

Wärmenetzbenchmark

Qualitativer Vergleich bestehender Wärmenetze

Erdgas (Kessel)

Erdgas (BHKW)

Holzhackschnittel
(Kessel)

Biogas (BHKW)

Biomethan (BHKW)

Steinkohle (Kessel)

Holzpellets
(Kessel)

Impressum

Herausgeber

FH Münster

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Dipl.-Geogr. Hinnerk Willenbrink
Klaus Russell-Wells M.Eng.



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

.....
Erstellt im Rahmen des Projektes

Wärme in der Euregio

fokussieren & modernisieren



Projektpartner

FH Münster

Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt
+49 (0)2551/962-725
wetter@fh-muenster.de



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

Saxion University of Applied Sciences

Dr. Richard van Leeuwen
M.H. Tromplaan 28
7513AB Enschede
+31 (0)53 537 6842
r.p.vanleeuwen@saxion.nl



Stichting kiEMT

Drs. Bas Grol
Utrechtseweg 310
6812 AR Arnhem
+31 (0)26/4461469
grol@kiemt.nl



KIEMT

Wirtschaftsförderungs- und Entwicklungsgesellschaft Steinfurt mbH

Dipl. Kfm. Christian Rapien
Tecklenburger Straße 8
48565 Steinfurt
+49 (0) 2551/69 2704
christian.rapien@westmbh.de



Wirtschaftsförderungs- und
Entwicklungsgesellschaft
Steinfurt mbH

Abfallwirtschaftsgesellschaft des Kreises Warendorf mbH

Markus Pahlenkemper
Westring 10
59320 Ennigerloh
+49 (0) 2524/93-07116
markus.pahlenkemper@awg-waf.de



Wirtschaftsförderung Kreis Coesfeld GmbH

Dipl.-Geogr. Christian Holterhues
Fehrbelliner Platz 11
48249 Dülmen
+49 (0) 2594/78240-26
christian.holterhues@wfc-kreis-coesfeld.de



Wirtschaftsförderungsgesellschaft für den Kreis Borken mbH

Ingo Trawinski
Erhardstraße 11
48683 Ahaus
+49 (0) 2561/97999-20
trawinski@wfg-borken.de



.....
Das Projekt WiE^{fm} wird gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Industrie, Mittelstand und Handwerk
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerie van Economische Zaken

provincie
Gelderland

provincie
overijssel



Inhalt | Übersicht

- | | | | | | | | |
|----|---|----|---|----|---|----|---|
| 01 | Einleitung
Warum ein Benchmark? | 05 | Datenerhebung
Mit welchen Daten? | 11 | Temperaturen
Vorlauf und Rücklauf | 18 | Vergleich zu konventioneller Versorgung
Wärmenetz oder Erdgasheizung? |
| 02 | Methodik
Nach welchem System? | 07 | Systemeffizienz
Input zu Output | 12 | Primärenergie- und Emissionsfaktoren
Von Vorkette bis zur Nutzung | 19 | Bewertung und Diskussion |
| 03 | Die wichtigsten Erkenntnisse
5 Thesen für erfolgreiche Wärmenetze | 10 | Anschlussdichte
Wärmeabnahme zu Netzlänge | | | 23 | Über „Wärme in der EUREGIO - fokussieren & modernisieren“ |

Einleitung

87 % des Wärmeverbrauchs in Deutschland stammt aus fossilen Energieträgern – nur 13 % aus erneuerbaren. Im Gegensatz zur Energiewende im Strombereich kommt der Umstieg auf eine nachhaltige Versorgung mit Wärme nur langsam voran. Dass die Wärmewende sich schwertut, liegt zum Teil daran, dass viele klimafreundliche Wärmequellen nicht individuell genutzt werden können. Sie sind schlicht zu groß oder zu abgelegen.

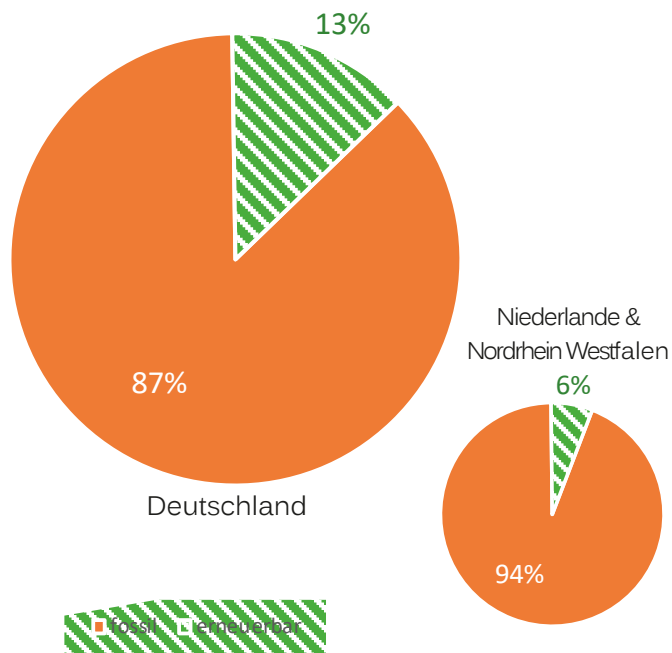


Abb. 1: Aufteilung des Endenergiebedarfs zur Wärmeerzeugung in Deutschland bzw. Niederlande und Nordrhein Westfalen im Jahr 2016

Eine Möglichkeit, diese Quellen zu erschließen, stellen Wärmenetze dar. Durch die Verteilung der Wärme über ein gemeinschaftliches Netz können größere und entferntere Wärmequellen genutzt und damit viele kleinere Wärmeabnehmer versorgt werden. Das bedeutet, dass Wärmenetze ein erhebliches Potenzial bieten, die Wärmewende zu gestalten und Alternativen zu Erdgas und Heizöl in den Wärmemarkt zu bringen. Nachteil: Die Verteilung über längere Wärmeleitungen bringt Verluste mit sich, die Verlegung der Leitungen ist aufwendig, und jede alternative Wärmetechnologie muss sich gegen das gut ausgebaute Gasnetz behaupten. Oftmals fehlen Kommunen und Planern Erfahrungswerte zur erfolgreichen Realisierung – insbesondere im ländlichen Raum – sodass in vielen Fällen vor Wärmenetzen zurückgeschreckt wird.

Dabei gibt es im Münsterland bereits einige Wärmenetze. Zum Teil sogar seit vielen Jahren. Es stellt sich daher die Frage, wie erfolgreich diese Netze betrieben werden. Wie effizient sind sie? Auf welchen Wert können sie ihre Wärmeverluste minimieren und was kann von diesen Netzen für zukünftige, neue Projekte gelernt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde im Rahmen des geförderten INTERREG-VA-Projektes Wärme in der Euregio (WiEfm) die Masterarbeit „Wärmenetzbenchmark - qualitativer Vergleich bestehender Wärmenetze“ erstellt, welche dieser Bericht zusammenfasst.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die aktuell bestehenden Wärmenetze in den vier Landkreisen des Münsterlandes zu analysieren. Am Beispiel dieser Netze soll gezeigt werden, wie effizient und klimafreundlich die Versorgung über kollektive Wärmenetze in der Praxis ist und wie sich die bestehenden Systeme in Bezug auf Effizienz und Klimaschutz im Vergleich zu Einzellösungen darstellen. Dazu werden gemeinsam mit den Betreibern der Wärmenetze Daten erhoben, auf deren Grundlage die Netze im Hinblick auf technische Effizienz und Umweltauswirkungen untersucht werden.

Ziel dieses Berichtes ist es, die Ergebnisse der Untersuchung in anonymisierter Form darzustellen und den Teilnehmern, Initiatoren neuer Projekte und weiteren Interessierten die daraus abgeleiteten Erkenntnisse zur Verfügung zu stellen. Zudem soll die Vorgehensweise erläutert und die Methodik beschrieben werden, sodass die Ergebnisse dieser Untersuchung qualitativ bewertet werden können.

Methodik

Um die Energieeffizienz und Klimaauswirkungen bestehender Nahwärmesysteme zu quantifizieren und zu bewerten, wurden Daten der Netze erhoben.

Untersucht werden

- das **technische System** der Nahwärmeversorgung,
- der Einsatz fossiler **Primärenergie** sowie der Ausstoß treibhausrelevanter **Emissionen** über die gesamte Prozesskette, und
- die **Gegenüberstellung** der Nahwärmeversorgung mit einer konventionellen Versorgung durch Einzellösungen auf Basis verschiedener Energieträger.

Um entsprechende Aussagen treffen zu können, werden die Systeme über die gesamte Versorgungskette betrachtet, das heißt von der Förderung bzw. Produktion der Primärenergieträger über die Umwandlung der Energie bis hin zur Übergabe der Nutzenergie am Wärmetauscher des Abnehmers. Die Vorkette fließt daher in dieser Untersuchung mit in die Betrachtung ein und ihre Auswirkungen werden anteilig auf die von Endverbrauchern abgenommene Wärme angerechnet. Diese umfassende Betrachtungsweise wirkt sich auf die Ergebnisse im Hinblick auf Primärenergieeffizienz und Emissionsfaktor aus und erlaubt einen direkten Vergleich zu anderen Versorgungsmöglichkeiten.

Die Daten über das Nahwärmesystem (Heizzentrale, Wärmenetz und Wärmeübergabe) stammen von den Netzbetreibern. Zur Bildung der Emissions- und Primärenergiefaktoren werden darüber hinaus brennstoffspezifische Faktoren aus der GEMIS-Datenbank entnommen, die den eingesetzten Brennstoffmengen angerechnet werden. Die Systemgrenzen dieser Untersuchung sind in Abb. 2 dargestellt. Aus den erhobenen Daten werden die rechts dargestellten übertragbare Kennwerte gebildet, anhand derer sich die untersuchten Netze vergleichen lassen. Im Anschluss an die Untersuchung erhalten die teilnehmenden Wärmenetzbetreiber einen detaillierten Auswertungsbogen ihres Netzes sowie eine anonymisierte Einordnung des eigenen Netzes im Vergleich zu allen anderen Teilnehmern.

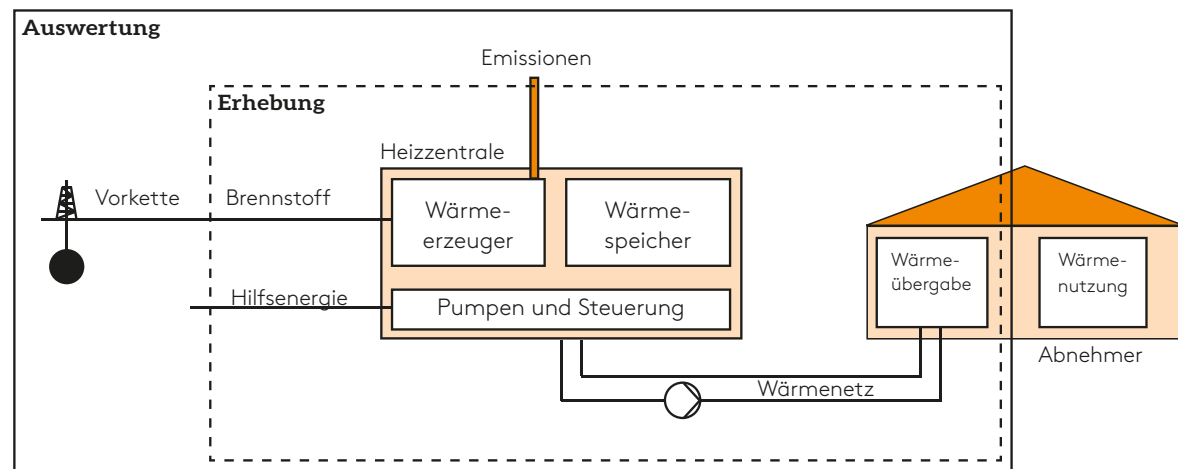


Abb. 2: Systemgrenzen und Untersuchungsrahmen des Wärmenetzbenchmarks

Systemeffizienz

Wieviel der insgesamt im System eingesetzten Energie kann letztendlich genutzt werden?

Anschlussdichte

Wieviel Wärme wird pro Trassenmeter abgenommen?

Temperaturspreizung

Wie sehr unterscheiden sich Vor- und Rücklauftemperatur und wie effizient nehmen die Anschlussnehmer damit die Wärme ab?

Emissionsfaktor

Welcher CO₂-Ausstoß ist auf die Nutzung einer Kilowattstunde Wärme zurückzuführen?

Primärenergiefaktor

Wieviel fossile Energie wird über die Prozesskette gebraucht, um eine Kilowattstunde Wärme zur Verfügung zu stellen?

Die wichtigsten Erkenntnisse und Erfahrungen in 5 Thesen

1. Wärmenetze können sehr effizient und klimafreundlich sein – sie sind es allerdings nicht automatisch.

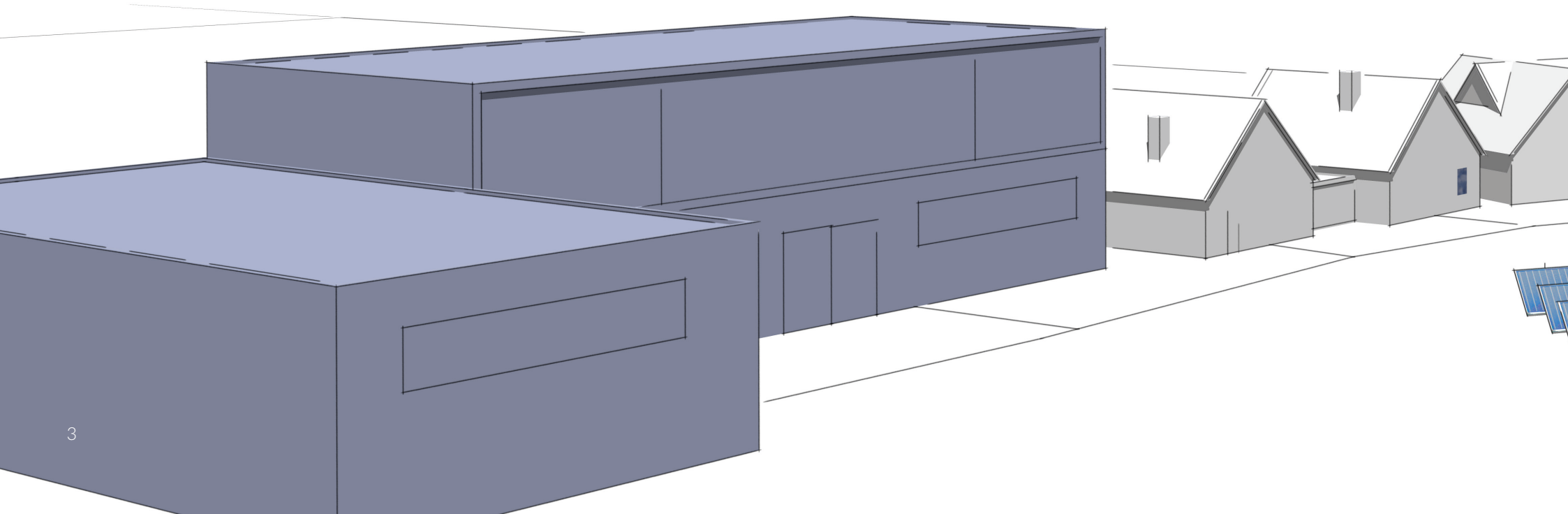
Zu einem wirklich klimafreundlichen und effizienten Wärmenetz gehört neben einer maßgeschneiderten Auslegung im Vorfeld, vor allem der alltägliche Betrieb durch qualifiziertes Personal, welches das Netz hauptamtlich und engagiert pflegt und optimiert, sowie der Einsatz lokaler, erneuerbarer Energieträger. Ein herkömmliches Netz auf Basis von Erdgasanlagen erreicht keine besseren Werte als individuelle Heizungen.

