



Nahwärmenetz Kanal

S. Wolf, J. Lambauer, U. Fahl

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart



Gliederung

- I. Theoretische Grundlagen
- II. Potenzialermittlung
- III. Ökonomische Betrachtung
- IV. Betrachtung der CO₂-Emissionen
- V. Kanal als Nahwärmenetz am Beispiel Ludwigsburg
- VI. Fazit und Ausblick



I. Theoretische Grundlagen

1. Definitionen
2. Wärmebedarf und Abwärmeaufkommen in Deutschland
3. Voraussetzungen für Abwasserwärmenutzung
4. Abwasseraufkommen in Deutschland
5. Abwassertemperatur
6. Struktur des Kanalnetzes in Deutschland



Definitionen - Energie

- **Primärenergie:**

Die Primärenergie ist die Gesamtheit des Energiestroms einschließlich außerhalb des Gebäudes benötigter Energie (Endenergie und Umwandlung). (Zanger 2008)

- **Endenergie:**

Die Endenergie umfasst die Nutzenergie (Wärme) und die Anlagenverluste. (Zanger 2008)

- **Energiebedarf für Warmwasser und Raumwärme:**

Der Einsatz von Endenergie für die Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme.



Definitionen – Wärmepumpe (WP)

- **COP**

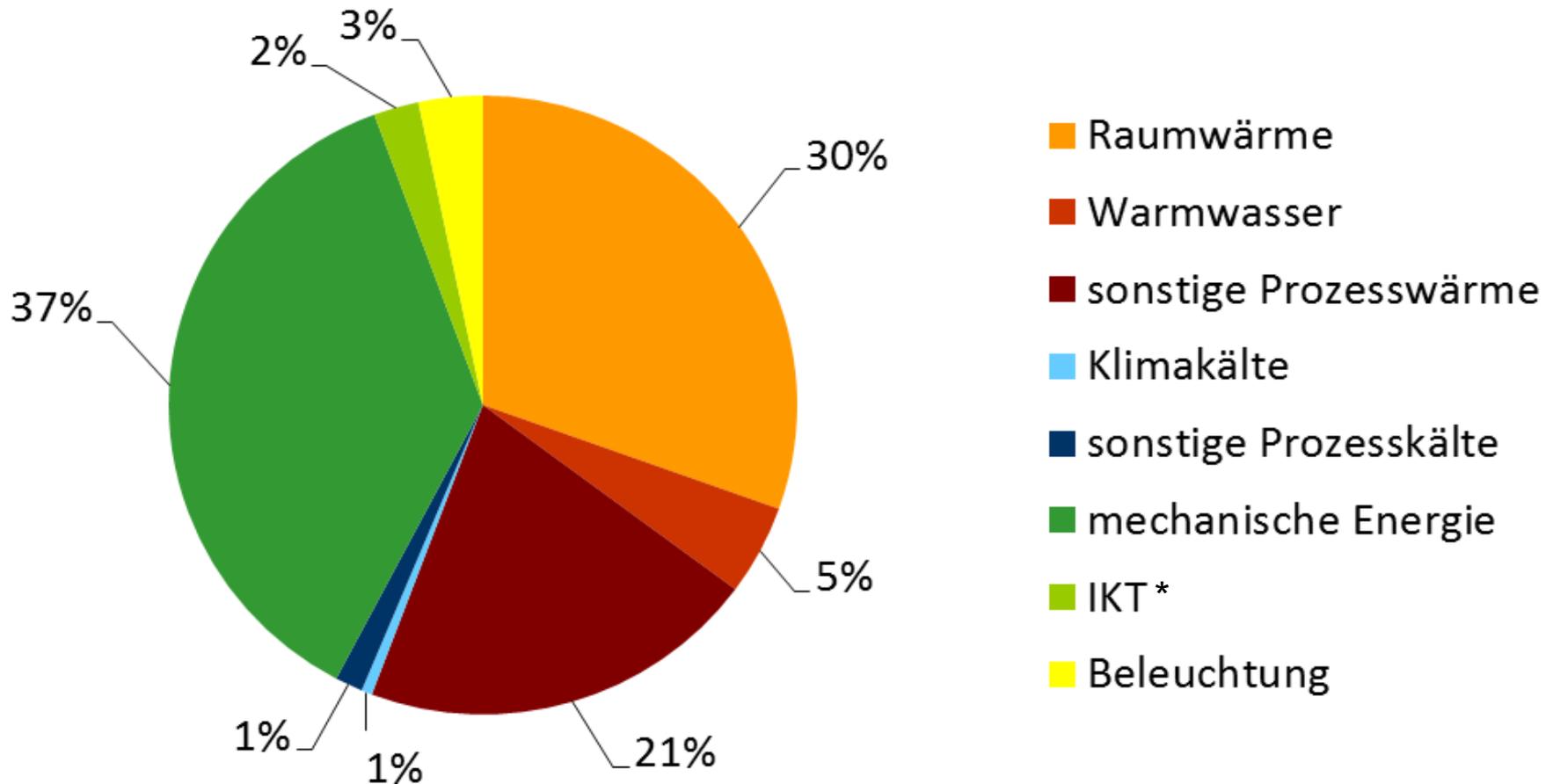
Der **coefficient of performance** ist das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener elektrischer Antriebsleistung inkl. Hilfsenergie unter Prüfbedingungen.

- **JAZ**

Die **Jahresarbeitszahl** ist die tatsächliche Leistungszahl im Betrieb. Sie ist das Ergebnis von Messungen am Stromzähler für die zugeführte elektrische Arbeit (Verdichter, Wärmequellenpumpe) und am Wärmemengenzähler (abgegebene thermische Arbeit der WP) über ein Jahr.

Endenergiebedarf in Deutschland

2527 TWh (2008)

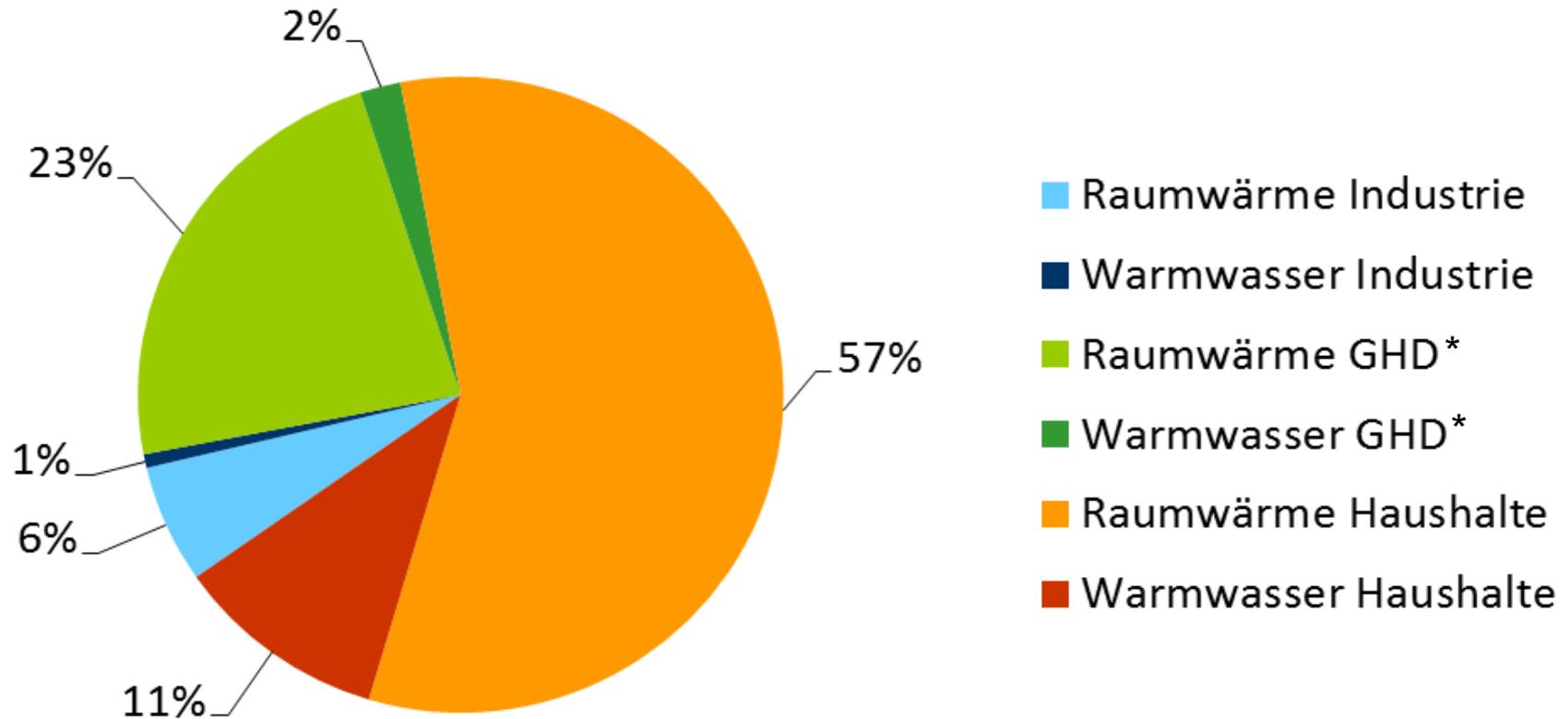


Quelle: BMWi 2011

* Informations- & Kommunikationstechnologie

Bedarf an Raumwärme und Warmwasser

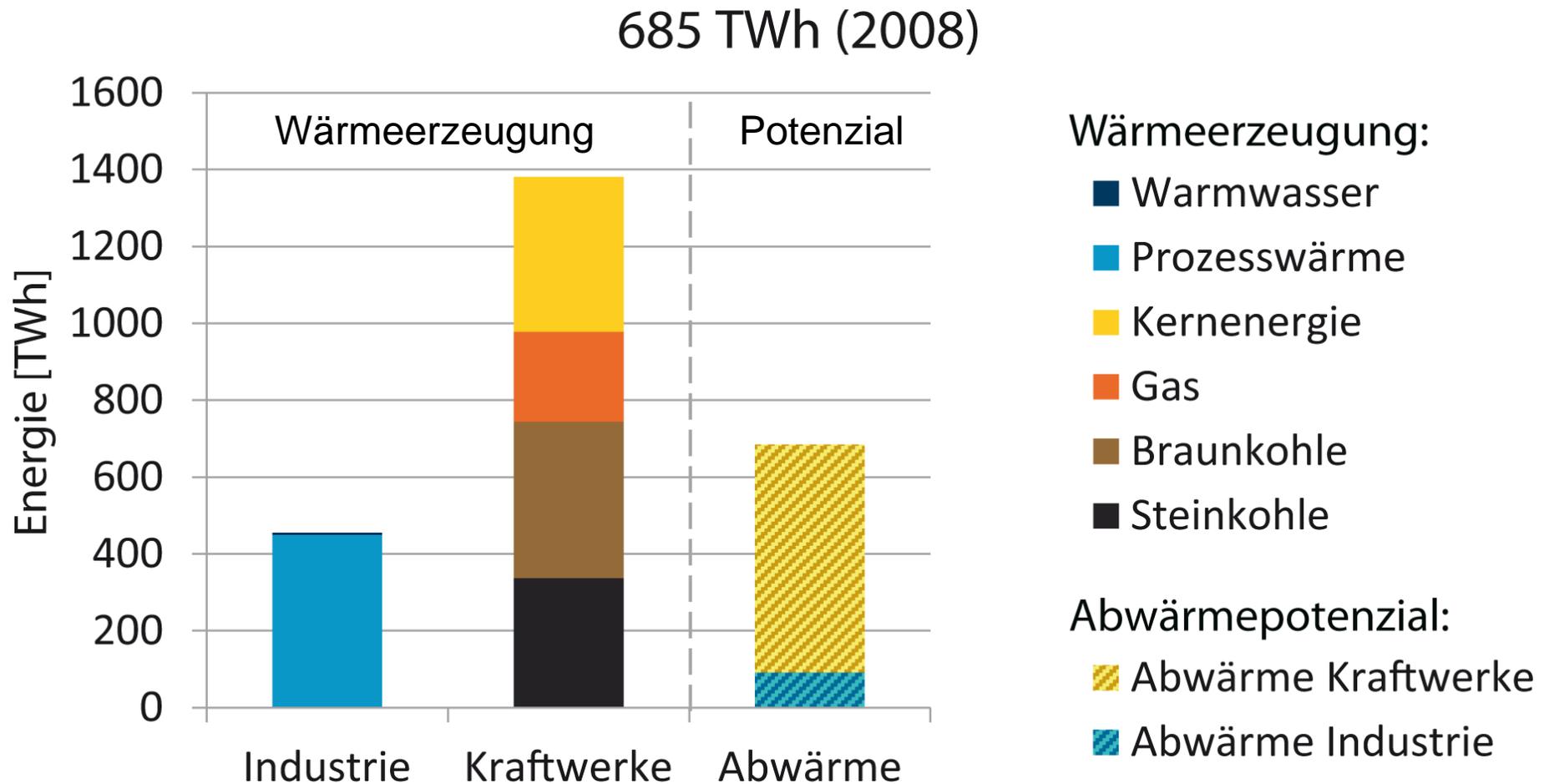
888 TWh (2008)



Quelle: BMWi 2011

* Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Abwärmepotenzial in Deutschland



Quelle: BMWi 2011; eigene Berechnungen



I Abwärmequellen in der Industrie

Wirtschaftszweig	Abwärmepotenzial
Papiergewerbe	Temperaturniveau bis zu 130 °C. In Papierfabriken besteht teilweise bereits eine interne Abwärmenutzung für die Aufbereitung von Recyclingpapier. Der ungenutzte Teilstrom liegt bei rund 10 % der Niedertemperaturnachfrage, der entsprechend zur Abwärmenutzung bereitsteht.
Druckerei	Die meisten Druckereien verfügen über eine Offsetdruckmaschine. Damit die Temperatur im Druckbereich nicht zu hoch wird (unter 55 °C) bzw. die Farbpigmente nicht kristallisieren, werden die Druckwalzen mit Wasser gekühlt. Um hohe Produktionsmengen zu erzielen, durchlaufen die Druckerzeugnisse einen Infrarottrockner, dessen Anteil ca. 40 % des Stromverbrauchs darstellt.
Herst. v. chemischen Erzeugnissen	Größere chemische Betriebe haben zumeist Verbundlösungen für die Produktion der chemischen Erzeugnisse, so dass nur ein geringes Abwärmepotenzial von 2 bis 5 % besteht.
Herst. von Gummi- und Kunststoffwaren	Bei der Plastifizierung und durch die Trocknung des Granulats bzw. des Produktes entsteht Abwärme. Diese diffuse Abwärme kann nur mit zusätzlichen Abluftsystemen und meist geringen Abluftströmen gesammelt werden.
Keramikerzeugnisse	Bei der Keramikerzeugung werden nur 13 bis 14 % der eingesetzten Energiemenge für die chemisch physikalischen Umwandlung im Produkt und die Erreichung der Brenntemperatur benötigt. Es fallen Abgas- und Ausfahrverluste in Höhe von 54 bis 62 % der eingesetzten Wärmemenge an.



