehmer spielen dabei eine besondere Rolle für die Realisierbarkeit zukünftiger Abwärmenutzung.

- Aktuell existieren 39 Rechenzentren in NRW, die überwiegend um Großstädte gelegen sind
- Abwärmenutzung ist insbesondere bei neuen Rechenzentren technisch und ökonomisch sinnvoll

Quellenverzeichnis

- AGEB (2023a) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (2023a): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. Daten für die Jahre von 1990 bis 2022. URL: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/auswertungstabellen/>, letztes Aufrufdatum: 16.01.2024.
- AGEB (2023b) Rohde, Prof. Dr.-Ing. Clemens; Arnold-Keifer, Sonja (2023): Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2021 bis 2023 für die Sektoren Industrie und GHD. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB), Karlsruhe.
- AGFW (2020) AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (2020): Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung. Frankfurt am Main.
- AGFW (2023) AGFW, Fraunhofer IFAM (2023): AGFW-Hauptbericht. URL: <https://experience.arcgis.com/experience/82acf304f20046c3983ad82d3ef9aeae/>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- Ariadne (2023) Blesl, Markus; Burkhardt, Alexander; Wendel, Frank (2023): Transformation und Rolle der Wärmenetze. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. DOI: 10.48485/pik.2023.004.
- BAFA (2020) Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2020): Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0. Modul II: Antragstellung und Verwendungsnachweis. Eschborn.
- BAFA (2023a) Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2023a): Bundesförderung für effiziente Wärmenetze - technische Anforderungen der Module 1 bis 4. Eschborn.
- BAFA (2023b) Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2023b): Merkblatt: Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft - Zuschuss. Eschborn

Quellenverzeichnis

- BDEW (2021) HIC Hamburg Institut Consulting GmbH; Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2021): Grüne Fernwärme für Deutschland - Potenziale, Kosten, Umsetzung. BDEW i.A.v. BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Hamburg, München.
- bitkom (2023) bitkom (2023) Rechenzentren in Deutschland Aktuelle Marktentwicklungen - Update 2023.
- Broberg Viklung & Johansson (2014) Broberg Viklund, Sarah; Johansson, Maria T. (2014): Technologies for utilization of industrial excess heat: Potentials for energy recovery and CO2 emission reduction. Energy Conversion and Management, 77, 369-379.
- Brückner et al. (2014) Brückner, Sarah; Miró, Laia; Cabeza, Luisa F.; Pehnt, Martin; Laevemann, Eberhard (2014)
- Brückner (2016) Brückner, Sarah (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland. Technische Universität München, München.
- Data Center Map (2023) Data Center Map (2023) Germany Data Centers. URL: <https://www.datacentermap.com/germany>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- dena (2015) Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015): Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Berlin.
- ERK (2023) Expertenrat für Klimafragen (2023): Prüfbericht 2023 für die Sektoren Gebäude und Verkehr. Prüfung der den Maßnahmen zugrunde liegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz. Berlin.
- EU (2021) Europäische Union (2021): Europäischer Grüner Deal. Die Verwirklichung unserer Ziele. Luxemburg.
- EWI (2021) Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) (2021). dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Quellenverzeichnis

- EWI (2023a) Sprenger, Tobias; Kopp, Jan; Schäfer, Felix; Diehl, Michael (2023): Datengrundlage für die E.ON H2Bilanz 2023 2. Hj. - Begleitdokument zur Einordnung der Ergebnisse. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH, Köln.
- EWI (2023b) Kienscherf, Philipp Artur; Czock, Berit; Moritz, Michael; Niesler, Nicole (2023) Zieltechnologien der Wärmewende - Wegweiser für eine zukunftsgerichtete Infrastrukturplanung.
- Fraunhofer ISI (2013) Hirzel, Simon; Sontag, Benjamin; Rohde, Dr.-Ing. Clemens (2013): Industrielle Abwärmenutzung. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.
- Fraunhofer ISI (2019) Aydemir, Dr. Ali; Doderer, Hannes; Hoppe, Felix; Braungardt, Dr. Sibylle (2019): Studie für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Abwärmenutzung in Unternehmen. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.
- FZJ (2022) Kassermann, Stefan (2022) Exascale-Abwärmenutzung wird gefördert. URL: <https://blogs.fz-juelich.de/llec/2022/12/09/exascale-abwaermenutzung-wird-gefoerdert>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- GEF Ingenieur AG (2022) Ziegler, Roland; Bohn, Kerstin; Richter, Stephan (2022): Gutachten - Steigerung der Abwärmemengen in Wärmenetzen in Baden-Württemberg. GEF Ingenieur AG i.A.v. KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, Karlsruhe.
- IER (2008) Blesl, Markus; Kempe, Stephan; Ohl, Michael; Fahl, Ulrich; König, Andreas; Jenssen, Til; Eltrop, Ludger (2008): Wärmealas Baden-Württemberg. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart.
- IfES (2021) Hanke-Rauschenbach, Richard; Peterssen, Florian (2021) Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle: Eine Ersteinschätzung. Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES).
- IHK NRW (2022) IHK NRW (2022) Darüber müssen wir reden! Industriestandort NRW.