2. Die systematische Messung und Dokumentation von Energieströmen ist Voraussetzung für ein effizientes Wärmesystem.

Die Identifikation von Einspar- und Optimierungspotenzialen ist nur durch die Messung von Brennstoff-, Strom- und Wärmemengen möglich. Den Netzbetreibern, die diese Daten noch nicht erfassen und dokumentieren, wird empfohlen, dementsprechend nachzurüsten.

3. Der Primärenergiefaktor wird in erster Linie durch die eingesetzten Energieträger und nur weniger durch die Technik und Effizienz bestimmt.

Aus ökologischer Sicht ist daher von einer Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern in Wärmenetzen abzuraten. Die Wahl des Energieträgers hat in diesem Zusammenhang Priorität vor dem Systemwirkungsgrad.

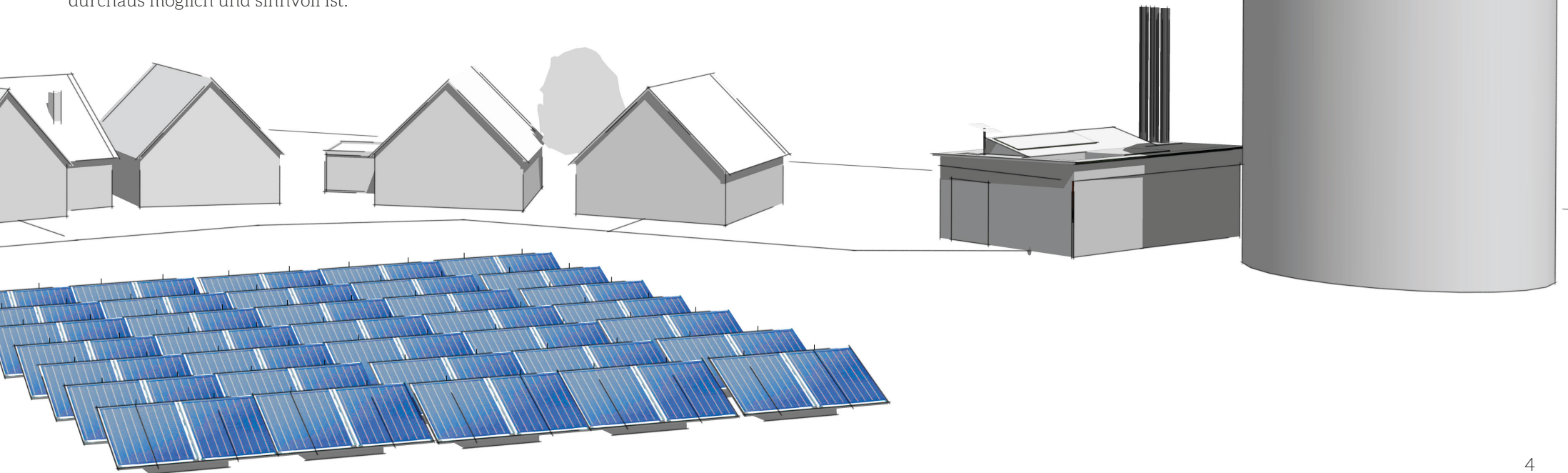


4. Wärmenetze lassen sich auch in Gegenden mit sehr niedriger Anschlussdichte ökologisch sinnvoll und effizient betreiben.

Die weitläufige Meinung, Wärmenetze lohnten nur in Ballungszentren mit hoher Bebauungsdichte, kann so pauschal nicht bestätigt werden: In dieser Untersuchung hat das Wärmenetz mit der besten Systemeffizienz und einem der besten Primärenergiefaktoren gleichzeitig eine der niedrigsten Anschlussdichten. Das zeigt, dass auch im ländlichen Raum der Betrieb von effizienten und klimafreundlichen Wärmenetzen durchaus möglich und sinnvoll ist.

5. Im Hinblick auf die Energiewende sind Wärmenetze überall dort in Betracht zu ziehen, wo Abwärme oder erneuerbare Energien zur Verfügung stehen, die nicht individuell nutzbar sind.

Biogasabwärme, Industrieabwärme oder großflächige Solarthermie sind Wärmequellen, deren Nutzung in einem Wärmenetz eine höhere Systemeffizienz und einen niedrigeren Primärenergiefaktor erlauben als andere, fossile Versorgungsalternativen.



Datenerhebung, Besonderheiten und Annahmen

Gemeinsam mit den Betreibern von zwölf Wärmenetzen wurden Daten über Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe erhoben.

Erhobene Daten

Wärmeerzeugung

Für jeden Wärmeerzeuger:

- Brennstoffmenge [MWh/a]
- Leistung [kW]
- Nutzungsgrad [%]
- Wärmemenge [MWh/a]
- Stromproduktion [MWh/a]

Außerdem el. Hilfsenergiebedarf der Wärmeerzeugung und -verteilung [MWh/a]

Wärmeverteilung

Trassenlänge [m] nach DN und Material

Wärmeabnahme

Wärmemenge [MWh/a] nach Nutzerkategorien

Hinweis:

Sämtliche Brennstoff, Strom- und Wärmemengen (Produktion/Abnahme) [MWh/a] wurden über 3 Jahre erhoben und für die Auswertung gemittelt, um mögliche Schwankungen und Veränderungen in den jeweiligen Netzen auszugleichen.

Besonderheiten

Während einige Betreiber sämtliche Energieflüsse messen und dokumentieren, werden in anderen Fällen nur bestimmte Energiemengen (wie beispielsweise Gasbezug und Stromeinspeisung) gemessen. Um dennoch einen vollständigen und möglichst vergleichbaren Datensatz zu erhalten, mussten aus diesem Grund Brennstoff- oder Wärmemengen teilweise mithilfe des Anlagennutzungsgrades berechnet werden.

Bei den Netzen, die sowohl Brennstoffmenge als auch Strom-/Wärmeproduktion messen fällt auf, dass die tatsächlich erreichten Nutzungsgrade der jeweiligen Anlagen deutlich von den Wirkungsgradangaben der Hersteller abweichen. Im Durchschnitt erreichen Blockheizkraftwerke über die Beobachtungsdauer etwa 80 % des angegebenen Wirkungsgrades.

Beispiel:

Ein BHKW mit einem vom Hersteller angegebenen thermischen Wirkungsgrad von 45 % erreicht demnach einen tatsächlichen thermischen Nutzungsgrad von 36 %.

Auch bei reinen Heizkesseln stellt sich heraus, dass die tatsächlich erreichten Nutzungsgrade von den Wirkungsgradangaben der Hersteller abweichen, so dass für Netze mit unvollständiger Datenlage folgende

Annahmen zur Berechnung Brennstoff oder Wärmemengen getroffen:

Niedertemperaturheizkessel: 85% th. Nutzungsgrad
Brennwertkessel: 90% th. Nutzungsgrad

Eines der untersuchten Netze misst die Wärmeabnahme der einzelnen angeschlossenen Gebäude nicht. Um den Vergleich mit übrigen Netzen nicht zu stark zu verzerren, wurden für die Abnahme in diesem Netz keine weiteren Annahmen getroffen. In einigen Diagrammen sind daher nur elf Netze dargestellt.

Neben den Nutzungsgraden mussten für viele Netze auch Annahmen für den elektrischen Hilfsenergiebedarf für Pumpen, Schnecken, Steuerung usw. getroffen werden. Nur vier Netze haben Angaben zum Hilfsenergiebedarf gemacht. Für die übrigen Netze wurde zunächst, wie vom gemeinnützigen Verein C.A.R.M.E.N. e.V. (Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk) empfohlen, ein statistischer Wert von 2,5% des Jahresenergiebedarfes des Wärmenetzes gewählt. Da in den Wärmenetzen, die Angaben zum Hilfsenergiebedarf gemacht haben, dieser prozentuale Wert jedoch nicht um 2,5%, sondern zwischen 0,1 und 1,3% liegt, wurde die gewählte statistische Annahme für die übrigen Netze auf 1,5% reduziert.

Prozess- und Sekundärenergie

Eine Besonderheit einiger biogasbetriebener Netze ist, dass auch der Fermenter der Biogasanlage mit Wärme versorgt wird und somit technisch gesehen Abnehmer im Netz ist. Vier Netze betreiben außerdem einen landwirtschaftlichen Gärrest- oder Holztrockner am Rücklauf des Wärmenetzes um die restliche bzw. nicht abgenommene Wärme für diesen Zweck zu nutzen. Da diese Wärmebedarfe jedoch prozessbedingten Hilfsenergiebedarf und sekundäre Wärmenutzung darstellen und damit anders zu werten sind als herkömmliche Abnehmer, muss die Bilanzierungsmethode der Systemeffizienz um diese Sondernutzung ergänzt werden. Zur Bewertung dieser Wärmenutzung ergeben sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten.

Zum einen kann der Heizwärmebedarf des Fermenters als reiner Energieaufwand gewertet werden und somit zu den Systemverlusten/-aufwänden zählen. Da jedoch derartige Prozessaufwände für die Herstellung der Brennstoffe in den anderen Fällen nicht in die Betrachtung der Systemeffizienz fallen, sondern außerhalb dieses Bilanzrahmens stattfinden, würde dieser Ansatz den Vergleich verzerren.

Zum anderen können beide genannten Wärmebedarfsformen zu den regulären Abnehmern zählen. Dieser Ansatz verzerrt jedoch auf der anderen Seite andere Kennwerte wie Anschlussdichte und Primärenergiefaktor und führt zu einer gleichwertigen Behandlung von systembedingtem Eigenverbrauch

der Heizzentrale, der Wärmeabnahme von Endkunden aus dem Netz und der Restwärmenutzung durch Trocknungsprozesse. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit eine weitere Nutzerkategorie „Prozess- und Sekundärenergie“ ergänzt, welche im Hinblick auf Systemeffizienz zwar als Wärmenutzung (und nicht als Verlust) zählt, jedoch getrennt ausgewiesen wird und nicht in die Berechnung der Anschlussdichte und Primärenergie- und Emissionsfaktoren einfließt.

Bei unvollständiger Datenlage mussten eigene Berechnungen mithilfe von begründeten Annahmen ergänzt werden. Das betrifft folgende Angaben:

Nutzungsgrade: 8 Blockheizkraftwerke (von 14)
5 Heizkessel (von 21)
Sekundärenergie: 3 Abnehmer (von 5)
El. Hilfsenergie: 8 Netze (von 12)

Teilnehmerstruktur

Die untersuchten Wärmenetze werden nach unterschiedlichsten Modellen betrieben.

Neben vier kommunalen Netzen werden acht privatwirtschaftlich betrieben. Darunter sind vier Netze mit landwirtschaftlichem Hintergrund und drei Netze, die von klassischen Energieversorgern betrieben werden.

Die Anteile eingesetzter Energieträger nach Brennstoffmenge sind in Abb. 3 dargestellt.

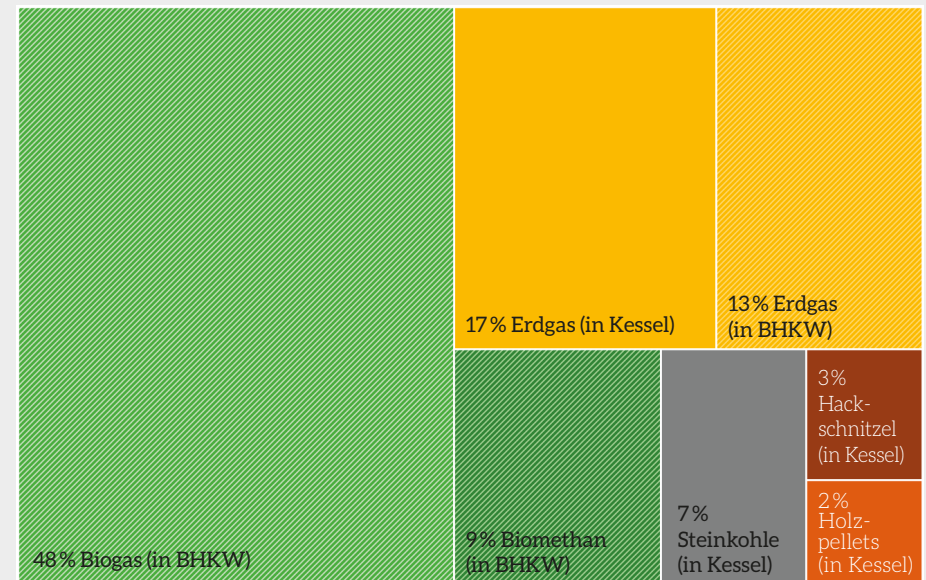


Abb. 3: In den untersuchten Wärmenetzen eingesetzte Energieträger nach Brennstoffmenge

Systemeffizienz

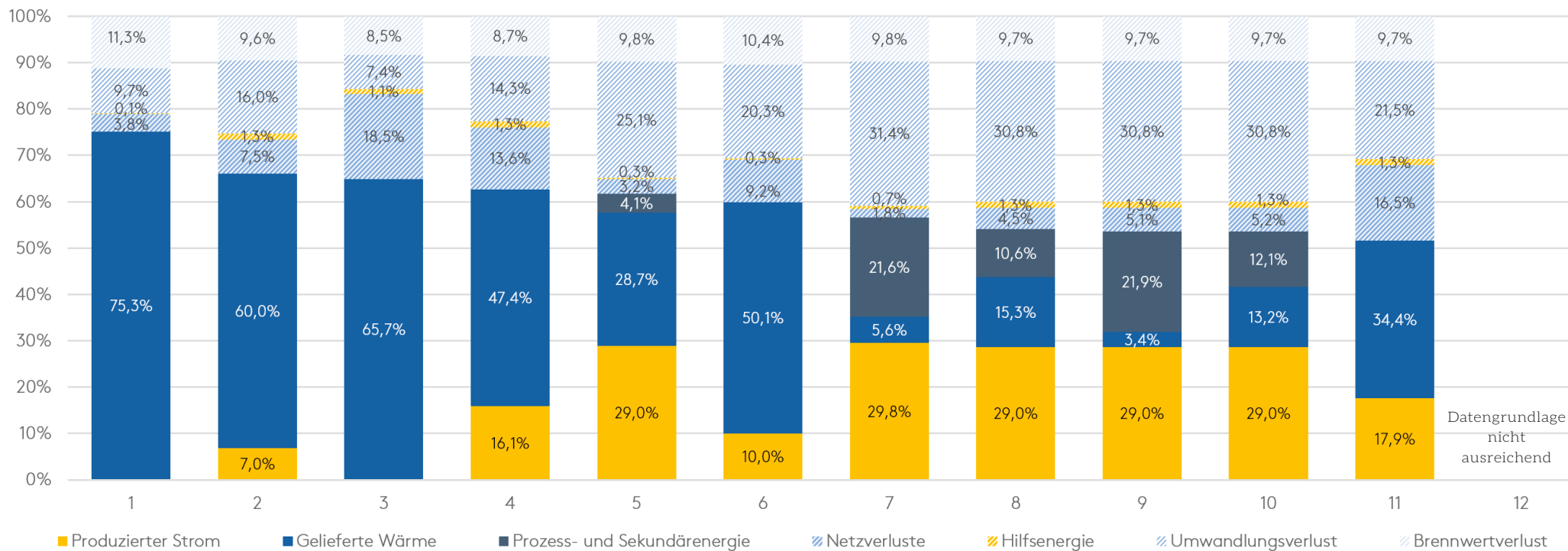


Abb. 4: Systemeffizienz und -verluste der untersuchten Wärmenetze

Vergleicht man eingesetzte Energie zu nutzbarer Energie (Systemeffizienz), zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Wärmenetzen (Abb. 4). Zwischen dem effizientesten Netz mit 75,3 % Endenergieausnutzung und dem Netz mit der niedrigsten Effizienz 52,3 % (17,9 % Strom, 34,4 % Wärme) liegen 23 Prozentpunkte. Im Durchschnitt liegt die Systemeffizienz bei 60,5 %. Insbesondere die Netze, in denen größtenteils Blockheizkraftwerke betrieben werden, liegen aufgrund hoher Umwandlungsverluste

im Hinblick auf die Systemeffizienz relativ weit hinten. Auch andere Netze, die einen hohen Anteil an Wärme und Strom mit BHKW produzieren, weisen vergleichsweise hohe Umwandlungsverluste auf. Dagegen liegen die beiden Netze, die kein BHKW betreiben, sowie ein Netz mit nur kleinem BHKW, im Hinblick auf die Gesamteffizienz auf den ersten drei Plätzen. Im Durchschnitt liegen die Umwandlungsverluste der untersuchten Netze bei 21,7 %. Die Summe

aus Umwandlungs- und Brennwertverlusten liegt im Durchschnitt bei 31,4 %.

Hinweis: Dieses Diagramm berücksichtigt nicht, dass Strom einen höheren energetischen Wert hat als Wärme. Mithilfe von Wärmepumpen könnte aus dem Strom rechnerisch mehr als das Dreifache der Energie in Form von Wärme bereitgestellt werden. Der Bewertung dieser Ergebnisse hängt somit davon ab, wie der Strom genutzt wird.

Jedes Nahwärmesystem hat Verluste bei der Umwandlung von Endenergie (Energieträger für die Wärmeerzeugung) zu Zielenergie (abgegebene Wärmemenge, ggfs. produzierter Strom). Dazu gehören Brennwert- und Umwandlungsverluste bei der Wärmeerzeugung (Anlagennutzungsgrad), Energieaufwände durch Pumpen und Wärmeverluste beim Transport durch die Leitungen (Abb. 5).

Hinweis: Obwohl überwiegend Heizwertanlagen betrieben werden, wird die Systemeffizienz in dieser Untersuchung (Abb. 4) in Bezug auf den **Brennwert** der eingesetzten Brennstoffe betrachtet, um eine Vergleichbarkeit zu anderen Wärmeerzeugungsmethoden zu gewährleisten und konsequent die gesamte Prozesskette der Wärmeerzeugung, inklusive der theoretisch nutzbaren Brennwertverluste, zu berücksichtigen.

Je geringer diese Verluste sind, desto weniger Energieträger muss eingesetzt werden, um den Wärmebedarf zu decken, und desto günstiger wird die Wärme damit für den Abnehmer und desto sinnvoller ist die jeweilige Art der Wärmeversorgung.

Die Systemeffizienz wird in dieser Untersuchung über das Verhältnis von an Endnutzer abgegebener Energie zur gesamten Endenergie der eingesetzten Energieträger (Brennstoffe und elektrische Hilfsenergie) ermittelt, da somit sämtliche Energieverluste innerhalb des technischen Systems berücksichtigt werden. Sie bezeichnet also die Energieeffizienz der Nahwärmeversorgung ent-

Die insgesamt eingesetzte Energie (Brennstoff- und Strombedarf) teilt sich auf in:

- Brennwertverluste [%]
- Umwandlungsverluste [%]
- Wärmeverluste [%]
- Hilfsenergiebedarf (elektrisch) [%]
- Gelieferte Wärme [%]
- Produzierter Strom [%]

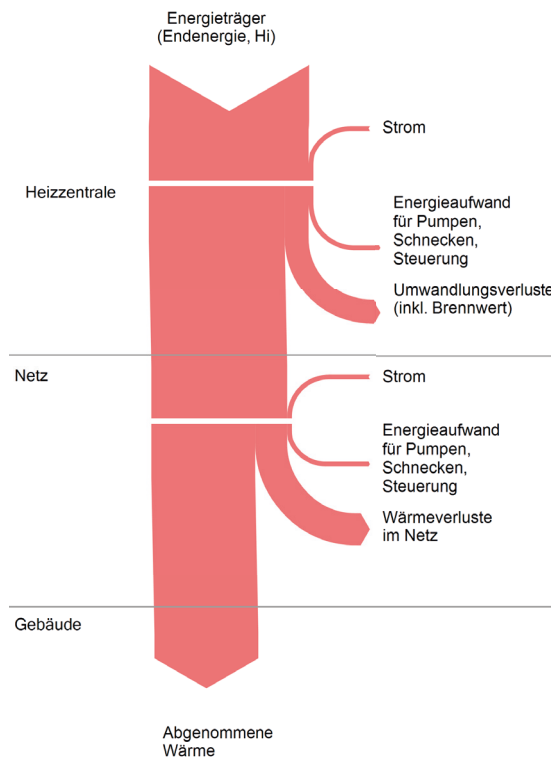


Abb. 5: Systemeffizienz zwischen Endenergieträger und abgenommener Wärme

lang der Prozesskette von Brennstoff bis zu nutzbarer Nahwärme (und ggfs. Strom aus KWK) und ist damit ein Maß für den Grad der Brennstoffausnutzung.

Da in dieser Untersuchung viele der betrachteten Anlagen Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung nutzen, wird auch der produzierte Strom in der Systemeffizienz berücksichtigt.

Hinweis:

In Bezug auf die Umwandlung sind reine Heizkessel unter den untersuchten Wärmeerzeugern effizienter als Blockheizkraftwerke. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass der erzeugte Strom aufgrund des hohen Exergieanteils einen thermodynamisch höheren Wert als die Wärme hat und daher aus diesem produzierten Strom auch ein Vielfaches der Energie in Form von Wärme gewonnen werden könnte, wenn er beispielsweise in Wärmepumpen eingesetzt würde. Zudem ist eine von der Wärmeerzeugung getrennte, individuelle Stromerzeugung mit deutlich höheren Effizienzverlusten verbunden.

Der Anteil dieser Endenergien, der letztendlich in Form von Strom oder Wärme genutzt wird, macht damit die Systemeffizienz aus, wohingegen die anderen Teile die Systemverluste darstellen. Die Aufteilung der Endenergien in die Produkte Strom und Wärme sowie die verschiedenen Verluste der untersuchten Netze ist in Abb. 4 dargestellt. Gelieferte/abgenommene Wärme und produzierter Strom sind einfarbig eingefärbt, während die verschiedenen

Verluste gestreift dargestellt sind. Gelb gestreifte Verluste stellen den elektrischen Hilfsenergieaufwand dar, während blau gestreifte immer Verluste der ursprünglichen Brennstoffenergie sind. Aus den Netzen bezogene Prozess- und Sekundärenergienutzung ist in grau dargestellt und zählt (wie unter „Datenerhebung“ beschrieben) in dieser Betrachtung zu den genutzten Nahwärmeprodukten.

Bei der Spreizung zwischen den verschiedenen prozentualen Netzverlusten in Abb. 5 ist zu beachten, dass diese Werte sich auf die insgesamt eingesetzte Endenergie (Brennstoff und elektrische Hilfsenergie) beziehen und damit im Hinblick auf die Qualität der reinen Wärmeverteilung nicht direkt untereinander vergleichbar sind, weil einige Heizzentralen / Wärmeerzeuger neben Wärme auch Strom produzieren, der sich nicht auf die Wärmeverluste auswirkt. Um

Im Hinblick auf die Netzverluste zeigen sich ebenfalls erhebliche Unterschiede zwischen den untersuchten Wärmenetzen. Während die Netzverluste von 60 % als Ausreißer zu werten sind, der auf einen sehr hohen Anteil von Sekundär- und Prozessenergie zurückzuführen ist, liegt zwischen dem niedrigsten Wert von 4,8 % dem nächstkleineren Maximalwert von 32 % ein Faktor von 6,7 und damit eine deutliche Spreizung zwischen den Netzen.

die Netze im Hinblick auf Netzverluste bzw. Wärmeverteilung also qualitativ vergleichbar zu bewerten, müssen daher die zwischen Heizzentrale und Abnehmern verlorenen Wärmemengen auf die insgesamt erzeugte Wärme bezogen werden.

Auf die bereitgestellte Wärmemenge bezogen ergeben sich somit vergleichbare Werte für die Netzverluste, die in Abb. 6 dargestellt sind.

Für die fünf an dieser Untersuchung teilnehmenden Netze, die Prozess- und Sekundärenergie aus den Netzen bzw. Wärmeerzeugern entnehmen, wird die von den regulären Abnehmern abgegebene Wärmemenge auf die produzierte Wärme abzüglich der genutzten Prozess- und Sekundärenergie bezogen. Das entspricht dem Wärmeverlust in Bezug auf die ins Netz

eingespeiste Wärme. Es ergibt sich daher die folgende Formel:

$$\eta_{\text{Netzverlust}} = 1 - \frac{Q_{\text{NW}}}{Q - Q_{\text{P/S}}}$$

Hierbei sind

Q_{NW} die abgenommene Nahwärme,

Q die in der Heizzentrale produzierte Wärme

$Q_{\text{P/S}}$ die Prozess- und Sekundärenergienutzung.

Hinweis:

In Bezug auf die Netzverluste ist bei Biogasanlagen zu bedenken, dass diese vorrangig Strom produzieren und es sich bei der Einspeisung in ein Wärmenetz somit im Grunde genommen um eine Abwärmenutzung handelt. In diesem Fall sind auch höhere Wärmeverluste in der Prozesskette besser, als die Wärme gar nicht zu nutzen.