II Abwärmequellen in der Industrie

Wirtschaftszweig	Abwärmepotenzial
Glaserzeugung	Bei der Glaserzeugung wird das Gemenge mittels heißer Abgase aus dem Schmelzaggreat auf 450 °C vorgewärmt. In den Glasschmelzwannen wird das Gemenge bei etwa 1.650 °C mittels Brenner und direktem heißem Abluftstrom geschmolzen. Die Rauchgase müssen bei einer Mindesttemperatur von 180 °C mittels Elektrofilter gereinigt werden. Aufgrund dieser Randbedingungen können lediglich rund 7 % der eingesetzten Wärme als Abwärme genutzt werden.
Zementherstellung	Typische Abwärmequellen in einem Zementwerk sind die etwa 350 °C heißen Abgase des Ofensystems sowie die Kühlluft, mit der der Klinker von etwa 1450 °C auf etwa 100 °C gekühlt werden. Von diesen Abwärmequellen ist ein Rest-kühlluftstrom von über 250 °C als Abwärme nutzbar. Die nutzbare Abwärme beträgt rund 9 % des gesamten Wärmebedarfs.
Stahlerzeugung	Das bei der Stahlschmelze, z. B. in Stoßöfen, freigesetzte Abgas wird meist ungenutzt mit einer Temperatur von um die 540 °C in die Kamine geführt. Mit Hilfe von Wärmetauschern könnte ungefähr 3,6 % des gesamten Energieverbrauchs dadurch nutzbar gemacht werden.
Aluminiumschmelzen und Gießereien	Aluminium bzw. Sekundäraluminium wird in Öfen bei 800 °C aufgeschmolzen. Die Abgase werden abgeführt, durch einen Quencher abgekühlt und durch Elektrostaubfilter gereinigt. Ca. 70 % der eingesetzten Wärmeenergie werden hierbei als Abwärme frei. Der Prozess ist jedoch meist nicht kontinuierlich und die Abgase können hohe Schwefelgehalte aufweisen, die u. U. zu Säurebildung und Korrosion führen.



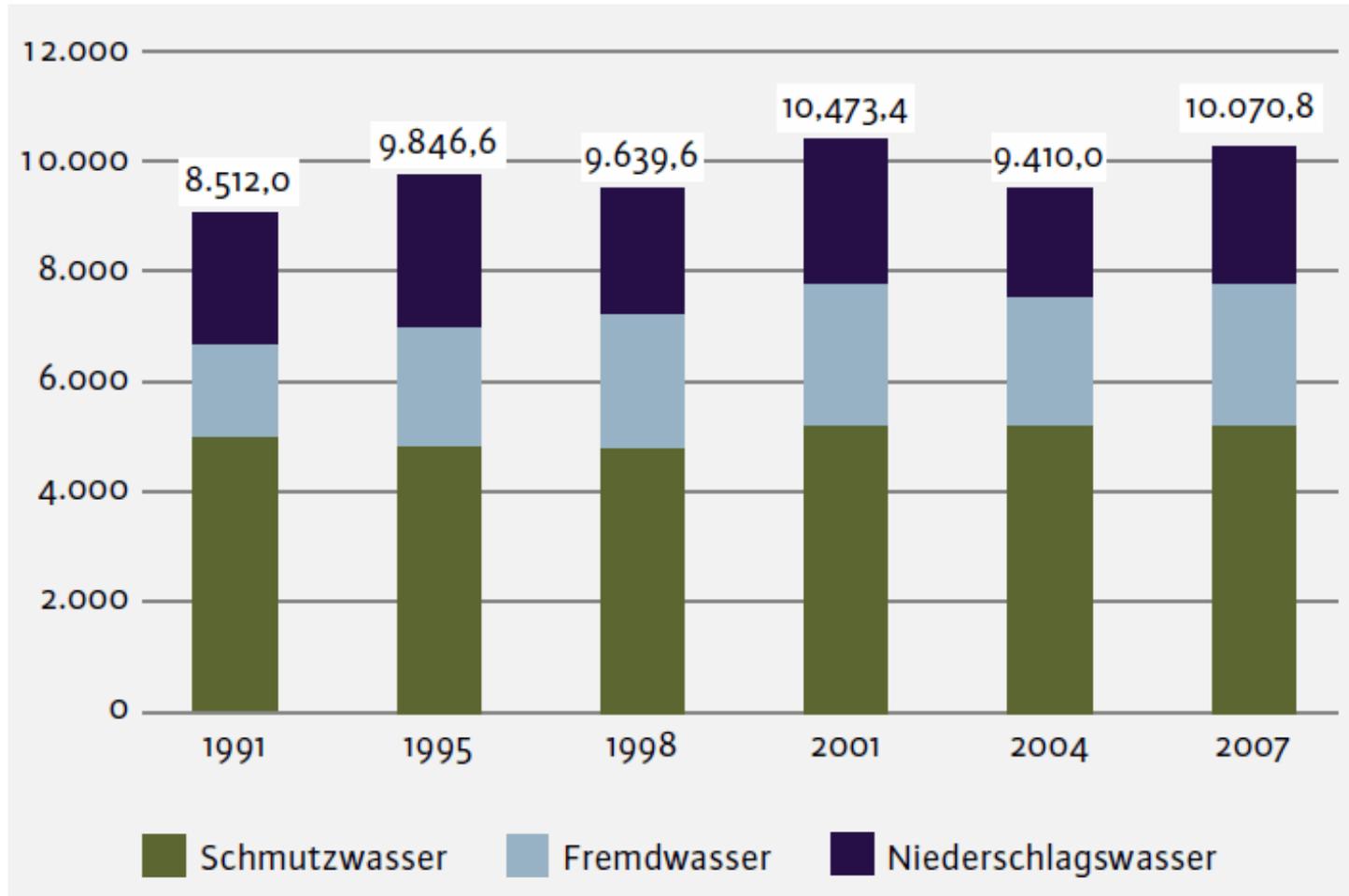
Empfehlungen für die Abwasserwärmenutzung

Abwassertemperatur an der Kläranlage:	> 8 °C
Abflussmenge:	> 15 bis 40 l/s
Abgenommene Wärmeleistung:	≥ 30 kW
Kanaldurchmesser:	≥ DN 300
Entfernung zum Kanal:	< 100 bis 300 m
bei großer Wärmeabnahme und unüberbautem Gebiet	< 1000 m

Geeignete Abwassermengen und Kanalquerschnitte sind üblicherweise bei Kommunen ab 5000 Einwohnern anzutreffen.

Quellen: Hagspiel 2007; DBU 2009

Abwasseraufkommen in Deutschland [Mio. m³]



Quelle: Grundmann et al. 2010



Struktur des Abwasseraufkommens

▲ Abwasseraufkommen im Jahr 2007 in Deutschland: $10 * 10^9 m^3$

Unterteilung in verschiedene Abwassertypen:

- Schmutzwasser: $5,2 * 10^9 m^3$ → 52 %
- Fremdwasser: $2,1 * 10^9 m^3$ → 21 %
- Regenwasser: $2,7 * 10^9 m^3$ → 27 %

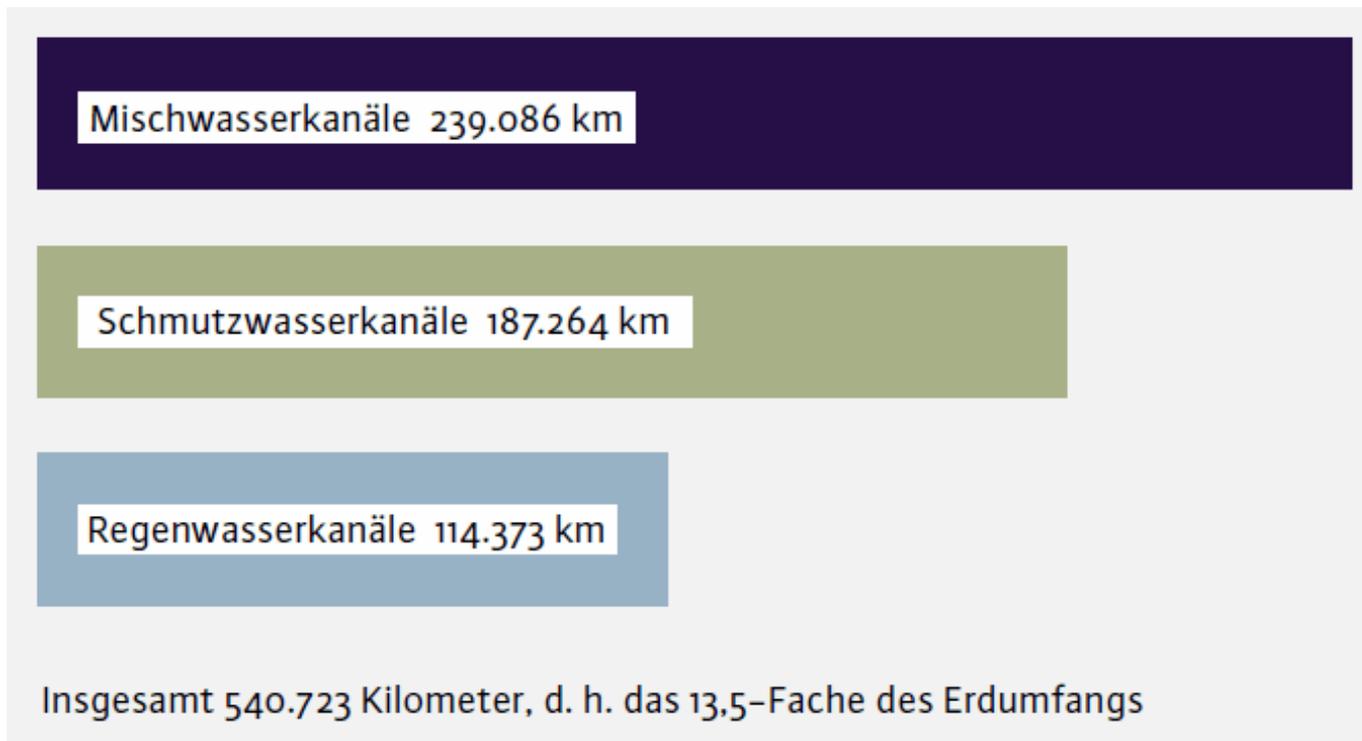
Für die energetische Nutzung kann aufgrund ihres relativ konstanten Mengenaufkommens nur mit $7,3 * 10^9 m^3$ Schmutz- und Fremdwasser gerechnet werden.

Quelle: Statistisches Bundesamt 2009



Struktur des deutschen Kanalnetzes

44 % der deutschen Abwassernetzes sind Mischwassersysteme. Der Rest teilt sich auf in reine Schmutzwasser- (35 %) bzw. Regenwassersysteme (21 %).



Quelle: Grundmann et al. 2010



Kanalquerschnitte

In einer Potenzialstudie zur Nutzung von Abwasserwärme wurden rund 87300 km Abwassernetze in NRW untersucht. Das entspricht 16,1 % des gesamten Abwassernetzes in Deutschland.

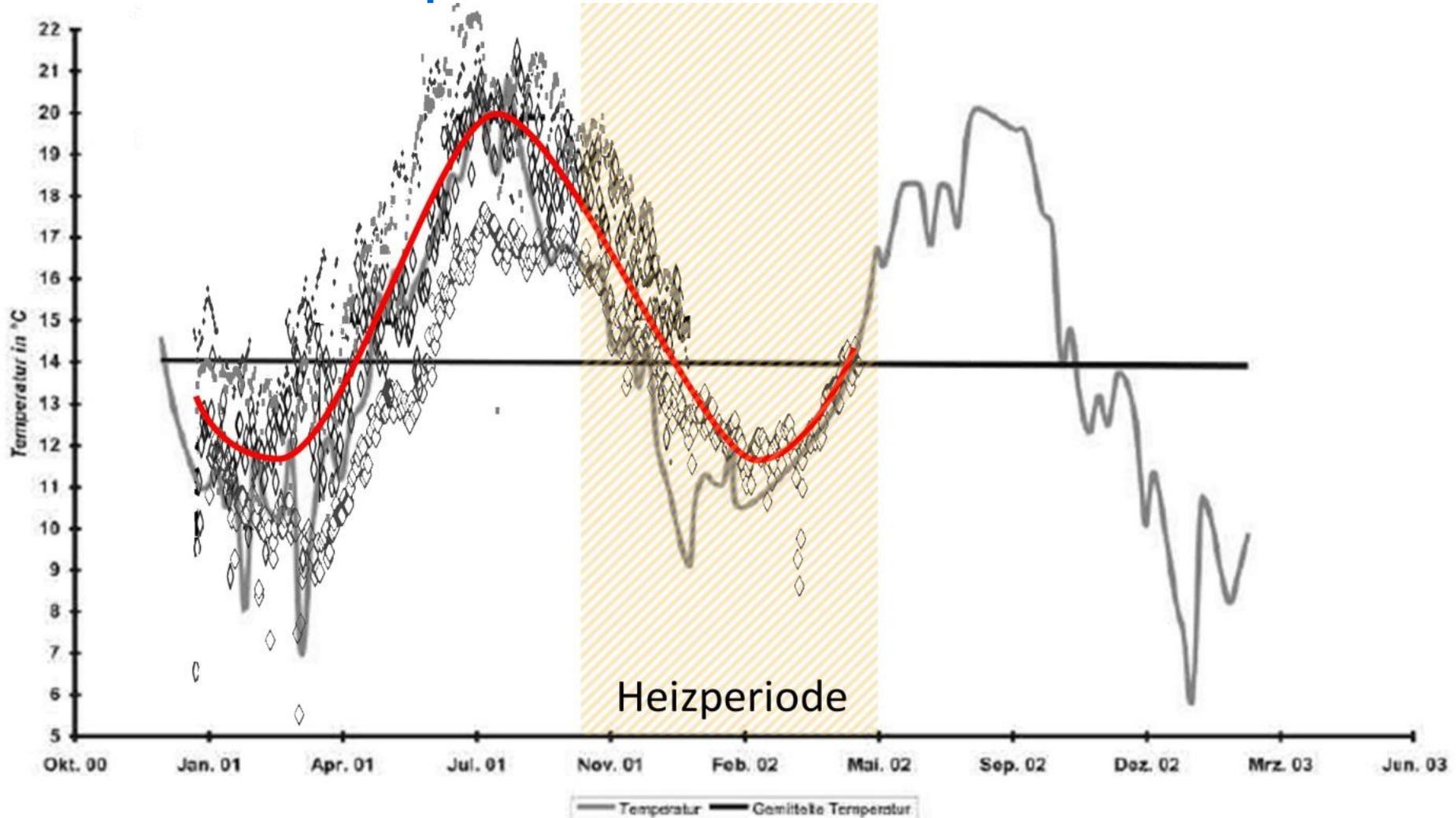
11,8 % des Kanalnetzes hat einen Durchmesser von mindestens 800 mm.

Daraus ergibt sich eine nutzbare Kanallänge von **10.301 km** in NRW. Extrapoliert man diesen Anteil auf das gesamte deutsche Kanalnetz, so erhält man **63.805 km** geeignete Kanallänge.

Zahlen zu Kanälen mit einem Durchmesser $>$ DN 300 sind nicht bekannt.

Quellen: Rometsch 2004; Statistisches Bundesamt 2009

Abwassertemperatur im Jahresverlauf



Quellen: Schmid 2009, Baumann und Lopp 2009, Gujer 2007, Piller et al. 2004



Abwassertemperatur

Die Abwassertemperatur folgt im wesentlichen der Erdreichtemperatur in rund 4 m Tiefe. Sie schwankt im jährlichen Rhythmus zwischen 10 °C im Februar und 20 °C im September.

Negative Ausreißer bis zu 6 °C im Frühjahr werden von der Schneeschmelze verursacht. Vereinzelt können im Sommer auch positive Ausreißer bis zu 23 °C auftreten. Sie sind zurückzuführen auf industrielle Abwassereinleitung sowie die Zuführung von oberirdischen Fließgewässern.



II. Potenzialermittlung

1. Darstellung existierender Potenzialstudien
2. Eigene Potenzialberechnungen



Potenzialstudien zur Abwasserwärmenutzung

Theoretisch nutzbares Potenzial für Abwasserwärme:

- Schweiz (Gutzwiller et al. 2008):
 - i. 1,3 % (3,25 TWh) des Schweizer Endenergieverbrauchs
Abwasserwärmeentnahme nach der Kläranlage und Versorgung von Verbrauchern über ein Nahwärmenetz im 3 km Umkreis.
- Freiburg (Hagspiel 2007):
 - i. 2 % des Freiburger Endenergieverbrauchs
Eine recht kritische Auseinandersetzung mit dem Thema Abwasserwärme.
- NRW (Rometsch 2004):
 - i. 0,09 bis 0,14 % des Kanalnetzes pro Jahr
Mittlerweile veraltete Annahmen zur Potenzialbestimmung. Beschränkung auf Neubau von Kanälen mit einem Durchmesser \geq DN 800.



Eigene Potenzialberechnungen - Grundlagen

▲ Abbildung des jährlichen Temperaturverlaufs:

$$y = \left(\sin \left(\frac{2\pi(x + 5130)}{8760} \right) * 5 + 15 \right)$$

Wärmekapazität von Abwasser:

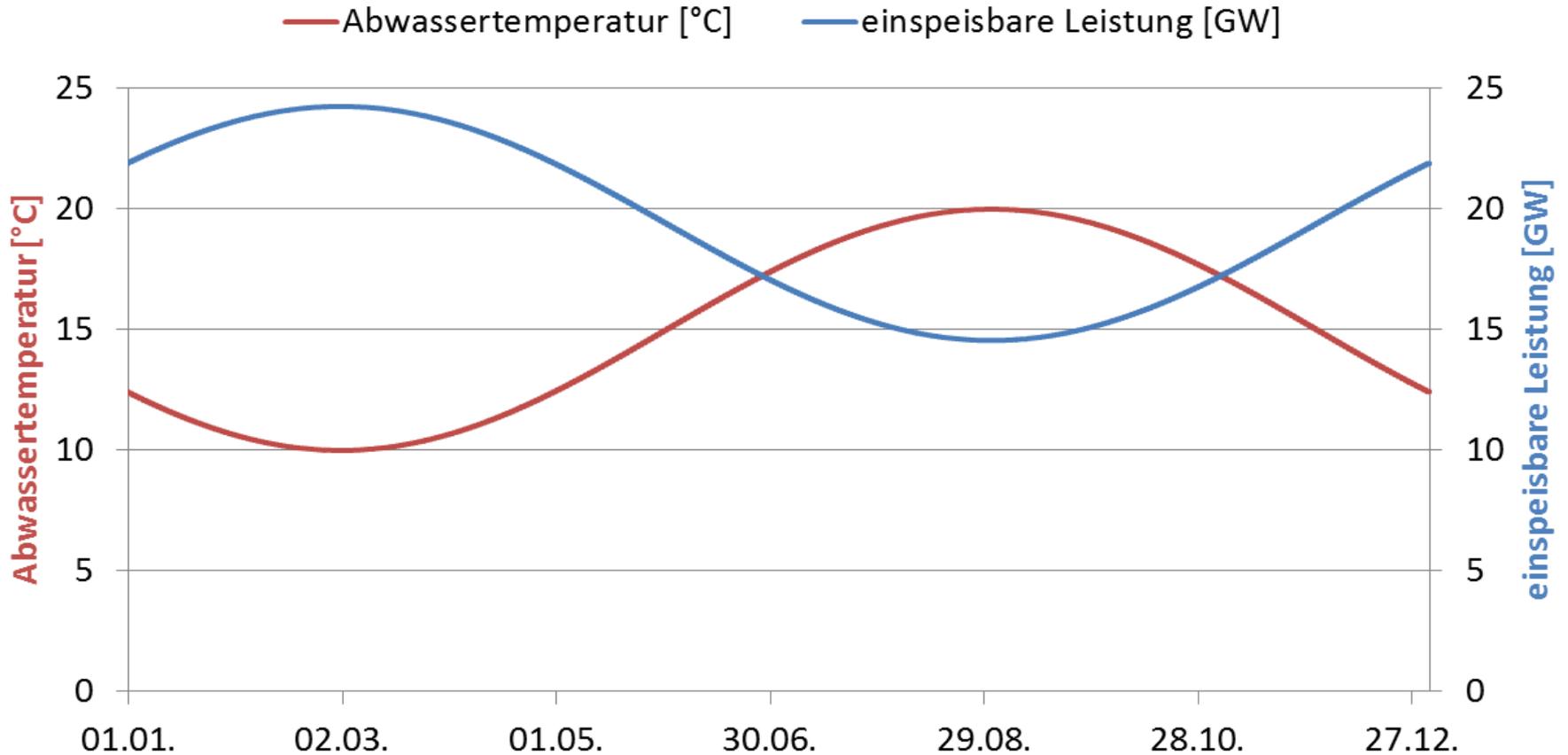
$$c_{spez} = 4,187 \frac{kJ}{kg K} = 1,163 \frac{kWh}{m^3 K}$$

Jährliche Schmutz- und Fremdwassermenge in Deutschland:

$$V_{SW+FW} \approx 7,31 * 10^9 [m^3]$$

Kapazität des deutschen Kanalnetzes

einspeisbare Leistung bei einer Temperaturobergrenze von 35 °C





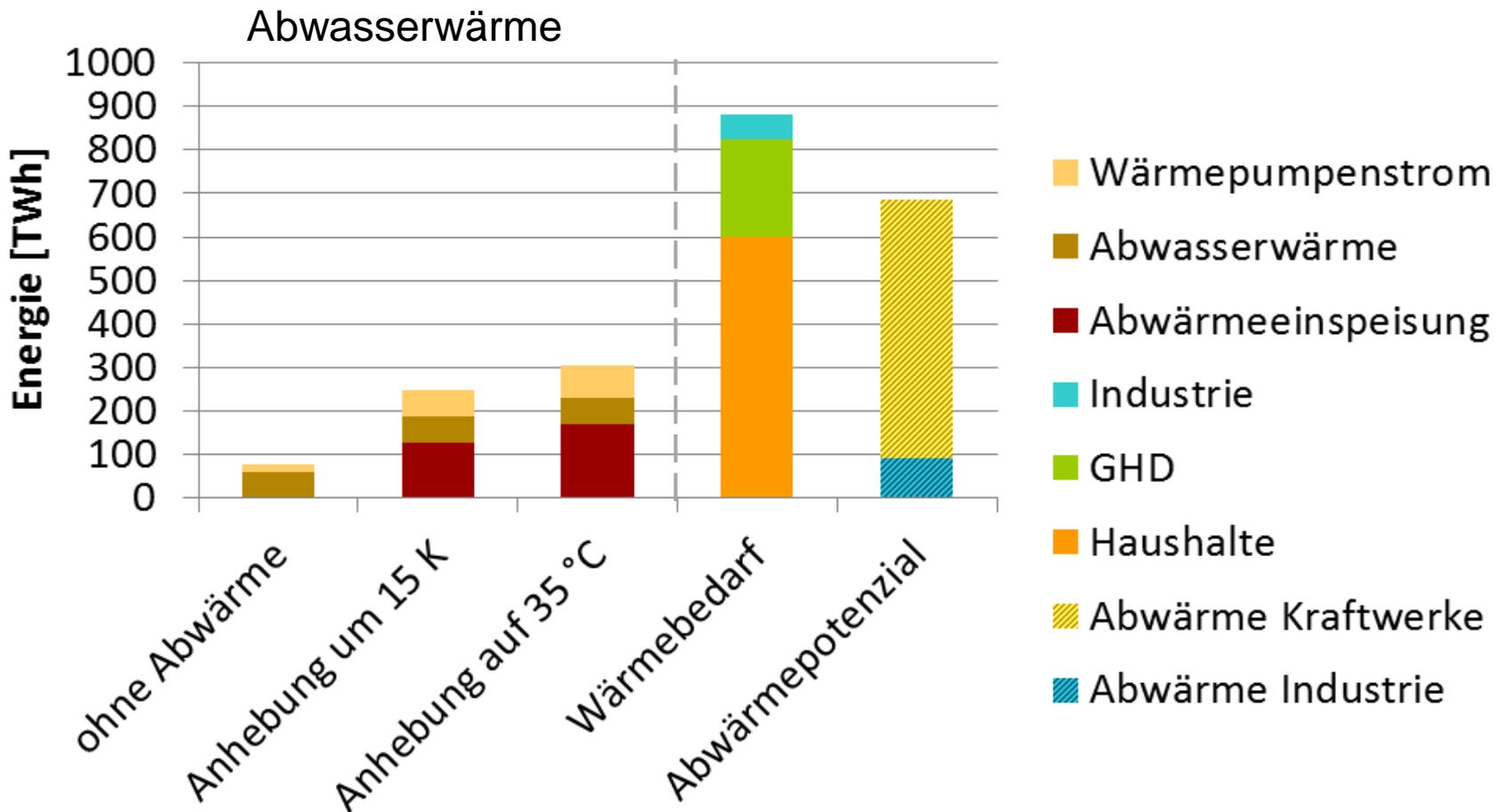
Eigene Potenzialberechnungen

Der deutsche Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasser beträgt 888,3 TWh. Für die Wärmepumpe wird eine JAZ von 4,0 angenommen. Das Abwasser wird auf 8 °C abgekühlt.

- Ohne eine zusätzliche Einleitung von Abwärme können 79 TWh (8,9 %*) gedeckt werden. 36 % der Abwasserwärme stehen während der Heizperiode zur Verfügung.
- Bei einer konstanten Abwärmeeinleitung und der Anhebung des Abwassers um 15 K können 249 TWh (28,0 %*) abgedeckt werden.
- Beim Halten von 35 °C Abwassertemperatur über das ganze Jahr können 306 TWh (34,4 %*) der Warmwasser und Raumwärmeversorgung abgedeckt werden.

*) Anteil am deutschen Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser

Theoretisches Potenzial für die Nutzung von Abwasserwärme





Theoretisches Potenzial für die Nutzung von Abwasserwärme - Erläuterungen

Bewertung des Potenzials:

- Durch die Einspeisung von Abwärme lässt sich das Potenzial für die Abwasserwärmenutzung von 8,9 % um den Faktor 3 auf 28,0 % des deutschen Energiebedarfs für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung steigern.
- Es ist genügend Abwärme vorhanden, um das Potenzial zu decken.