Quellenverzeichnis

- Landesbetrieb IT NRW (2023) Landesbetrieb IT NRW (2023) NRW-Industrie: Umsätze im ersten Halbjahr 2023 um 2,1 Prozent gestiegen. URL: <https://www.it.nrw/nrw-industrie-mit-umsatzplus-im-ersten-halbjahr#:~:text=Den%20gr%C3%B6%C3%9Ften%20Anteil%20am%20gesamten,%E2%88%924%2C5%20Prozent>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- LANUV (2019) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2019): Potenzialstudie Industrielle Abwärme. LANUV-Fachbericht 96. Recklinghausen.
- LANUV (2021) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2021): Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung. LANUV-Fachbericht 116. Recklinghausen.
- LANUV (2022) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2022): Aktueller Datenstand der Karten Strom Bestand und des Wärmekatasters. URL: https://www.energieatlas.nrw.de/site/Media/Default/Dokumente/Tabellen/Standorte_Strom_und_Waerme_StandEnde2022.xlsx, letztes Aufrufdatum: 16.01.2024.
- LANUV (2023) Dering, Nils (2023): Zukünftige Wärmeversorgung in NRW. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV (2024) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2024): Energieatlas Energie. Planungskarte Wärme. URL: https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte_waerme, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- Lucas & Roth. (1992) Lucas, K.; Roth, H. (1992): Die Nutzung industrieller Abwärme zur Fernwärmeversorgung. Energieanwendung, 41(10), 384-387.
- Meng (1995) Meng, Werner (1995): Rechtliche Regeln über Abwärme in Deutschland.

Quellenverzeichnis

- MWIKE (2024a) MWIKE (2024a) Daten und Fakten zur Wirtschaft. URL: <https://www.wirtschaft.nrw/daten-und-fakten-zur-wirtschaft-nrw>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- MWIKE (2024b) MWIKE (2024b) Metallerzeugung/-verarbeitung. URL: <https://www.wirtschaft.nrw/metallerzeugung-verarbeitung>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- MWIKE (2024c) MWIKE (2024c) Steine/Erden. URL: <https://www.wirtschaft.nrw/steineerden>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- MWIKE (2024d) MWIKE (2024d) Chemische Industrie. URL: <https://www.wirtschaft.nrw/chemische-industrie>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- MWIKE (2024e) MWIKE (2024e) Papierindustrie. URL: <https://www.wirtschaft.nrw/papierindustrie-0>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.
- Nebel (2023) Nebel, Dr. Julian Asmus (2023): Der aktuelle Rechtsrahmen für die Abwärmenutzung im Energieeffizienz- und im Wärmelieferrecht. BWK-Fachtagung „Klimaschutz durch Abwärmenutzung - Industrielle Abwärme in NRW“, Düsseldorf.
- Orozaliev (2023) Orozaliev, Dr. Janybek (2023) Konzeptstudie zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Frankfurt-Sossenheim und Eschborn. Dialogforum Nachhaltige Rechenzentren | DTdT23 am 13.06.2023.
- Pehnt (2010) Pehnt, Martin (2010): Energieeffizienz: Ein Lehr- und Handbuch. Springer-Verlag, 2010.
- Schaefer (1995) Schaefer, Helmut (1995): Energiewirtschaftliche Bedeutung der Nutzung von Abfallenergie.
- SAENA (2016) Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH (2016): Technologien der Abwärmenutzung. Dresden.

Quellenverzeichnis

Schüwer (2016)

Schüwer, Dipl–Ing. Dietmar (2016): Abwärmenutzungspotenziale in NRW - Vorstellung der aktuellen Studie im Auftrag des MKULNV. Sektorübergreifende Transformation unseres Energiesystems. Wuppertal Institut, 2016.

UBA (2023a)

Umweltbundesamt (2023a): Der EU-Emissionshandel wird umfassend reformiert. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/der-eu-emissionshandel-wird-umfassend-reformiert>, letztes Aufrufdatum: 17.01.2024.

UBA (2023b)

Ortner, Dr. Sara; Pehnt, Dr. Martin; Over, Margarete; Blömer, Sebastian; Ochse, Susanne; Ziegler, Roland; Bohn, Kerstin; Rein, Marc; Möhring, Paula; Westholm, Dr. Hilmar; Sandrock, Dr. Matthias; Roth, Tobias; Kühne, Dr. Jens (2023b): Dekarbonisierung von Energieinfrastrukturen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UN (2015)

United Nations (2015): Paris Agreement.

**Energiewirtschaftliches Institut
an der Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

 +49 (0)221 650 853-60

 <https://www.ewi.uni-koeln.de>

 @ewi_koeln

 EWI - Energiewirtschaftliches
Institut an der Universität zu Köln

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen.