



Schlussbericht

Abwärmekonzept für Stuttgart

Integrierte Wärmenutzung im Stadtgebiet der Landeshauptstadt
Stuttgart mit besonderem Fokus auf industrielle Abwärmequellen

Projekt-Nr.: B-LHST-001

Auftraggeber: Landeshauptstadt Stuttgart
Marktplatz 1
70731 Stuttgart

Auftragnehmer: GEF Ingenieur AG
Ferdinand-Porsche-Straße 4a
69181 Leimen

Version : 6.0
Leimen, 18.11.2021

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abkürzungen

| | |
|-------------------------|---|
| <i>BHKW</i> | Blockheizkraftwerk |
| <i>COP</i> | Coefficient of Performance (Leistungszahl) einer Wärmepumpe |
| <i>EE</i> | Endenergie |
| <i>EnBW</i> | Energie Baden-Württemberg |
| <i>FhG ISI</i> | Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung |
| <i>GHD</i> | Gewerbe, Handel, Dienstleistung |
| <i>GIS</i> | Geoinformationssystem |
| <i>GWh</i> | Gigawattstunde |
| <i>HLRS</i> | Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart |
| <i>IuK</i> | Informations- und Kommunikationstechnik |
| <i>kWel</i> | Kilowatt elektrisch |
| <i>KWK</i> | Kraft-Wärme-Kopplung |
| <i>MWh</i> | Megawattstunde |
| <i>nm³/h</i> | Normkubikmeter pro Stunde |
| <i>PW</i> | Prozesswärme |
| <i>THG</i> | Treibhausgas |
| <i>TRL</i> | Rücklauftemperatur |
| <i>TVL</i> | Vorlauftemperatur |
| <i>WZ</i> | Wirtschaftszweig |

Inhalt

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung | 4 |
| 2. Bestandsaufnahme | 6 |
| 2.1 Wärmeversorgungsinfrastruktur | 6 |
| 2.1.1 Energieträgermix in der Beheizung von Wohngebäuden..... | 6 |
| 2.1.2 Wärmedichte-Verteilung | 8 |
| 2.1.3 Wärmenetze und BHKW-Standorte..... | 10 |
| 2.2 Abwärmepotenziale: Top-Down-Analyse..... | 11 |
| 2.3 Abwärmepotenzial: Bottom-Up-Analyse | 21 |
| 3. Abwärmepotenziale in zwei Schwerpunktgebieten..... | 24 |
| 3.1 Vaihingen: HLRS – Abwärmepotenzial und Umfeldanalyse | 24 |
| 3.2 Bad Cannstatt: Fa. Staehle – theoretisches Abwärmepotenzial und Umfeldanalyse | 27 |
| 4. Zusammenfassung | 28 |
| Abbildungsverzeichnis | 31 |
| Tabellenverzeichnis | 31 |
| Literaturverzeichnis | 32 |
| Anhänge..... | 33 |
| 1. Anteile Druckluft und Prozesswärme am Stromverbrauch..... | 33 |
| 2. Wärmedichtekarten Ist / - 30% / - 50%..... | 34 |
| 3. Liste Wärmenetze | 37 |
| 4. Liste BHKW mit mehr als 100 kW _{el} | 40 |

1. Einleitung

Ziel der Untersuchung ist, konkrete Potenziale industrieller Abwärme in Stuttgart zu identifizieren und eine mögliche Nutzung in Wärmenetzen zu untersuchen. Industrielle Abwärme stellt gerade in verdichteten Ballungsräumen eine interessante Quelle für die leitungsgebundene Wärmeversorgung dar.

Die Landeshauptstadt Stuttgart befindet sich in der Umsetzung ihres Energiekonzepts. Ziel ist eine klimaneutrale Landeshauptstadt. Dieses Ziel ist auch bei der zukünftigen Entwicklung Stuttgarts zu erreichen. In einem ersten Schritt ist der Energieverbrauch zu reduzieren. Dazu sind durch Sanierungen bestmögliche energetische Standards zu realisieren. In einem zweiten Schritt ist der verbleibende Energiebedarf in möglichst hohem Maße durch lokal verfügbare erneuerbare Energien (z. B. Geothermie, Abwasserwärme, Solarenergie) zu decken. Zuletzt ist bei Bedarf zu prüfen, ob die erforderliche Restwärme über den Anschluss an ein Nahwärmenetz oder die Erweiterung des Fernwärmenetzes in das betreffende Gebiet möglich ist.

Die Landeshauptstadt Stuttgart steht mit ihrer hohen Verdichtung und ihren vielfältigen Energieversorgungs- und Siedlungsstrukturen vor einer besonderen Herausforderung, das Ziel einer klimaneutralen Stadt zu erreichen. Um die vorhandenen Energiepotenziale und bestehenden Energiesenken effizient zu vernetzen, ist deshalb ein strategisches und optimiertes Vorgehen bei der Entwicklung der Stadt unverzichtbar.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung soll aufbauend auf Bestands- und Potenzialanalysen ein Zielszenario erarbeitet werden, an dem die kommunale Wärmewendestrategie inklusive Maßnahmenkatalog ausgerichtet wird. Der erstellte Wärmeplan soll den Transformationsprozess der nächsten zwei bis drei Jahrzehnte begleiten, bei allen städtebaulichen Planungen und Entwicklungen berücksichtigt und immer wieder der veränderten Lage angepasst werden.

Abwärme wird für diese Untersuchung definiert als

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

Quelle [AGFW 2020a]

Fällt in Prozessen Abwärme an, so ist es in der Regel am effizientesten, diese Potenziale direkt im Umfeld zu nutzen, z. B. zur Vorwärmung von Medienströmen oder zur Raumheizung in benachbarten Gebäuden des Unternehmens bzw. der Institution (interne Nutzung). Eine externe Nutzung z. B. in Wärmenetzen kommt vor allem dann in Frage, wenn die Abwärmemenge ganzjährig oder in bestimmten Zeiträumen (z. B. im Sommer) die internen Nutzungsmöglichkeiten deutlich übersteigt.

Liegt die Temperatur der Abwärme auf dem im Wärmenetz benötigten Niveau der Vorlauftemperatur, kann die Abwärme ohne zusätzlichen Energie-Input genutzt werden. Die Einspeisung erfolgt über einen Wärmeübertrager (s. Abbildung 1).

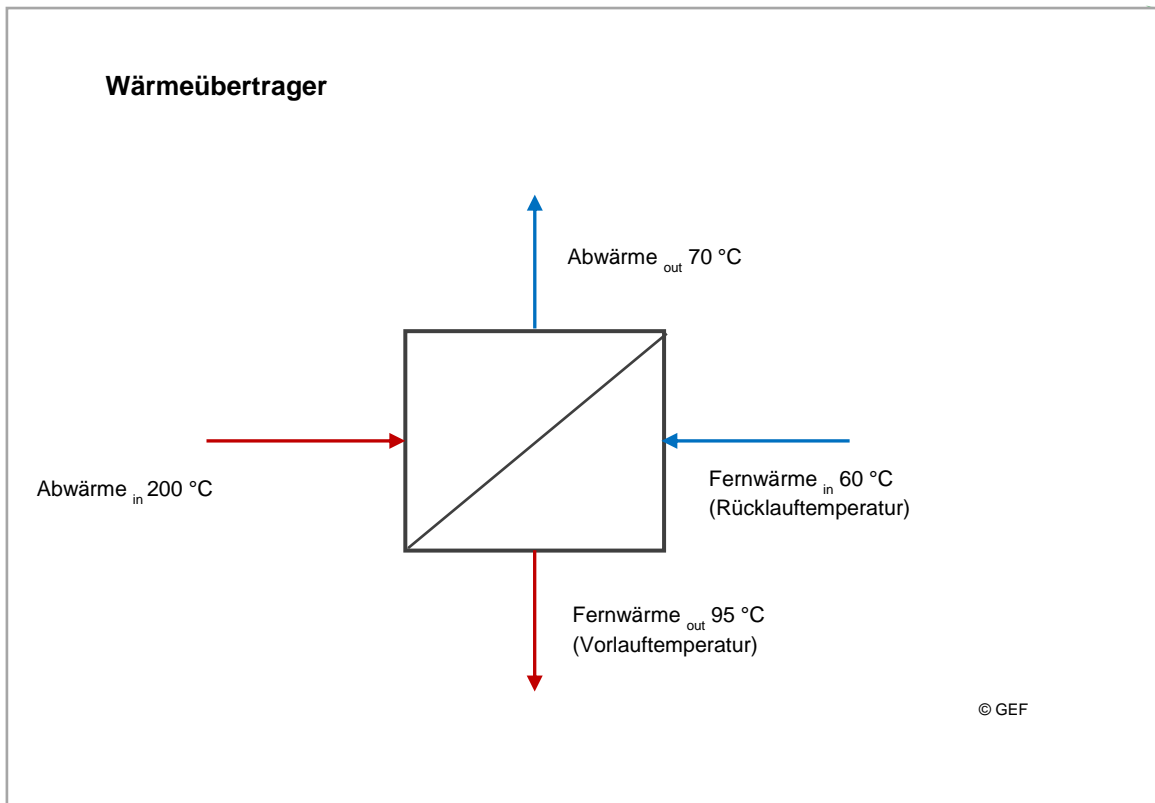


Abbildung 1: Schematische Darstellung Wärmeübertrager zur Abwärmenutzung

Hochtemperatur-Abwärme mit Temperaturen über 150 °C lässt sich in der Regel in große Wärmenetze einspeisen, die mit Vorlauftemperaturen von 130 °C (oder mehr) betrieben werden. In Nahwärmenetze, deren Vorlauftemperaturen oft im Bereich von 90 °C liegen, kann Abwärme mit einem Temperaturniveau bis ca. 100 °C eingespeist werden. Besonders Neubaugebiete, in denen in der Regel heute Flächenheizungen vorgesehen werden, die mit Vorlauftemperaturen um 35 °C auskommen, kann auch Niedertemperatur-Abwärme einfacher integriert werden. Dies kann über Wärmenetze mit Temperaturen deutlich unter 90 °C erfolgen¹ oder über kalte Nahwärmenetze (< 20 °C), in denen dezentrale Wärmepumpen in jedem Gebäude die erforderlichen Temperaturen für Heizung und Warmwasser herstellen.

Liegen die Abwärmepotenziale auf einem niedrigeren Temperaturniveau als die Vorlauftemperatur, kann mit anderen Wärmeerzeugungsanlagen (Kessel, KWK, Wärmepumpen, etc.) nachgeheizt werden. Eine Nachheizung verursacht zusätzliche Kosten (Energiekosten, Anlagenkosten), so dass sich die Nutzung von Niedertemperatur-Wärme wirtschaftlich in der Regel schwieriger darstellt.

Die Rücklauftemperatur des Wärmenetzes hat ebenfalls Einfluss auf die Potenziale der Abwärmenutzung. Wenn das Wärmenetz z. B. eine Rücklauftemperatur von 60 °C aufweist, kann für eine direkte Nutzung nur Abwärme zur Aufheizung des Rücklaufs verwendet werden, deren Temperaturniveau über 60 °C liegt. Da für eine Wärmeübertragung zudem immer ein Temperaturgefälle notwendig ist, erhöht sich die Untergrenze für die Abwärmenutzung nochmals um 3-10 K je nach Typ des Wärmeübertragers. Liegt das Temperaturniveau der Abwärme niedriger (z. B. Abwärme aus dem Abwasserkanal oder aus der Kühlung von Rechenzentren), so muss zunächst eine Temperaturerhöhung mittels einer Wärmepumpe erfolgen, um die Abwärme nutzbar zu machen.

¹ Für die zentrale Warmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern sind zum Schutz vor Legionellen Temperaturen am Hahn von mindestens 55 °C vorgeschrieben, so dass die Absenkung der Vorlauftemperatur in der Fernwärme hierdurch auf 65 - 70 °C begrenzt wird. Wird das Warmwasser dezentral erzeugt, könnten die Temperaturen noch niedriger liegen (z. B. 55 °C).

In dem in Abbildung 1 dargestellten Beispiel liegt die Rücklauftemperatur aus dem Wärmenetz bei 60 °C. Die Grädigkeit des Wärmeübertragers ist mit 10 K angenommen, so dass der Abwärmestrom von 200 °C auf 70°C abgekühlt werden kann.

Auch der zeitliche Anfall von Abwärme kann eine Nutzung in Wärmenetzen erschweren. Wärmenetze benötigen die großen Wärmemengen im Winterhalbjahr, um den Heizenergieverbrauch zu decken. Wenn Abwärmemengen vorwiegend im Sommer anfallen oder – verursacht durch die Produktionsprozesse – sehr unregelmäßig zur Verfügung stehen, reduziert sich oft die Nutzbarkeit der Abwärme in Wärmenetzen.

Abwärme kann in gesicherte und ungesicherte Abwärme unterschieden werden. Bei gesicherter Abwärme verpflichtet sich der Abwärmelieferant zu bestimmten Zeiten eine bestimmte (Mindest)-Menge an Wärme zu liefern, die Zuverlässigkeit der Lieferung wird preislich honoriert. Ungesicherte Abwärme wird dagegen nach „Können und Vermögen“ geliefert, hier haben die Betriebsabläufe (ggf. auch Ausfälle) Priorität vor den Anforderungen der Wärmenetzbetreiber.

In der Untersuchung erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der Stuttgarter Wärmeinfrastruktur auf Basis der städtischen Energieleitplanung, des städtischen Energiekatasters, der Wohnungsmarktbefragung sowie öffentlich verfügbarer Informationen über Wärmenetze.

Unter Verwendung der kommunalen Energiebilanz und literaturbasierter Abwärmekennzahlen erfolgt zunächst eine Top-Down-Analyse der Abwärmepotenziale. Schwerpunkt der Potenzialermittlung ist eine Bottom-Up-Analyse, für die öffentliche Datenquellen sowie eine fragebogenbasierte Umfrage bei Stuttgarter Unternehmen ausgewertet werden.

Die ermittelten Potenziale werden bewertet und gemeinsam mit dem Auftraggeber Schwerpunktgebiete ausgewählt, für die – das Interesse des Abwärme-Anbieters vorausgesetzt – eine vertiefte Untersuchung, die Ausarbeitung eines technischen Grobkonzeptes und die Skizzierung von Umsetzungsschritten erfolgt. Dabei wird auch das im Falle der Umsetzung zu erwartende THG-Einsparungspotenzial ermittelt.

2. Bestandsaufnahme

In der Bestandsaufnahme erfolgt eine Datenaufnahme zur räumlich aufgelösten, aktuellen Wärmebedarfsstruktur in Stuttgart. Ergänzt werden diese Informationen durch Recherchen zu bestehenden Wärmenetzen, BHKW-Standorten sowie zur Energieträgerverteilung im Wohngebäudebestand.

2.1 Wärmeversorgungsinfrastruktur

2.1.1 Energieträgermix in der Beheizung von Wohngebäuden

Als Grundlagendaten für die Wärmeversorgungsinfrastruktur werden Informationen aus den Wohnungsmarktbefragungen 2016 und 2020 ausgewertet, in der Heizenergieträger für Wohngebäude abgefragt wurde [Stadt Stuttgart 2016 / 2020]. Die Daten liegen auf Stadtteil- und Stadtbezirksebene aus einer Stichprobenbefragung von Wohngebäuden vor². Aufgrund der z. T. niedrigen Stichprobenzahlen pro räumlicher Einheit sind die Daten mit Unsicherheiten behaftet, dies ist bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen.

² Die Stichprobenanzahl in 2016 lag bei über 7.500, in 2020 nur bei knapp 2.000. Die Umfrageergebnisse aus dem Jahr 2020 sind möglicherweise weniger aussagekräftig. Dem Gutachter liegen keine Informationen über Methodik der Befragung und Repräsentativität der Stichproben bzgl. der Verteilung der Heizenergieträger vor.

Abbildung 2 stellt dar, wie hoch die Anteile der mit einem bestimmten Energieträger beheizten Gebäude im Gesamtgebiet von Stuttgart sind. Bei dieser Auswertung ist der Anteil der mit Heizöl und Strom (Direktheizung) versorgten Wohngebäude im Jahr 2020 im Vergleich zu 2016 leicht gesunken zugunsten von Erdgas, Fernwärme, Holz und Wärmepumpenlösungen. Da die Verschiebung gering ist, kann es sich jedoch um ein Artefakt aufgrund der evtl. nicht repräsentativen Stichprobengröße handeln.

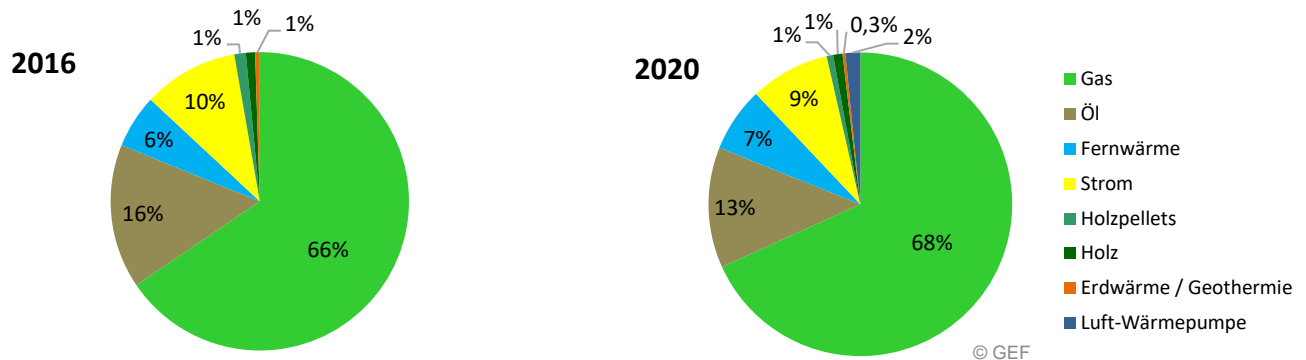


Abbildung 2: Anteile der Heizenergieträger in Wohngebäuden in Stuttgart

Mit höherer Sicherheit kann die Aussage getroffen werden, dass der Prozess eines Energieträgerwechsels langsam verläuft (technische Nutzungsdauern von Heizkesseln von mindestens 20 Jahren) und aus Klimaschutzsicht bisher keine ausreichende Dynamik in Richtung erneuerbarer Wärme entstanden ist.

Abbildung 3 zeigt, wie hoch der Anteil der mit einem bestimmten Energieträger beheizten Wohngebäude in den Stadtbezirken ist (Sortierung nach Höhe des Heizölanteils). Die höchsten Anteile an Heizöl finden sich in dieser Auswertung in den Stadtbezirken mit Randlage. Auch für diese Auswertung gelten die Einschränkungen aufgrund der nicht bekannten Repräsentativität der Stichprobe.

Stuttgart 2020: Anteile der Heizenergieträger an Wohngebäuden in den Stadtbezirken

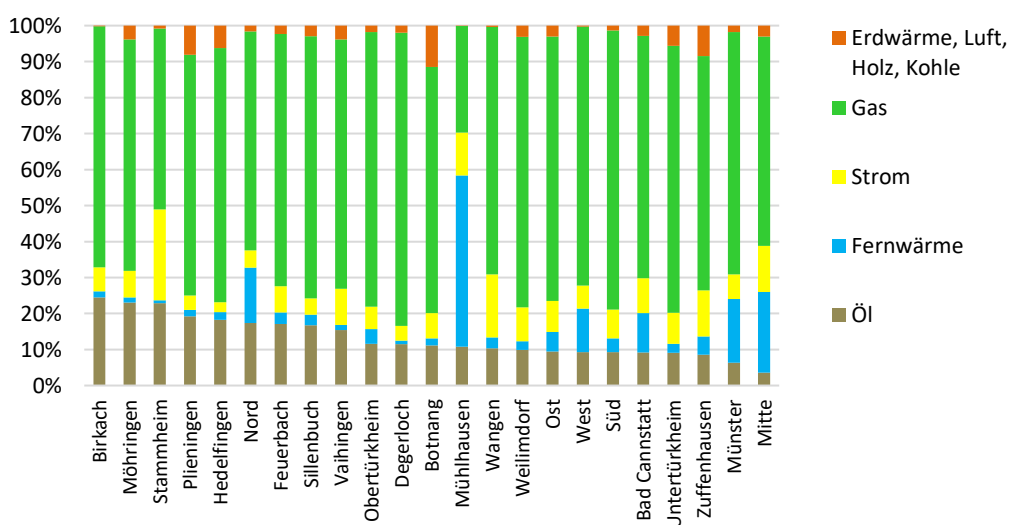


Abbildung 3: Anteile der Heizenergieträger in Wohngebäuden in den Stadtbezirken

Den höchsten Anteil von Direktstrom-Heizungen weist Stammheim auf (25 %), u. a. weil für ein Gebiet im Stadtteil Stammheim-Süd in den 1970er Jahren ein Verbrennungsverbot für Kohle, Öl, Abfälle und Holz festgelegt wurde³. Auch wenn dieses Verbot heute nicht mehr gilt, existieren dort noch Strom-Direktheizungen in höherer Zahl.

Den höchsten Anteil an mit Fernwärme versorgten Wohngebäude weist mit 48 % der Bezirk Mühlhausen auf. Hier wurde im Stadtteil Neugereut eine Verpflichtung zum Anschluss an die Fernwärmeversorgung der TWS/EnBW rechtlich verankert.

2.1.2 Wärmedichte-Verteilung

Um die Perspektiven einer Nutzung von Abwärme in Wärmenetzen einzuschätzen, sind eine räumliche Verteilung des Wärmebedarfs und die Berechnung von Wärmedichten sowohl für den Ist-Zustand als auch für eine Projektion in die Zukunft hilfreich. Als Grundlage für den Gebäudeenergiebedarf wird das von der Stadt Stuttgart übergebene Energiekataster verwendet und um Geokoordinaten für Adressen aus dem Liegenschaftskataster der Stadt Stuttgart ergänzt, so dass eine räumlich aufgelöste gebäudescharfe Verarbeitung im GIS möglich ist.

Um eine erste Bewertungsgrundlage für die Machbarkeit von Wärmenetzen auf Abwärmebasis zu schaffen, werden für Stuttgart Wärmedichte-Berechnungen durchgeführt.

Auf einem 250-Meter-Raster werden Wärmedichten für den Status Quo und für jeweils 30 % und 50 % Wärmebedarfsrückgang berechnet. Die Wärmedichte-Raster werden anschließend im GIS visualisiert (s. Abbildung 4, größere Darstellung im Anhang).

Wärmedichten von 50 GWh/km²a oder mehr lassen überschlägig⁴ und bei einer ausreichenden Kundenanschlussquote eine Eignung für eine wirtschaftliche Erschließung mit Wärmenetzen erwarten.

³ Hintergrund der Verbrennungsverbote waren Probleme mit überhöhter Schwefeldioxidbelastung und die Annahme, dass Atomstrom als emissionsneutrale und platzsparende Alternative zur Verfügung stehen würde.

⁴ Wärmedichten sind ein Indikator, um im Rahmen einer strategischen Betrachtung Stadtgebiete zu identifizieren, deren Erschließung mit Wärmenetzen aussichtsreich sein könnte. Die tatsächliche Wirtschaftlichkeit muss im Einzelfall geprüft werden. Hier spielen eine Vielzahl weiterer Faktoren eine Rolle: Anzahl und Größe der Kunden, Länge der Verteilungen und Hausanschlussleitungen, Kosten der Wärme, erzielbarer Wärmepreis, etc.

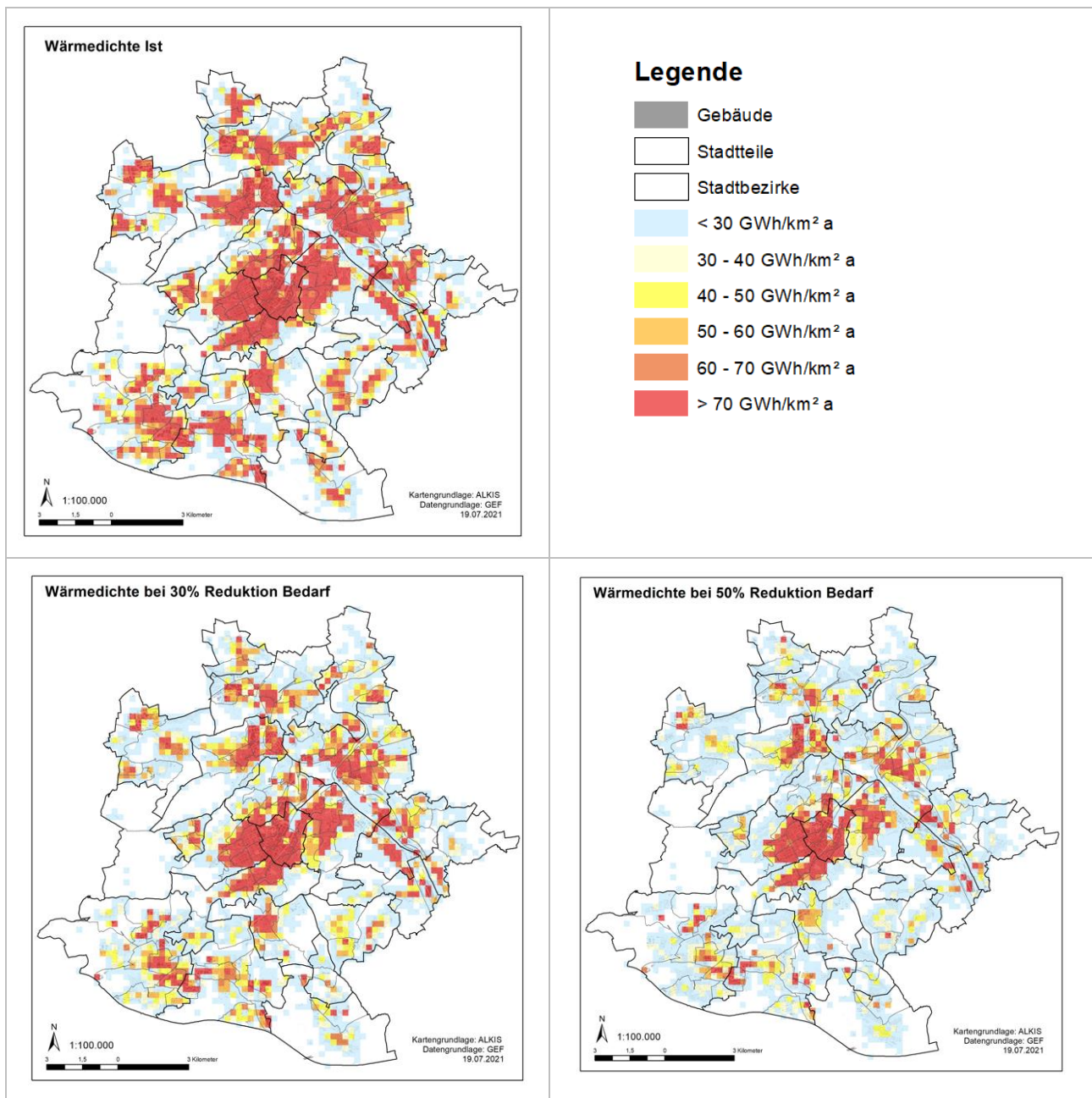


Abbildung 4: Wärmedichte-Karten Stuttgart mit Szenarien für Verbrauchsrückgang

Die Wärmedichte-Karte für den Ist-Zustand zeigt, dass sehr große Teile von Stuttgart heute Wärmedichten von über 70 GWh/a aufweisen. Aber auch bei einer Reduktion des Wärmebedarfs um 50 % verbleiben viele Bereiche, besonders in der Innenstadt, mit einer ausreichend hohen Wärmedichte für eine Erschließung mit leitungsgebundener Wärme.

2.1.3 Wärmenetze und BHKW-Standorte

Die Lage bestehender Nah- und Fernwärmenetze (EnBW, Stadtwerke Stuttgart, Universität Stuttgart, Universität Hohenheim, u. a.) wird recherchiert und im GIS dargestellt [MaStR 2020, AGFW 2020b, AGFW 2020c, EnBW 2020]. Laut [EnBW 2020] ist davon auszugehen, dass neben den Kelley Barracks auch die Patch Barracks in Vaihingen und die Robinson Barracks in Burgholzof ganz oder teilweise über Wärmenetze versorgt werden. In Abbildung 5 sind die Wärmenetzgebiete skizziert.

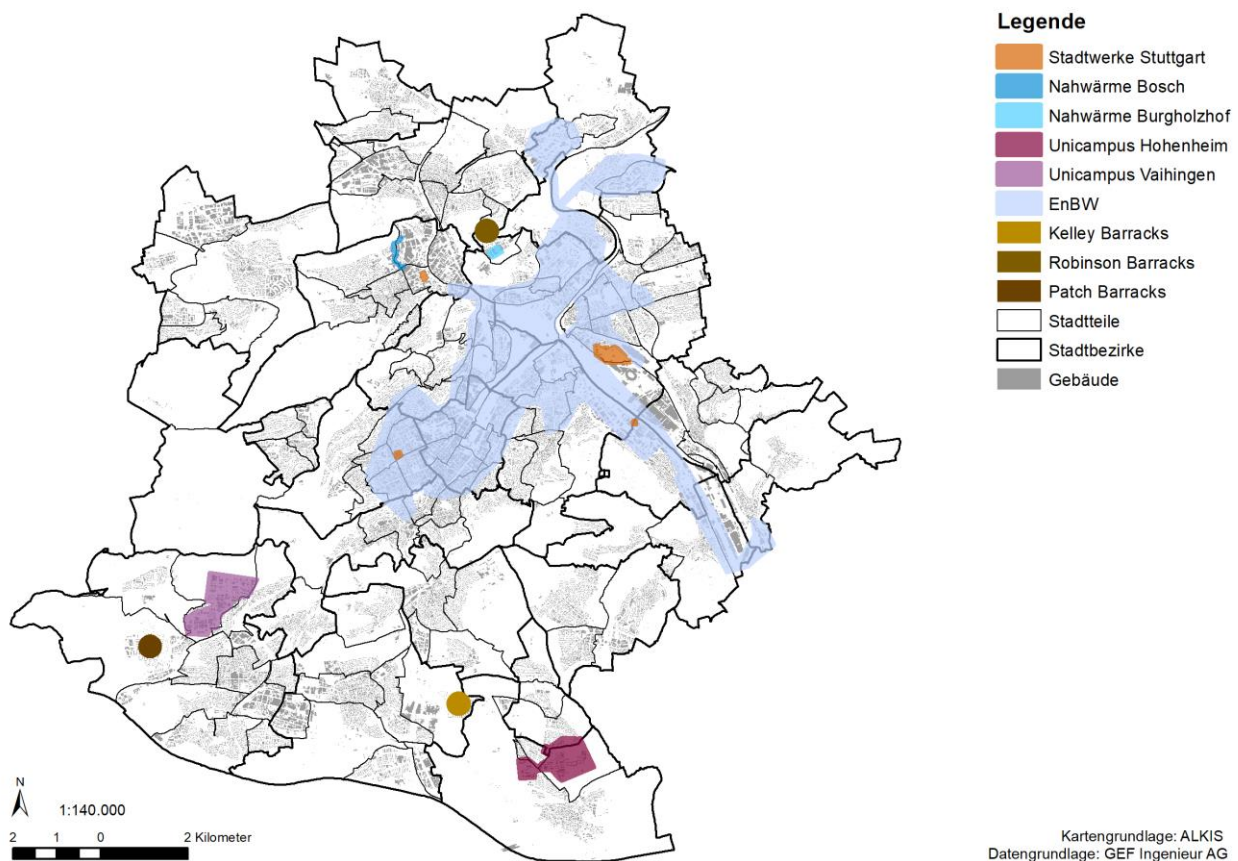


Abbildung 5: Wärmenetzgebiete in Stuttgart

Ergänzend werden aus dem Marktstammdatenregister [MaStR 2020] die Standorte von gemeldeten Blockheizkraftwerken (BHKW) mit mehr als 100 kW recherchiert und ins GIS integriert, da diese Erzeugungsanlagen sowohl ein Hinweis auf mögliche Ankerkunden in der Fernwärme sind als auch potenzielle Einspeiser in neue Nahwärmenetze sein können. Die aus dem Register verfügbaren Daten für BHKW mit mehr als 100 kW_{el} sind in Anhang 4 dokumentiert.

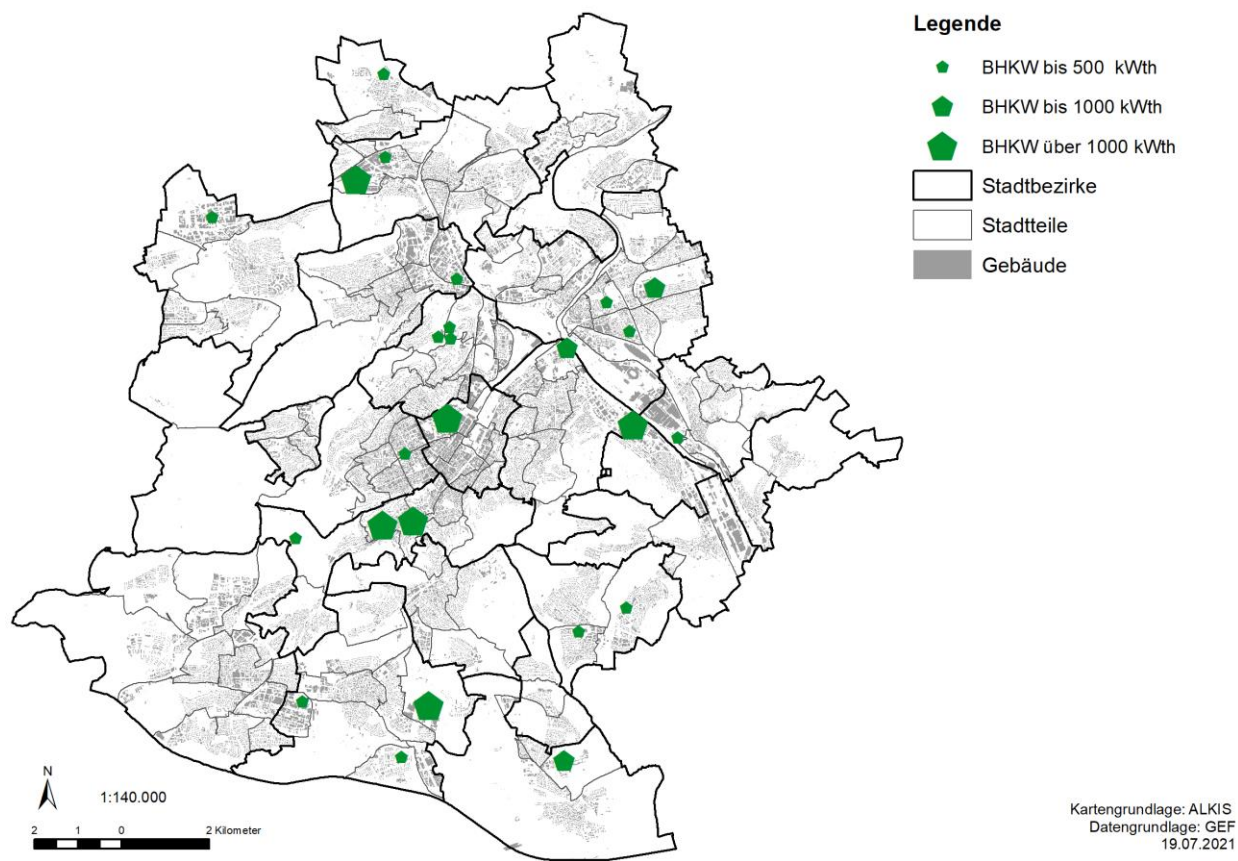


Abbildung 6: BHKW-Standorte in Stuttgart lt. Marktstammdatenregister

An sechs Standorten in Stuttgart sind aktuell große BHKW-Anlagen mit mehr als 1.000 kW thermischer Leistung in Betrieb (EnBW (Standort Gaisburg), Porsche, Daimler (in Möhringen), Stuttgarter Hofbräu, Klinikum Stuttgart, Marienhospital).

2.2 Abwärmepotenziale: Top-Down-Analyse

Ziel dieses Arbeitspakets ist eine erste grobe Abschätzung von Abwärmepotenzialen in Stuttgart auf Basis von verfügbaren Daten aus der Energiestatistik und globalen Kennwerten. Ein solches Vorgehen kann eine erste Annäherung an die Identifikation von Abwärmepotenzialen sein. Durch die wiederholten Abschätzungen ist die Top-Down-Methode mit großen Fehlern behaftet, so dass für eine Absicherung der Ergebnisse ergänzend eine Bottom-Up-Analyse (s. Kapitel 2.3) vorgesehen ist. Die Abschätzung erfolgt getrennt nach den zwei Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)⁵.

Grundlage sind die Endenergien (EE) für die Sektoren GHD und Industrie aus der Energiebilanz Stuttgart 2019 wie in Abbildung 7 dargestellt. Im Sektor GHD liegt der Endenergieverbrauch bei rund 4.500 GWh, der Verbrauch im Sektor Industrie liegt mit rund 1.900 GWh deutlich niedriger. Im Bereich GHD wird jeweils rund ein Drittel der Endenergie durch Erdgas und Strom bereitgestellt, Nah- und Fernwärme liefern zusammen 22 %, Mineralöl⁶ 8 %

⁵ Der Sektor Industrie umfasst hierbei das verarbeitende Gewerbe und der Sektor GHD Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, sonstige Industrie sowie die städtischen Liegenschaften.

⁶ Mineralöl für den Verkehr wird separat bilanziert.

und erneuerbare Energien ca. 1 %. Im Bereich Industrie dominiert der Strom mit über 60 %, Nah- und Fernwärme tragen 26 % bei, Erdgas 11 %, Mineralöl und erneuerbare Energien je knapp 1 %.

Energiebilanz Stuttgart 2019

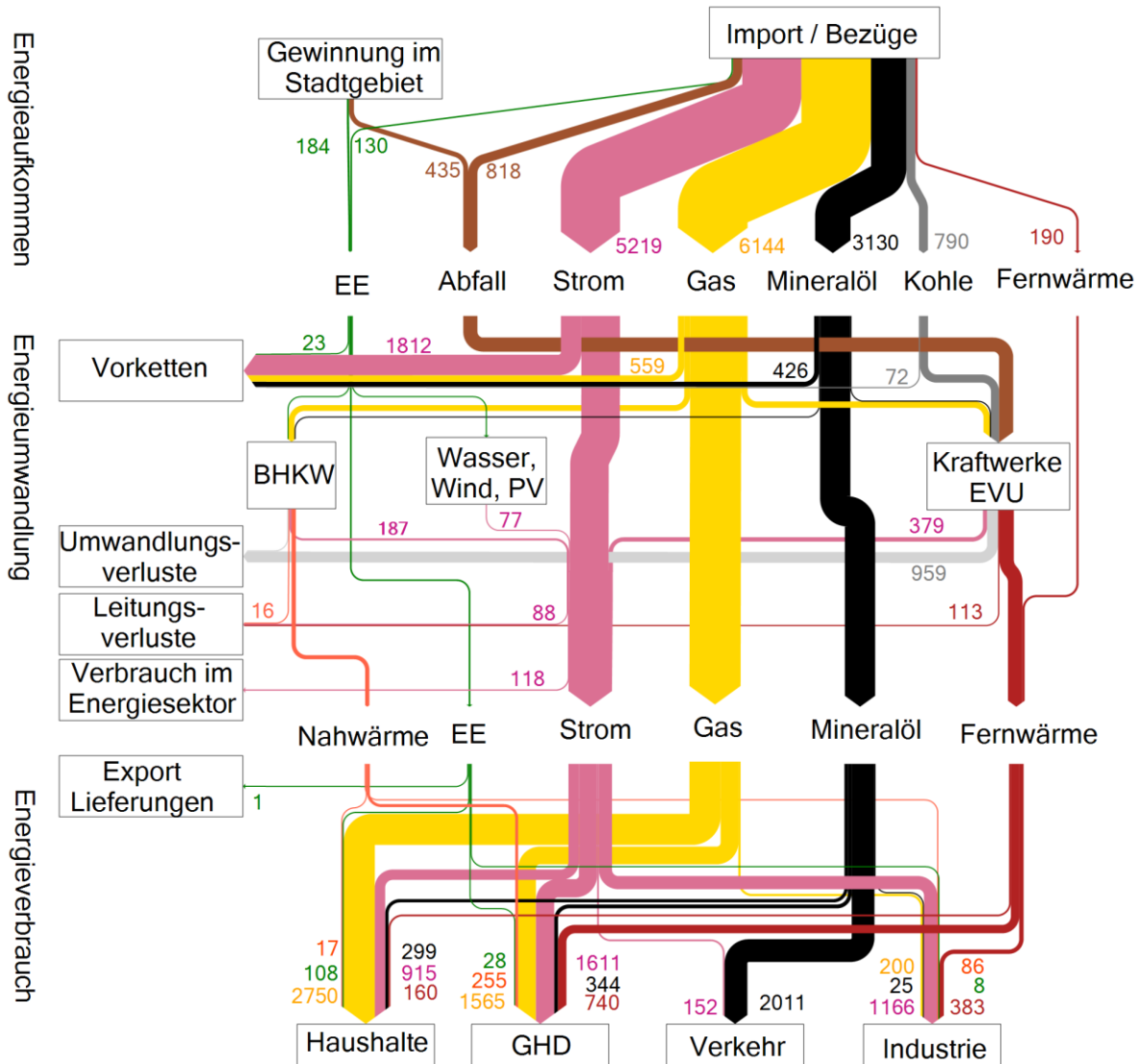


Abbildung 7: Sankey-Diagramm der Energiebilanz 2019 für Stuttgart

Für Stuttgart liegt keine Aufteilung des Endenergieverbrauchs der Sektoren Industrie und GHD auf Wirtschaftszweige vor, auch eine Aufschlüsselung auf die Energieträger innerhalb der Branchen fehlt. Dies stellt eine erhebliche Unsicherheit für die Top-Down-Analyse dar, da die Abwärmepotenziale je nach Wirtschaftszweig sehr unterschiedlich sind.

Industrie

Als grobe Annäherung an ein Abwärmepotenzial der Industrie wird unterstellt, dass die Verteilung des Endenergieverbrauchs auf die Wirtschaftszweige in Stuttgart der Verteilung in Baden-Württemberg entspricht. Der Endenergieverbrauch wird getrennt für Strom und die restlichen Energieträger (Erdgas, Mineralöl, Erneuerbare, Nah- und Fernwärme) auf die Wirtschaftszweige aufgeteilt (s. Abbildung 8).

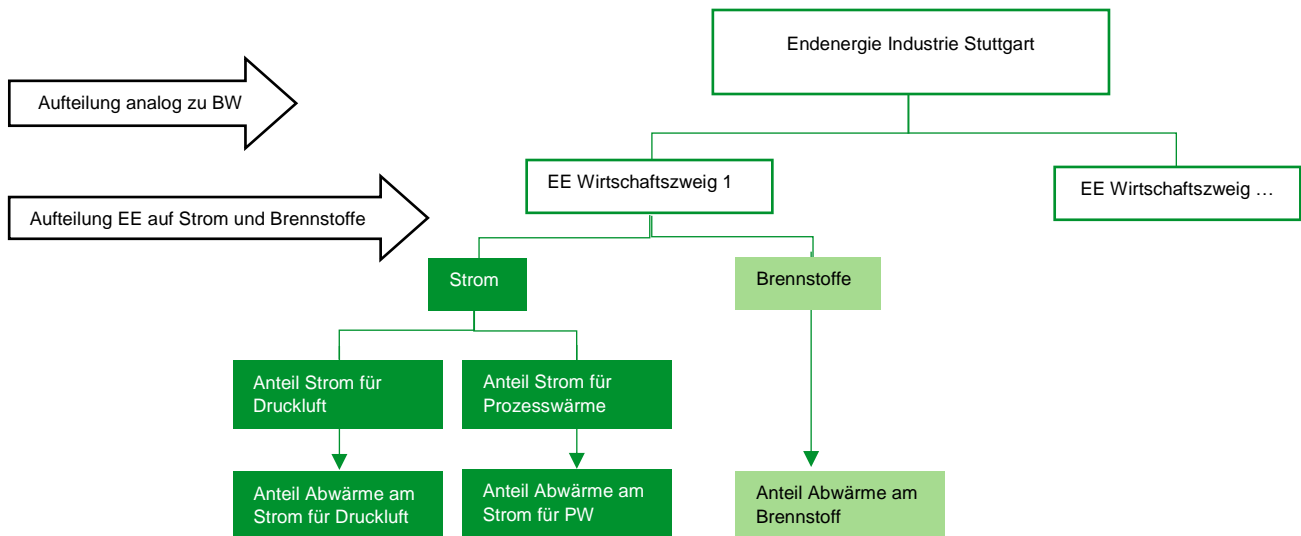


Abbildung 8: Methodik Top-Down Abschätzung Abwärme aus der Industrie

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Aufteilung der Stuttgarter Endenergieverbräuche für Strom und Brennstoffe proportional zur Verteilung in Baden-Württemberg.

Tabelle 1: Aufteilung des Stuttgarter Endenergieverbrauchs auf die Wirtschaftszweige (Brennstoffe und Strom)

| WZ 2008-Nr. | Wirtschaftszweig (WZ 2008) | Anteil des Wirtschaftszweigs am Brennstoffverbrauch (Bezug WZ BW) | Endenergieverbrauch aus Brennstoffen Stuttgart 2019 [GWh] | Anteil des Wirtschaftszweigs am Stromverbrauch (Bezug WZ BW) | Endenergieverbrauch aus Strom Stuttgart 2019 [GWh] |
|---|--|---|---|--|--|
| Summe | Endenergieverbrauch Stuttgart Industrie | | 702 | | 1.166 |
| Aufteilung auf Wirtschaftszweige analog zur Verteilung in Baden-Württemberg | | | | | |
| B | Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden | 1% | 6 | 1% | 13 |
| C | Verarbeitendes Gewerbe | | | | |
| 10 | Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln | 7,9% | 55 | 5,6% | 65 |
| 11 | Getränkeherstellung | 1,2% | 9 | 0,9% | 10 |
| 12 | Tabakverarbeitung | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 |
| 13 | Herstellung von Textilien | 1,2% | 8 | 0,9% | 11 |

| WZ 2008-Nr. | Wirtschaftszweig (WZ 2008) | Anteil des Wirtschaftszweigs am Brennstoffverbrauch (Bezug WZ BW) | Endenergieverbrauch aus Brennstoffen Stuttgart 2019 [GWh] | Anteil des Wirtschaftszweigs am Stromverbrauch (Bezug WZ BW) | Endenergieverbrauch aus Strom Stuttgart 2019 [GWh] |
|-------------|---|---|---|--|--|
| 14 | Herstellung von Bekleidung | 0,2% | 1 | 0,2% | 2 |
| 15 | Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 |
| 16 | Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel) | 3,5% | 25 | 1,7% | 20 |
| 17 | Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus | 19,6% | 138 | 10,3% | 120 |
| 18 | Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von b. Ton-, Bild- und Datenträgern | 0,7% | 5 | 1,2% | 14 |
| 19 | Kokerei und Mineralölverarbeitung | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 |
| 20 | Herstellung von chemischen Erzeugnissen | 8,9% | 62 | 4,9% | 57 |
| 21 | Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen | 2,6% | 18 | 1,9% | 22 |
| 22 | Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren | 3,0% | 21 | 7,8% | 91 |
| 23 | Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden | 18,5% | 130 | 4,9% | 57 |
| 24 | Metallerzeugung und -bearbeitung | 5,5% | 39 | 9,0% | 105 |
| 25 | Herstellung von Metallerzeugnissen | 5,1% | 36 | 12,3% | 143 |
| 26 | Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen | 1,0% | 7 | 2,2% | 26 |
| 27 | Herstellung von elektrischen Ausrüstungen | 1,3% | 9 | 3,6% | 41 |
| 28 | Maschinenbau | 6,4% | 45 | 12,3% | 143 |
| 29 | Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen | 10,7% | 75 | 16,5% | 193 |
| 30 | Sonstiger Fahrzeugbau | 0,2% | 1 | 0,3% | 3 |
| 31 | Herstellung von Möbeln | 0,6% | 4 | 0,6% | 7 |
| 32 | Herstellung von sonstigen Waren | 0,8% | 6 | 1,5% | 17 |
| 33 | Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen | 0,2% | 1 | 0,3% | 3 |

Die vorgenommene Verteilung verdeutlicht die Unsicherheiten des Top-Down-Ansatzes, da z. B. den Branchen Papier- oder Glasherstellung, die in Stuttgart keine relevante Rolle spielen, deutliche Anteile des Brennstoffverbrauchs zugeordnet werden (Anteil von 18,5 % für WZ Glas/Keramik/Steine/Erden; Anteil von 19,6 % für WZ Papier/Pappe). Branchen wie der Fahrzeugbau, die in Stuttgart zentral sind, weisen dagegen keine dominierenden Anteile auf. Tendenziell ist daher davon auszugehen, dass die verwendete Methodik das Abwärmepotenzial in Stuttgart bei der brennstoffbasierten Abwärme überschätzt.

Im nächsten Schritt wird das Abwärmepotenzial zunächst für die brennstoffbasierte Endenergie abgeschätzt: In Anlehnung an die Methodik aus [Fhg ISI 2019] werden die Abwärmepotenziele mit indikativen Faktoren aus [Fhg ISI 2019] und [Brückner 2016] für die Wirtschaftszweige überschlägig ermittelt. Im Ergebnis ergibt sich ein Potenzial in der Größenordnung von ca. 70 GWh/a (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: industrielles Abwärmepotenzial aus Brennstoffen

| WZ 2008-Nr. | Wirtschaftszweig (WZ 2008) | Endenergie-Verbrauch aus Brennstoffen Stuttgart 2019 [GWh/a] | Indikativer Anteil Abwärme | Abwärmepotenzial aus Brennstoffen [GWh/a] |
|----------------|---|---|-------------------------------|---|
| C | Verarbeitendes Gewerbe | | | |
| 10 | Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln | 55 | 5% | 2,8 |
| 11 | Getränkeherstellung | 9 | 2% | 0,2 |
| 12 | Tabakverarbeitung | 0 | 12% | - |
| 13 | Herstellung von Textilien | 8 | 23% | 1,9 |
| 14 | Herstellung von Bekleidung | 1 | 6% | 0,1 |
| 15 | Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen | 0 | 20% | 0,0 |
| 16 | Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel) | 25 | 7% | 1,7 |
| 17 | Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus | 138 | 5% | 6,9 |
| 18 | Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von b. Ton-, Bild- und Datenträgern | 5 | 16% | 0,8 |
| 19 | Kokerei und Mineralölverarbeitung | 0 | 9% | - |
| 20 | Herstellung von chemischen Erzeugnissen | 62 | 8% | 5,0 |
| 21 | Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen | 18 | 1% | 0,2 |
| 22 | Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren | 21 | 14% | 3,0 |
| 23 | Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden | 130 | 13% | 16,9 |
| 24 | Metallerzeugung und -bearbeitung | 39 | 27% | 10,5 |
| 25 | Herstellung von Metallerzeugnissen | 36 | 21% | 7,5 |
| 26 | Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen | 7 | 18% | 1,3 |
| 27 | Herstellung von elektrischen Ausrüstungen | 9 | 39% | 3,4 |
| 28 | Maschinenbau | 45 | 5% | 2,2 |
| 29 | Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen | 75 | 6% | 4,5 |
| 30 | Sonstiger Fahrzeugbau | 1 | 4% | 0,1 |
| 31 | Herstellung von Möbeln | 4 | 8% | 0,3 |
| 32 | Herstellung von sonstigen Waren | 6 | 5% | 0,3 |
| 33 | Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen | 1 | 0% | - |
| Summe | | 702 | | 70 |

Für die Abschätzung des Abwärmepotenzials aus dem industriellen Stromverbrauch sind vor allem die Verbräuche aus den Anwendungsbereichen Druckluft und elektrisch erzeugte Prozesswärme relevant. In Anlehnung an das Vorgehen in [FhG ISI 2019, untere Abschätzung] wird der Stromverbrauch – wiederum individuell für jeden Wirtschaftszweig – auf diese beiden Anwendungen aufgeschlüsselt (für die Faktoren s. Anhang 1). Für Druckluft wird angenommen, dass ein Teil der Abwärme bereits intern genutzt wird, aber 55 % des Stromverbrauchs noch als Potenzial zur Verfügung stehen. Für elektrisch erzeugte Prozessenergie wird ein indikativer Abwärmeanteil von 10 % angesetzt. Das Vorgehen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Industrielles Abwärmepotenzial aus den Stromanwendungen Druckluft und Prozesswärme

| WZ 2008-Nr. | Wirtschaftszweig (WZ 2008) | Stromverbrauch für Druckluft [GWh/a] | Indikativer Anteil Abwärme | Abwärmepotenzial aus Druckluft [GWh/a] | Stromverbrauch für Prozesswärme [GWh/a] | Indikat. Anteil Abwärme | Abwärmepotenzial aus Prozesswärme [GWh/a] |
|-------------|---|--------------------------------------|----------------------------|--|---|-------------------------|---|
| C | Verarbeitendes Gewerbe | | | | | | |
| 10 | Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln | 4,5 | 55% | 2,5 | 8,4 | 10% | 0,8 |
| 11 | Getränkeherstellung | 0,7 | 55% | 0,4 | 1,3 | 10% | 0,1 |
| 12 | Tabakverarbeitung | - | 55% | - | - | 10% | - |
| 13 | Herstellung von Textilien | 1,5 | 55% | 0,8 | 1,1 | 10% | 0,1 |
| 14 | Herstellung von Bekleidung | 0,3 | 55% | 0,1 | 0,2 | 10% | 0,02 |
| 15 | Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen | 0,1 | 55% | 0,0 | 0,0 | 10% | 0,0 |
| 16 | Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel) | 2,8 | 55% | 1,6 | 2,0 | 10% | 0,2 |
| 17 | Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus | 9,6 | 55% | 5,3 | - | 10% | - |
| 18 | Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von b. Ton-, Bild- und Datenträgern | 2,0 | 55% | 1,1 | 1,4 | 10% | 0,1 |
| 19 | Kokerei und Mineralölverarbeitung | - | 55% | - | - | 10% | - |
| 20 | Herstellung von chemischen Erzeugnissen | 1,1 | 55% | 0,6 | 0,6 | 10% | 0,1 |
| 21 | Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen | - | 55% | - | - | 10% | - |
| 22 | Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren | 12,8 | 55% | 7,0 | 4,6 | 10% | 0,5 |
| 23 | Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden | 9,7 | 55% | 5,4 | - | 10% | - |
| 24 | Metallerzeugung und -bearbeitung | 2,1 | 55% | 1,2 | 10,5 | 10% | 1,0 |
| 25 | Herstellung von Metallerzeugnissen | 5,7 | 55% | 3,2 | 14,3 | 10% | 1,4 |
| 26 | Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen | 3,6 | 55% | 2,0 | 2,6 | 10% | 0,3 |
| 27 | Herstellung von elektrischen Ausrüstungen | 5,8 | 55% | 3,2 | 4,1 | 10% | 0,4 |
| 28 | Maschinenbau | 20,1 | 55% | 11,0 | 14,3 | 10% | 1,4 |
| 29 | Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen | 23,1 | 55% | 12,7 | 9,3 | 10% | 1,9 |
| 30 | Sonstiger Fahrzeugbau | 0,4 | 55% | 0,2 | 0,3 | 10% | 0,03 |
| 31 | Herstellung von Möbeln | 1,0 | 55% | 0,6 | 0,7 | 10% | 0,1 |

| WZ 2008-Nr. | Wirtschaftszweig (WZ 2008) | Strom- verbrauch für Druckluft [GWh/a] | Indikativer Anteil Abwärme | Abwärme- potenzial aus Druckluft [GWh/a] | Strom- verbrauch für Prozess- wärme [GWh/a] | Indikat. Anteil Abwärme | Abwärme- potenzial aus Prozess- wärme [GWh/a] |
|----------------|---|--|----------------------------------|--|---|-------------------------------|---|
| 32 | Herstellung von sonstigen Waren | 2,4 | 55% | 1,3 | 1,7 | 10% | 0,2 |
| 33 | Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen | 0,4 | 55% | 0,2 | 0,3 | 10% | 0,03 |
| Summe | (gerundet) | 110 | | 60 | 88 | | 9 |

Das Abwärmepotenzial aus Strom wird in Summe mit rund 69 GWh/a abgeschätzt (60 GWh/a aus Druckluftnutzungen, 9 GWh/a aus elektrisch erzeugter Prozesswärme).

In der Summe wird das industrielle Abwärmepotenzial für Stuttgart in der Top-Down-Analyse abgeschätzt auf 139 GWh/a, davon

- 70 GWh/a aus Brennstoffen
- 69 GWh/a aus Stromanwendungen (Druckluft und elektrische Prozesswärme)

Aufgrund der nicht identischen Industriestruktur in Stuttgart gegenüber Baden-Württemberg kann davon ausgegangen werden, dass diese Abschätzung die Potenziale, besonders im Bereich der brennstoffbasierten Abwärme, deutlich überschätzt (s. auch Ergebnisse der Bottom-Up-Analyse in Kapitel 2.3). Beispielsweise gibt es in Stuttgart keine großen Unternehmen aus der Eisen- und Stahlindustrie, der Glasindustrie oder der Papierherstellung, für die die Abschätzung relevante Abwärmepotenziale ergibt. Bei der Herstellung von Kraftwagen und im Maschinenbau, die in Stuttgart dominieren, sind die Möglichkeiten, Abwärme auszukoppeln, geringer einzuschätzen.

Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Am Endenergieeinsatz in Höhe von ca. 4.500 GWh/a im Sektor GHD in Stuttgart haben Erdgas und Strom jeweils einen Anteil von rund einem Drittel, gefolgt von Nah- und Fernwärme (zusammen 22 %, s. auch Abbildung 7).

Eine Analyse des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (FhG ISI) auf Bundesebene zeigt [FhG ISI 2015], dass mehr als die Hälfte der Energie im Sektor GHD für die Anwendungsbereiche Raumwärme und Warmwasser verwendet wird (zusammen 58 %). Dazu kommen kleinteilige elektrische Anwendungen wie Informations- und Kommunikationstechnik (IuK) und Beleuchtung (zusammen 17 %), mechanische Energie (14 %), sonstige Prozesswärme sowie Prozess- und Klimakälte (s. Abbildung 9).

Endenergie GHD pro Anwendungsbereich

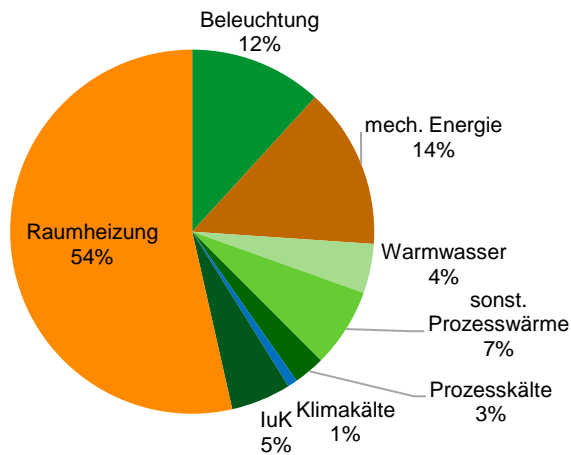


Abbildung 9: Aufteilung der Endenergie im Sektor GHD auf Anwendungsbereiche in Deutschland (Stand 2013)

Quelle [FhG ISI 2015]

Die in den Anwendungsbereichen Raumwärme, Warmwasser, mechanische Energie und Beleuchtung eingesetzte Energie bietet in der Regel keine relevanten Potenziale zur Auskopplung von Abwärme. Von Bedeutung ist folglich vor allem der Bereich der Prozesswärme.

Die Studie des FhG ISI analysiert, in welchen GHD-Wirtschaftszweigen in Deutschland Prozesswärme eine relevante Energie-Anwendung ist (s. Tabelle 4, [Quelle: FhG ISI 2015].)

Tabelle 4: Anteil der Prozesswärme am Endenergieverbrauch für verschiedene GHD-Wirtschaftszweige

| Wirtschaftszweig | Anteil Prozesswärme |
|--|---------------------|
| Baugewerbe | 1% |
| Büroähnliche Betriebe | 0,4% |
| Herstellungsbetriebe | 18% |
| Handel | 1% |
| Krankenhäuser | 12% |
| Schulen | 1% |
| Bäder | 60% |
| Beherbergung, Gaststätten, Heime | 18% |
| Backgewerbe | 83% |
| Fleischereien | 14% |
| Wäschereien | 75% |
| Landwirtschaft | 7% |
| Gartenbau | 63% |
| Flughäfen | 3% |
| Textil, Bekleidung, Spedition | 15% |
| weitere oben nicht mit erfasste Bereiche (Kühlhäuser, Rechenzentren, etc.) | 4% |
| übrige | 2% |

Hohe Anteile an Prozesswärme am Endenergieverbrauch weisen Bäder, das Backgewerbe, Wäschereien und der Gartenbau auf. In Bäckereien sind Temperaturen über 90 °C die Regel. Eine Prüfung der Potenziale im jeweiligen Betrieb ist hier sinnvoll, um sie intern für Heizung und Warmwasser zu nutzen. Bei Großbäckereien kann ggf. auch eine externe Nutzung umsetzbar sein. Bei Bädern, im Gartenbau, in Wäschereien, etc. wird dagegen vorwiegend

Niedertemperatur-Prozesswärme genutzt (Beckenwasser, Waschwasser, Gewächshausheizung), die für eine Abwärme-Auskopplung zur externen Nutzung nicht primär in Frage kommt⁷.

Auch wenn die Unternehmen und Institutionen des Sektors GHD im Regelfall keine relevanten Abwärmepotenziale erwarten lassen, kann dies im Einzelfall anders sein. Ein relevanter Faktor ist dabei die Größe der Wärmequelle: während ein einzelner PC oder Kühlschrank in einem Bürogebäude seine Abwärme direkt in den Raum abgibt (und damit lokal Heizenergie einspart), kann es bei großen Kühlhäusern oder großen Rechenzentren durchaus eine Option sein, das Temperaturniveau der dort vorhandenen Niedertemperaturabwärme mit einer Wärmepumpe anzuheben und die Abwärme in Wärmenetzen zu nutzen.

Für eine überschlägige Abschätzung der Abwärmepotenziale wird folgende Methodik gewählt: Der Endenergieverbrauch im Sektor GHD für Stuttgart wird mit nationalen Kennzahlen für Deutschland auf die Wirtschaftszweige aufgeteilt und der jeweilige Prozesswärmeverbrauch pro Branche, ebenfalls mit Kennwerten für Deutschland, abgeleitet. Im Ergebnis ergibt sich ein Wert für den Prozesswärme-Einsatz in Stuttgart für jeden Wirtschaftszweig. Über den prozentualen Anteil der nutzbaren Abwärme an der Prozesswärme wird dann das Abwärmepotenzial abgeschätzt. Abbildung 10 zeigt schematisch das Vorgehen bei der Berechnung.

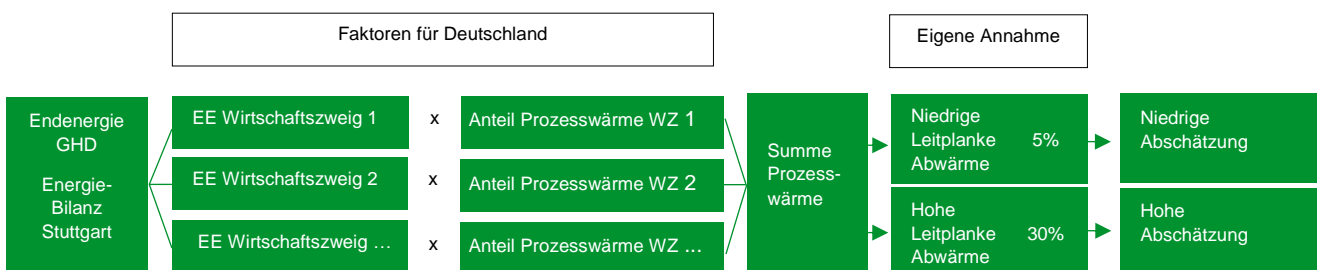


Abbildung 10: Methodik Top-Down Abschätzung Abwärme

Aus der Literatur liegen für den Sektor GHD keine Kennwerte vor, mit denen der Abwärme-Anteil an der Prozesswärme quantifiziert werden kann. Um trotzdem zu einer groben Abschätzung zu kommen, werden zwei Abwärmeindikatoren für eine niedrige und eine hohe Abschätzung angenommen, 5 % und 30 %. Die beiden Leitplanken bilden die Unsicherheit der Schätzung ab. Die gewählten Indikatoren lehnen sich an die Abwärme-Indikatoren im Sektor Industrie an.

Tabelle 5: Ermittlung Abwärmepotenzial im Sektor GHD

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|--|---|------------------------------|
| Wirtschaftszweig | Gesamtverbrauch Bundesebene [TWh/a] | Anteil am Gesamtverbrauch | Prozesswärme [TWh/a] | Anteil Prozesswärme | | Energieverbrauch GHD Stuttgart 2017 [MWh] | Prozesswärme-Potenzial [MWh] |
| Baugewerbe | 17,2 | 4,3% | 0,1 | 0,6% | | 196.974 | 1.145 |
| Büroähnliche Betriebe | 103,5 | 26,1% | 0,4 | 0,4% | | 1.185.280 | 4.581 |
| Herstellungsbetriebe | 12,0 | 3,0% | 2,1 | 17,5% | | 137.424 | 24.049 |
| Handel | 63,0 | 15,9% | 0,6 | 1,0% | | 721.475 | 6.871 |

⁷ Hier kann es aber Möglichkeiten zur internen Nutzung geben, z. B. zur Vorwärmung von Medienströmen. Auch eine externe Nutzung für Raumwärme und Warmwasser in Wärmenetzen ist grundsätzlich möglich. Dazu müssen die niedrigen Temperaturen – zentral oder dezentral, z. B. mit Wärmepumpen angehoben werden. Dies kann in Einzelfällen – bei sehr großen Niedertemperatur-Wärmeströmen – eine Option sein.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | 7 |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--|---|-------------------------------------|
| Wirtschaftszweig | Gesamtverbrauch Bundesebene [TWh/a] | Anteil am Gesamt - verbrauch | Prozess- wärme [TWh/a] | Anteil Prozess- wärme | | Energieverbrauch GHD Stuttgart 2017 [MWh] | Prozesswärme- Potenzial [MWh] |
| Krankenhäuser | 18,1 | 4,6% | 2,2 | 12,2% | | 207.281 | 25.194 |
| Schulen | 20,4 | 5,1% | 0,3 | 1,5% | | 233.620 | 3.436 |
| Bäder | 4,3 | 1,1% | 2,6 | 60,5% | | 49.244 | 29.775 |
| Beherbergung, Gaststätten, Heime | 64,7 | 16,3% | 11,7 | 18,1% | | 740.943 | 133.988 |
| Backgewerbe | 1,2 | 0,3% | 1,0 | 83,3% | | 13.742 | 11.452 |
| Fleischereien | 0,7 | 0,2% | 0,1 | 14,3% | | 8.016 | 1.145 |
| Wäschereien | 0,8 | 0,2% | 0,6 | 75,0% | | 9.162 | 6.871 |
| Landwirtschaft | 40,0 | 10,1% | 2,6 | 6,5% | | 458.079 | 29.775 |
| Gartenbau | 1,9 | 0,5% | 1,2 | 63,2% | | 21.759 | 13.742 |
| Flughäfen | 3,5 | 0,9% | 0,1 | 2,9% | | 40.082 | 1.145 |
| Textil, Bekleidung, Spedition | 5,5 | 1,4% | 0,8 | 14,5% | | 62.986 | 9.162 |
| weitere Bereiche | 39,6 | 10,0% | 1,3 | 3,3% | | 453.498 | 14.888 |
| Summe | 396,7 | 100% | 27,7 | 7,0% | | 4.543.000 | 317.220 |

Aufsummiert über die verschiedenen Wirtschaftszweige ergibt sich ein Prozesswärmeeinsatz von rund 317 GWh pro Jahr. Unter Verwendung der Abwärme-Indikatoren von 5 % und 30 % belaufen sich die Abwärmepotenziale für den Sektor GHD in einer Größenordnung von 16 bis 95 GWh/a. Das höchste Prozesswärmepotenzial wird für den Wirtschaftszweig *Beherbergung, Gaststätten, Heime* abgeschätzt. Allerdings fällt hier ein erheblicher Teil der Prozesswärme bei Prozessen wie Duschen, Kochen oder Spülen an, so dass nur geringe Möglichkeiten zur Abwärmennutzung vorhanden sind und eher von der unteren Abschätzung auszugehen ist. Dies gilt auch für den Wirtschaftszweig *Bäder*, wo Duschen und Beckenwasser-Erwärmung ebenfalls überschaubare Abwärmepotenziale erwarten lassen, sowie für den Zweig *Landwirtschaft*, der in Stuttgart weniger ausgeprägt ist als im bundesweiten Durchschnitt. Bäckereien und Wäschereien benötigen eine gewisse Betriebsgröße, um extern wirtschaftlich nutzbare Abwärmepotenziale erwarten zu lassen. Große Betriebe dieser Branchen bevorzugen aus Kostengründen jedoch Standorte außerhalb des Stuttgarter Stadtgebietes.

Neben der Prozesswärme kann auch die Erzeugung von Prozesskälte, also die Abwärme aus Kältemaschinen, Potenziale bieten (Fleischereien, Spedition, Großhandel, etc.). Hier ist die Anlagengröße ebenfalls ein relevanter Parameter. Nachteilig ist, dass die Abwärmepotenziale im Sommer meist deutlich höher liegen als im Winter und somit gegenläufig zur Wärmenachfrage in Wärmenetzen.

Fazit Top-Down-Analyse

Das Abwärmepotenzial in Stuttgart wird für den Sektor Industrie überschlägig auf rund 140 GWh/a abgeschätzt, für den Sektor GHD liegt die untere Abschätzung bei ca. 16 GWh/a, die obere Abschätzung bei rund 95 GWh/a. Die Qualität der Abschätzung in der Top-Down-Analyse wird als niedrig bewertet, da die Aufteilung der Endenergie

auf die Wirtschaftszweige aufgrund fehlender Daten für Stuttgart mit statistischen Kennzahlen für Baden-Württemberg bzw. für die Bundesrepublik Deutschland erfolgt ist und weil auch die weiteren Kennzahlen (Anteil Prozesswärme, Anteil Abwärme) mit Unsicherheiten behaftet sind.

Eine räumliche Zuordnung der abgeschätzten Potenziale erfolgt nicht, da erstens die Qualität der Abwärmeabschätzung als zu niedrig bewertet wird und zweitens bezüglich der Verteilung von Unternehmen nach Wirtschaftszweigen für Stuttgart keine räumlichen Daten vorliegen.

2.3 Abwärmepotenzial: Bottom-Up-Analyse

Ziel des Arbeitspaketes ist eine räumlich aufgelöste Abschätzung von Abwärmepotenzialen aus Literaturquellen, ergänzt durch eine Fragebogen-Erhebung bei Stuttgarter Industrie- und Gewerbebetrieben.

NENIA: In der Studie *Netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme* [NENIA 2019] lag ein Datensatz zu theoretischen Abwärmepotenzialen vor, der durch die Auswertung von Informationen aus den Meldepflichten des BImSchG sowie des E-PTR-Registers [NENIA 2019] generiert wurde. Aus dem Datensatz konnten zehn potenzielle Abwärmequellen in Stuttgart identifiziert werden.

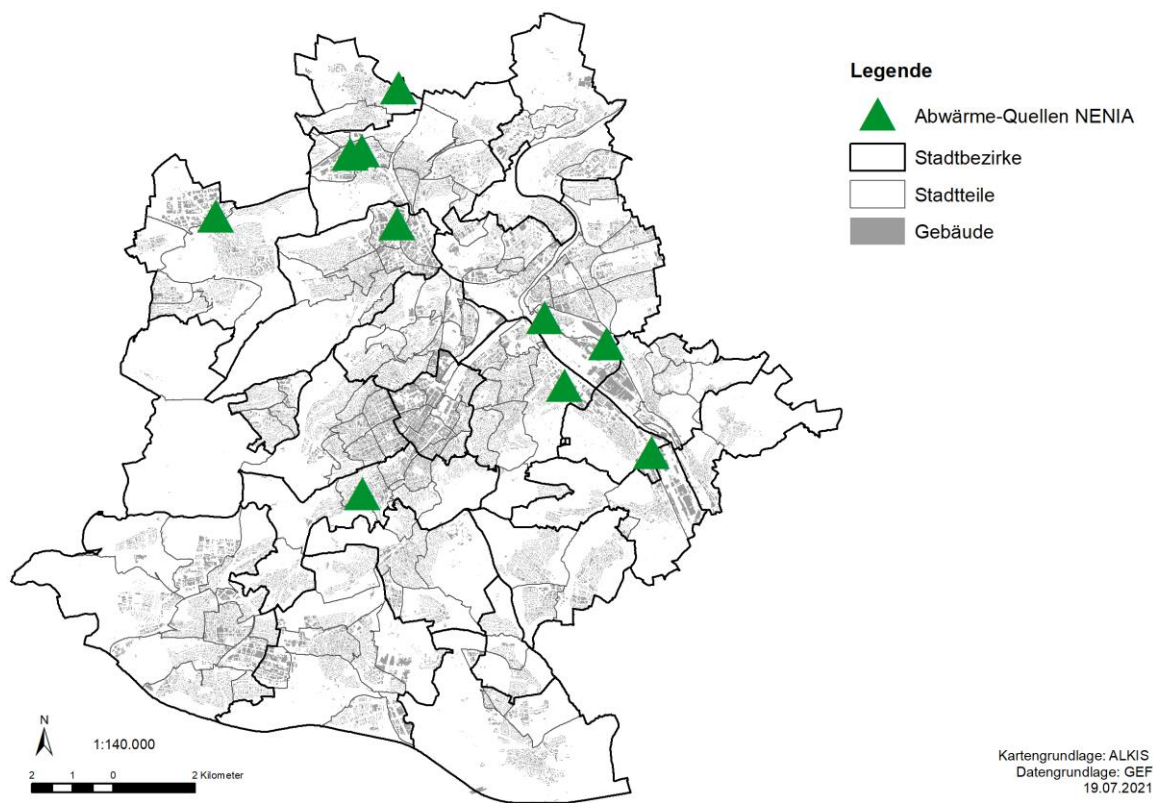


Abbildung 11: Standorte potenzieller Abwärmequellen aus NENIA

Das Abwärmepotenzial dieser Quellen wird in der NENIA-Studie mit knapp 15 GWh/a abgeschätzt (theoretisches Potenzial Fernwärme-Auskopplung, s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Abwärmepotenzial aus NENIA-Studie

| Wirtschaftszweig | Abwärme-Potenzial [MWh /a] | Stadtbezirk |
|---|----------------------------|---------------|
| Quelle: NENIA | NENIA | |
| 2561 - Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung | 1.400 | Bad Cannstatt |
| 2399 - Herstellung von sonstigen Erzeugnissen aus nichtmetallischen Mineralien a. n. g. | 100 | Ost |
| 2221 - Herstellung von Platten, Folien, Schläuchen und Profilen aus Kunststoffen | 900 | Weilimdorf |
| 2910 - Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren | 5.000 | Zuffenhausen |
| 1105 - Herstellung von Bier | 50 | Süd |
| 2030 - Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitt | 2.900 | Zuffenhausen |
| 2030 - Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitt | 1.000 | Stammheim |
| 2561 - Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung | 2.600 | Feuerbach |
| 2370 - Be- und Verarbeitung von Naturwerksteinen und Natursteinen | 600 | Bad Cannstatt |
| 2399 - Herstellung von sonstigen Erzeugnissen aus nichtmetallischen Mineralien a. n. g. | 300 | Hedelfingen |
| Summe | 14.850 | |

Die Unternehmen wurden jeweils mit Fragebogen angeschrieben, um die Abwärmepotenziale aus der NENIA-Studie weiter zu detaillieren. Überwiegend erfolgte keine Antwort auf den Fragebogen-Versand, daher wurde jeweils telefonisch nachgehakt. Wenn neue Ansprechpartner genannt wurden, wurde der Fragebogen erneut verschickt und – bei weiterhin fehlender Reaktion – erneut telefonisch nachgefasst. Zwei Unternehmen reagierten mit der Auskunft, dass eine Abwärmenutzung durch Dritte aufgrund der speziellen Rahmenbedingungen nicht möglich bzw. nicht gewünscht sei. Die Mehrzahl der Unternehmen reagierte trotz der wiederholten Kontaktversuche nicht. Eine Ausnahme bildete die Fa. Staehle (s. Kapitel 3.2), von der ein kleineres Abwärmepotenzial per Fragebogen zurückgemeldet wurde.

Fragebogen: Insgesamt wurden zunächst ca. 260 Kurzfragebögen an Unternehmen aus Branchen, die Abwärmepotenziale erwarten lassen, im Namen des Umweltamtes versendet (vollständiger Fragebogen als Anlage). Die Kontaktdaten der Unternehmen wurden aus einer Datenbank der Fa. Bisnode Deutschland bezogen. Neben energieintensiven Branchen, Nahrungsmittelindustrie, etc. wurden auch Daten aus Wirtschaftszweigen einbezogen, die ggf. Rechenzentren betreiben. Unternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitenden wurden nicht berücksichtigt. In Abbildung 12 sind die kontaktierten Unternehmen in ihrer räumlichen Verteilung in Stuttgart dargestellt. Ergänzend wurde ein Mail-Verteiler des Umweltamtes mit Kontaktdaten von Energiemanagern aus Industrie und Gewerbe genutzt. Der Rücklauf aus der Fragebogen-Aktion lag mit nur sieben zurückgesandten Fragebögen sehr niedrig und erbrachte keine Hinweise auf ein relevantes Abwärmepotenzial. Bei ausgewählten Unternehmen wurde nochmals telefonisch nachgefasst, z. T. auch Fragebögen nochmals versendet, ohne dass Abwärmepotenziale identifiziert werden konnten. Mit einem Großunternehmen wurden in mehreren telefonischen Kontakten und einem Web-Meeting noch nicht genutzte betriebliche Abwärmepotenziale diskutiert. Auch hier konnte im Ergebnis kein Abwärmepotenzial für eine weitere Untersuchung identifiziert werden.

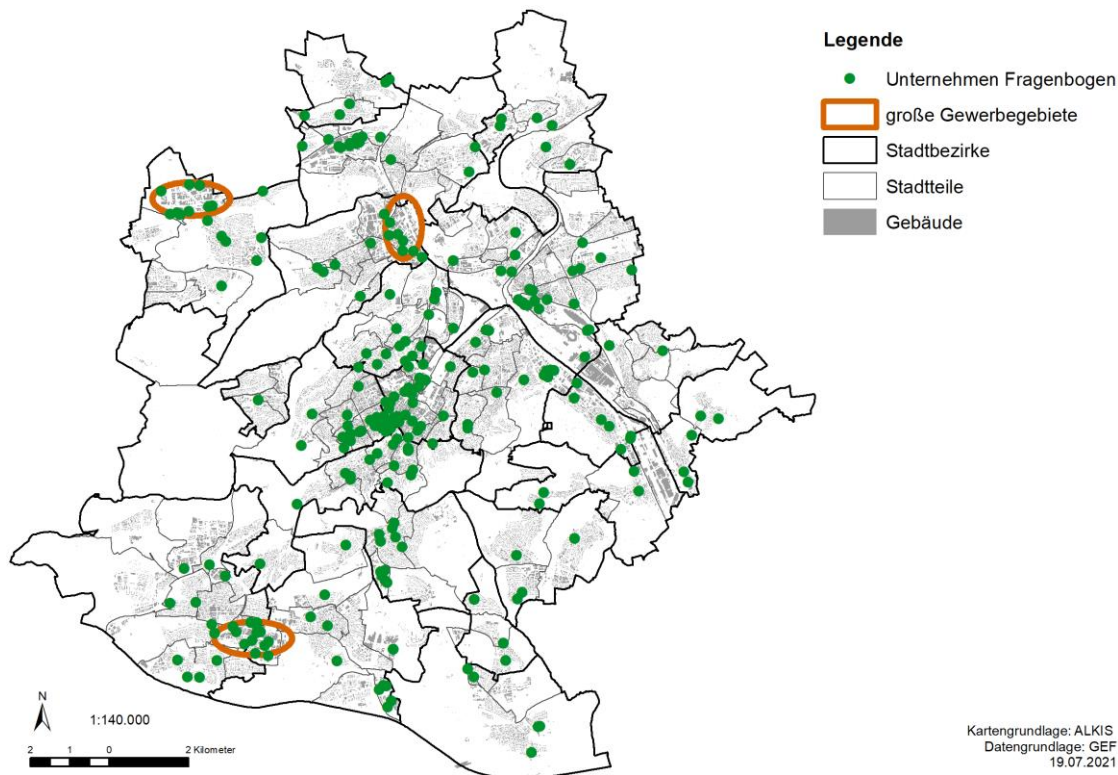


Abbildung 12: Räumliche Verteilung der kontaktierten Unternehmen

Eine zweite Aussendung der Fragebögen per Mail konzentrierte sich auf Unternehmen in drei großen Gewerbegebieten (Weilimdorf, Feuerbach Ost, Synergiepark Vaihingen – s. auch Abbildung 12). Auch Großbäckereien, sowie weitere mögliche Betreiber von Rechenzentren und größeren Kälteanlagen wurden ergänzend kontaktiert. In den beantworteten Fragebögen bzw. Reaktionen am Telefon oder per Mail wurde das Potenzial einer Auskoppelung von Abwärme an Dritte als gering bzw. sehr gering eingeschätzt oder keine Angabe gemacht. Angesprochen wurde auch der Aspekt, dass Rechenzentren als vulnerable Infrastrukturen eingeschätzt werden, zu denen aus diesem Grund keine näheren Angaben (z. B. Lage) gemacht werden.

Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart: Das Universitätsbauamt Stuttgart und Hohenheim hat der Stadt Stuttgart aus einem separaten Projekt mit der GEF Ingenieur AG Information über Abwärmepotenziale aus dem geplanten Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) bereitgestellt (s. unten). Hier wurde für den Ausbau des HLRS in der großen Variante von einer möglichen Abwärmeleistung von 17 MW ausgegangen, in der kleineren Variante von rund 4 MW (s. Kapitel 3.1). Mit Stand Juni 2021 wurde entschieden, nur die kleine Ausbaustufe des HLRS zu realisieren.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Durchführung der Bottom-Up-Analyse.

Tabelle 7: Überblick Bottom-Up-Analyse

| | Umfrage | Anzahl | Reaktion |
|----------------|---|--------|----------|
| März 2020 | Fragebogen per Post – Unternehmen aus Bisnode-Datenbank plus NENIA | 260 | 7 |
| | Fragebogen per Mail – Energiemanager | 50 | |
| April/Mai 2020 | Telefonisches Nachhaken | 20 | 1 |
| Juli 2020 | Fragebogen per Mail – große Gewerbegebiete | 400 | 2 |
| August 2020 | Telefonischer Kontakt und/oder Fragebogenversand potenzielle Rechenzentrenbetreiber, größere Bäckereien, Kälteanlagen | 25 | 6 |

Insgesamt konnte im Rahmen der Bottom-Up-Analyse kein nennenswerter Rücklauf generiert und im Ergebnis nur die Fa. Staehle und das HLRS als mögliche Abwärmequellen identifiziert werden.

Mitursächlich hierfür ist, dass die erste Fragebogenaussendung in die Zeit der Corona-Pandemie fiel und durch schlechte Erreichbarkeit von Ansprechpartnern wegen Kurzarbeit, Homeoffice bzw. anderer Prioritätensetzung erschwert wurde. Auch aus diesem Grund wurden die schriftlichen Umfragen durch telefonisches Nachhaken ergänzt. Dies erbrachte jedoch keine Hinweise auf zusätzliche Abwärmepotenziale.

Auch die Branchenstruktur in Stuttgart ist eine Ursache für Schwierigkeiten bei der Identifikation von Abwärmepotenzialen. In Stuttgart existieren kaum Unternehmen mit hohem Energieverbrauch und entsprechenden Abwärmepotenzialen, wie z. B. Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie, Metallerzeugung und -bearbeitung, Glasindustrie, Papierindustrie oder Raffinerien. Im industriellen Sektor dominieren der Fahrzeugbau und die entsprechende Zulieferindustrie, mit entsprechend geringeren Möglichkeiten zur Abwärmenutzung. Der Sektor GHD spielt in Stuttgart eine wichtige Rolle – sein Endenergieverbrauch liegt mehr als doppelt so hoch wie der der Industrie. In diesem Sektor ist nur in Einzelfällen mit relevanten Abwärmepotenzialen zu rechnen, entsprechende Unternehmen und Institutionen wurden im Rahmen der Bottom-Up-Analyse identifiziert und angesprochen. Ein relevantes Abwärmepotenzial konnte auch hier nicht ermittelt werden. Eine ursprünglich vorgesehene ergänzende Ansprache von Akteuren durch Plenumsveranstaltungen konnte aufgrund der Corona-Pandemie nicht durchgeführt werden.

3. Abwärmepotenziale in zwei Schwerpunktgebieten

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden zwei potenzielle Abwärmequellen bezüglich der Eignung für eine Abwärmeauskopplung näher betrachtet.

3.1 Vaihingen: HLRS – Abwärmepotenzial und Umfeldanalyse

Das Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart (HLRS) plant die Installation eines neuen Höchstleistungsrechners HLRS III. Untersucht wurde ein Ausbau in zwei Stufen bis 2027.

- In einer Machbarkeitsstudie für das Universitätsbauamt Stuttgart und Hohenheim hat die GEF Ingenieur AG 2019 eine mögliche Abwärmenutzung für die große Ausbaustufe untersucht [GEF 2019].
- Zwischenzeitlich wurde entschieden, nur die kleinere Ausbaustufe des HLRS zu realisieren (s. unten), die zweite Ausbaustufe wird aufgrund der extrem hohen Betriebskosten des HLRS III nicht weiterverfolgt. Stattdessen liegt eine geänderte Nutzungsanforderung des HLRS vor, die von einer wesentlich reduzierten elektrischen Anschlussleistung des HLRS III ausgeht (ca. 11 MW_{el}). Aufbauend auf diesem Anschlusswert wurde GEF im Sommer 2021 vom Universitätsbauamt beauftragt, die vorliegende Machbarkeitsstudie aufgrund der neuen Randparameter zu überarbeiten. Diese Studie ist noch nicht abgeschlossen (Stand September 2021).

Im Folgenden werden die Abwärmepotenziale sowohl der (verworfenen) großen Ausbaustufe als auch Zwischenergebnisse der (aktuell verfolgten) kleinen Ausbaustufe des HLRS III dargestellt. Das Beispiel HLRS III verdeutlicht damit auch, wie stark die Potenziale sich in Abhängigkeit von betriebsinternen Entscheidungen verändern können.

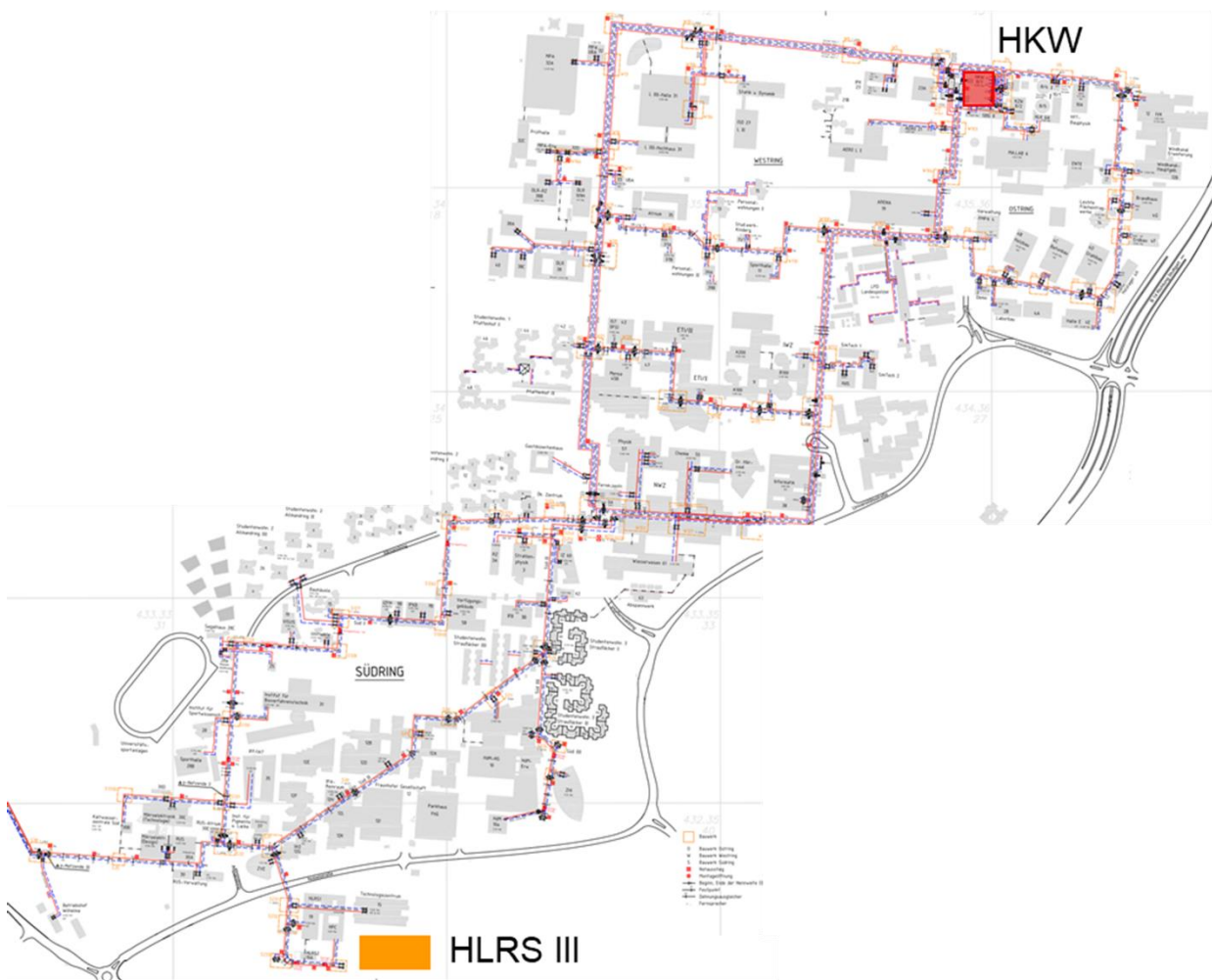


Abbildung 13: Übersicht über das Wärmenetz am Campus Vaihingen

Abwärmepotenzial für die große Ausbaustufe: Für den Endausbauzustand 2027 wurde mit einer Abwärmeleistung von ca. 17 MW (inkl. Nutzung Abwärme aus Umluftkühlung) und einer Wärmemenge von ca. 140 GWh/a gerechnet. Das nutzbare Temperaturniveau aus der Rechnerkühlung liegt niedrig (voraussichtlich T_{VL} 40 °C, T_{RL} 30 °C) und müsste für eine Einspeisung in das Bestandsnetz der Universität mit einer Wärmepumpe angehoben werden. Bei einem angenommenen COP von 2,5 ergab sich zur Einspeisung ins Netz ein Potenzial für die Wärmeleistung von 29 MW und für die Jahresarbeit von 230 GWh.

Für die Nutzung wurden verschiedene technische Optionen untersucht. Für die Option einer Einspeisung in den Vorlauf des Uni-Bestandsnetzes mit einer zentralen Wärmepumpe (s. Abbildung 14, Annahme Einspeisetemperatur 95 °C) ergab sich eine nutzbare Höchstlast von 15 MW (Mittellast) und eine Jahresarbeit von 100 GWh. Die Option wurde als technisch machbar und unter den angenommenen Randbedingungen als grundsätzlich wirtschaftlich bewertet.

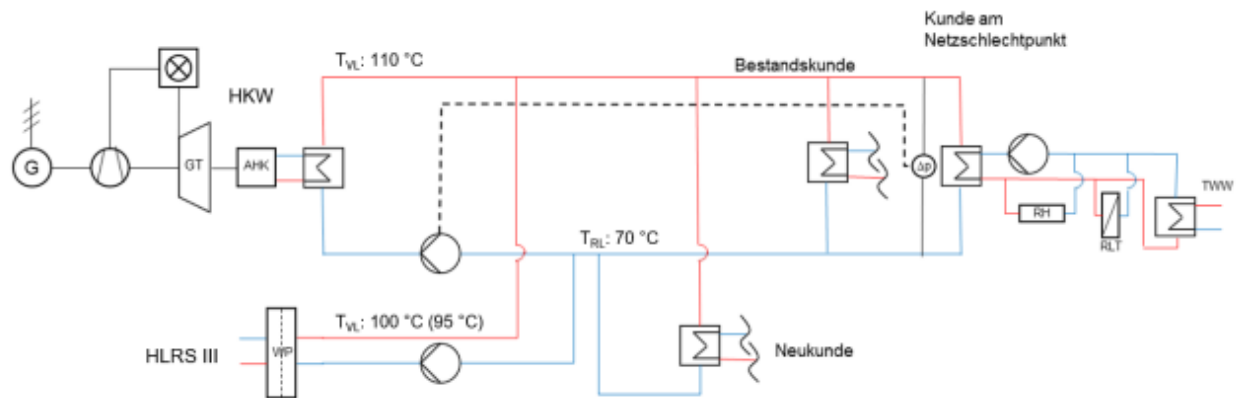


Abbildung 14: Schema Einbindung in den Bestandsvorlauf

Das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart hat 2019 im Rahmen eines Forschungsprojektes u. a. die Möglichkeit einer Abwärmenutzung im Süden des Unicampus untersucht ([IER 2019], s. Abbildung 15). Dabei wurden Cluster mit Wohngebäuden, aber auch Gewerbe und die Patch Barracks Kaserne der US Army näher betrachtet.

Einspeisung in ein Niedertemperatur-Nahwärmenetz

Jährliche Energiebedarfe

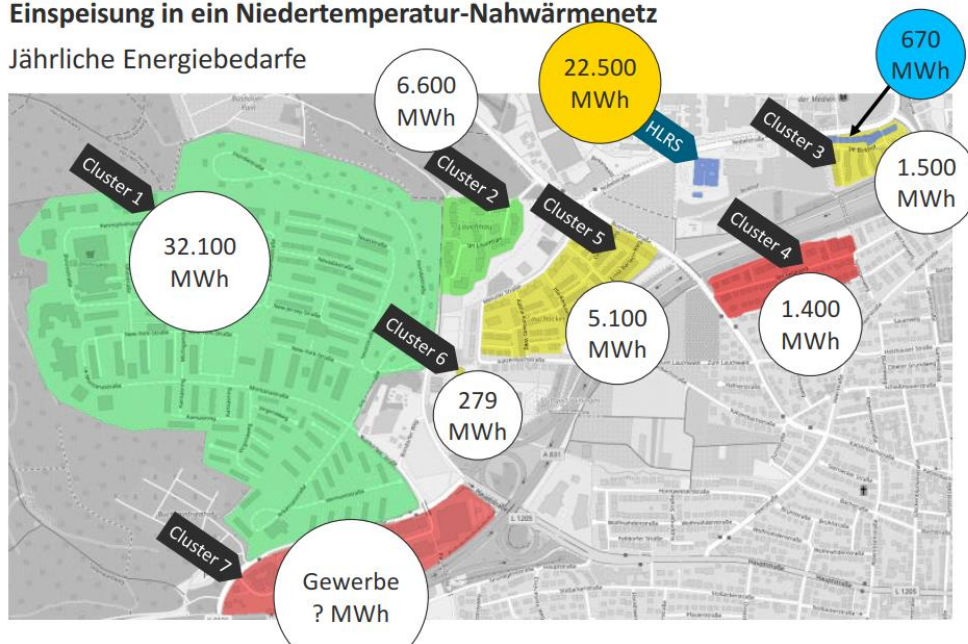


Abbildung 15: Übersicht über geschätzte Wärmebedarfspotenziale für Gebäude-Cluster im Umfeld des HLRS

Quelle: [IER 2019]

Auf Basis dieser Untersuchung zum Wärme- und Leistungsbedarf im Umfeld des Campus wurde von GEF abgeschätzt, dass mit der freien Wärmeleistung von 14 MW ca. weitere 30 GWh/a genutzt werden könnten.

Abwärmepotenzial kleine Ausbaustufe: Mit Stand Juni 2021 soll nur die kleine Ausbaustufe des HLSR III realisiert werden. Das Abwärmepotenzial wird jetzt nur noch für die direkte Rechnerkühlung angesetzt und entsprechend reduziert auf 4,2 MW geschätzt und die Wärmemenge auf rund 35 GWh/a (Erhöhung von Leistung und Arbeit durch möglichen Wärmepumpeneinsatz hier noch nicht einbezogen). Das Universitätsbauamt lässt aktuell die Optionen zur Abwärmenutzung unter den veränderten Randbedingungen nochmals untersuchen.

Auch im IER werden Möglichkeiten zur Umsetzung von Klimaneutralität exemplarisch am Campus Vaihingen mit Förderung des Landes in einem Reallabor weiter erforscht [IER 2021]. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird entschieden, dass eine nochmalige oder vertiefte Untersuchung der Abwärmepotenziale des HLRS im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen soll, da die Erschließung der Potenziale bereits durch das Universitätsbauamt verfolgt und untersucht wird.

3.2 Bad Cannstatt: Fa. Staehle – theoretisches Abwärmepotenzial und Umfeldanalyse

Die Staehle-Gruppe ist ein führender Hersteller von Aerosolblechdosen. Am Standort Mercedesstr. 15 in Bad Cannstatt (Nähe Bahnhof) befindet sich eine Blechtafel-Lackier-Anlage der G. Staehle GmbH u. Co. KG. Potenzielle Abwärmequellen im Unternehmen sind die Lackieranlage sowie die thermische Nachverbrennung.



Abbildung 16: G. Staehle GmbH u. Co. KG

Quelle: www.bing.com/maps

Laut ausgefülltem Fragebogen fallen Abgase mit mehr als 200 °C an. Als erste grobe Abschätzung wird von GEF eine mögliche Abwärmeleistung von 450 kW und eine Wärmemenge von 3 GWh/a abgeschätzt. Positiv sind die hohen Prozesstemperaturen. Die Wärmemenge wird als groß genug bewertet, um z. B. über weite Teile des Jahres die Grundlast in einem Nahwärmenetz zu decken.

Die Wärmedichte im Quartier ist mit über 70 GWh/(km²·a) hoch. Im Umfeld des Unternehmens befinden sich bereits Bestandsfernwärmeleitungen der EnBW, ein weiteres Wärmenetz entsteht im neuen Stadtquartier Neckarpark in ca. 700 bis 800 Meter Entfernung.

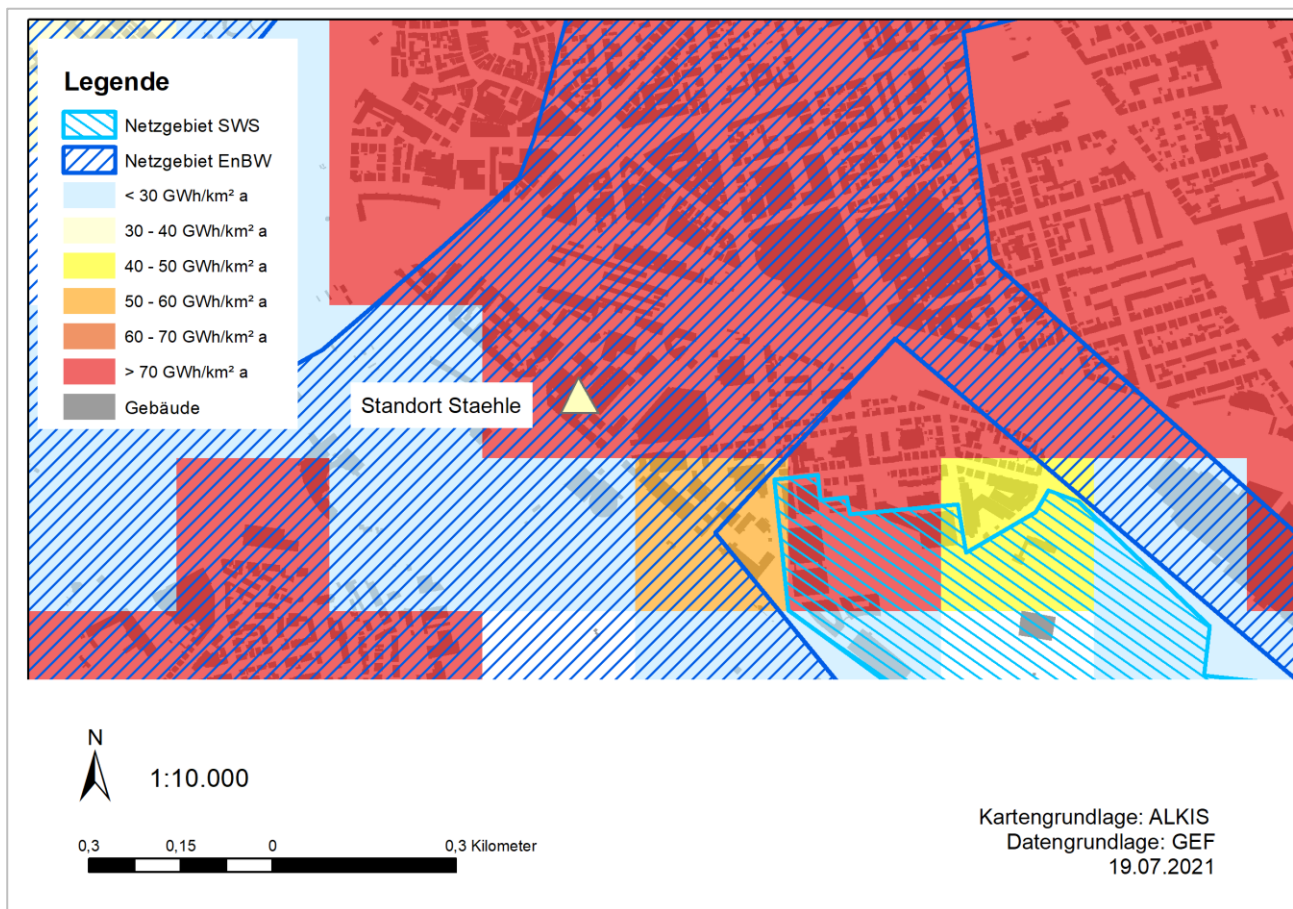


Abbildung 17: Wärmedichten Ist im Umfeld der Staehe GmbH u. Co. KG

Eine Einspeisung der Abwärme in eines der beiden Bestandsnetze könnte daher eine Option sein. Im Anschluss an die grobe Potenzialabschätzung und die Umfeldanalyse wurde im Herbst 2020 ein telefonisches Gespräch mit dem Geschäftsführer Herrn Staehe geführt. Eine Auskopplung der Abwärme für eine interne Nutzung im Bereich Raumwärme hat Staehe bereits geprüft, aber aus wirtschaftlichen Gründen verworfen. Für eine erneute Prüfung müssten bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, die im Moment nicht gegeben seien. An einem Standort in Rheinland-Pfalz, an dem ein Neubau errichtet wurde, habe Staehe eine Abwärmenutzung realisiert.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird entschieden, eine Abwärmeauskopplung bei der Fa. Staehe unter diesen Randbedingungen nicht vertieft zu untersuchen.

4. Zusammenfassung

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes zur Abwärmenutzung in Stuttgart wurden zunächst aktuelle und zukünftige Wärmedichten untersucht. Diese lassen auch langfristig große Bereiche erwarten, in denen eine leitungsgebundene Wärmeversorgung sinnvoll erscheint. Eine Analyse der Beheizungsstruktur auf Basis der Wohnungsmarktbefragung 2020 zeigt, dass die überwiegende Anzahl der Wohngebäude in Stuttgart mit fossilen Brennstoffen beheizt wird (Erdgas und Heizöl).

Das größte Wärmenetz in Stuttgart wird von der EnBW betrieben, daneben gibt es weitere kleinere Wärmenetze, u. a. von den Stadtwerken Stuttgart. An den Universitätsstandorten Vaihingen und Hohenheim und wahrscheinlich

auch an den Standorten der US Army (Patch, Kelley und Robinson Barracks) sind ebenfalls Wärmenetze vorhanden.

Die Struktur des Endenergieverbrauchs in Stuttgart zeigt, dass der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) mit einem Verbrauch von rund 4.500 GWh pro Jahr gegenüber der Industrie deutlich dominiert (siehe Abbildung 18). In der Industrie ist Strom mit > 60 % der wichtigste Energieträger, gefolgt von Fernwärme/Nahwärme. Erdgas spielt eine untergeordnete, Kohle gar keine Rolle.

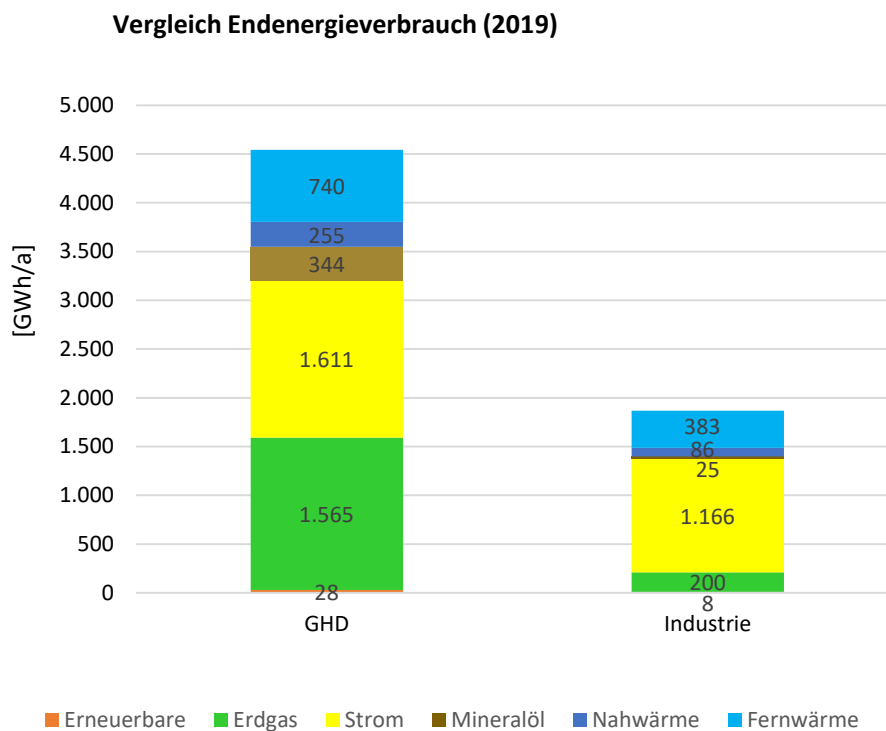


Abbildung 18: Vergleich Endenergieverbrauch der Sektoren GHD und Industrie

Quelle: Energiebilanz Stuttgart 2019

Entsprechend sind im Sektor Industrie nur geringe Abwärmepotenziale aus Brennstoffen zu erwarten, Potenziale aus Stromanwendungen (wie z. B. Druckluft) können dagegen eine Rolle spielen. Im Sektor GHD ist nur in Einzelfällen mit Abwärmepotenzialen zu rechnen, deren Größe bzw. Temperaturniveau eine Auskopplung von Abwärme aussichtsreich erscheinen lässt.

Die Top-Down-Analyse der Abwärmepotenziale im Sektor Industrie unter Verwendung der Stuttgarter Energiebilanz, einer hilfsweise herangezogenen Branchenverteilung der Energie für Baden-Württemberg und Literaturangaben zu Abwärmekennwerten ergibt mögliche Abwärmepotenziale in der Größenordnung ca. 140 GWh/Jahr etwa zur Hälfte aus Brennstoffen und zur Hälfte aus Stromanwendungen. Die Belastbarkeit der Abschätzung ist jedoch aufgrund der Defizite bei den Eingangsdaten kritisch zu sehen, besonders im Bereich Brennstoffe liegt vermutlich eine Überschätzung vor, weil der Anteil energieintensiver Unternehmen in Stuttgart geringer ist als im baden-württembergischen Durchschnitt. Für den Sektor GHD muss die bundesweite Branchenverteilung für Energieverbrauch und Prozesswärmeanteil für die Ableitung von Prozesswärme-Mengen aus der Stuttgarter Energiebilanz herangezogen werden, weil keine Daten für Baden-Württemberg oder Stuttgart vorliegen. Da literaturbasierte Abwärmekennwerte für die GHD-Branchen ebenfalls fehlen, wird auf Basis eigener Annahmen grob eine untere und eine obere Abschätzung der Abwärme-Potenziale vorgenommen. Hierbei ergibt sich ein Korridor von 16 GWh/a (untere Abschätzung) bis 95 GWh/a (obere Abschätzung).

Im Rahmen der Bottom-Up-Analyse wurden per Post bzw. Mail mehrere Hundert Fragebögen an Unternehmen versandt, die aufgrund ihrer Branchenzugehörigkeit und Größe Abwärmepotenziale vermuten lassen (energieintensive Unternehmen, Stuttgarter Großunternehmen, Unternehmen, bei denen Rechenzentren zu erwarten sind, etc.). Da der Rücklauf bei nur knapp 1 % lag, wurde bei ausgewählten Unternehmen telefonisch nachgefasst. Trotz der mehrfachen Kommunikation über einen längeren Zeitraum und über verschiedene Kommunikationswege konnte im Rahmen der der Bottom-Up-Analyse kein nennenswerter Rücklauf generiert werden. Die größte potenzielle Abwärmequelle (nach aktueller Schätzung mit 35 GWh/a) ist das geplante Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart am Standort Vaihingen. Das Land Baden-Württemberg prüft hier bereits die Abwärmenutzung. Für eine Anlage zur thermischen Nachverbrennung in Bad Cannstatt wird ein Abwärmepotenzial von 3 GWh/a abgeschätzt. Das Unternehmen hat eine interne Nutzung im Bereich Raumwärme bereits geprüft, aber aus wirtschaftlichen Gründen verworfen. Für eine erneute Prüfung müssten bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, die aus Sicht des Unternehmens im Moment nicht gegeben sind.

Im Ergebnis konnte trotz des erheblichen Aufwandes für die Kontaktaufnahme kein Abwärmepotenzial identifiziert werden, dessen vertiefte Untersuchung für eine Nutzung in Wärmenetzen im Rahmen der Studie sinnvoll erscheint. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde deshalb entschieden, dass weitere Untersuchungen (u. a. Maßnahmen zur Abwärmeerschließung, Controlling-Konzept) entfallen.

Auch wenn die Struktur von Industrie und Gewerbe in Stuttgart nicht durch energieintensive Branchen (Metall, Glas, Chemie, u. a.) mit hohen Abwärmepotenzialen geprägt ist, ist davon auszugehen, dass gewisse Potenziale bestehen, deren Erschließung möglicherweise im langfristigen Zeithorizont gelingen kann. Neuansiedlungen – z. B. großer Rechenzentren – können die Randbedingungen für Abwärmenutzung ebenso verändern wie geänderte rechtliche Randbedingungen, die die Erschließung von Abwärme anreizen und den Unternehmen eine höhere Motivation geben, eigene Abwärmepotenziale zu erkennen. Um den – wenn auch vermutlich untergeordneten – Beitrag von Abwärme zu einer dekarbonisierten Wärmeversorgung in Stuttgart weiter auszuloten, wird empfohlen, Unternehmen mit hohen Verbräuchen an Brennstoffen und Strom z. B. im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung regelmäßig weiter einzubinden.

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1: | Schematische Darstellung Wärmeübertrager zur Abwärmenutzung | 5 |
| Abbildung 2: | Anteile der Heizenergieträger in Wohngebäuden in Stuttgart..... | 7 |
| Abbildung 3: | Anteile der Heizenergieträger in Wohngebäuden in den Stadtbezirken | 7 |
| Abbildung 4: | Wärmedichte-Karten Stuttgart mit Szenarien für Verbrauchsrückgang..... | 9 |
| Abbildung 5: | Wärmenetzgebiete in Stuttgart | 10 |
| Abbildung 6: | BHKW-Standorte in Stuttgart lt. Marktstammdatenregister | 11 |
| Abbildung 7: | Sankey-Diagramm der Energiebilanz 2019 für Stuttgart | 12 |
| Abbildung 8: | Methodik Top-Down Abschätzung Abwärme aus der Industrie..... | 13 |
| Abbildung 9: | Aufteilung der Endenergie im Sektor GHD auf Anwendungsbereiche in Deutschland (Stand 2013) | 18 |
| Abbildung 10: | Methodik Top-Down Abschätzung Abwärme | 19 |
| Abbildung 11: | Standorte potenzieller Abwärmepotenziale aus NENIA..... | 21 |
| Abbildung 12: | Räumliche Verteilung der kontaktierten Unternehmen..... | 23 |
| Abbildung 13: | Übersicht über das Wärmenetz am Campus Vaihingen | 25 |
| Abbildung 14: | Schema Einbindung in den Bestandsvorlauf..... | 26 |
| Abbildung 15: | Übersicht über geschätzte Wärmebedarfspotenziale für Gebäude-Cluster im Umfeld des HLRS | 26 |
| Abbildung 16: | G. Staehle GmbH u. Co. KG | 27 |
| Abbildung 17: | Wärmedichten Ist im Umfeld der Staehle GmbH u. Co. KG..... | 28 |
| Abbildung 18: | Vergleich Endenergieverbrauch der Sektoren GHD und Industrie | 29 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|---|----|
| Tabelle 1: | Aufteilung des Stuttgarter Endenergieverbrauchs auf die Wirtschaftszweige (Brennstoffe und Strom) | 13 |
| Tabelle 2: | industrielles Abwärmepotenzial aus Brennstoffen..... | 15 |
| Tabelle 3: | Industrielles Abwärmepotenzial aus den Stromanwendungen Druckluft und Prozesswärme..... | 16 |
| Tabelle 4: | Anteil der Prozesswärme am Endenergieverbrauch für verschiedene GHD-Wirtschaftszweige | 18 |
| Tabelle 5: | Ermittlung Abwärmepotenzial im Sektor GHD | 19 |
| Tabelle 6: | Abwärmepotenzial aus NENIA-Studie..... | 22 |
| Tabelle 7: | Überblick Bottom-Up-Analyse | 23 |

Literaturverzeichnis

- AGFW 2020a Stark, S., Uthoff, F., Miller J. : *Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung*. Frankfurt, November 2020. Abgerufen 14.7.2021 www.agfw.de/fileadmin/AGFW_News_Mediadateien/Energiewende_Politik/agfwleitfaden_ansicht_es.pdf
- AGFW 2020b AGFW: AGFW District Energy Systems Datenbank. Abgerufen 30.7.2020. <https://www.district-energy-systems.info/>
- AGFW 2020c AGFW: *Liste der fp-Bescheinigungen nach FW 309-1 nach Städten sortiert*. Abgerufen 07.07.2020 https://www.agfw.de/index.php?eID=tx_securedownloads&p=150&u=0&g=0&t=1627391303&hash=0b04eb67c4521ead660494a37371648d6ab85cde&file=/fileadmin/user_upload/Erzeugung/Energetische_Bewertung/Liste_der_fp-Bescheinigungen_nach_FW_309-1.pdf
- Brückner 2016 Brückner, Sarah: *Industrielle Abwärme in Deutschland - Bestimmung von gesichertem Aufkommen und technischer bzw. wirtschaftlicher Nutzbarkeit*. Dissertation an den TU München. München, Juni 2016
- EnBW 2020 Energie Baden-Württemberg: *Kasernen der Zukunft - United States Army Garrison Stuttgart*. Abgerufen am 2.6.2020 <https://www.enbw.com/infrastruktur/geschaeftskunden/produkte/kasernederzukunft>
- GEF 2019 GEF Ingenieur AG: *Abwärmennutzung HLRS III - Untersuchung grundsätzlicher Konzepte*. Leimen, November 2019
- FhG ISI 2015 Schlomann, B., Geiger, B., et al.: *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013*. Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Karlsruhe, München, Nürnberg, Februar 2015
- FhG ISI 2019 Aydemir, A., Doderer, H., et al.: *Abwärmennutzung in Unternehmen*. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg. Karlsruhe, März 2019
- IER 2019 Drexelius, M., Turek, D., Radgen, P.: *Machbarkeitsstudie zur Abwärmennutzung des HLRS*. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energienutzung (Ier) der Universität Stuttgart. Studie gefördert vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stuttgart, Mai 2019
- IER 2021 *CampUS hoch i – ein Reallabor für Klimaschutz und Klimaneutralität „mit Intelligenz“ an der Universität Stuttgart*. Abgerufen am 16.8.2021. <https://www.project.uni-stuttgart.de/campus-hoch-i/>
- MaStR 2020 Marktstammdatenregister: *Erweiterte Einheitenübersicht*. Abgerufen 05.08.2020 www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Detail/IndexOeffentlich/2590200#technischdaten
- NENIA 2019 Blömer, S., Hering, D., Grytsch, G., Jäger, S., et al.: *EnEff. Wärme - Netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA)*. Schlussbericht im Auftrag des BMWi. Heidelberg, Januar 2019
- Stadt Stuttgart 2016 Stadt Stuttgart - Statistisches Amt: *Wohnungsmarktbefragung 2016 - Daten (auszugsweise)*
- Stadt Stuttgart 2020 Stadt Stuttgart - Statistisches Amt: *Wohnungsmarktbefragung 2020 - Daten (auszugsweise)*
- Stat BW 2019 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: *Umwelt und Verkehr - Energie - Erzeugung und Verwendung*. Abgerufen am 15.7.2021. <https://www.statistik-bw.de/Energie/ErzeugVerwend/EV-Industrie.jsp>

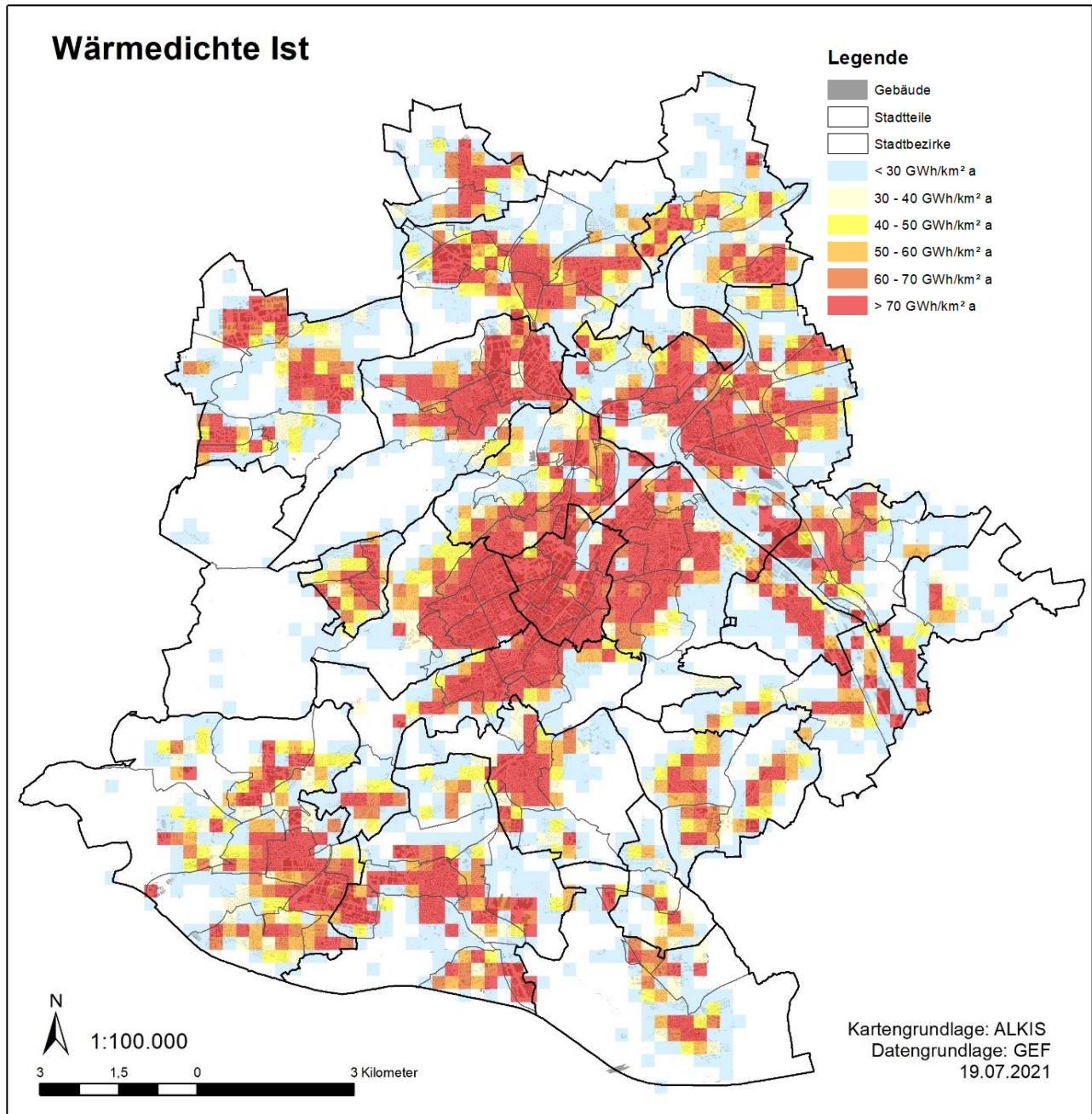
Anhänge

1. Anteile Druckluft und Prozesswärme am Stromverbrauch

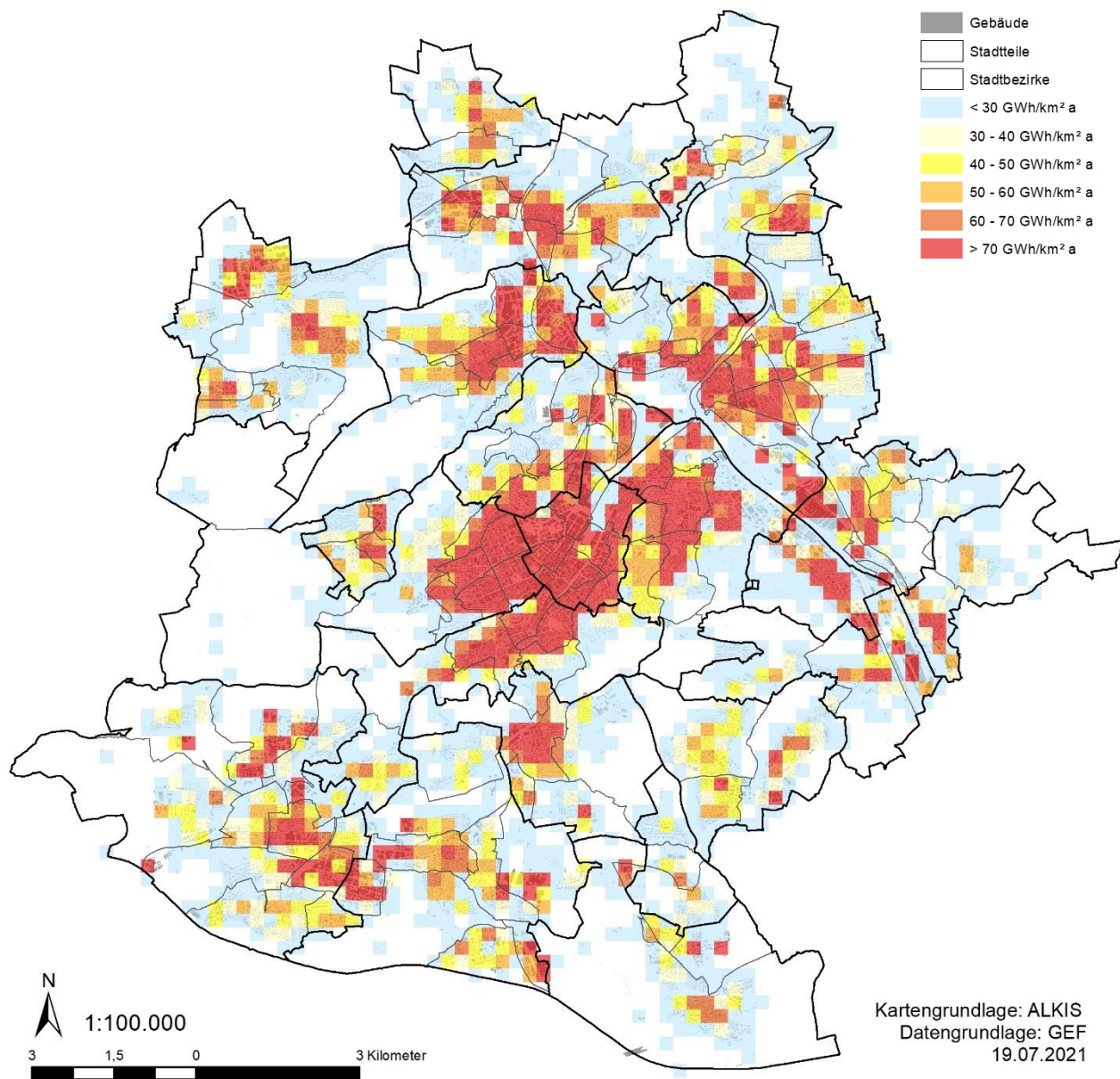
Anteile in Anlehnung an [FHG ISI 2019]

| Wirtschaftszweig (WZ 2008) | Anteil Druckluft am Stromverbrauch | Anteil elektr. Prozesswärme am Stromverbrauch |
|---|---------------------------------------|---|
| Verarbeitendes Gewerbe | | |
| Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln | 7% | 13% |
| Getränkeherstellung | 7% | 13% |
| Tabakverarbeitung | 7% | 13% |
| Herstellung von Textilien | 14% | 10% |
| Herstellung von Bekleidung | 14% | 10% |
| Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen | 14% | 10% |
| Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel) | 14% | 10% |
| Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus | 8% | 0% |
| Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von b. Ton-, Bild- und Datenträgern | 14% | 10% |
| Herstellung von chemischen Erzeugnissen | 2% | 1% |
| Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren | 14% | 5% |
| Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden | 17% | 0% |
| Metallerzeugung und -bearbeitung | 2% | 10% |
| Herstellung von Metallerzeugnissen | 4% | 10% |
| Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen | 14% | 10% |
| Herstellung von elektrischen Ausrüstungen | 14% | 10% |
| Maschinenbau | 14% | 10% |
| Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen | 12% | 10% |
| Sonstiger Fahrzeugbau | 12% | 10% |
| Herstellung von Möbeln | 14% | 10% |
| Herstellung von sonstigen Waren | 14% | 10% |
| Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen | 14% | 10% |

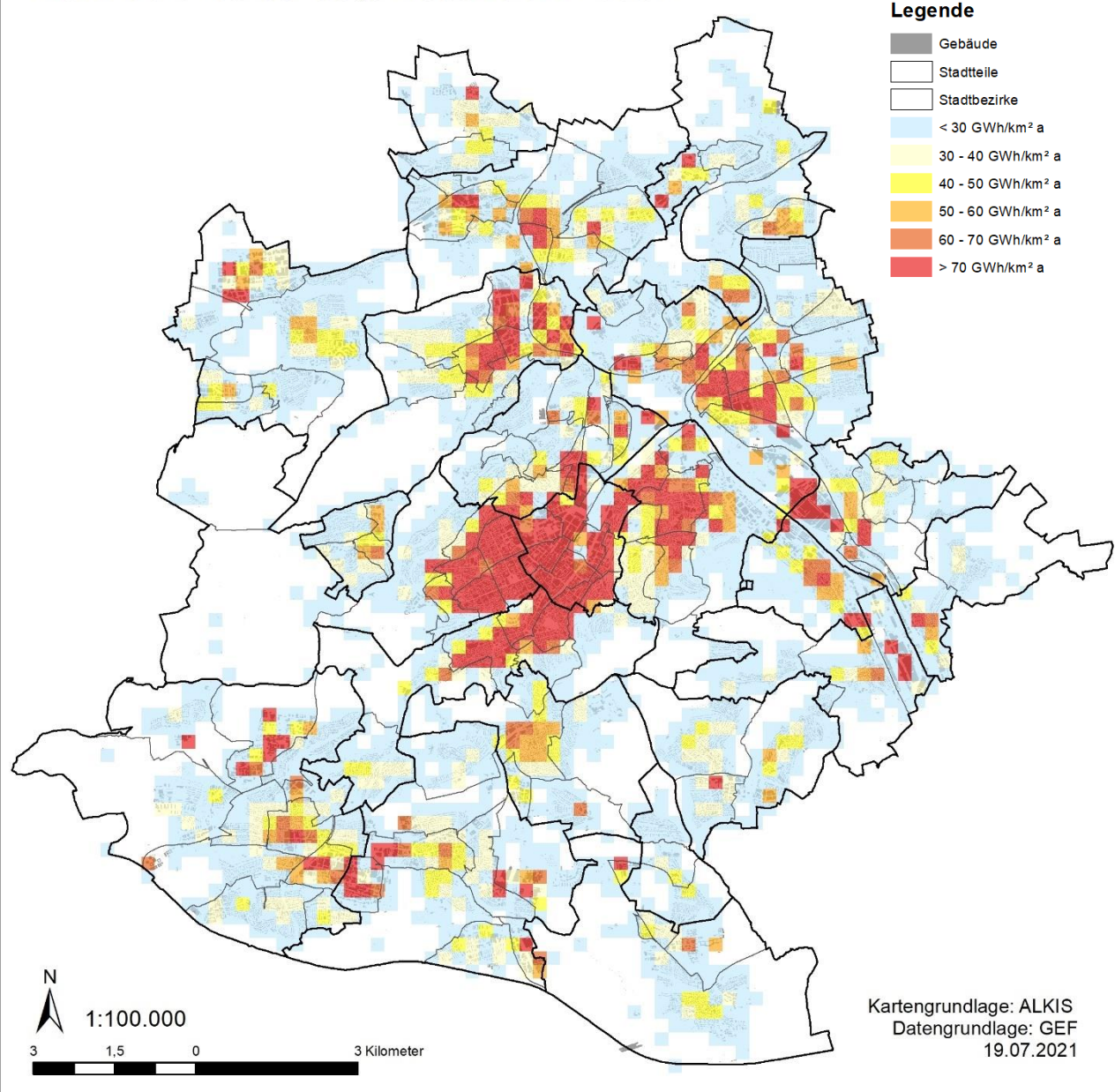
2. Wärmedichtekarten Ist / - 30% / - 50%



Wärmedichte bei 30% Reduktion Bedarf



Wärmedichte bei 50% Reduktion Bedarf



3. Liste Wärmenetze

(kein Anspruch auf Vollständigkeit)

Als Quellen wurden [MaStR 2020, AGFW 2020b, AGFW 2020c] sowie Informationen des Umweltamtes und telefonische Recherchen verwendet.

| Mittlerer Neckar | | Quelle |
|--|--|-------------------------|
| Betreiber | EnBW Langwiesenweg 23 | DeSY- AGFW |
| Anlagen | | |
| Gaisburg, HKW 3, BHKW 67 Langwiesenweg 23 | 9.717 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2018 | Marktstammdatenregister |
| Gaisburg, HKW 3, BHKW 68 Langwiesenweg 23 | 9.717 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2018 | Marktstammdatenregister |
| Gaisburg, HKW 3, BHKW 69 Langwiesenweg 23 | 9.717 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2018 | Marktstammdatenregister |

| Campus Pfaffenwaldring | | Quelle |
|---|--|------------|
| Universität Stuttgart – Campus Vaihingen | | DeSY- AGFW |

| Campus Hohenheim | | Quelle |
|--|--|-------------------------|
| Universität Hohenheim | | Recherche |
| BHKW Fruwirthstraße 26, 70599 Stuttgart | 800 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2012 | Marktstammdatenregister |

| Neckarpark | | Quelle |
|------------------|----------------------|----------------------|
| Betreiber | Stadtwerke Stuttgart | Stadtwerke Stuttgart |
| In Bau | Mercedesstraße 87 | Stadtwerke Stuttgart |

| Olga-Areal | | Quelle |
|---|--|--------------------------------------|
| Betreiber | Stadtwerke Stuttgart | Stadtwerke Stuttgart |
| In Planung | Senefelderstraße 45 | Stadtwerke Stuttgart |
| | | |
| Energiedienste der Landeshauptstadt Stuttgart GmbH – BHKW Olga-Areal | 136 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2019 | Senefelderstraße 55, 70176 Stuttgart |

| Burgholzweg | | Quelle |
|--------------------|--|----------------------|
| Betreiber | | Amt für Umweltschutz |
| Adresse | | |

| Bosch | | Quelle |
|------------------|-------|---|
| Betreiber | Bosch | Recherche |
| Adresse | | Hohe Wahrscheinlichkeit, dass Wärmenetz vorhanden ist |

| Kelley Barracks | | Quelle |
|------------------------|-----------------|---|
| Betreiber | US Streitkräfte | Recherche |
| Adresse | | Hohe Wahrscheinlichkeit, dass Wärmenetz vorhanden ist |

| Patch Barracks | | Quelle |
|-----------------------|-----------------|---|
| Betreiber | US Streitkräfte | Recherche |
| Adresse | | Hohe Wahrscheinlichkeit, dass Wärmenetz vorhanden ist |

| Robinson Barracks | | Quelle |
|--------------------------|-----------------|---|
| Betreiber | US Streitkräfte | Recherche |
| Adresse | | Hohe Wahrscheinlichkeit, dass Wärmenetz vorhanden ist |

| Übersicht weitere Netze | Quelle: AGFW 2020b z. T. ergänzt durch Informationen aus MaStR 2020 |
|--|--|
| Betreiber | Adresse |
| ImmoTherm GmbH | Maybachstraße 57 BHKW 238 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2014 |
| ImmoTherm GmbH | Aulendorfer Straße |
| ImmoTherm GmbH | Nordbahnhof Straße |
| ENGIE Deutschland GmbH | Maybachstraße 18 |
| Flughafen Stuttgart | Flughafenstraße 32 |
| Klinikum Stuttgart | Prießnitzweg 22 619 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2018 |
| Stuttgarter Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH | Augsburger Straße 696 |
| GETEC Wärme & Effizienz GmbH Nord | Am Schwanenplatz 9 |
| fbw-Fernwärmegesellschaft Baden-Württemberg mbH | Rotebühlplatz 19 |
| EnBW Energie BW AG | Schelmenwasenstraße 15 |
| Sales & Solutions GmbH | Schelmenwasenstraße 15 |

4. Liste BHKW mit mehr als 100 kW_{el}

| Übersicht weitere KWK-Anlagen Erdgas Marktstammdatenregister | | |
|---|--|--|
| Betreiber / Anlage | Daten | Adresse |
| SKB | 140 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2009 | Stresemannstraße 6, 70191 Stuttgart |
| STG | 386 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2015 | Florentiner Straße 20, 70619 Stuttgart |
| Blockheizkraftwerk Stuttgart | 976 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 1991 | Böblinger Straße 132, 70199 Stuttgart |
| BHKW Hochholz | 112 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2019 | Isegrimweg 3, 70619 Stuttgart |
| 70192-6 | 100 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2013 | Am Höhenpark 4, 70192 Stuttgart |
| BHKW Krankenhaus Bad Cannstatt | 619 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2018 | Priesnitzweg 22, 70374 Stuttgart |
| S_005_Daimler_Möhringen | 1.135 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2009 | Epplestraße 225, 70567 Stuttgart |
| BHKW | 245 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2013 | Am Weißenhof 1, 70191 Stuttgart |
| BHKW | 315 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2009 | Taubenheimstraße 85, 70372 Stuttgart |
| BHKW Stuttgart, Europaplatz | 100 kW _{el} netto Inbetriebnahme 2015 | Europaplatz 20A, 70565 Stuttgart |
| BHKW RRS Leonberger Straße | 140 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2011 | Leonberger Straße 220, 70199 Stuttgart |
| Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG / BHKW | 1.954 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2019 | Im Birkenwald 26, 70435 Stuttgart |
| Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG / BHKW | 1.954 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2018 | Im Birkenwald 26, 70435 Stuttgart |
| Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG / BHKW | 1.965 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2016 | Im Birkenwald 26, 70435 Stuttgart |
| BHKW | 365 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2015 | Porschestraße 37, 70435 Stuttgart |

| Übersicht weitere KWK-Anlagen Erdgas Marktstammdatenregister | | |
|---|--|--|
| Stromerzeugungseinheit | 271 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2006 | Giescheweg 8, 70565 Stuttgart |
| BHKW | 119 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2012 | Lotterbergstraße 30, 70499 Stuttgart |
| BHKW Stuttgart | 238 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2014 | Maybachstraße 57, 70469 Stuttgart |
| BHKW 1 Klinikum Stuttgart | 1.053 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2010 | Kriegsbergstraße 60, 70174 Stuttgart |
| BHKW | 1.714 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2014 | Böheimstraße 42, 70199 Stuttgart |
| BHKW Inselbad Untertürkheim | 100 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2006 | Inselbad 2, 70327 Stuttgart |
| BHKW Mineralbad Leuze | 336 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2013 | Am Leuzebad 2, 70327 Stuttgart |
| BHKW 2 Klinikum Stuttgart | 946 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2016 | Kriegsbergstraße 16, 70174 Stuttgart |
| BHKW1 S, Asperger Str. | 140 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2016 | Asperger Straße 60, 70439 Stuttgart |
| BHKW2 S, Asperger Str. | 140 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2016 | Asperger Straße 60, 70439 Stuttgart |
| BHKW SSB-Zentrum | 240 kW _{el} netto Inbetriebnahme: 2014 | Schockenriedstraße 50, 70565 Stuttgart |