III. Ökonomische Betrachtung

1. Betrachtung von 2 Beispielanlagen
2. Auswirkung der Temperaturerhöhung auf die Wirtschaftlichkeit

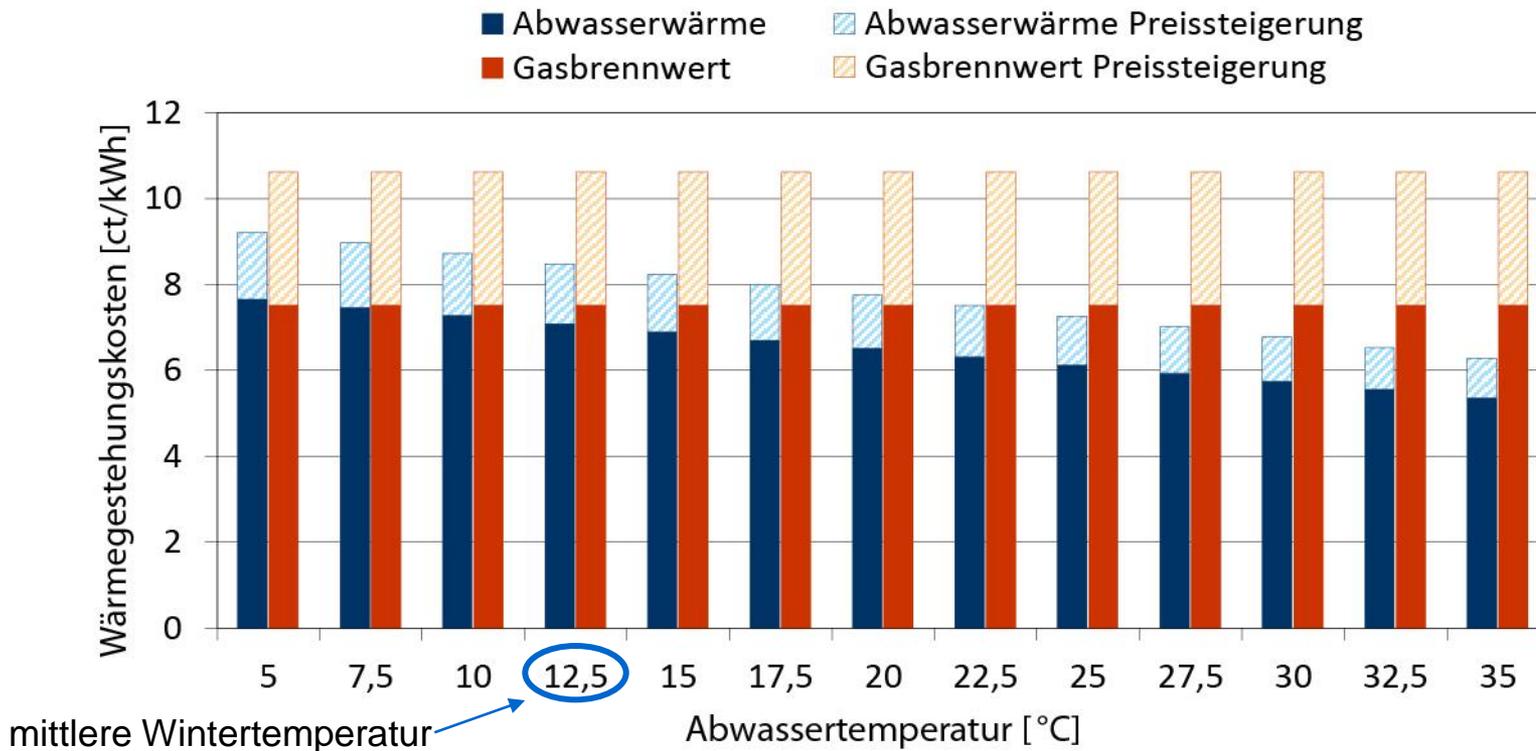


Betrachtung von zwei Beispielanlagen

technische Daten	Beispiel 1	Beispiel 2	Einheit
Heizleistung Gaskessel	200	200	[kW]
Heizleistung Wärmepumpe	80	120	[kW]
Heizwärmebedarf	300	600	[MWh/a]
Deckungsanteil Wärmepumpe	95%	84%	
Vorlauftemperatur	55	50	[C]
Jahresarbeitszahl	3,8	4,3	
Wärmetauscheranlage	42	50	[m]

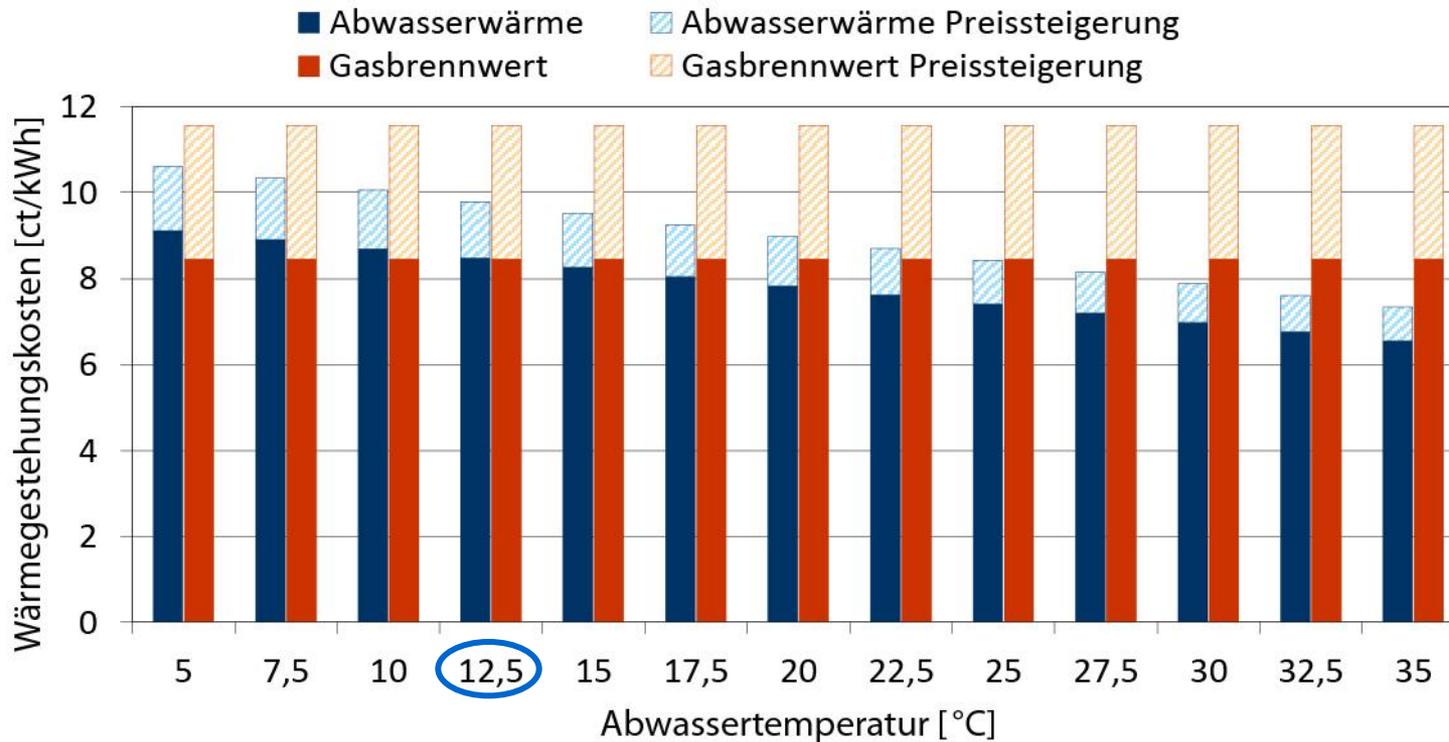
ökonomische Daten	Beispiel 1	Beispiel 2	Einheit
Wärmequellenerschließung	51600	95000	[€]
Wärmepumpe	30000	60000	[€]
Kessel	12740	12740	[€]
Heiztechnik	149780	38320	[€]
Erdgaspreis (2010)	5,19	5,19	[€/kWh]
Strompreis (2010)	14,77	14,77	[€/kWh]
Lebensdauer Wärmetauscher	50	50	[a]
Lebensdauer Wärmepumpe	20	20	[a]

Auswirkungen der Abwassertemperatur auf die Wärmegestehungskosten: Beispiel 1



Strompreissteigerung: 2,5 % pro Jahr
 Erdgaspreissteigerung: 4 % pro Jahr

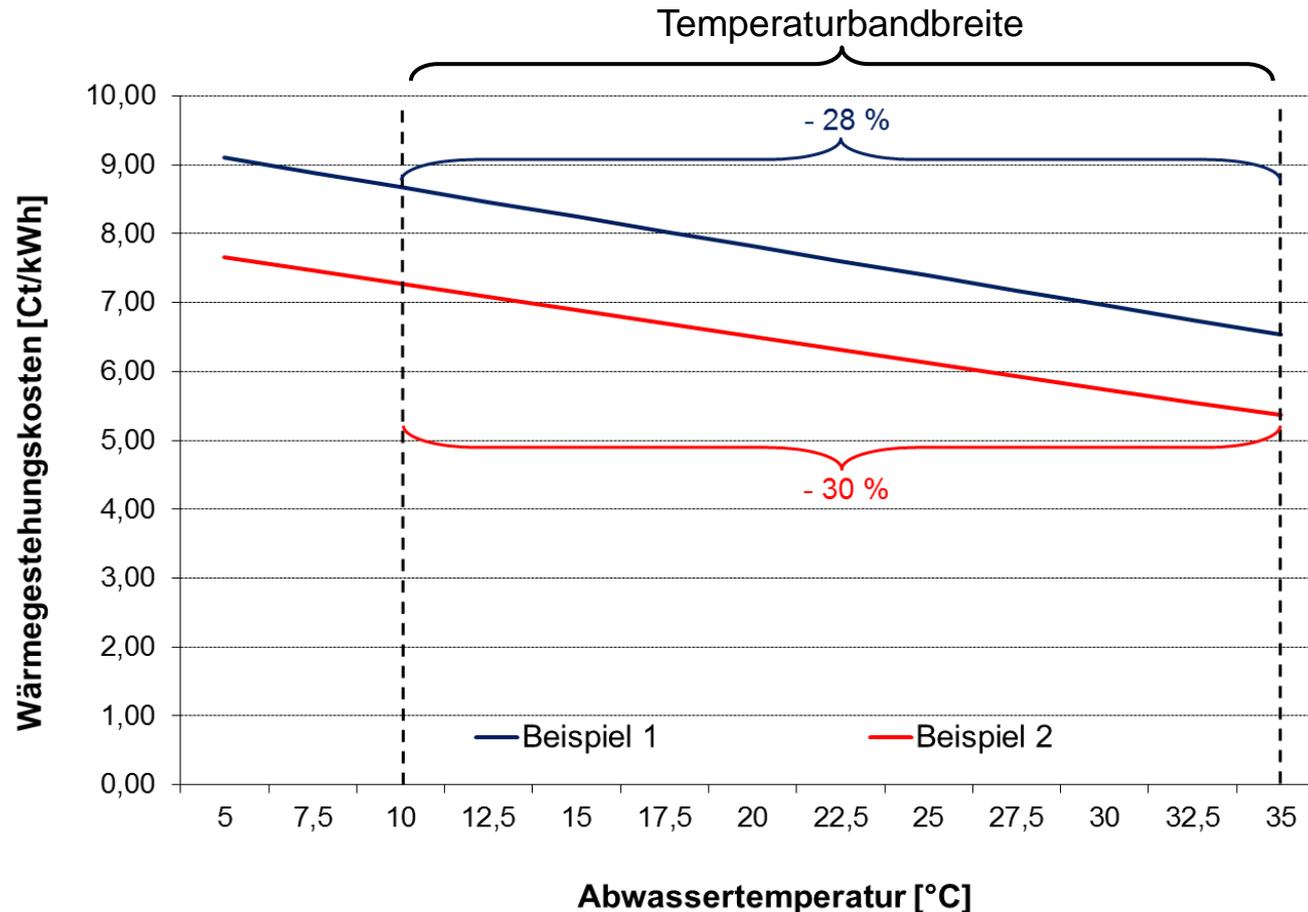
Auswirkungen der Abwassertemperatur auf die Wärmegestehungskosten: Beispiel 2



Strompreissteigerung: 2,5 % pro Jahr
 Erdgaspreissteigerung: 4 % pro Jahr



Auswirkungen der Abwassertemperatur auf die Wärmegestehungskosten

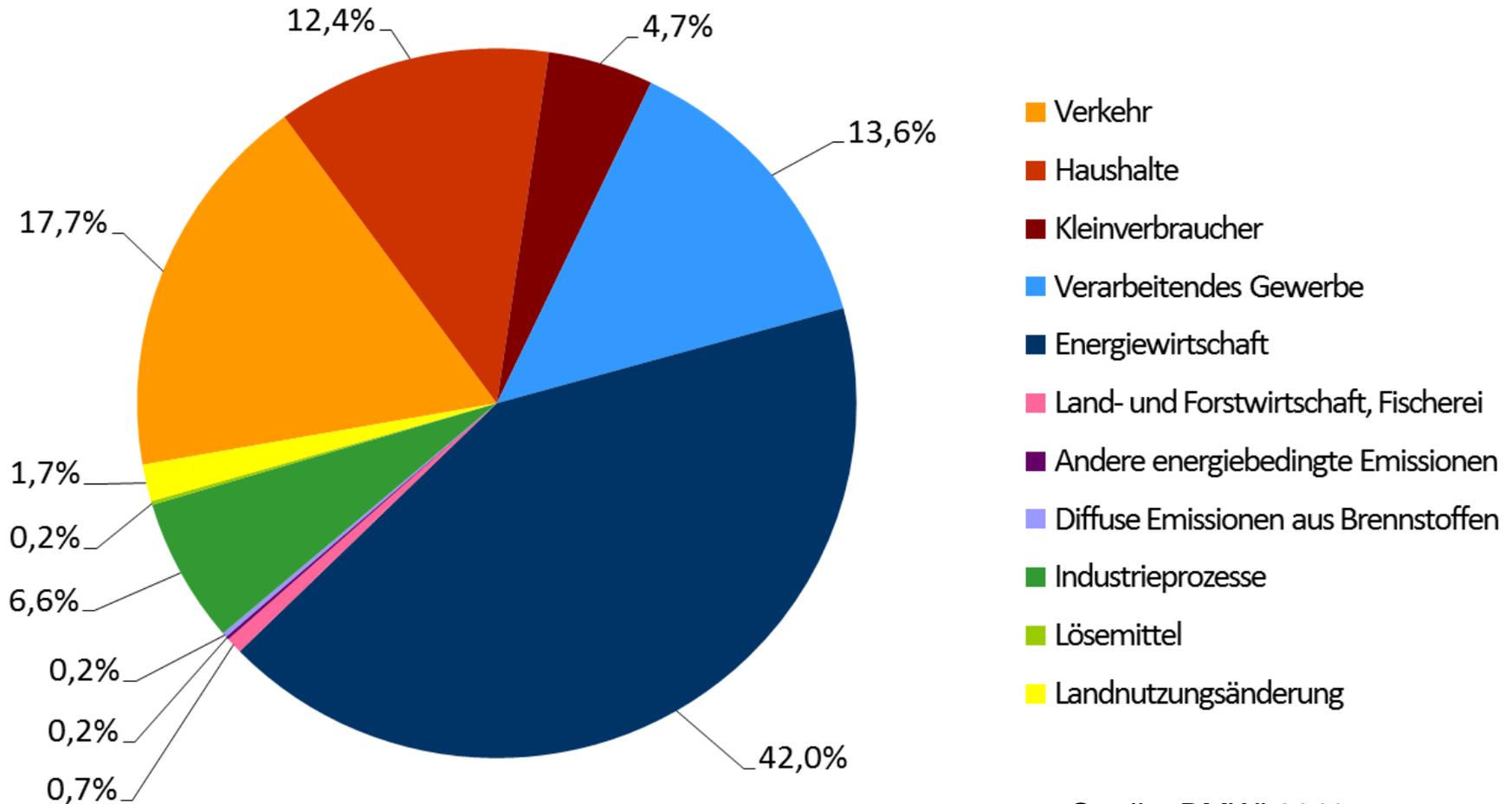




V. Betrachtung der CO₂-Emissionen

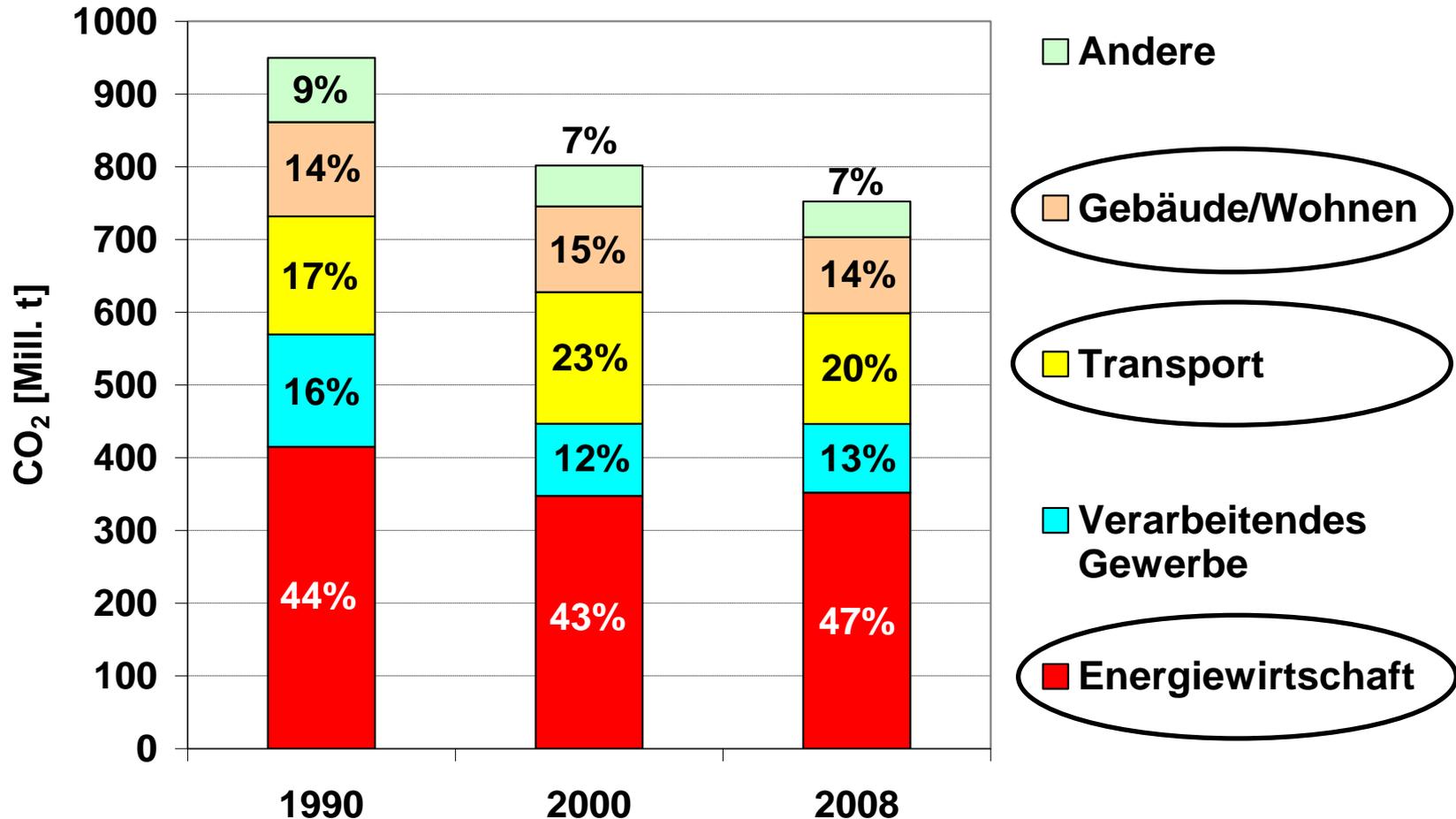
1. CO₂-Emissionen in Deutschland
2. CO₂-Einsparungen
3. CO₂-Fördereffizienz

CO₂-Emissionen in Deutschland: 862 Mio. Tonnen im Jahr 2008



Quelle: BMWi 2011

Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland nach Sektoren



Quelle: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, UBA (2010)

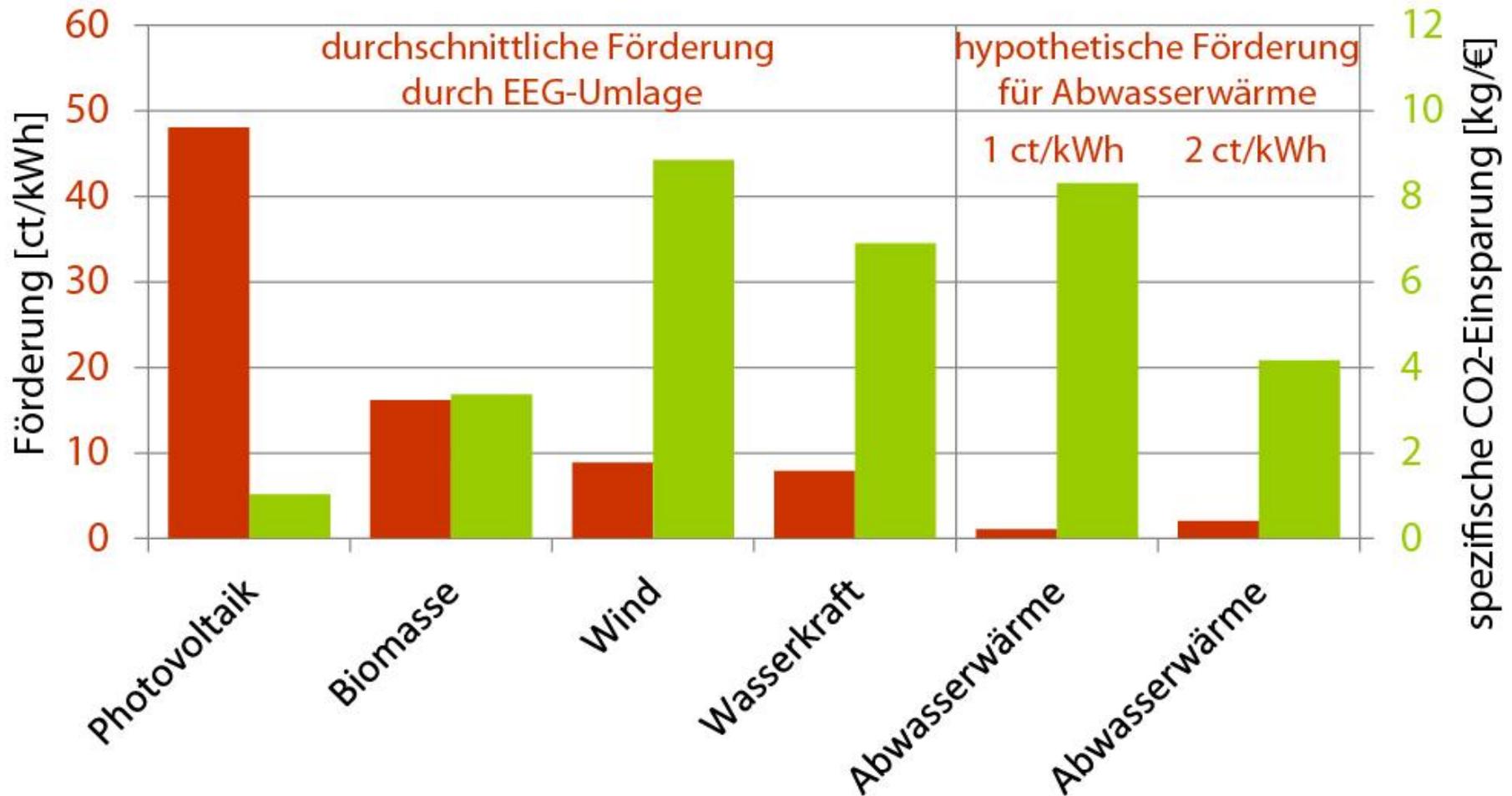


CO₂-Einsparungen

- Nutzung von Abwasserwärme ohne zusätzliche Abwärmeeinspeisung:
 - 6,5 Mio. Tonnen → 6,14 % der CO₂ Emissionen privater Haushalte
 - 0,76 % der gesamten Deutschen CO₂ Emissionen
- Nutzung von Abwasserwärme bei konstanter Einspeisung von Abwärme und Anhebung der Abwassertemperatur um 15 K:
 - 20,7 Mio. Tonnen → 19,46 % der CO₂ Emissionen privater Haushalte
 - 2,40 % der gesamten Deutschen CO₂ Emissionen

CO₂-Fördereffizienz (2010)

■ Förderung ■ spezifische CO₂-Einsparungen





Berechnung der CO₂-Fördereffizienz

- Förderung:
 - i. Die Höhe der Förderung für die einzelnen Stromerzeugungstechnologien Photovoltaik, Biomasse, Wind- und Wasserkraft berechnet sich aus deren Anteilen an der EEG-Umlage und der eingespeisten Energie (BDEW 2010).
 - ii. Für die Nutzung von Abwasserwärme wird eine hypothetische Förderung von 1 bzw. 2 ct pro kWh erzeugter Wärme angenommen.
- CO₂-Fördereffizienz
 - i. Die spezifischen CO₂-Fördereffizienz ergeben sich aus dem Verhältnis von vermiedenen CO₂-Emissionen zur eingesetzten Fördersumme.
 - ii. Als Quelle für die jeweiligen CO₂-Emissionen dienen Daten des VDI (Wagner 2007) sowie des Umweltbundesamtes (Müller 2010).
 - iii. Als Referenz für die Stromerzeugungstechnologien werden die spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Strommix angenommen. Für die Abwasserwärme ist die Referenztechnologie ein Gasbrennwertgerät.

Fazit zu CO₂-Fördereffizienz und CO₂-Einsparungen

- Fördereffizienz:

Bei einer hypothetischen Förderung von 1 ct/kWh für die Wärmegewinnung aus Abwasser läge die CO₂-Fördereffizienz in etwa auf dem Niveau der Windenergie.

Die CO₂-Fördereffizienz für die Nutzung von Abwasserwärme wäre dabei um 28 % höher als bei der Wasserkraft und um 738 % größer als bei der Photovoltaik.

- Einsparungen:

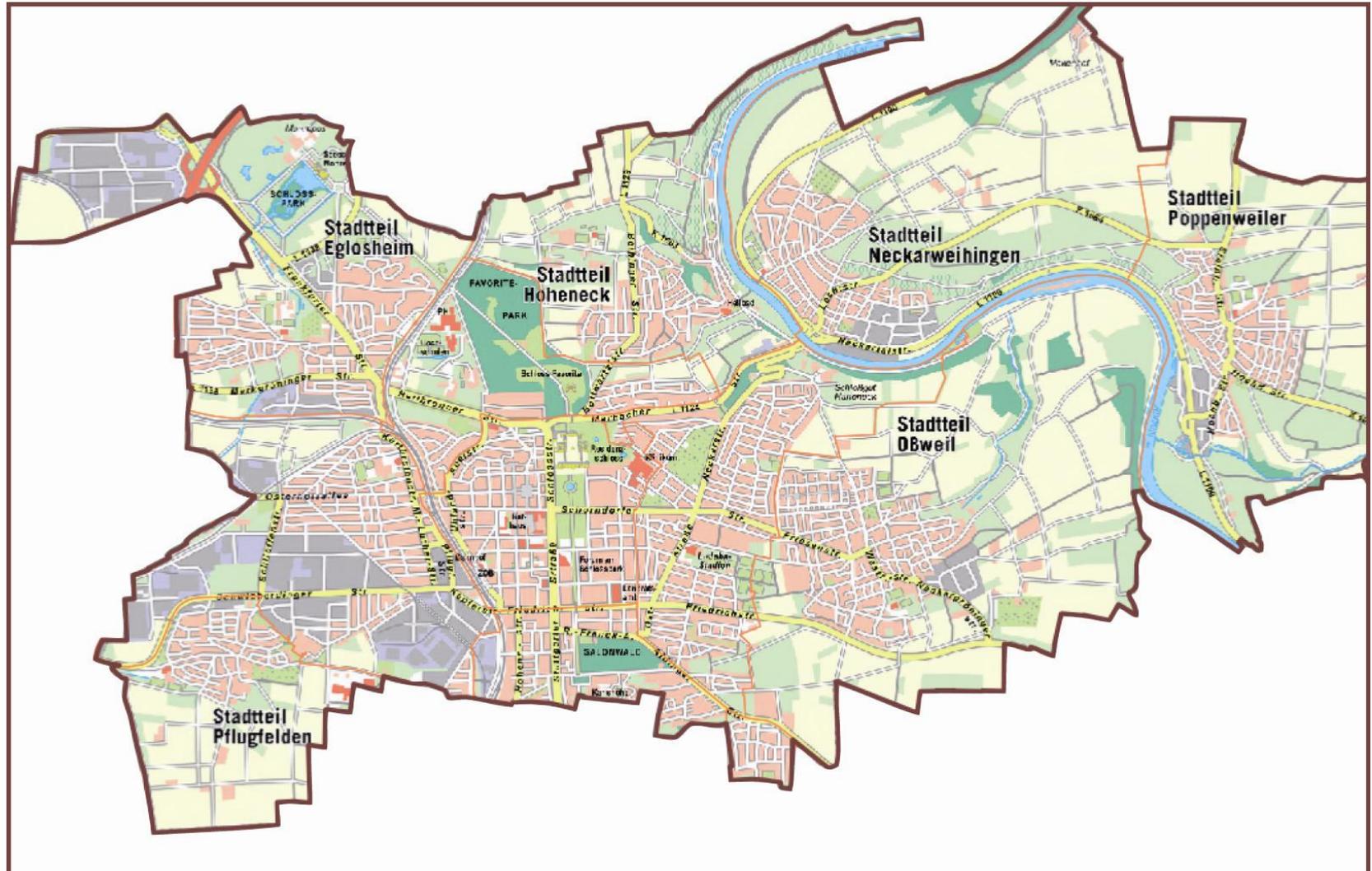
Bei zusätzlicher Einleitung von Abwasserwärme können bis zu 2,4 % der gesamten deutschen CO₂-Emissionen eingespart werden. Das entspricht 19,4 % der von privaten Haushalten verursachten CO₂-Emissionen.



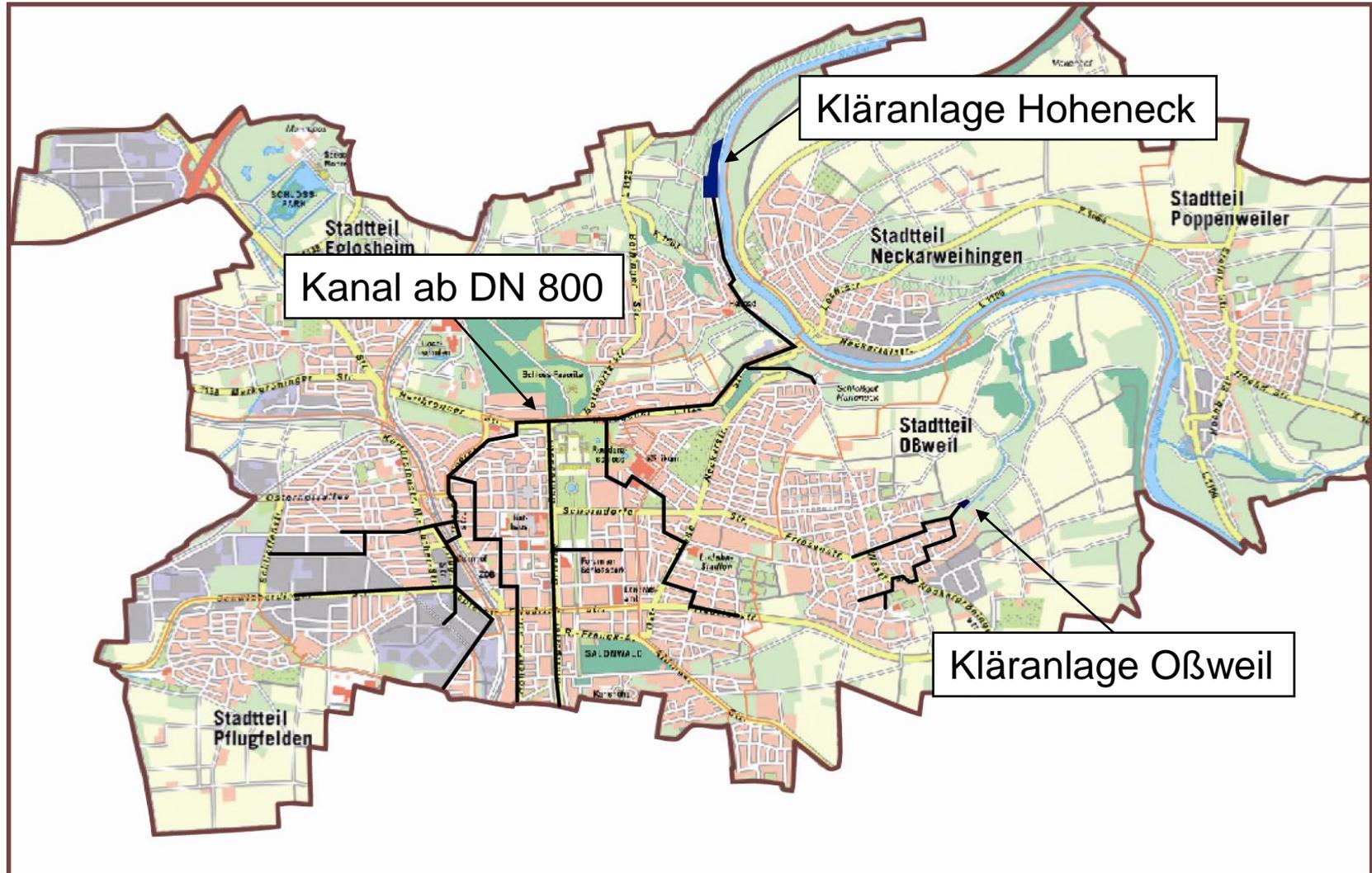
V. Kanal als Nahwärmenetz am Beispiel Ludwigsburg

1. Lage der geeigneten Abwasserkanäle
2. Lage der Industrie
3. Lage möglicher Verbraucher
4. Versorgungsmöglichkeiten mit Abwasserwärme
5. Berechnung eines Potenzials für die Nutzung von Abwasserwärme

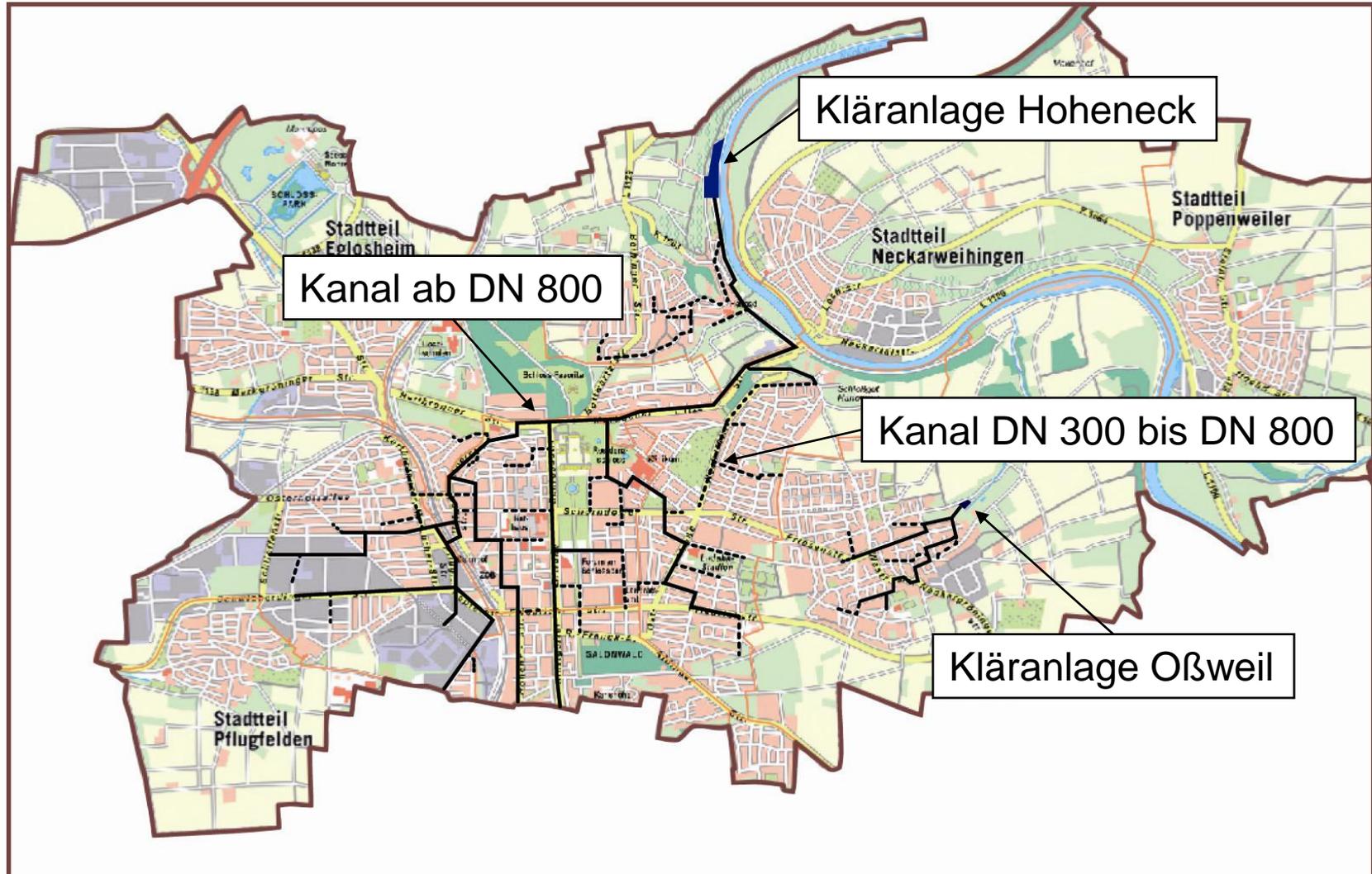
Stadtgebiet von Ludwigsburg



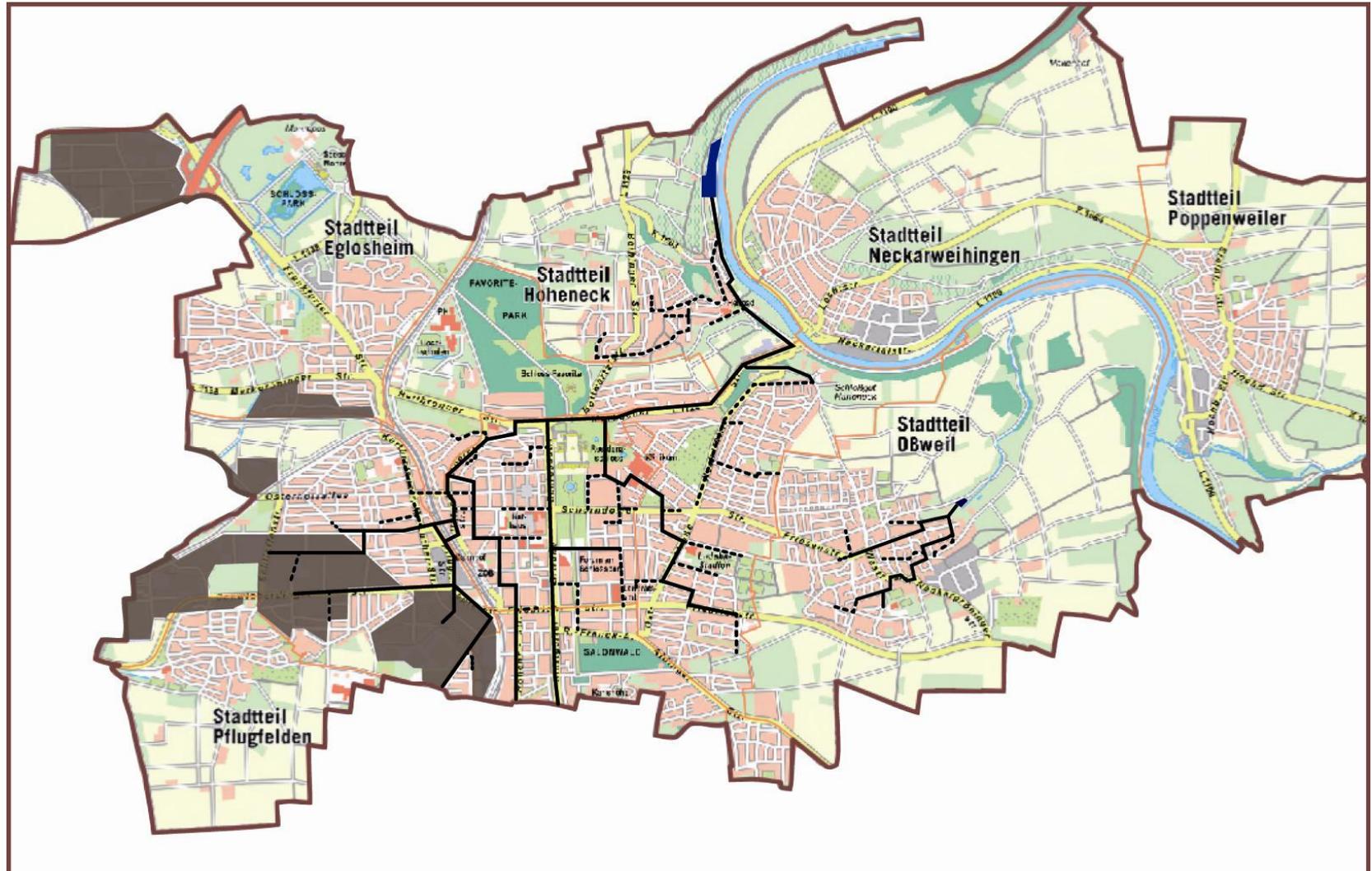
Lage geeigneter Abwasserkanäle \geq DN 800



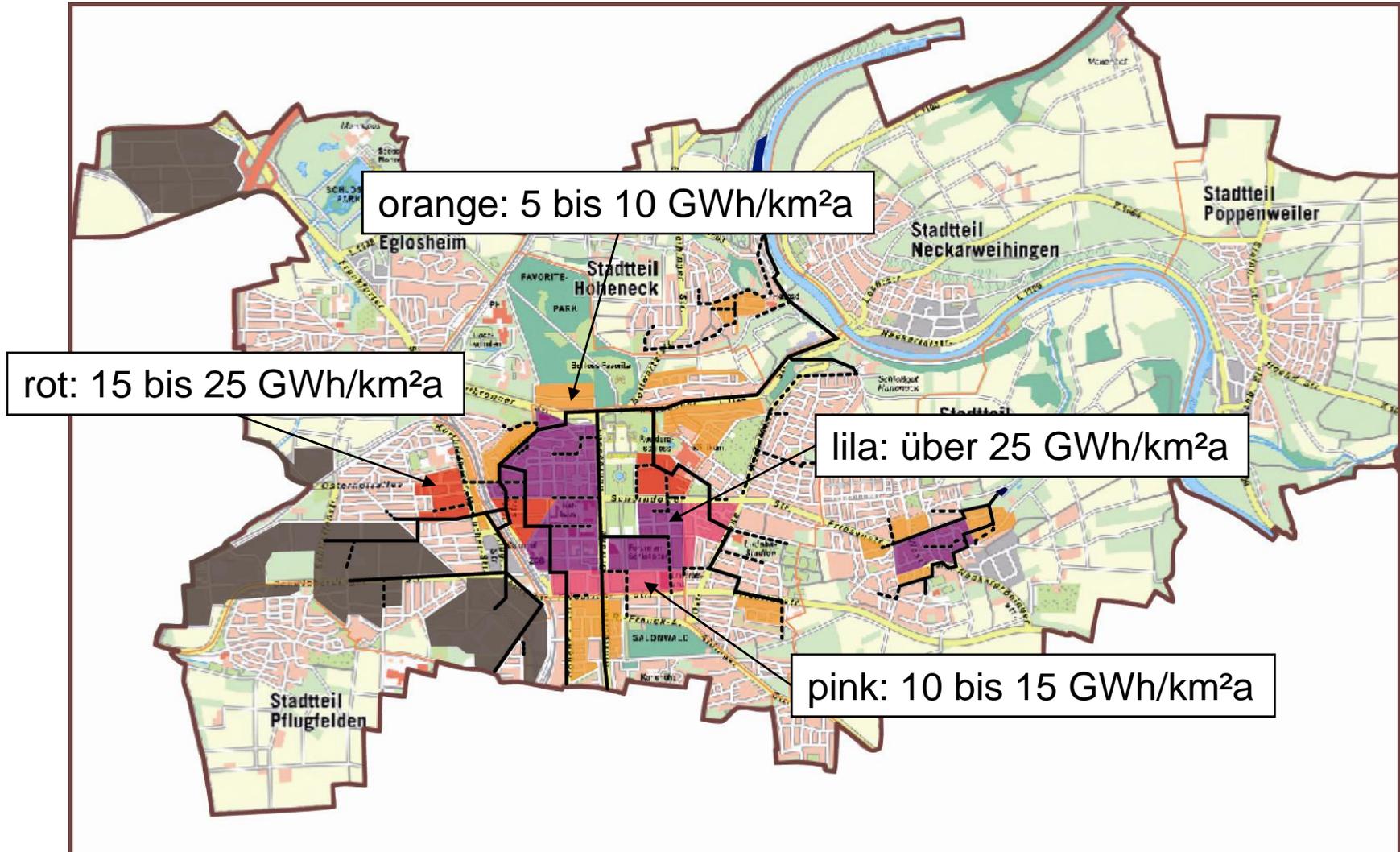
Lage geeigneter Abwasserkanäle \geq DN 300



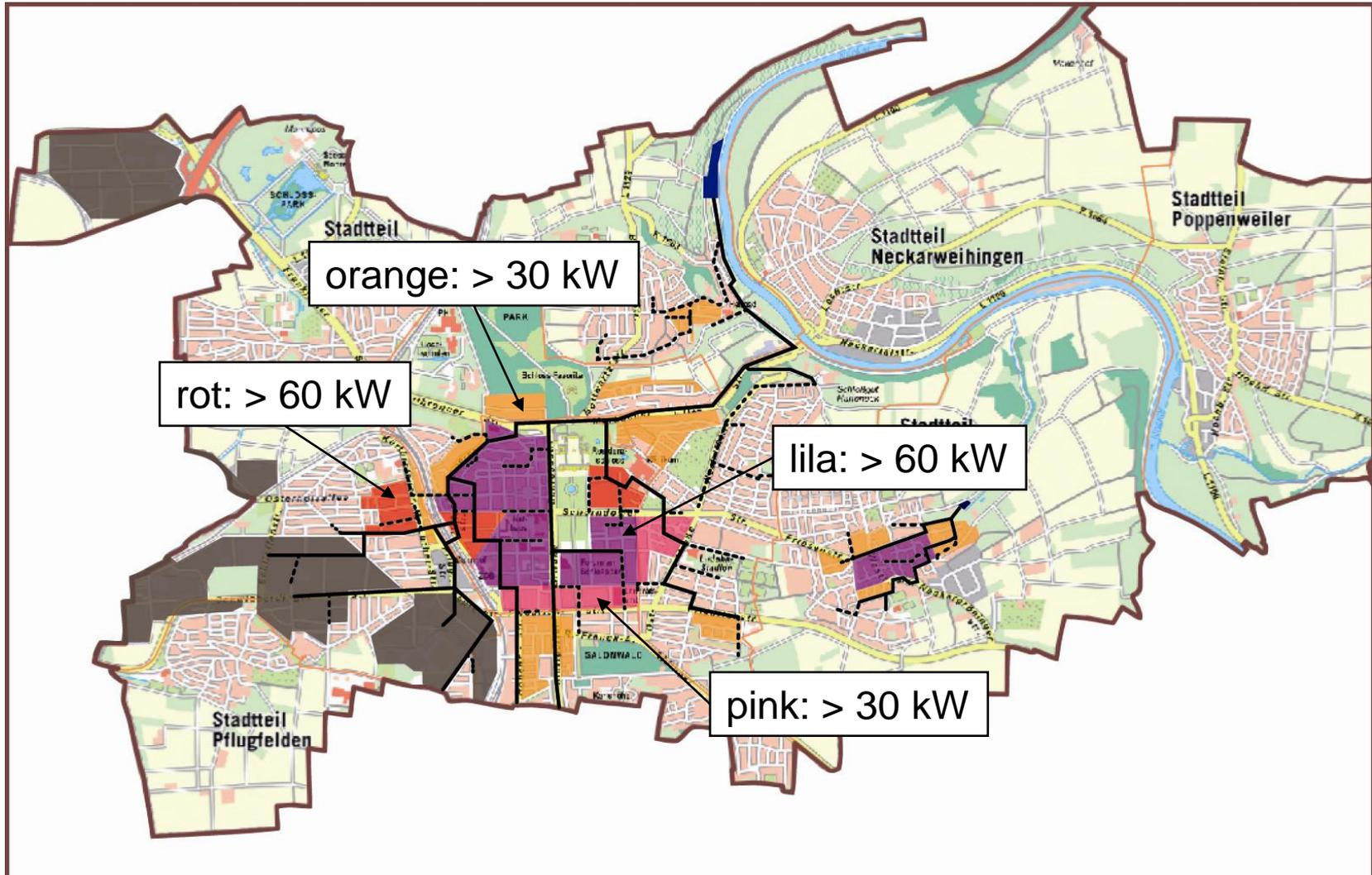
Industriegebiete in Ludwigsburg



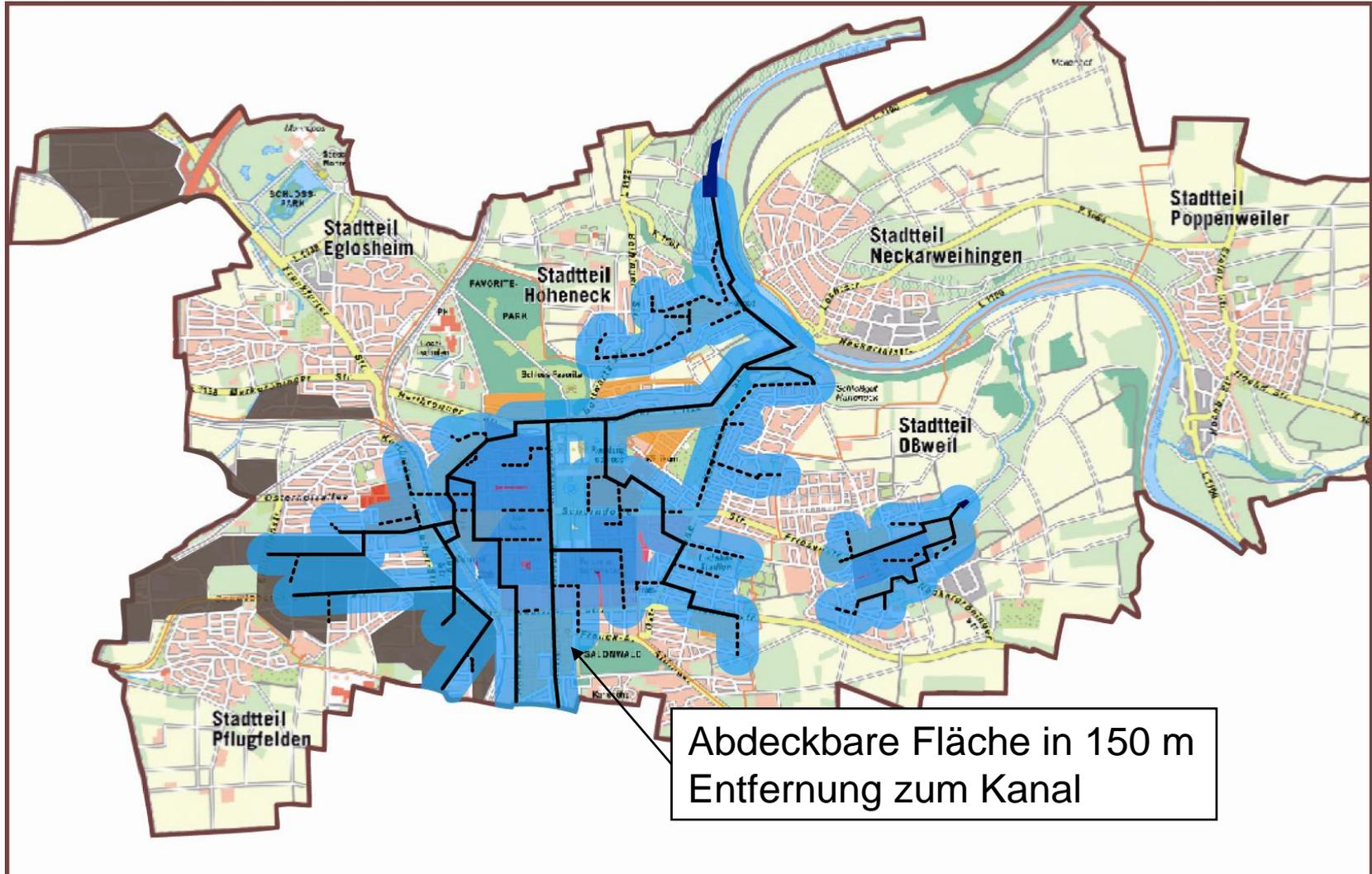
Gebiete mit hohem spezifischem Wärmebedarf



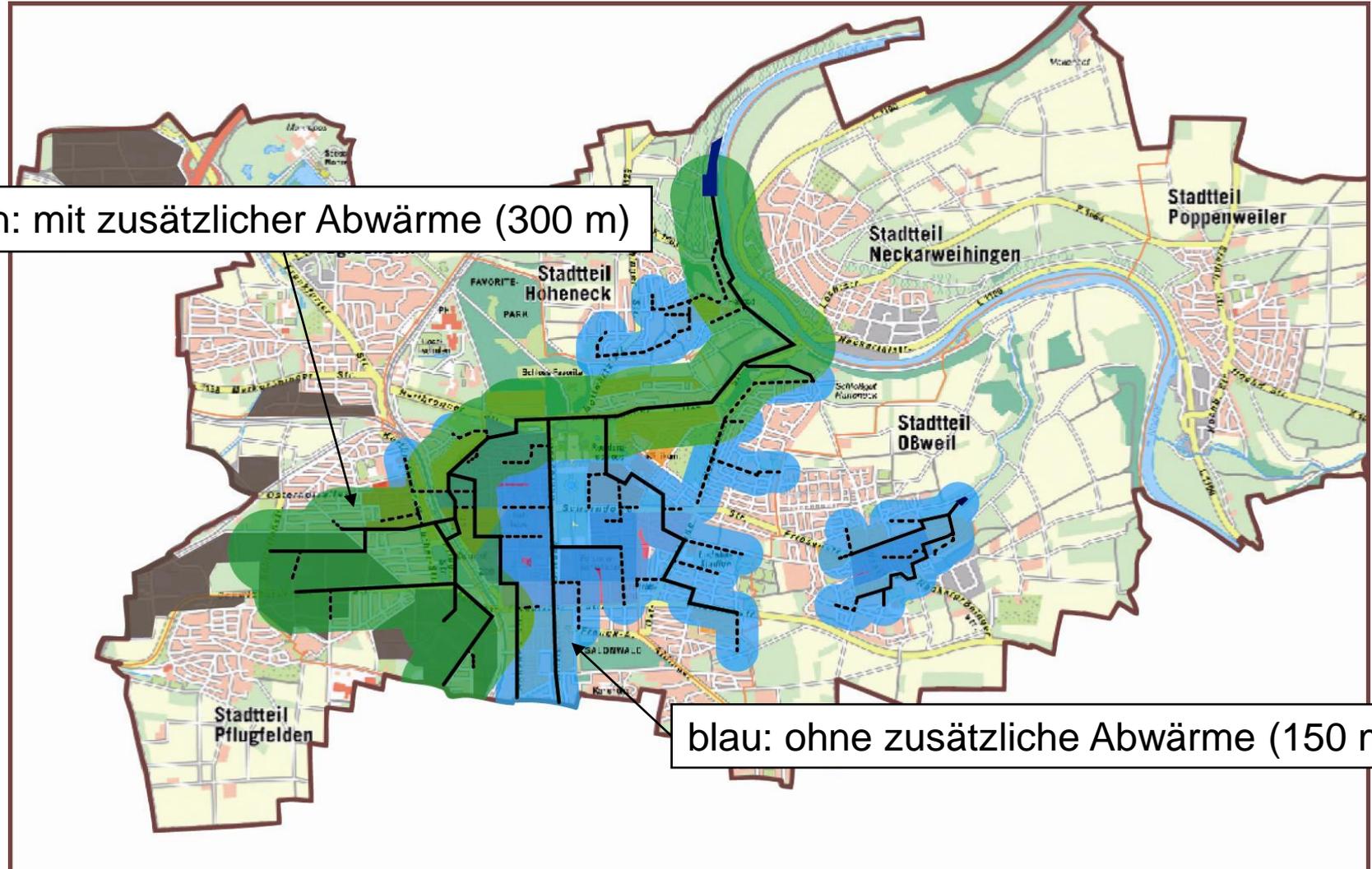
Typische installierte Wärmeleistung



Abdeckung mit 150 m Entfernung zum Kanal



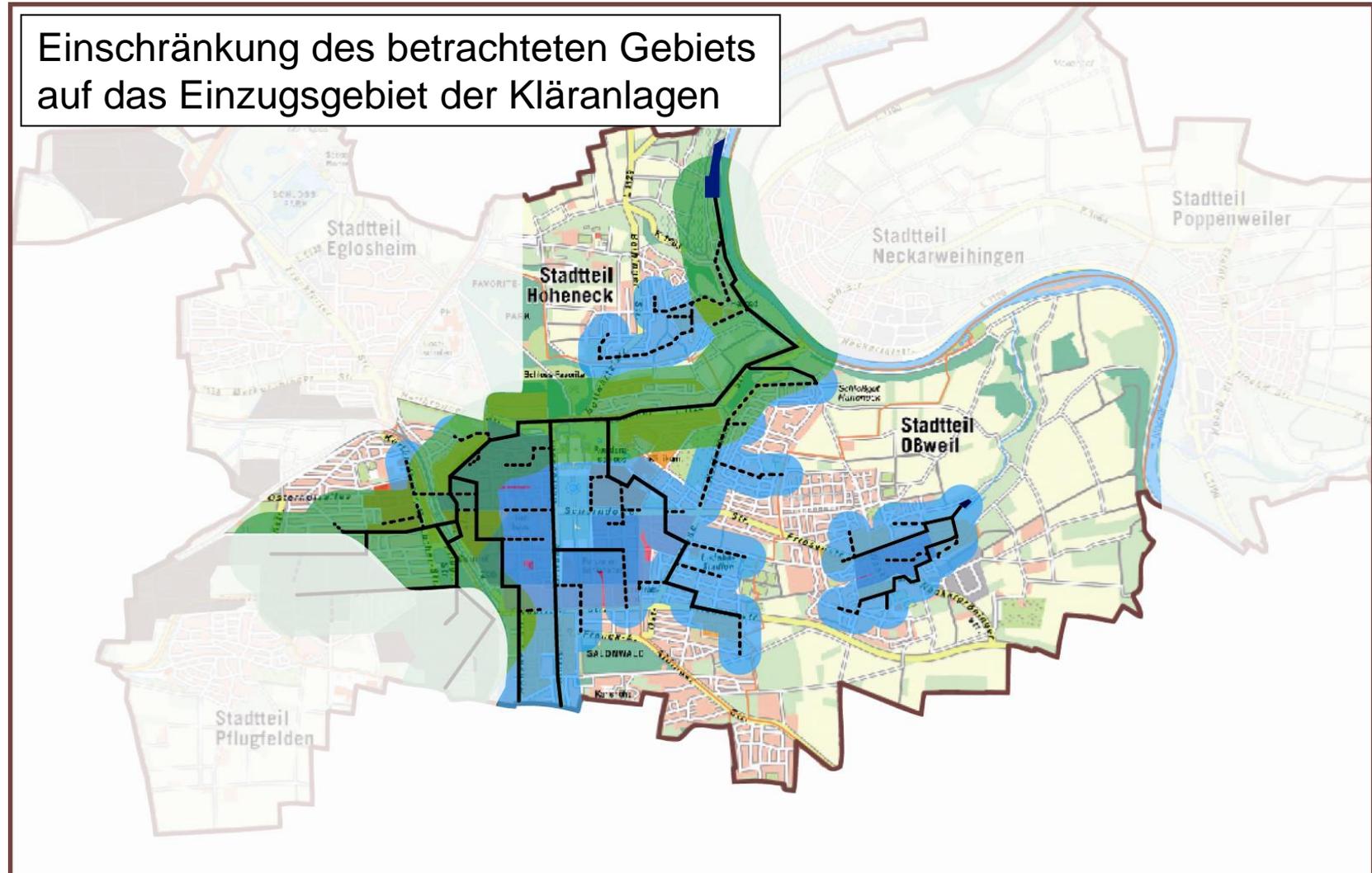
Abdeckung mit 300 m Entfernung zum Kanal



grün: mit zusätzlicher Abwärme (300 m)

blau: ohne zusätzliche Abwärme (150 m)

Betrachtetes Gebiet für die Potenzialberechnung





Rahmenbedingungen in Ludwigsburg

- Die Industriegebiete liegen für die Nutzung von Abwasserwärme außerordentlich günstig
- Als potenzielle Wärmeabnehmer werden nur Gebiete mit einem Wärmebedarf über 5 GWh/km²a betrachtet, da die Errichtung von Abwasserwärmeanlagen bei sehr guten Voraussetzungen ab einer Leistungsabnahme von 30 kW lohnend ist.
- Für die durch Abwärme aufheizbaren Abwasserkanäle wird angenommen, dass sich der Abstand der Verbraucher zum Kanal auf 300 m steigern lässt.
- Für die Wärmepumpe wird eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4 angenommen.



Potenzial für die Abwasserwärmenutzung in Ludwigsburg

Nutzbare Wärme:

- Abwasserwärme ohne Abwärmeeinspeisung mit einer Abwassermenge von 6,3 Mio. m³ im Jahr und einer Abkühlung auf 8 °C:

1. 51,3 GWh/a

- Einspeisbare Abwärme aus der Industrie:

- > 10 GWh/a

- Durch Wärmepumpen mit einer JAZ von 4 gewinnbare Wärme:

- 81,7 GWh/a



Einordnung des Potenzials

Lieferbare Wärmemenge:

- 81,7 GWh/a

Wärmebedarf im betrachteten Gebietsausschnitt:

- 569 GWh/a

Wärmebedarf in den durch Abwasserwärme versorgbaren Gebieten:

- 361 GWh/a

Damit können 14,4 % des Wärmebedarfs im betrachteten Gebietsausschnitt gedeckt werden. Der Wärmebedarf in den für Abwasserwärme erschließbaren Gebieten ist 4,4 mal so hoch wie die lieferbare Wärmemenge.

Die in Ludwigsburg bereitgestellte Fernwärmemenge liegt mit 68,5 GWh in einer ähnlichen Größenordnung.



Erläuterungen zum Potenzial

- Der mögliche Deckungsanteil des Wärmebedarfs wurde aus der Überlagerung der versorgbaren Flächen mit Gebieten hohen Wärmebedarfs unter Einhaltung technischer Grenzen berechnet. Es handelt sich folglich um ein technisches, jedoch nicht unbedingt wirtschaftlich umsetzbares Potenzial.
- Um das Potenzial zu präzisieren, wären Messungen der verfügbaren Abwassermengen sowie eine detaillierte Untersuchung des Abwärme-potenzials notwendig.



VI. Fazit und Ausblick

1. Vorteile
2. Hemmnisse
3. Analyse der Ergebnisse
4. Forschungsbedarf



Vorteile

- Abwasserwärme ist auch ohne zusätzliche Abwärmeeinleitung nutzbar.
- Hohe Ressourceneffizienz durch Wiederverwendung von Abwärme.
- Sonst nicht nutzbare Abwärme kann über die bestehende Infrastruktur des Kanalnetzes verteilt werden.
- Deutliche Steigerung des Potenzials für die Nutzung von Abwasserwärme in Deutschland.
- Steigerung der Leistungszahl und damit der Effizienz von Abwasserwärmepumpen.
- Zukünftig besteht die Möglichkeit, das Abwassernetz als Wärmezubringer zu nutzen, um mit Hochtemperaturwärmepumpen Fernwärmenetze zu speisen.
- Wertschöpfung im eigenen Land.



Hemmnisse

- Derzeit noch hohe Investitionskosten, da für die Einspeisung von Abwärme ein zweiter Wärmeübertrager benötigt wird.
- Wärmeverbraucher müssen zwischen Industriebetrieben und Abwasserreinigungsanlage angesiedelt sein, was in der Praxis der Fall sein kann, wie das Beispiel Ludwigsburg zeigt.
- Für den Fall von fehlender Abwärme durch Produktionsunterbrechungen müssen Speicherkapazitäten verfügbar sein oder die Systeme bivalent ausgelegt werden.
- Zu hohe Abwassertemperaturen im Sommer behindern den Einsatz von Wärmepumpen zur Kühlung von Gebäuden und sie belasten Organismen in Erdreich und Gewässern.



Analyse der Ergebnisse 1

Das für Deutschland abgeschätzte theoretische Potenzial für die Nutzung von Abwasserwärme und Abwärme beträgt 249 TWh (28 % des Heizwärme- und Warmwasserbedarfs). Die verfügbare Abwärme reicht aus, um den Bedarf zu decken. Das in Ludwigsburg umsetzbare Potenzial beträgt 82 GWh (14 % des Kläranlageneinzugsgebiets).

Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Der begrenzende Faktor liegt auf der Abwasser- bzw. Abwärmeseite.
- Die Anhebung der Abwassertemperatur im Winter führt zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit der Anlagen.



Analyse der Ergebnisse 2

Eine Extrapolation der Ludwigsburger Ergebnisse auf ganz Deutschland kann nicht ohne Weiteres vorgenommen werden. Aufgrund der sehr vorteilhaften Lage der Industrie ist eine Anhebung der Abwassertemperatur für viele Wärmeverbraucher nutzbar.

Diese Konstellation ist jedoch nicht die Regel. Zudem ist in Landgemeinden mit weniger als 5000 Einwohnern die Kanalinfrastruktur und das Abwasseraufkommen nicht ausreichend, um industrielle Abwärme zu nutzen.



Forschungsbedarf

Das berechnete Potenzial für die Nutzung von Abwasserwärme bei Einspeisung von Abwärme in das Kanalnetz stellt das maximale theoretische Potenzial dar. Zur Berechnung des realisierbaren (technischen und wirtschaftlichen) Potenzials müssen weitere Forschungen betrieben werden. Das bedeutet im Einzelnen:

- Detaillierte Betrachtung von Kommunen unterschiedlicher Größe hinsichtlich Abwärmepotenzial, Kanalnetz, Abwassermenge, Abwasserwärmennutzern.
- Untersuchung von Speichermöglichkeiten zum Ausgleich von fehlender Abwärme bei Produktionsunterbrechungen und von Temperaturminima im Winter.
- Extrapolation der gewonnenen Erkenntnisse zur Herleitung des realisierbaren (technischen, wirtschaftlichen) Potenzials für Deutschland.



Quellen 1

- 50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; EnBW Transportnetze AG; TenneT TSO GmbH (Hg.) (2011): EEG-Mengenstatistik 2010 auf Basis von WP-Bescheinigungen per 31.07.2011. Stromeinspeisemengen, direktvermarktung, Vergütung und Letztverbräuche.
- Baumann, Andreas; Lopp, Marcus (2009): Möglichkeiten zur Energieeinsparung in der Abwassertechnik. Hg. v. Ingenieurbüro Lopp Planungsgesellschaft mbH. Weimar.
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hg.) (2010): Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Jahresabrechnung 2009. Auf Basis WP-Bescheinigungen.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.) (2011): Energiedaten.
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Bundesverband Wärmepumpe e.V.; Institut Energie in Infrastrukturanlagen (Hg.) (2009): Heizen und Kühlen mit Abwasser. Energierückgewinnung aus häuslichem und kommunalem Abwasser. Ratgeber für Bauträger und Kommunen. Unter Mitarbeit von Ernst A. Müller, Felix Schmid, Beat Kobel, Wolfgang Stadtmeister, Roland Digel, Eckhard Glockner et al.
- Fahl, Ulrich; Sippel, Maik; Blesl, Markus; Kruck, Christoph; Härdtlein, Marlies; Eltrop, Ludger et al. (2011): Integriertes Klimaschutz- und Energiekonzept für Ludwigsburg. Endbericht. Hg. v. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung und DIALOGIK gemeinnützige Gesellschaft für Kommunikations- und Kooperationsforschung mbH. Stuttgart.



Quellen 2

- Grundmann, Thomas; Herkner, Thomas; Rehberg, Jörg (2010): Abwasserdaten Deutschland. Zahlen und Fakten der Abwasserentsorgung. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. und Statistisches Bundesamt. Bonn, zuletzt geprüft am 22.08.2011.
- Gujer, Willi (2007): Siedlungswasserwirtschaft. 3., bearb. Berlin [u.a.]: Springer.
- Hagspiel, Burkard (2007): Wärme aus Abwasser. Evaluation von Technik, Betrieb und Randbedingungen Potenzial der Kanalwärmenutzung in Freiburg im Breisgau. Hg. v. badenova. Freiburg.
- Müller, Ernst A.; Graf, Eliane; Kobel, Beat; Roth, Yann; Müller, Karsten; Billmaier, Karl et al. (2010): Untersuchung der Voraussetzungen für Projekte zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser. Hg. v. Umweltbundesamt
- Piller, Sabine; Steffan, Tim; Litzka, Vera; Kruse, Michael (2004): Potenzialstudie zur Abwasserabwärmenutzung in Bremerhaven. Hg. v. Bremer Energie-Konsens GmbH.



Quellen 3

- Rometsch, Lutz (2004): Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen. Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber gestützt auf Praxistests mit Wärmetauschern. Hg. v. Institut für Unterirdische Infrastruktur - IKT. Gelsenkirchen.
- Schmid, Felix (2009): Energie aus Abwasserkanälen oder gereinigtem Abwasser? Weiterbildungskurs W16: Betrieb, Unterhalt und Werterhaltung. Hg. v. EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen. Winterthur.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2009): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Fachserie 19 Reihe 2.1 - 2007.