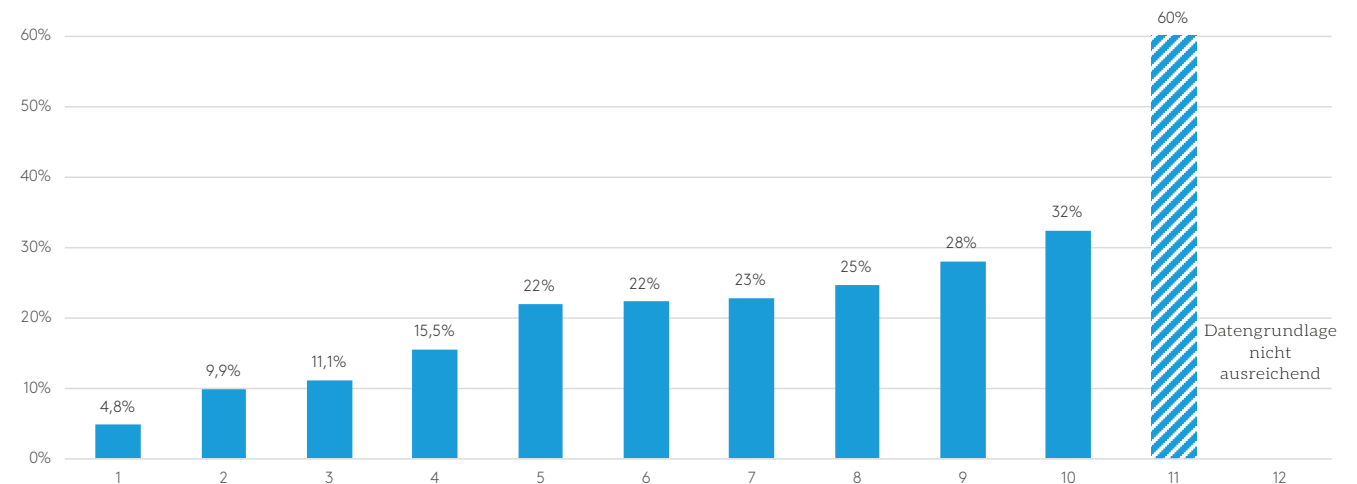


Abb. 6: Netzverluste der untersuchten Wärmenetze

Anschlussdichte

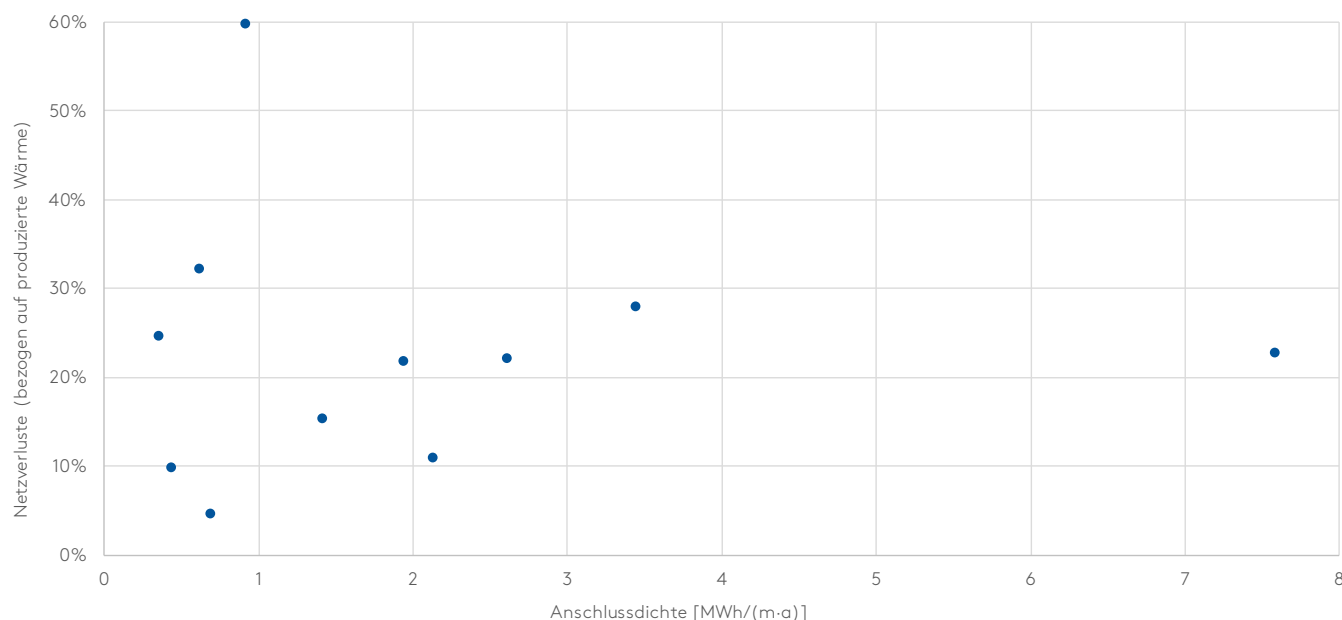


Abb. 7: Anschlussdichte und Netzverluste der untersuchten Wärmenetze

Die Anschlussdichte (auch Wärmelinien- oder Wärmebelegungs- dichte genannt) setzt die Wärmeabnahme ins Verhältnis zur Netzlänge. Je höher die Anschlussdichte ist, desto mehr Wärme wird pro Leitungsmeter über ein Jahr abgenommen und je niedriger, desto weniger. Bei der Planung von Wärmenetzen wird i.d.R. angestrebt, eine möglichst hohe Anschlussdichte zu erzielen, da somit neben den relativen Investitionskosten für die Leitungen auch die Wärmeverluste innerhalb des Netzes in Relation zur Wärmeabnahme niedrig gehalten werden.

Die Anschlussdichten der untersuchten Netze sind in Abb. 7 in Bezug zu den Netzverlusten dargestellt. Auch hier zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Netzen.

Während sich die meisten Netze im Bereich von Anschlussdichten bis zu 3,5 MWh/(m·a) und Netzverlusten bis zu 32 % befinden, stechen insbesondere die beiden Netze außerhalb dieses Bereichs hervor. Das Netz mit 0,91 MWh/(m·a) und 60 % weist besonders hohe Netzverluste auf, da der Anteil an Prozess- und Sekundärenergie im Vergleich zu der übrigen Wärmeabnah-

me besonders hoch ist und die verbleibenden Netzverluste damit nur auf die übrige Wärmeabnahme (nicht aber die Prozess- und Sekundärenergie) angerechnet werden. Das Wärmenetz mit 7,57 MWh/(m·a) und 23 % dagegen hat durch die sehr hohe Wärmeabnahme auf nur kurzer Wärmetrasse eher den Charakter einer Objektversorgung anstatt eines herkömmlichen Wärmenetzes.

Die Gegenüberstellung von Anschlussdichte und Netzverlusten der übrigen Netze erweckt den Anschein, dass die Verluste mit zunehmender Anschlussdichte steigen. Ein derartiger Zusammenhang macht jedoch keinen Sinn und müsste sogar Gegenteiliges ausfallen. Daher ist davon auszugehen, dass es bei den untersuchten Netzen neben der Anschlussdichte andere Faktoren gibt, die die Netzverluste viel stärker beeinflussen. Zu erwarten ist z.B. ein wesentlicher Einfluss der Temperaturen auf die Netzverluste.

Daraus ergibt sich die Anschlussdichte mit der Einheit MWh/(m·a):

$$AD = \frac{Q_{NW}}{L_T}$$

Hierbei sind

- Q_{NW} die abgenommene Wärmemenge in MWh/a und
- L_T die Trassenlänge des gesamten Netzes (Haupt-, Verteil-, und Hausanschlussleitungen) in m.

Auch im Hinblick auf die Anschlussdichte wird die

Berechnung um den Fall der Prozess- und Sekundärenergie ergänzt, da beispielsweise eine vorgeschaltete Fermenterheizung durch ihre hohen Abnahmewerte die Ergebnisse andernfalls verzerren würde und den Anschein nach einer hohen Anschlussdichte wecken würde, obwohl sie das Netz selbst nicht in Anspruch nimmt. Die Anschlussdichte errechnet sich daher als Quotient aus Wärmeabnahme abzüglich Prozess- und Sekundärenergie und der Trassenlänge:

$$AD = \frac{Q_{NW} - Q_{P/S}}{L_T}$$

Hinweis:

C.A.R.M.E.N. e.V. empfiehlt für ganzjährig betriebene Holzheizwerke eine Anschlussdichte von mindestens 1,5 MWh/(m·a), um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Bei niedrigeren Dichten um 0,5 MWh/(m·a) sei mit Netzverlusten von 20-30 % zu rechnen. „Die Wärmebelegungsichte ist nicht nur ein Maß für den Wärmeverlust, sondern insgesamt ein Maß für die Auslastung der Wärmeverteilung und damit auch ein Maß für die Verhältnismäßigkeit oder Unverhältnismäßigkeit der Netzkosten. Eine niedrige Wärmebelegungsichte führt in der Tendenz ebenso zu erhöhten Wärmegestehungskosten wie eine niedrige Auslastung der Wärmeerzeugung.“ (C.A.R.M.E.N. 2017)

Über das Förderprogramm Erneuerbare Energien „Premium“ fördert die Bank KfW jedoch auch Wärmenetze auf Basis erneuerbarer Energien, die im Mittel einen Mindestwärmeabsatz von 0,5 MWh/(m·a) aufweisen (KfW 2016).

Temperaturen

Unter den betrachteten Wärmenetzen gibt es deutliche Unterschiede auch im Hinblick auf die Vor- und Rücklauftemperaturen und die Temperaturspreizungen (Abb. 8).

Es werden Vorlauftemperaturen zwischen 70 °C und 85 °C sowie Rücklauftemperaturen zwischen 50 °C und 65 °C gefahren. Die höchste Temperaturspreizung liegt bei 25 K, die niedrigste bei 13 K.

Dieser Betrachtung nach wäre zu erwarten, dass die Netze mit niedrigen Vorlauftemperaturen, sowie die Netze mit hohen Spreizungen die niedrigsten Netzverluste aufweisen. Dagegen sollten jene Netze mit höheren Vorlauftemperaturen und niedrigen Spreizungen vergleichsweise hohe Verluste aufweisen.

Abb. 9, in der die Netzverluste in Abhängigkeit der Spreizung dargestellt sind, bestätigt, dass Netze mit höherer Temperaturspreizung tendenziell niedrigere Verluste aufweisen. Dennoch gibt es auch Netze mit hoher Spreizung, die hohe Verluste aufweisen, während auch Netze mit wesentlich niedrigerer Spreizung Verluste in ähnlicher Größe haben. Die Gegenüberstellung von Netzverlusten und Vorlauftemperatur (Abb. 10) zeigt ebenfalls einen leichten Zusammenhang, allerdings mit Ausnahmen. Es bestätigt sich also sowohl ein tendenzieller Zusammenhang zwischen Spreizung und Verlusten, als auch die Erwartung, dass neben der Spreizung die Verluste auch der Vorlauftemperatur beeinflusst werden. Es ist davon auszugehen, dass das absolute Temperaturniveau einen geringeren Einfluss auf die Verluste hat als die Spreizung.

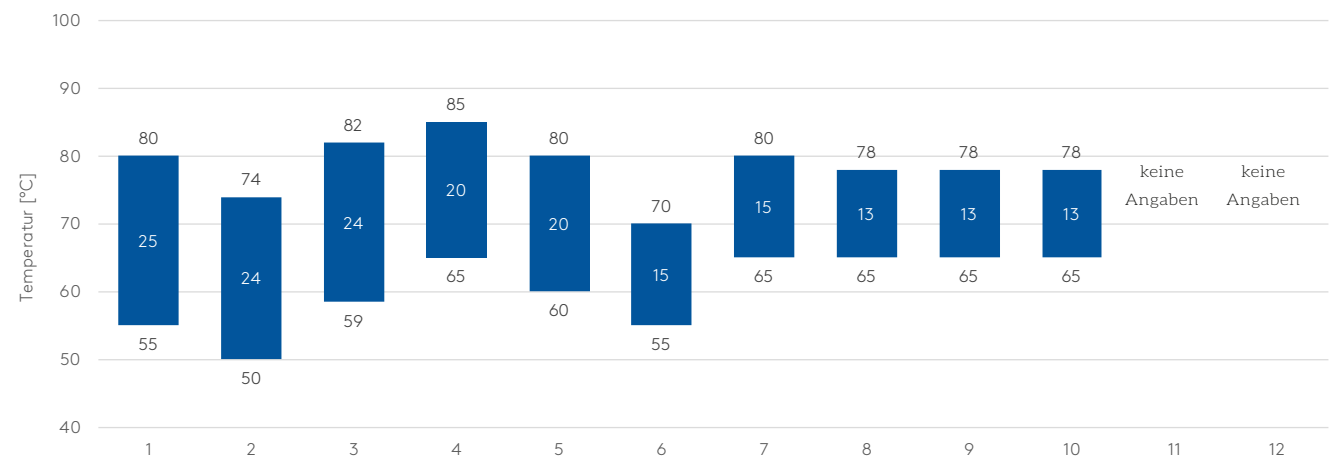


Abb. 8: Vor- und Rücklauftemperaturen der untersuchten Wärmenetze während der Heizsaison

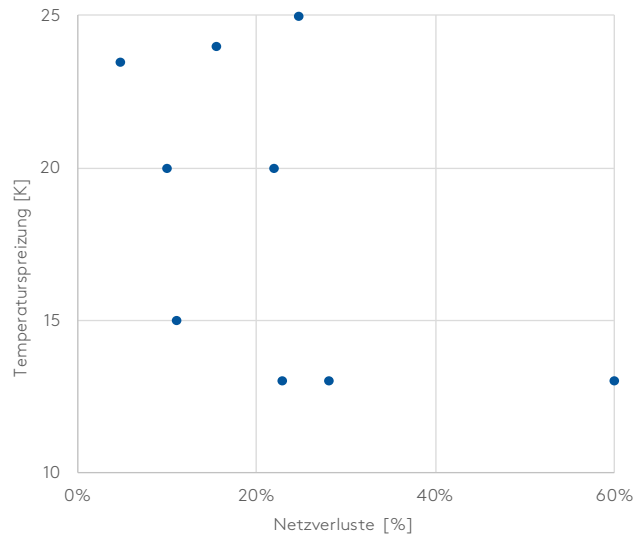


Abb. 9: Netzverluste der untersuchten Netze in Abhängigkeit der Temperaturspreizung

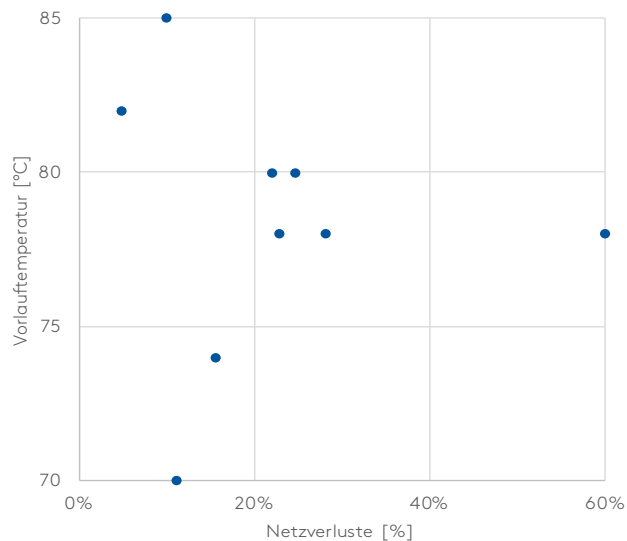


Abb. 10: Netzverluste der untersuchten Netze in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur

Primärenergie- und Emissionsfaktoren

Noch bevor der Endenergieträger in einem Wärmesystem zu nutzbarer Wärme umgewandelt werden kann, fallen bereits in der Vorkette Energieverluste, Prozessaufwände und Emissionen an. Um diese zu berücksichtigen und die Wärmenetze im Hinblick darauf zu bewerten werden in dieser Arbeit Primärenergie- und Emissionsfaktoren gebildet, welche die gesamten fossilen Primärenergien und treibhausrelevanten Emissionen den nutzbaren Produkten dieser Systeme zuordnen. Diese Faktoren sind somit spezifische Kennwerte, anhand derer verschiedene Wärmeversorgungssysteme bewertet und miteinander verglichen werden können.

Der **Emissionsfaktor** gibt Aufschluss über die treibhausrelevanten Emissionen über die gesamte Prozesskette bezogen auf die nutzbare Wärme.

Der **Primärenergiefaktor** betrachtet den Anteil an fossilen Primärenergien und erlaubt damit Aussagen zum Verbrauch endlicher Ressourcen und zur Energieeffizienz der gesamten Prozesskette.

Beide Faktoren hängen zum einen von dem zuvor erläuterten technischen System und dessen Effizienz selbst ab und zum anderen von der jeweiligen vorgelagerten Prozesskette. Je genauer diese beiden Bereiche betrachtet werden, desto aussagekräftiger und belastbarer sind die daraus gebildeten Faktoren.

Zur Ermittlung dieser Faktoren werden die insgesamt ausgestoßenen Emissionen bzw. insgesamt

eingesetzte fossile Primärenergie (Vorkette + Nahwärmesystem) auf die abgenommene Wärmemenge aufgeteilt und somit aus absoluten Werten spezifische Kennwerte gebildet. Sie ermöglichen daher bei einheitlicher Berechnung auch den Vergleich verschiedener Versorgungssysteme und Technologien untereinander.

Solange mit einem Wärmeerzeuger ausschließlich Wärme bereitgestellt wird, ist die Zuordnung der pro Megawattstunde Wärme benötigten Primärenergie bzw. ausgestoßenen Emissionen ohne weiteres möglich. Dafür wird die erzeugte Wärme lediglich durch die Primärenergie bzw. Emissionen geteilt.

Beispiel:

Bei einem Primärenergieeinsatz von 120 MWh für eine Wärmeabnahme von 80 MWh ergibt sich ein Primärenergiefaktor von 1,5. Für eine Megawattstunde Wärme müssen also 1,5 MWh Primärenergie eingesetzt werden.

Wird jedoch in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage neben Wärme auch Strom produziert, ist die Zuordnung (Allokation) der Primärenergie auf diese beiden Produkte nicht mehr eindeutig. Es haben sich verschiedene Methoden etabliert, Primärenergie und Emissionen den jeweiligen Produkten Strom und Wärme zuzuordnen. In der Praxis ist die Berechnung des Primärenergiefaktors

nach AGFW FW 309-1 weit verbreitet. Da sich diese Methode zwar grundsätzlich eignet, um KWK-Anlagen untereinander zu vergleichen, aber weniger um KWK- und nicht-KWK-Anlagen gegenüberzustellen, wird in dieser Arbeit die Wärmepotenzialmethode angewandt. Sie erlaubt einen Vergleich zwischen KWK- und reinen Wärmenetzen und berücksichtigt gleichzeitig die thermodynamische Wertigkeit der beiden Koppelprodukte Strom und Wärme.

Bei der Wärmepotenzialmethode werden die Emissionen bzw. Primärenergie den Produkten Strom und Wärme nach deren Fähigkeit, Wärme bereitstellen zu können, zugeteilt. Es wird also ein Verhältnis aus tatsächlich produzierter KWK-Wärme und potenziell aus dem KWK-Strom erzeugbarer Wärme gebildet. Dazu wird angenommen, dass der produzierte Strom, z.B. über eine Wärmepumpe, ebenso wie die Fernwärme zur Wärmeversorgung genutzt werden könnte. Es wird dabei von einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,5 ausgegangen, wie sie z.B. bei Erdsonden-Wärmepumpen realistisch ist. Damit wird in dieser Methode dem Strom eine 3,5-mal höhere Wertigkeit gegeben als der Wärme.

Die Allokationsfaktoren α dieser Methode berechnen sich über folgende Formeln:

$$\alpha_{el} = \frac{W_{el} \cdot \varepsilon_{WP}}{W_{el} \cdot \varepsilon_{WP} + Q}$$

$$\alpha_{th} = \frac{Q}{W_{el} \cdot \varepsilon_{WP} + Q}$$

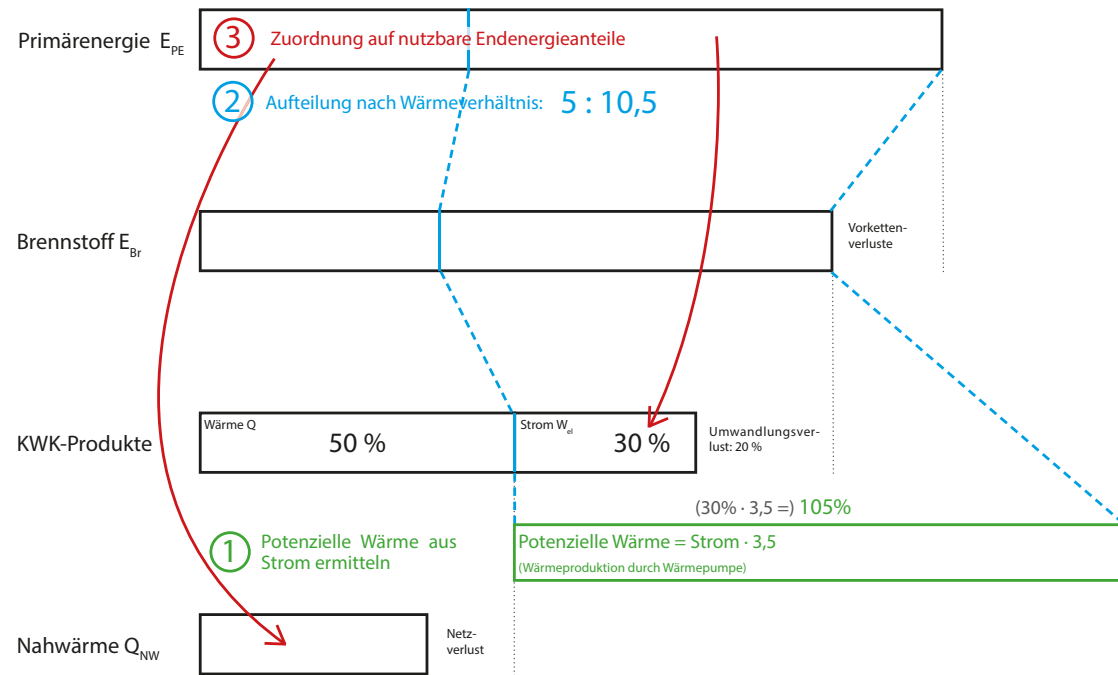


Abb. 11: Wärmepotenzialmethode - Allokation der Primärenergie nach dem Wärmepotenzial der Koppelprodukte

Hierbei sind

W_{el} der in der KWK-Anlage produzierte Strom in MWh_{el} ,

ε_{WP} die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe (hier: 3,5) und

Q die in der KWK-Anlage produzierte Wärme in MWh_{th} .

Die Zuordnung der Primärenergie auf die Koppelprodukte Strom und Wärme nach den folgenden Schritten ist beispielhaft in Abb. 11 dargestellt.

- **Schritt 1:** potenziell aus Strom produzierbare Wärme ermitteln
- **Schritt 2:** Aufteilung der Primärenergie im Verhältnis tatsächliche KWK-Wärme und potenzielle Wärme aus KWK-Strom
- **Schritt 3:** Zuordnung der Primärenergieanteile auf nutzbare Endenergieanteile

Neben der Primärenergie des Brennstoffes ist bei jeder der vorgestellten Methoden auch die Primärenergie der elektrischen Hilfsenergie W_{HN} zu berücksichtigen.

sichtigen. Bei KWK-Anlagen ist davon auszugehen, dass die Hilfsenergie aus der Eigenproduktion bezogen wird. Sie ist daher von der produzierten Strommenge abzuziehen. Bei einer reinen Wärmeherzeugung muss die Hilfsenergie dagegen extern bezogen werden und ist, mit dem Primärenergiefaktor des Strommix multipliziert, der Primärenergie des Brennstoffes hinzuzufügen.

Die insgesamt jährlich ausgestoßenen Emissionen und aufgewandte Primärenergie werden in dieser Untersuchung ermittelt, indem den jährlich eingesetzten Energieträgern spezifische brennstoffbezogene Faktoren aus der GEMIS-Datenbank angerechnet werden. Diese enthalten die Summe aller treibhausrelevanten

Emissionen (Vorkette + Verbrennung) bzw. die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung der eingesetzten Energieträger.

Die klimarelevanten Emissionen sind in der GEMIS-Datenbank in Form von CO₂-Äquivalenten angegeben und fassen damit über das reine CO₂ hinaus auch andere klimaschädliche Emissionen in einem Wert zusammen. Die Emissionen sind in Abb. 12 aufgeteilt in Vorkette und direkte Emissionen dargestellt.

Anhand dieser Emissionsfaktoren und der eingesetzten Endenergie können somit die absoluten treibhausrelevanten Emissionen EM der untersuchten Wärmenetze ermittelt werden:

$$EM = f_{Em,Br,Hs} \cdot E_{Br}$$

Hierbei sind

$f_{Em,Br,Hs}$ der auf den Brennwert bezogene treibhausrelevante Emissionsfaktor des jeweiligen Brennstoffes in kg_{CO₂-Äq./MWh} (s. Abb. 12) und

E_{Br} die Endenergie des jeweiligen Brennstoffes in MWh/a

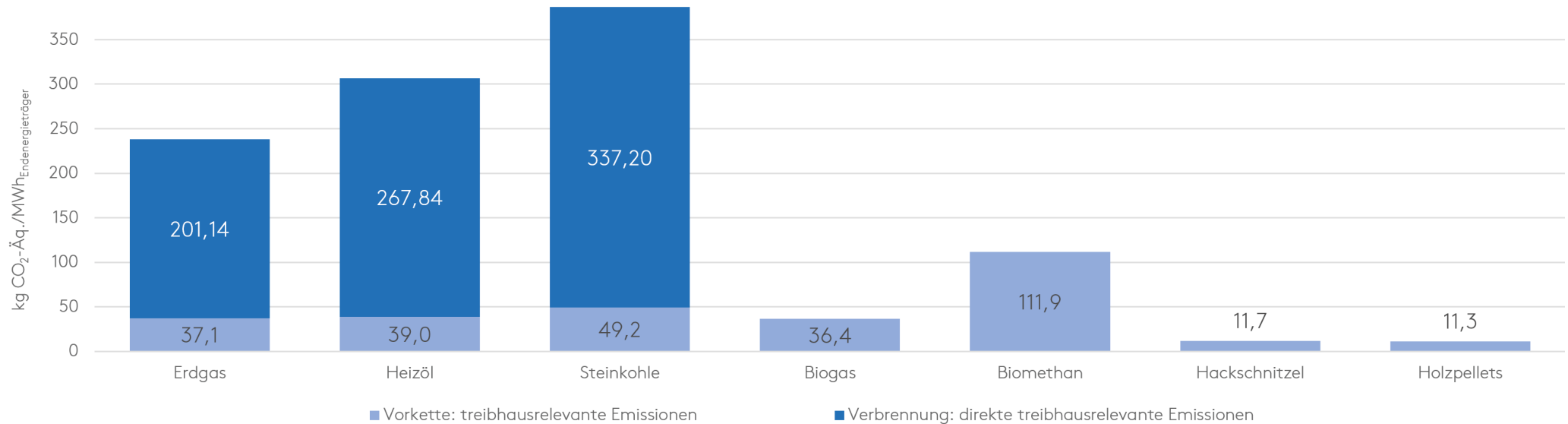


Abb. 12: Direkte und indirekte treibhausrelevante Emissionen der betrachteten Energieträger (nach IINAS 2017)

Analog zu den Emissionen sind in Abb. 13 die Zusammensetzung der Primärenergie der in dieser Arbeit betrachteten Energieträger dargestellt. Die Anteile von 0 bis 1 entsprechen dem Endenergieanteil und die Anteile, die über 1 hinausgehen, stellen die jeweilige Vorkette dar. Die grauen Anteile entsprechen in Summe dem nicht-erneuerbaren kumulierten Energieverbrauch.

Der jährliche fossile Primärenergieeinsatz E_{PE} der untersuchten Wärmenetze lässt sich somit ermitteln, indem die Brennstoffverbräuche mit den fossilen Anteilen der jeweiligen Primärenergiefaktoren aus Abb. 13 multipliziert werden.

$$E_{PE} = f_{PE,Br,Hs} \cdot E_{Br,Hs}$$

Hierbei sind

- $f_{PE,Br,Hs}$ der auf den Brennwert bezogene fossile Primärenergiefaktor (bzw. KEV) des Brennstoffes aus Abbildung Abb. 12 und
- $E_{Br,Hs}$ der (erhobene/ermittelte) Brennwert des jeweiligen Energieträgers in MWh/a.

Mithilfe dieser brennstoffbezogenen Emissionen und Primärenergien können daraufhin der Emissions- und der Primärenergiefaktor der Nahwärme anhand der beschriebenen Wärmepotenzialmethode gebildet werden. Es gibt dabei grundsätzlich zwei Möglichkeiten,

die elektrische Hilfsenergie zu berücksichtigen: Bei eigener Stromversorgung aus KWK-Anlagen wird die Hilfsenergie von dem in der KWK-Anlage produzierten Strom abgezogen (Bei den erhobenen Daten zur Stromproduktion wird davon ausgegangen, dass die Eigennutzung bereits abgezogen wurde, da i.d.R. nur der eingespeiste Strom gemessen wird). Bei externem Strombezug wird der Primärenergieverbrauch der Brennstoffe um den Primärenergieverbrauch der Hilfsenergie ergänzt. Dieser errechnet sich durch Multiplikation der Hilfsenergie mit dem Primärenergiefaktor des deutschen Strommix, welcher ebenfalls GEMIS entnommen wird.

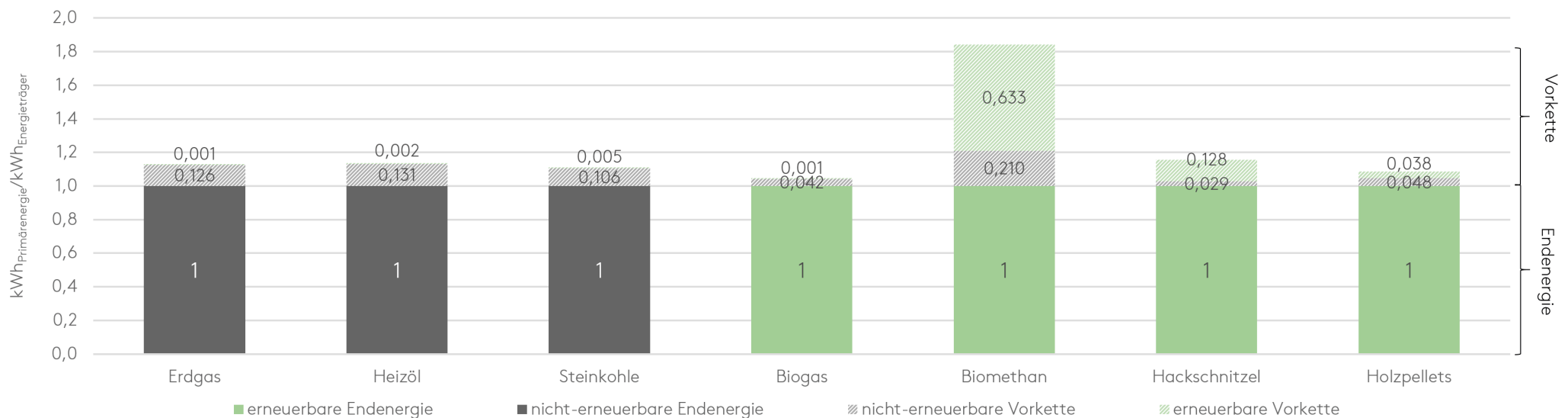


Abb. 13: Zusammensetzung der Primärenergie betrachteter Energieträger (nach IINAS 2017).
Von 0 bis 1 ist der jeweilige Endenergieanteil dargestellt, die Werte größer als 1 stellen die Vorkette dar.

Emissionsfaktoren

Um die untersuchten Netze im Hinblick auf die Emissionen gegenüberzustellen, sind die Emissionsfaktoren der Nahwärme in Abb. 14 der Größe nach aufsteigend dargestellt. Neben den Faktoren der untersuchten Wärmenetze sind auch die Emissionsfaktoren von Nutzwärme aus individuellen Erdgaskesseln sowie Wärmepumpen (Strommix) dargestellt.

Im direkten Vergleich liegen die meisten der untersuchten Wärmenetze im Hinblick auf den Emissionsfaktor der Nahwärme unter den Werten einer konventionellen Einzelversorgung mit Erdgaskesseln.

Das bedeutet, dass mit Abnahme von Wärme dieser Netze weniger treibhausrelevante Emissionen freigesetzt werden, als wenn jeder Abnehmer sich selbst mit Wärme aus eigenen Erdgaskesseln bei einem Nutzungsgrad von 90% versorgen würde. Dieser Vergleich umfasst die Wärmeerzeugung einschließlich der jeweiligen Brennstoffvorkette.

Dagegen liegen nur diejenigen Wärmenetze, die überwiegend oder ausschließlich erneuerbare Energien einsetzen, deutlich unter dem Emissionsfaktor einer individuellen Versorgung durch Wärmepumpen.

Hinweis:

Da Wärmepumpen aus Gründen der Energieeffizienz überwiegend im Niedertemperaturbereich eingesetzt werden, stellen keine uneingeschränkte Alternative zu Wärmenetzen dar. Während sie sich im Neubau zu Heizzwecken gut eignen, erfordert die Wärmewende im Bestand aufgrund der notwendigen höheren Temperaturen andere Lösungen.

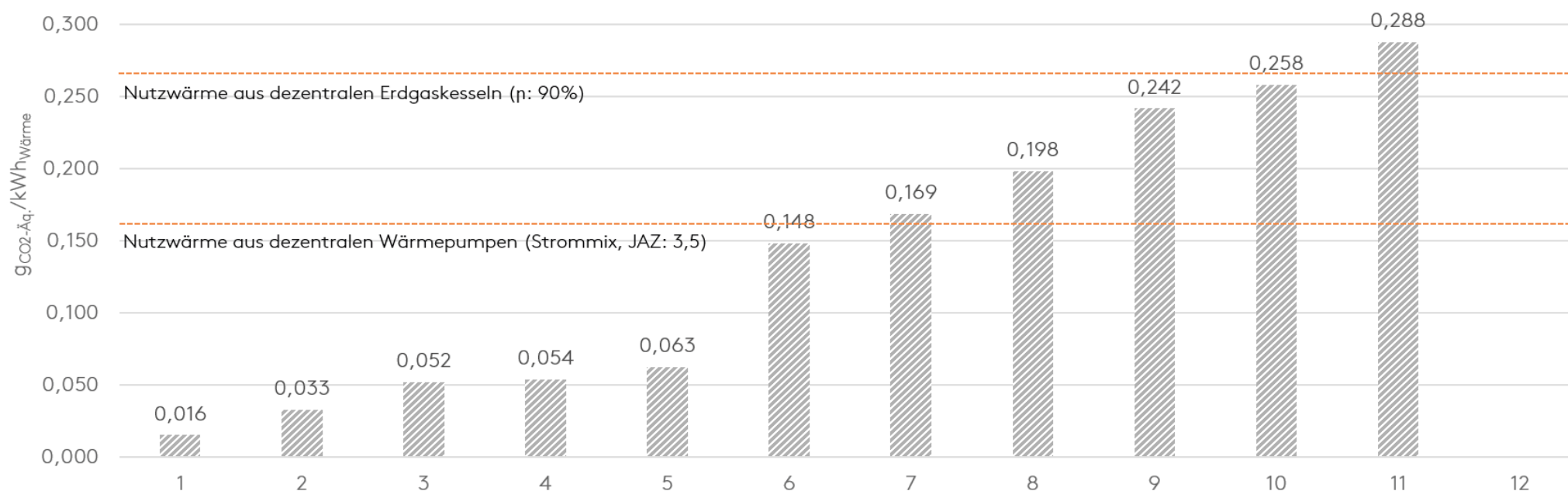


Abb. 14: Treibhausrelevante Emissionsfaktoren der Nahwärme nach Wärmepotenzialmethode

Primärenergiefaktoren

Um die Systemeffizienz inklusive der Vorkette im Hinblick auf fossile Energieträger vergleichend darzustellen werden Primärenergiefaktoren der Nahwärme der einzelnen Netze nach Wärmepotenzialmethode aufsteigend dargestellt (Abb. 15). Da einige Betreiber ihr Netz jedoch nach AGFW FW 309-1 zertifiziert haben, wird auch der nach dieser Methodik ermittelte Faktor zum Vergleich angegeben. Neben den Werten der einzelnen Netze nach den beiden Methoden ist darüber hinaus auch der Primärenergiefaktor für Nutzwärme aus dezentralen Erdgaskesseln eingezeichnet. Diese Darstellung ermöglicht nicht nur den Vergleich der Primärenergiefaktoren unter den Wärmenetzen, sondern

auch zwischen Wärmenetzen und der konventionellen Wärmeversorgung mit individuellen Erdgaskesseln.

Es zeigt sich dabei, dass nahezu alle Netze einen niedrigeren Primärenergiefaktor aufweisen als dezentrale Erdgaskessel, die meisten davon sogar deutlich darunterliegen. Lediglich ein Wärmenetz, das ausschließlich fossile Energieträger einsetzt, liegt je nach Allokationsmethode leicht darüber. Die niedrigsten Primärenergiefaktoren weisen Holz- und Biogas-betriebene Netze auf, die zu 100 % mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden. Sie werden dicht gefolgt von den Netzen, die überwiegend erneuerbare Energieträger nut-

zen. Auffällig ist, dass die Netze, die überwiegend mit Biogas gespeiste Blockheizkraftwerke betreiben, nach AGFW-Methodik einen Primärenergiefaktor von 0,0 aufweisen. Der Formel nach hätten sie sogar einen negativen Faktor, welcher allerdings gemäß AGFW 2014 zu null gesetzt wird. Dagegen weisen Netze, die zwar auch im Wesentlichen erneuerbare Brennstoffe nutzen, aber dabei keinen Strom produzieren einen deutlich höheren Wert nach AGFW-Methodik auf. Wie in beschrieben, scheinen daher Netze mit gekoppelter Stromproduktion durch diese Verdrängungsmethode nach AGFW FW 309-1 im direkten Vergleich gegenüber reinen Heizwerken bevorzugt zu werden.

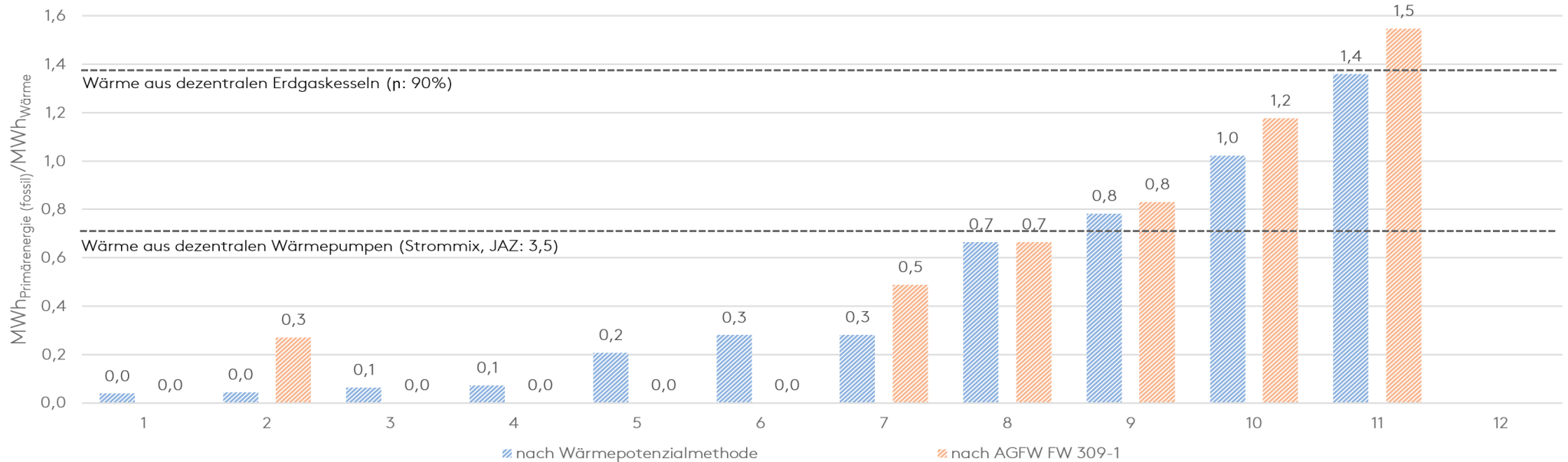


Abb. 15: Primärenergiefaktoren der Nahwärme nach Wärmepotenzialmethode und AGFW FW 309-1

Vergleich zu konventioneller Versorgung

Um die Wärmenetze qualitativ ins Verhältnis zu einer alternativen, konventionellen Wärmeversorgung zu setzen, wird für jedes Netz simuliert, wieviel Endenergie (Brennstoff) und fossile Primärenergie theoretisch benötigt würde, wenn mit individuellen Heizkesseln geheizt würde. Dafür wird davon ausgegangen, dass die vom Wärmenetz gelieferte Wärme stattdessen über individuelle Erdgaskessel (Nutzungsgrad: 90 %) produziert werden müsste. Der daraus resultierende Primärenergiefaktor der Wärme und die dazu benötigte Brennstoffenergie wird daraufhin mit den tatsächlich erreichten Werten der jeweiligen Wärmenetze verglichen.

Die Prozess- und Sekundärenergienutzung in den Wärmenetzen wird dabei jedoch nicht berücksichtigt, da nicht davon auszugehen ist, dass Fermenter oder Holz- bzw. Gärresttrockner mithilfe von Erdgaskesseln beheizt würden. Auch die Primärenergie und Brennstoffanteile der Stromproduktion in Heizzentralen mit Blockheizkraftwerken fließen nicht in diesen Vergleich mit ein, da sie einen Vergleich zu reinen Heizsystemen verzerren würden. Die fossile Primärenergie- und Brennstoffeinsparungen bzw. -steigerungen durch die untersuchten Wärmenetze im Vergleich zur konventionellen Beheizung der angeschlossenen Abnehmer sind in Abb. 16 dargestellt.

Es zeigt sich dabei, dass viele der betrachteten Wärmenetze sowohl zu Primärenergie- als auch zu Brennstoffeinsparungen führen. Lediglich zwei hauptsächlich fossil betriebene Wärmenetze mit relativ geringem Anteil Stromproduktion sowie die beiden ausschließlich mit Heizwerken betriebenen Netze weisen einen höheren Brennstoffbedarf auf, als die konventionelle Alternative. Absolut gesehen hätten alle Wärmenetze einen höheren Brennstoffbedarf, jedoch wird ein Großteil davon aufgrund der Allokationsmethode der

Stromproduktion angerechnet, welche nicht Teil dieser Betrachtung ist.

Beispiel:

Während die meisten Netze sowohl weniger Brennstoff nutzen als auch einen geringeren fossilen Primärenergiebedarf gegenüber erdgasbetriebenen Einzelheizungen aufweisen, benötigen die Netze 1, 4, 6 und 11 aufgrund höherer Systemverluste mehr Brennstoff als individuelle Systeme.

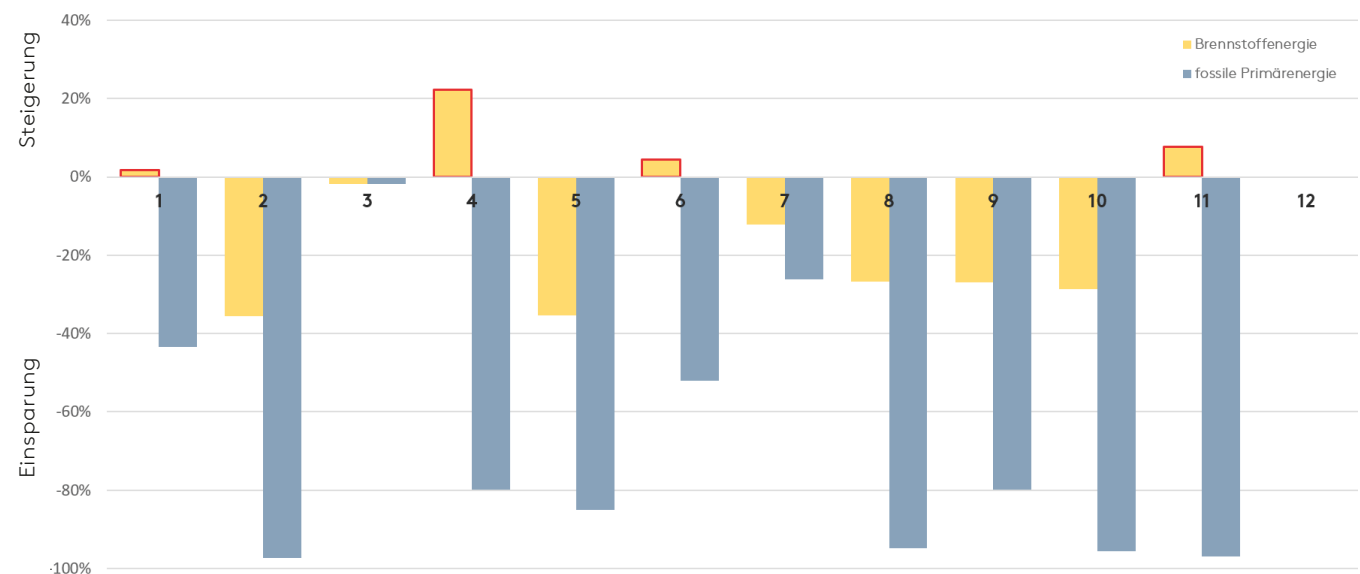


Abb. 16: Brennstoff- und Primärenergieeinsparung bzw. -mehrverbrauch der untersuchten Wärmenetze im Vergleich zu konventioneller Wärmeversorgung durch individuelle Erdgaskessel

Bewertung und Diskussion

Mit der Systemeffizienz, den Netzverlusten, der Anschlussdichte und der Temperaturspreizung wurden Effizienzkennwerte gebildet, die das technische System bzw. den Wärmenetzbetrieb selbst beschreiben. Diese Kennwerte liegen damit größtenteils im Einflussbereich des Netzbetreibers und können aktiv und gezielt verändert werden (Eine Ausnahme bildet die Rücklauftemperatur, welche hauptsächlich von den Anschlussnehmern abhängig ist). Die gebildeten Primärenergie- und Emissionsfaktoren dagegen sind Kennwerte, die neben der Systemeffizienz auch die Vorkette der eingesetzten Energieträger berücksichtigen und damit die gesamte Prozesskette von der ersten Umwandlung bis hin zur nutzbaren Energie abbilden. Anhand dieser Primärenergie- und Emissionsfaktoren lassen sich Nahwärmesysteme somit nicht nur untereinander, sondern auch mit herkömmlichen, dezentralen Systemen auf Basis individueller Heizungen unter Berücksichtigung der gesamten Prozesskette vergleichen und bewerten.

Darüber hinaus zeigt sich, dass reine Wärmeerzeuger deutlich geringere Verluste aufweisen, als die untersuchten Blockheizkraftwerke. Die reine Wärmeerzeugung wirkt damit zunächst effizienter als die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung. Da jedoch die ungekoppelte Stromproduktion auf der anderen Seite wiederum deutlich ineffizienter ist, ist die Kraft-Wärme-Kopplung in Bezug auf beide Produkte (Strom und Wärme) im Vergleich zu einer getrennten Erzeugung

Neben großen Unterschieden zwischen den untersuchten Netzen stellt sich bei der Systemeffizienz heraus, dass ein erheblicher Teil der aufgewandten Brennstoffenergie innerhalb des Nahwärmesystems verloren geht. Auf die gesamte Brennstoffenergie bezogen sind es vor allem die Umwandlungsverluste in Kesseln und Blockheizkraftwerken, die den größten Anteil ausmachen. Bei der Betrachtung der Nutzungsgrade fällt auf, dass sie deutlich unter den Herstellerangaben zum Wirkungsgrad liegen.

von Strom **und** Wärme insgesamt effizienter. Für Wärmenetzbetreiber, die jedoch keinen eigenen Strom benötigen, sondern primär nur Wärme liefern möchten, stellt sich die Frage, ob die höheren Verluste in Bezug zur reinen Wärmeerzeugung sinnvoll sind (da ansonsten ohnehin keine eigene getrennte Stromproduktion betrieben würde, deren Verluste zu minimieren wären). Die zusätzlichen Verluste gegenüber der reinen Wärmeerzeugung müssen also den Gewinnen aus der Stromeinspeisung gegenübergestellt werden.

Die Wärmeverluste im Netz spielen, auf die gesamte Endenergie bezogen, bei den untersuchten Netzen eine geringere Rolle als die Umwandlungsverluste. Da jedoch in den meisten Netzen aus der Brennstoffenergie neben Wärme auch Strom produziert wird und teilweise auch Prozess- und Sekundärwärme genutzt wird, welche nicht primär für das Wärmenetz produziert wird, machen die Netzverluste, bezogen auf die

tatsächliche Wärmeeinspeisung, dagegen einen erheblichen Anteil aus. Für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die vorrangig Strom produzieren, aber die dabei anfallende Wärme dennoch nutzen, machen Wärmeverluste im Netz also einen kleinen Teil der gesamten Brennstoffenergie aus. Für Nahwärmesysteme, die jedoch vorrangig zur Versorgung der angeschlossenen Wärmeabnehmer gedacht sind und dementsprechend primär Wärme produzieren, spielen Netzverluste hingegen eine große Rolle, weil sie einen größeren Anteil der eingesetzten Brennstoffenergie ausmachen.

Einerseits ist es möglich, dass die untersuchten Netze

Zwischen den untersuchten Netzen gibt es deutliche Unterschiede sowohl bei den Netzverlusten als auch den Anschlussdichten. Dennoch konnte kein Zusammenhang zwischen Anschlussdichte und Netzverlusten gezeigt werden.

zu unterschiedlich und inhomogen dazu sind und außerdem zu wenige Netze betrachtet wurden, um eine statistische Relevanz zu erzielen, und andererseits gibt es neben der Anschlussdichte weitere Faktoren, die die Netzverluste beeinflussen. Es wird hier davon ausgegangen, dass diese Faktoren einen größeren Einfluss auf die Verluste haben als die Anschlussdichte. Aus diesem Grund sollte die Anschlussdichte nicht als unbedingt einzuhaltendes Kriterium für geringe Netzverluste (wie z.B. durch C.A.R.M.E.N. vorgeschlagen), sondern eher als Orientierungswert zu sehen sein. Ein

Wärmenetz mit niedriger Anschlussdichte ist nicht automatisch ineffizient, und ein Wärmenetz mit hoher Anschlussdichte kann dennoch hohe Verluste aufweisen. Grundsätzlich ist allerdings zu erwarten, dass eine hohe Anschlussdichte statistisch zu niedrigeren Verlusten führt als eine niedrige Dichte, wie sich auch im Vergleich zu schweizerischen und dänischen Wärmenetzen zeigt. In Abb. 17 sind die in dieser Arbeit untersuchten Netze im Hinblick auf Anschlussdichte und Netzverluste neben den dänischen und schwei-

zerischen Netzen dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die meisten untersuchten Netze in einem ähnlichen Bereich liegen wie die dänischen und schweizerischen Netze, jedoch nicht so konzentriert.

Bei der Temperaturspreizung ist dagegen ein Zusammenhang zu den Netzverlusten zu erkennen. Je höher die Spreizung der Vor- und Rücklauftemperaturen ist, desto niedriger scheinen tendenziell die Netzverluste zu sein. Bei dem absoluten Temperaturniveau, welches

ebenfalls einen Einfluss auf die Wärmeverluste hat, zeigt sich bei den untersuchten Netzen auch ein leichter Zusammenhang.

Um die Spreizung zu erhöhen bzw. die Rücklauftemperatur zu senken, sollten die angeschlossenen Verbraucher bei zukünftigen Erweiterungen und Ausbaustufen in die Effizienz des Netzes einbezogen werden, indem z.B. der Wärmetarif von der Rücklauftemperatur abhängig gemacht wird oder vor Anschluss an das Netz ein hydraulischer Abgleich vorgeschrieben wird.

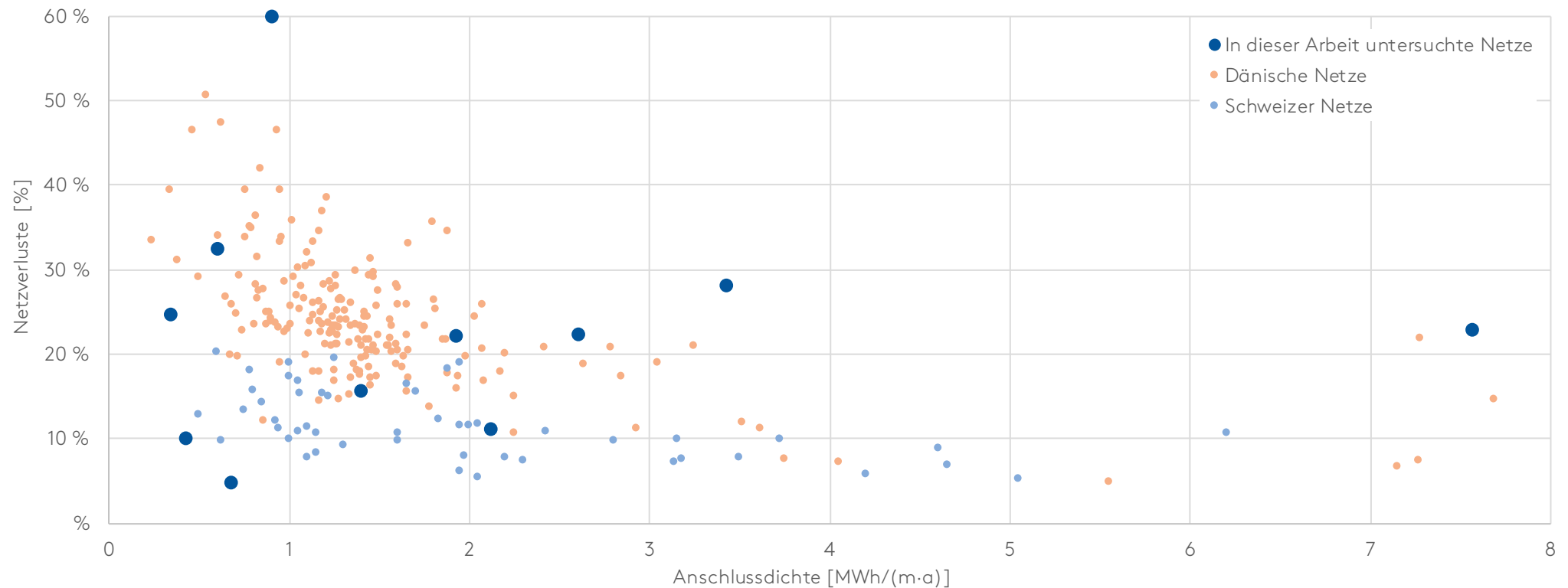


Abb. 17: Anschlussdichten und Netzverluste der in dieser Arbeit untersuchten Wärmenetze im Vergleich zu dänischen und schweizerischen Untersuchungen (DANSK FJERNVARME, Heizsaison 2015/16; THALMANN ET. AL. 2013, *Analyse und Optimierung von Fernwärmenetzen*)

Im Hinblick auf die Primärenergie- und Emissionsfaktoren ergeben sich wie auch bei der Systemeffizienz deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Netzen. Diese Unterschiede reichen von Werten nahe Null bis hin zu Werten, die (je nach Allokationsmethode) höher sind als die einer konventionellen Versorgung, und decken dabei die gesamte Bandbreite ab, in der Wärmenetze zu erwarten sind. Je niedriger diese Werte sind, desto ökologischer und / oder effizienter laufen die jeweiligen Netze. Die niedrigsten Primärenergiefaktoren weisen diejenigen Netze auf, die mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden. Darauf folgen die Netze, die durch fossile Energieträger unterstützt werden, und die, die neben hauptsächlich fossilen Brennstoffen zusätzlich erneuerbare einsetzen. Abschließend folgt das Netz, welches ausschließlich fossile Energieträger einsetzt und damit nahe dem Wert herkömmlicher Erdgasheizungen mit einem Nutzungsgrad von 90 % liegt. Das zeigt zunächst, dass die Systemeffizienz einen geringeren Einfluss auf den Primärenergiefaktor hat als der eingesetzte Brennstoff. Erst bei gleichem Brennstoff hängt die Reihenfolge von der Systemeffizienz und (aufgrund der Allokationsmethode) dem Anteil des produzierten Stroms ab. Dass der Primärenergiefaktor hauptsächlich von den eingesetzten Brennstoffen abhängig ist, die Systemeffizienz dagegen nicht, zeigt sich sehr deutlich in Abb. 18, in der die untersuchten Netze im Hinblick auf diese beiden Kennwerte dargestellt sind.

Es wird daran zusätzlich deutlich, dass ein Nahwärmesystem nicht grundsätzlich und automatisch bessere Werte erreicht als dezentrale Einzelsysteme. Bei konventionellen Energieträgern und Umwandlungsverlusten in üblicher Höhe, sind es die zusätzlichen Netzverluste, die dazu führen, dass der Primärenergiefaktor eines Wärmenetzes höher ausfallen kann als bei konventioneller Versorgung. Um also einen besseren Wert zu erreichen als konventionelle Einzelkessel,

müssen entweder die Systemverluste niedriger sein (und /) oder die Energieträger einen geringeren Primärenergiefaktor aufweisen.

Insgesamt gibt es unter den untersuchten Netzen sehr gute Beispiele im Hinblick auf die Systemeffizienz und sehr gute Beispiele im Hinblick auf die Primärenergieeffizienz. Ein Wärmenetz erreicht sogar in beiden Kategorien sehr gute Werte. Es zeigt sich daran allerdings auch, dass viele Netze in der Region noch erhebliche

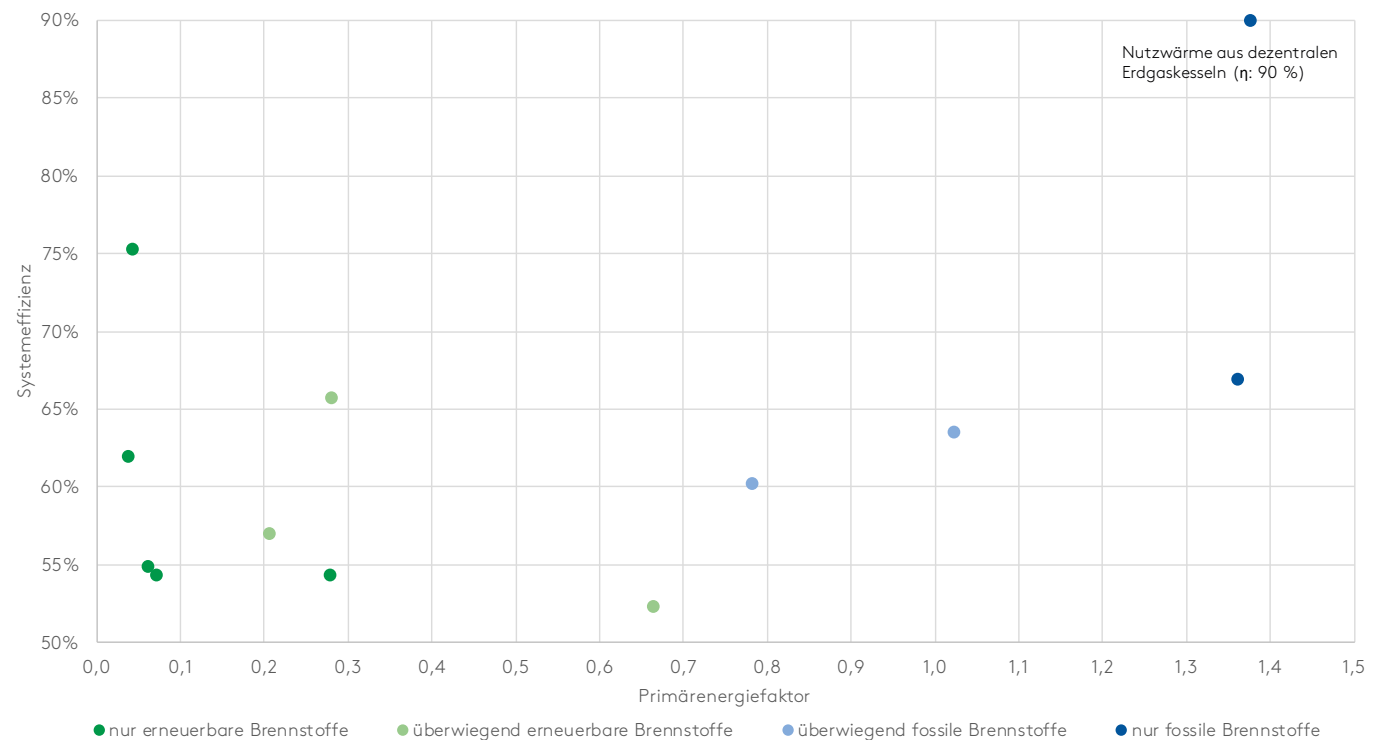


Abb. 18: Primärenergiefaktoren und Systemeffizienz der untersuchten Wärmenetze

Optimierungspotenziale sowohl in Bezug auf Systemeffizienz als auch Primärenergiefaktor haben.

Zur Optimierung werden den Netzbetreibern Empfehlungen ausgesprochen, deren Umsetzbarkeit zu prüfen ist. Dazu zählen bei vielen Netzen die Nutzung des Brennwertes, entweder bei Kesseltausch oder über eine nachgeschaltete Anlage, die den Wasserdampf aus den Rauchgasen kondensiert. Dabei ist jedoch zu prüfen, ob die Rücklauftemperatur niedrig genug ist um diese Nutzung zu erlauben. Einigen Netzen wird empfohlen, (weiter) auf erneuerbare Energieträger umzusteigen. Vor allem für erdgasbetriebene Anlagen ist der Umstieg auf bilanzielles Biomethan technisch ohne weiteres möglich. Ein Hemmnisfaktor könnte dabei jedoch die Wirtschaftlichkeit sein. Weitere Empfehlung ist es, die Vorlauftemperaturen abzusenken und die Spreizung nach Möglichkeit in Absprache mit den Anschlussnehmern durch eine reduzierte Rücklauftemperatur zu erhöhen.

Die wichtigste Empfehlung, die den Betreibern ausgesprochen wird, ist es, die Energieströme in den eigenen

Hinweis:

Mit reduzierten Temperaturen steigt der erforderliche Volumenstrom um die gleiche Wärmemenge zu transportieren. Daher ist zu prüfen, ob die Wärmetauscher in den Übergabestationen der Abnehmer auch bei einer höheren Fließgeschwindigkeit eine ausreichende Leistung übertragen können.

Anlagen zu messen und zu dokumentieren. Insbesondere die landwirtschaftlichen Netze (aber zum Teil auch andere) messen ihre Energieströme nur teilweise.

Jedem Netzbetreiber wird empfohlen, nach Möglichkeit

- 1.) die **bezogenen Energieträger** jeweils vor der Umwandlung,
- 2.) die **erzeugten Produkte Strom und Wärme** jeweils nach jedem Erzeuger und
- 3.) die **abgegebene Wärmemengen** an jedem Abnehmer (auch an Fermentern und landwirtschaftlichen Trocknern)

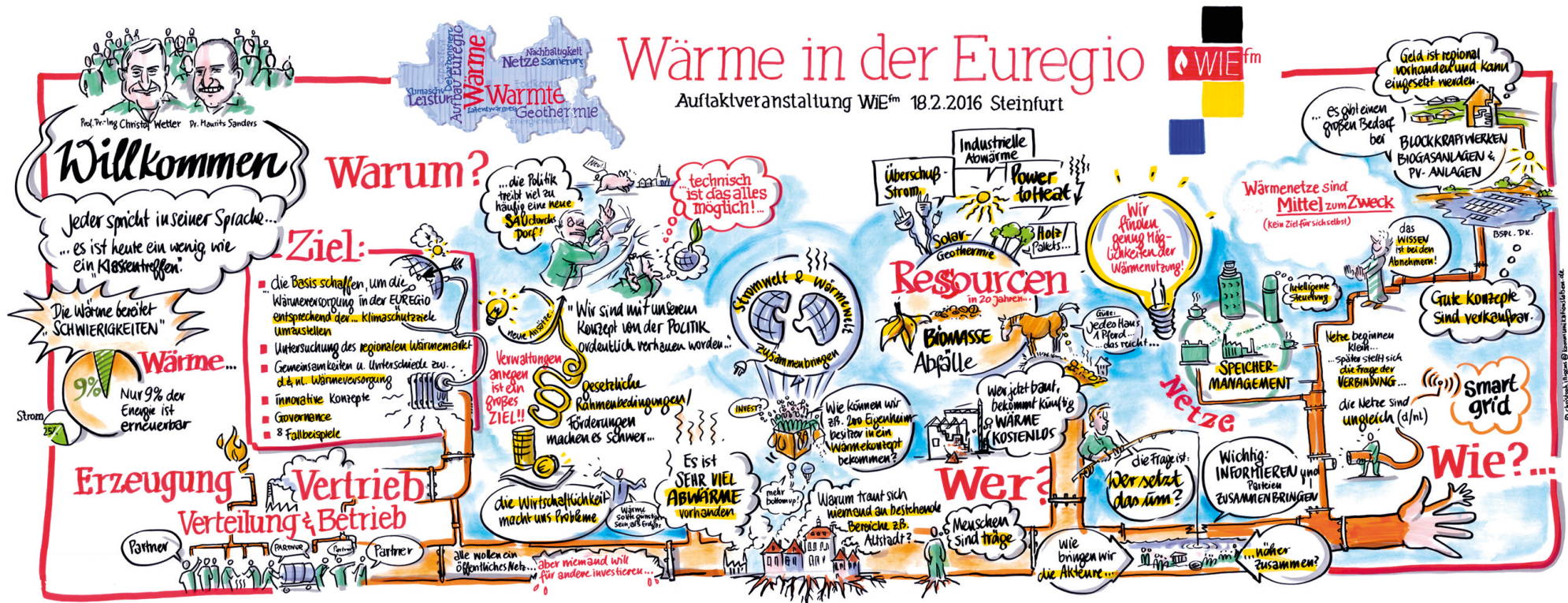
zu **messen** und zu **dokumentieren**. Nur so ist ein umfassender Einblick in die Effizienz der Anlagen und des Systems möglich und dadurch wiederum können Einspar- und Optimierungspotenziale entlang der eigenen Prozesskette identifiziert und nutzbar gemacht werden.

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung lassen sich somit die folgenden, auf neue Wärmenetz-Projekte übertragbaren Erkenntnisse ableiten:

- Wärmenetze können sehr effizient und klimafreundlich sein – sie sind es allerdings nicht automatisch.
- Wärmenetze lassen sich auch in Gegenden mit sehr niedriger Anschlussdichte ökologisch sinnvoll und effizient betreiben.

- Der Primärenergiefaktor wird in erster Linie durch die eingesetzten Energieträger und nur weniger durch die Technik bestimmt. Aus ökologischer Sicht ist daher von einer Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern in Wärmenetzen abzuraten.
- Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Wärmeversorgung im Sinne der Energiewende sind Wärmenetze überall dort in Betracht zu ziehen, wo Abwärme oder erneuerbare Energie zur Verfügung stehen oder gestellt werden können, die nicht individuell nutzbar sind (z.B. Biogasabwärme oder großflächige Solarthermie) und deren Verwertung auf diese Art eine höhere Systemeffizienz und einen niedrigeren Primärenergiefaktor haben als andere Versorgungsalternativen.

Die Versorgung mit Wärme über Nahwärmesysteme kann damit eine sinnvolle Möglichkeit darstellen, konventionelle Einzelheizungen auf Basis fossiler Brennstoffe zu ersetzen und somit einen wertvollen Beitrag zur Energiewende im Wärmesektor zu leisten. In Gebieten, in denen Nahwärme aufgrund fehlender Wärmequellen nicht sinnvoll sind, ist auf andere klimafreundliche, individuelle Systeme, wie z.B. Wärmepumpen und Solarthermieanlagen, zurückzugreifen.



Über „Wärme in der EUREGIO - fokussieren und modernisieren“

Während sich in den vergangenen 20 Jahren eine Vielzahl technischer Lösungen für eine effizientere und klimafreundlichere Versorgung mit Strom etabliert haben, ist der Themenbereich Wärme vergleichsweise wenig betrachtet worden. Im Jahr 2017 wurde bereits mehr als ein Drittel des Strombedarfs in Deutschland durch erneuerbare Energien gedeckt, jedoch nur etwa 13 % des Wär-

mebedarfs. Mit 1.300 TWh/a ist dieser dagegen fast dreimal so hoch wie der Bedarf an Strom. Aus diesem Grund widmet sich das geförderte INTER-REG-VA-Projekt „Wärme in der EUREGIO - fokussieren und modernisieren“ (WiEfm) dem Thema der nachhaltigen Wärmeversorgung und untersucht die Grundlagen des Wärmemarktes im Projektgebiet der EUREGIO, arbeitet Einsparmöglichkeiten

und Effizienztechnologien heraus und stellt technische Lösungen für eine bestmögliche Nutzung klimafreundlicher Wärme dar. Ziel des Forschungs- und Entwicklungsprojekts ist es, konkrete Pläne für eine effiziente Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wärme zu entwickeln, um das Thema für die Industrie und Kommunen greifbar und umsetzbar zu machen.

Bisherige Projektergebnisse

- Die Wärme-HotSpot-Analyse: eine interaktive kartografische Darstellung von über 200 Gebieten (HotSpots) im Münsterland mit Wärmebedarfen, deren flächenbezogene Bedarfsdichte so hoch ist, dass die Versorgung über ein Wärmenetz sinnvoll ist
- Die Untersuchung bestehender niederländischer und deutscher Wärmenetze im Hinblick auf Technik, Effizienz und Umweltauswirkungen
- Zukunftswerkstätten: Durchführung von 6 interaktiven Workshops mit Fachleuten (Planer und Kommunen) in den sechs Regionen (Overijssel, Gelderland, Kreis Borken, Kreis Coesfeld, Kreis Steinfurt, Kreis Warendorf)
- Expertenworkshops: 3 überregionale Fachtagungen mit Interessierten und Experten aus der EUREGIO
- Themengebiet Governance: Identifikation von Erfolgsfaktoren und Hinderungsgründen für die Initiierung kollektiver Wärmeversorgungen sowie die Darstellung des Planungsstands und des Umfangs, mit dem in der Region an Wärmenetzen gearbeitet wird
- Wärmegutscheine: die Erarbeitung von bisher 14 Machbarkeitsstudien zu kollektiven Wärmeversorgungsprojekten mit einem Gesamtvolumen von 191.400 € wurde im Rahmen von WiEfm mit einer Förderquote von 70 % finanziell unterstützt. Fördermittel für weitere 14 Studien stehen noch zur Verfügung

Die im Rahmen dieses Projektes erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse werden auf der Projektwebsite www.wiefm.eu dargestellt.

Wärme in der Euregio

fokussieren & modernisieren



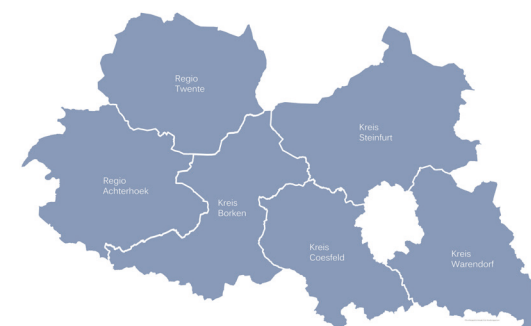
Wärmenetze
Warmnetzen



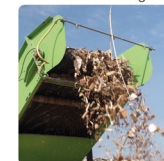
Planung
Planning



Sanierungen
Saneringen



Erneuerbare Energien
Duurzame Energie



Wärmespeicher
Warmteopslag



Zusammenarbeit
Samenwerking



Gefördert durch:

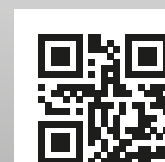
- Interreg Deutschland Nederland
- Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes NRW
- Provincie Gelderland
- Provincie Overijssel

Projektpartner:

- Abfallwirtschaftsgesellschaft des Kreises Warendorf mbH
- FH Münster
- Stichting kiEMT
- Saxion University of Applied Sciences
- Wirtschaftsförderungs- und Entwicklungsgesellschaft Steinfurt mbH
- Wirtschaftsförderung Kreis Coesfeld GmbH
- Wirtschaftsförderungsgesellschaft für den Kreis Borken mbH

Projektlaufzeit: 01.04.2015 - 30.03.2019

Projektwebsite: www.wiefm.eu



Wärmenetzbenchmark

Qualitativer Vergleich bestehender Wärmenetze

Als Betreiber kennt man sein Wärmenetz wie die eigene Westentasche. Leitungslängen, Kesselleistung, Temperaturen – kein Problem, alles bekannt. Doch wie ordnet sich das eigene Netz im Vergleich zu anderen ein? Haben andere geringere Leitungsverluste oder höhere Wärmedichten? Wie steht es um meinen Primärenergiefaktor? Und wo gibt es noch Ansätze zur Optimierung und Einsparung?

Das geförderte INTERREG-VA-Projekt „Wärme in der Euregio – fokussieren und modernisieren“ hat zwölf Wärmenetze im Münsterland untersucht und daraus einen qualitativen Vergleich abgeleitet.

Für das Benchmark wurden technische und wirtschaftliche Daten interessierter Wärmenetzbetreiber erhoben. Mithilfe der daraus gebildeten Kennwerte wurden die Netze beurteilt und bewertet sowie qualitativ und quantitativ ins Verhältnis zueinander gesetzt.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse im Hinblick auf die folgenden Kennwerte zusammen:

- Systemeffizienz
- Anschlussdichte
- Temperaturen
- Emissions- und Primärenergiefaktoren
- Vergleich zu konventioneller Versorgung



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences