

Prof. Clemens Felsmann
Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung

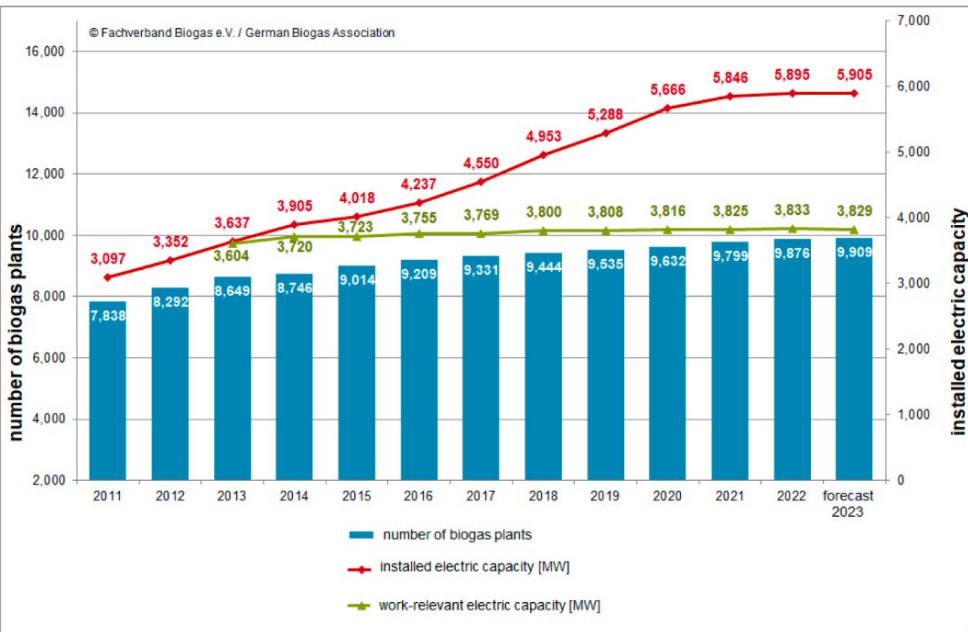
Möglichkeiten für die Bereitstellung von Wärme aus Biogasanlagen

Biogas-Fachgespräch
Nossen, 28.02.2024

Zum Einstieg ...

Statistik und Wärmeangebote

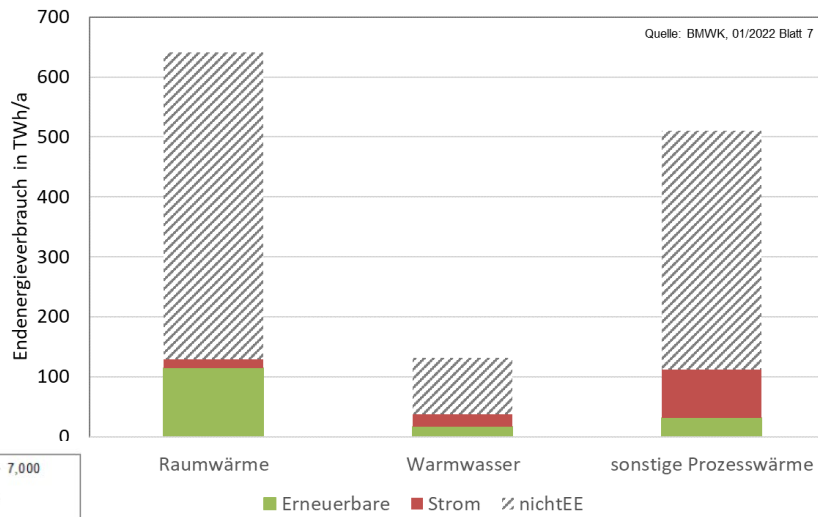
Biogas market data in Germany 2022/2023



$$\bar{P}_{el} = \frac{5905 \text{ MW}}{9905 \text{ Anlagen}}$$

Mittlere Anlagengröße

$$\bar{P}_{el} = 600 \text{ kW}$$



$$\sigma = \frac{W_{el,a}}{Q_{H,a}} \text{ Stromkennzahl}$$

$$\sigma = \frac{33,6 \text{ TWh/a}}{22,9 \text{ TWh/a}} = 1,5$$

BHKW typisch: 0,5 – 1,0

Referenzanlage 3 - 500 kW_{el}, Ackerbaubetrieb mit 140 GV

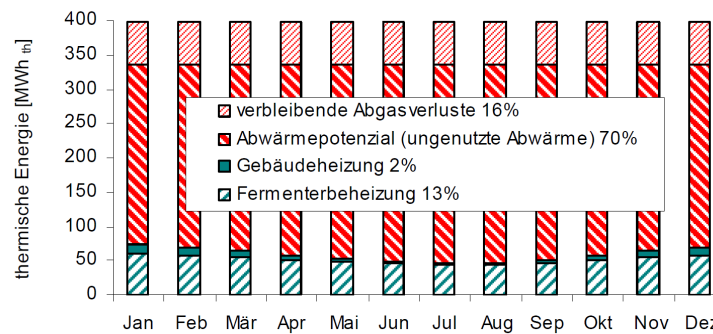
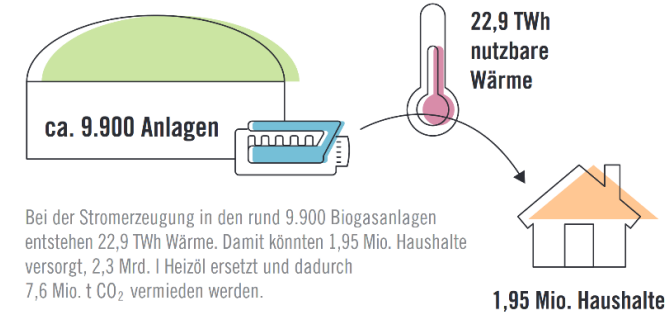


Abbildung 2-1: Nutzung der Abwärme bei Referenzanlage 3

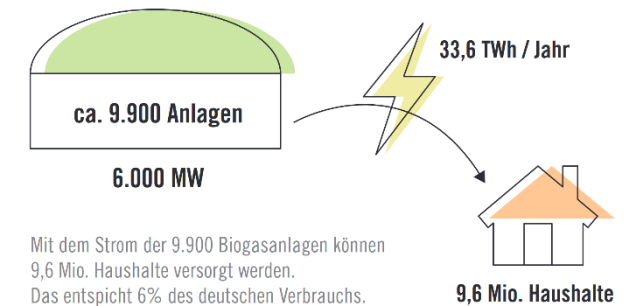
Wärmenutzung



Bei der Stromerzeugung in den rund 9.900 Biogasanlagen entstehen 22,9 TWh Wärme. Damit könnten 1,95 Mio. Haushalte versorgt, 2,3 Mrd. l Heizöl ersetzt und dadurch 7,6 Mio. t CO₂ vermieden werden.

© 2023 Fachverband Biogas e.V.

Stromerzeugung



Mit dem Strom der 9.900 Biogasanlagen können 9,6 Mio. Haushalte versorgt werden. Das entspricht 6% des deutschen Verbrauchs.

© 2023 Fachverband Biogas e.V.

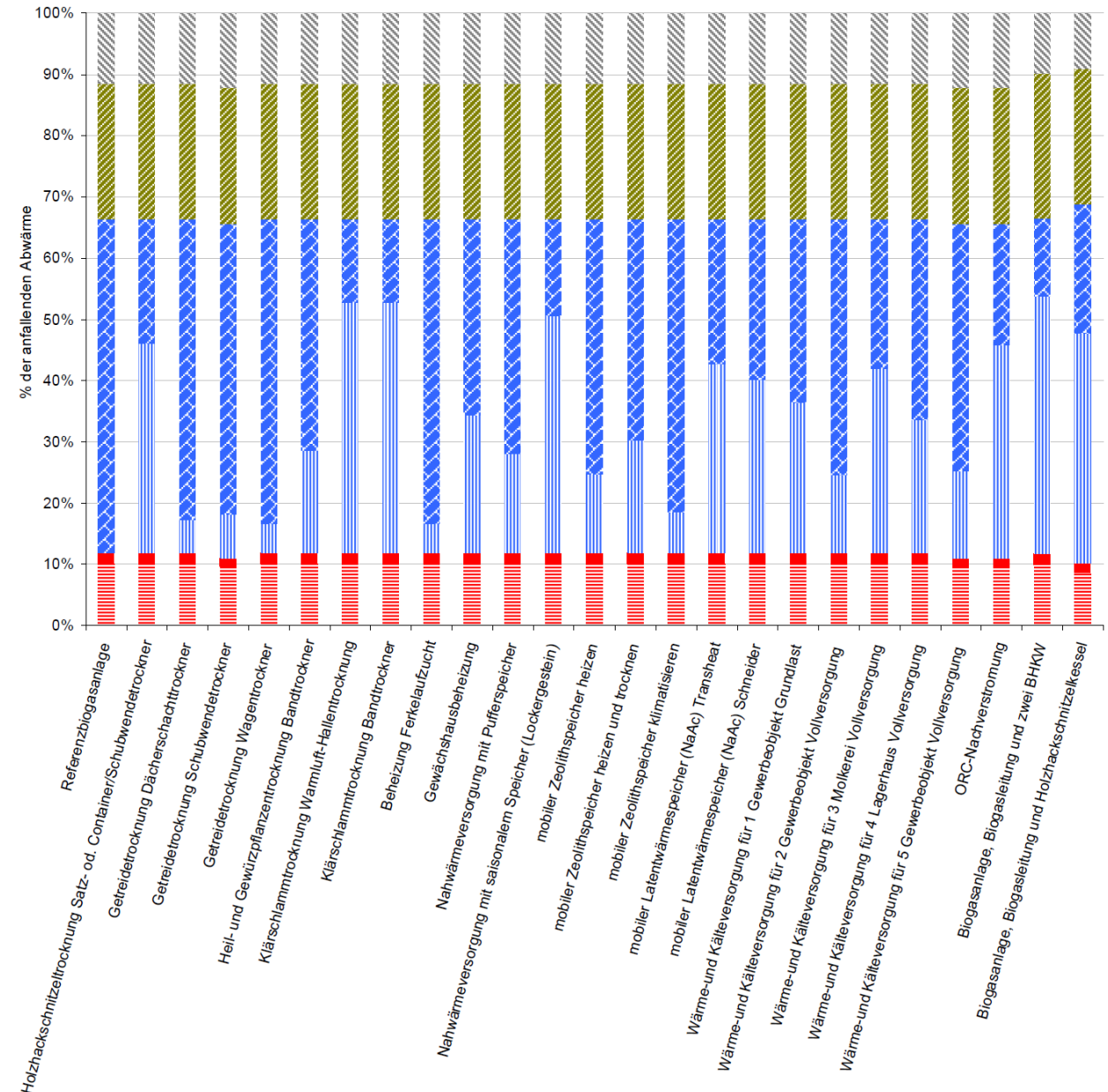
Quelle: Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen ISBN (Online-Version): 978-3-940009-32-6; LfU Bayern

Vielfalt der Anlagenkonzepte und Externe Wärmenutzung

Neben Deckung des Eigenwärmebedarfs für den Betrieb der Biogasanlage wird in 90% der Anlagen die extern verfügbare Wärme bereits genutzt!

Aber, es wird im Mittel nur ca. 56 % der extern verfügbaren Wärme genutzt, z.B. für Trocknungsprozesse (ca. 1/3), Wärmenetze ca. 1/3) und die Beheizung von Gebäuden (ca. 20%) und Ställen (ca. 10%) in direkter Nähe zur Biogasanlage.

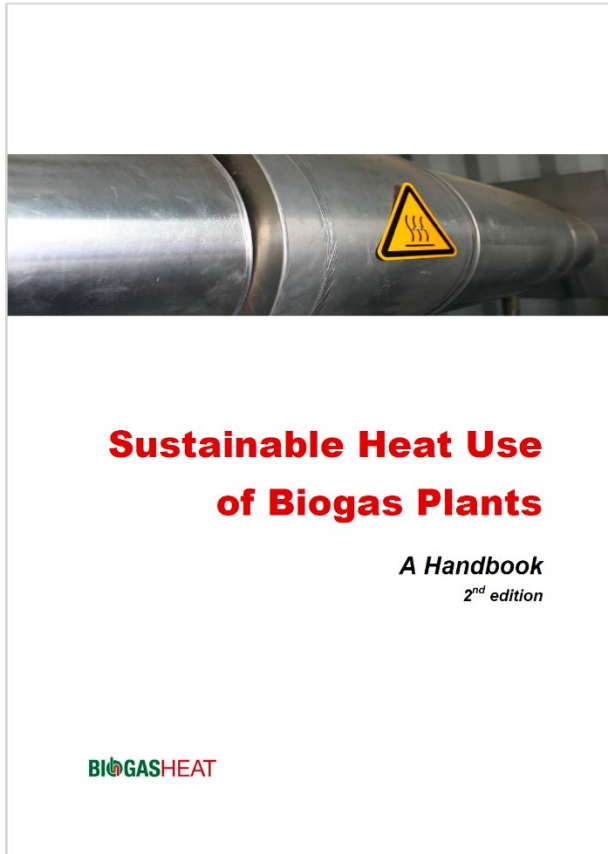
- ▨ fixe Abgasverluste
- ▨ nicht nutzbare Energieverluste
- ▨ Abwärmepotenzial (ungenutzte, aber nutzbare Abwärme)
- ▨ weitere genutzte Abwärme
- Gebäudebeheizung
- ▨ Fermenterbeheizung



Quelle: Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen
ISBN (Online-Version): 978-3-940009-32-6; LfU Bayern

Zum Einstieg

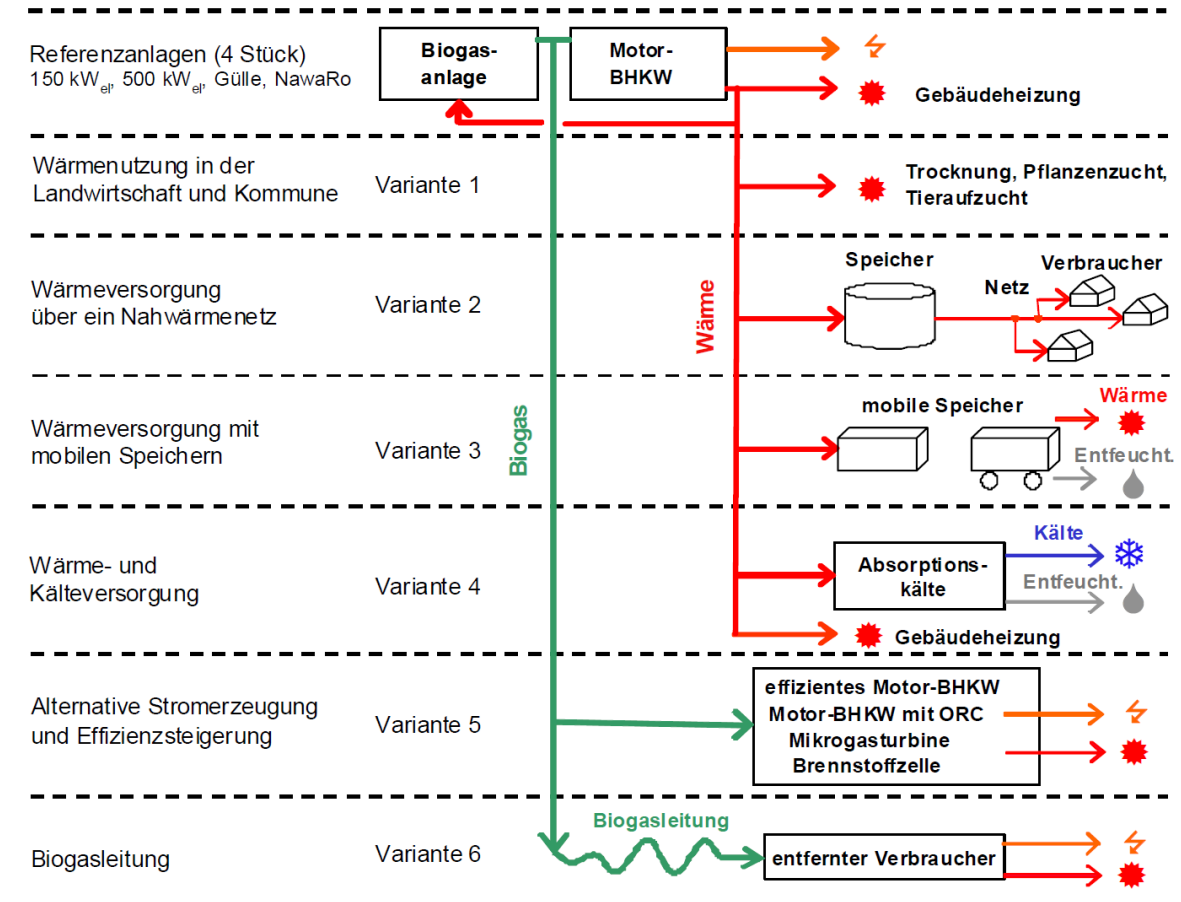
Statistik und Wärmeangebote



2015



2007



Quelle: Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen
ISBN (Online-Version): 978-3-940009-32-6; LfU Bayern

Mögliche Zukunftsoptionen für Biogasanlagen

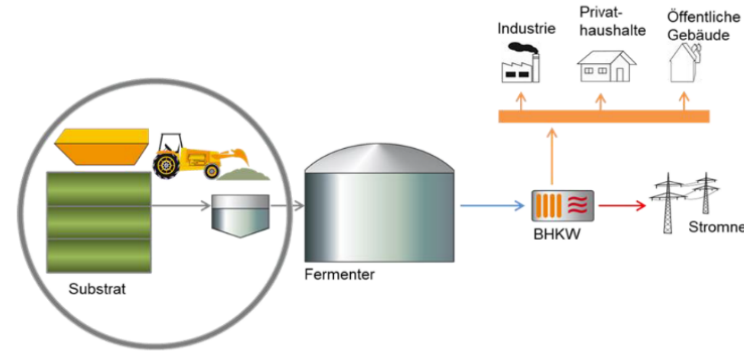
Untersuchung von 3 Betriebsmodellen:

TEXTE
24/2020

Optionen für Biogas-Bestandsanlagen bis 2030 aus ökonomischer und energiewirtschaftlicher Sicht

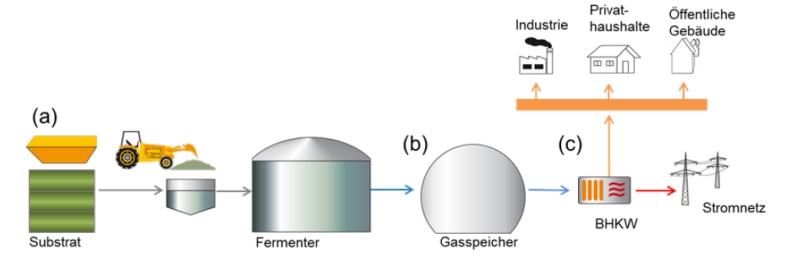
Abschlussbericht

Abbildung 20: Betriebsmodell 1: Reduzierung des Substratinputs (50 % energetisch) ohne wesentliche technische Änderung an der Anlage.



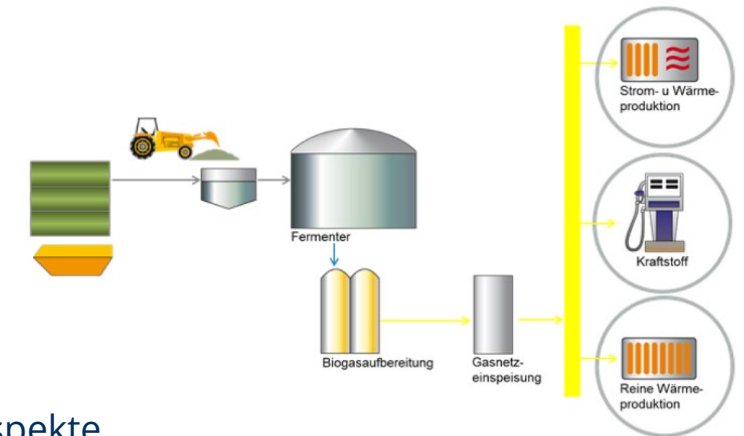
Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IEE, 2018

Abbildung 21: Betriebsmodell 2: Flexibilisierung der Biogaserzeugung und Strombereitstellung durch (a) Fütterungsmanagement, (b) Gasmanagement und (c) KWK-Flex.



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IEE, 2018

Abbildung 22: Betriebsmodell 3: Biogasaufbereitung zu Biomethan



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IEE, 2018

Aus ökonomischer und energiesystemtechnische Sicht wird Betriebsmodell 3 bevorzugt. Betriebsmodelle 1 und 2 bedienen ökologische Aspekte

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/options-fuer-den-weiterbetrieb-von-biogasanlagen>

Lastprofil Wärme

Saisonale Schwankungen der Wärmebedarfe

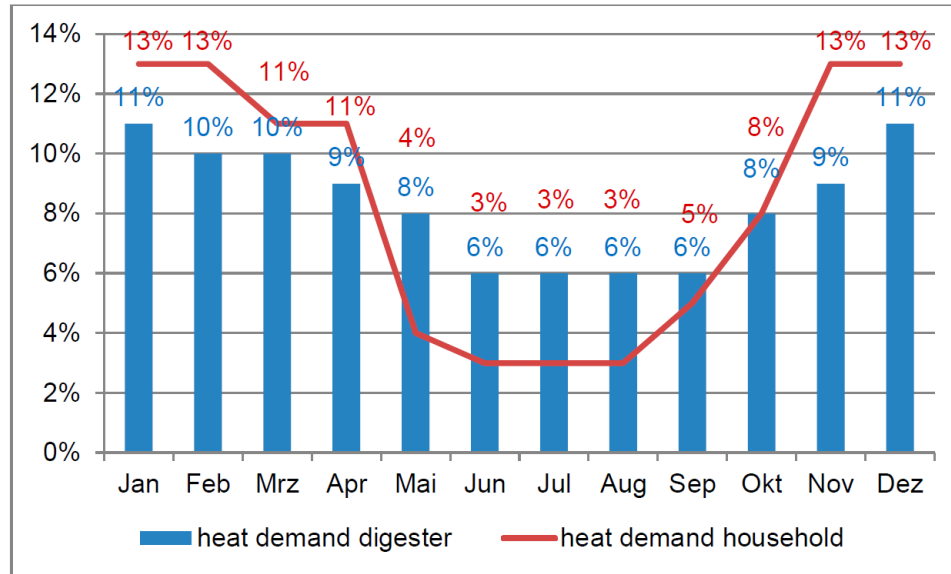


Figure 8: Monthly distribution of the heat demand of a digester (assumption) and of a household (space heating and hot water supply; measured data) from a BiogasHeat case study in Germany

Rutz et. al.: Sustainable Heat Use of Biogas Plants. A Handbook 2nd edition, 2015

Geordnete Häufigkeitsdarstellung der Wärmeleistung

Geordnete Jahresdauerlinie der erforderlichen Leistung

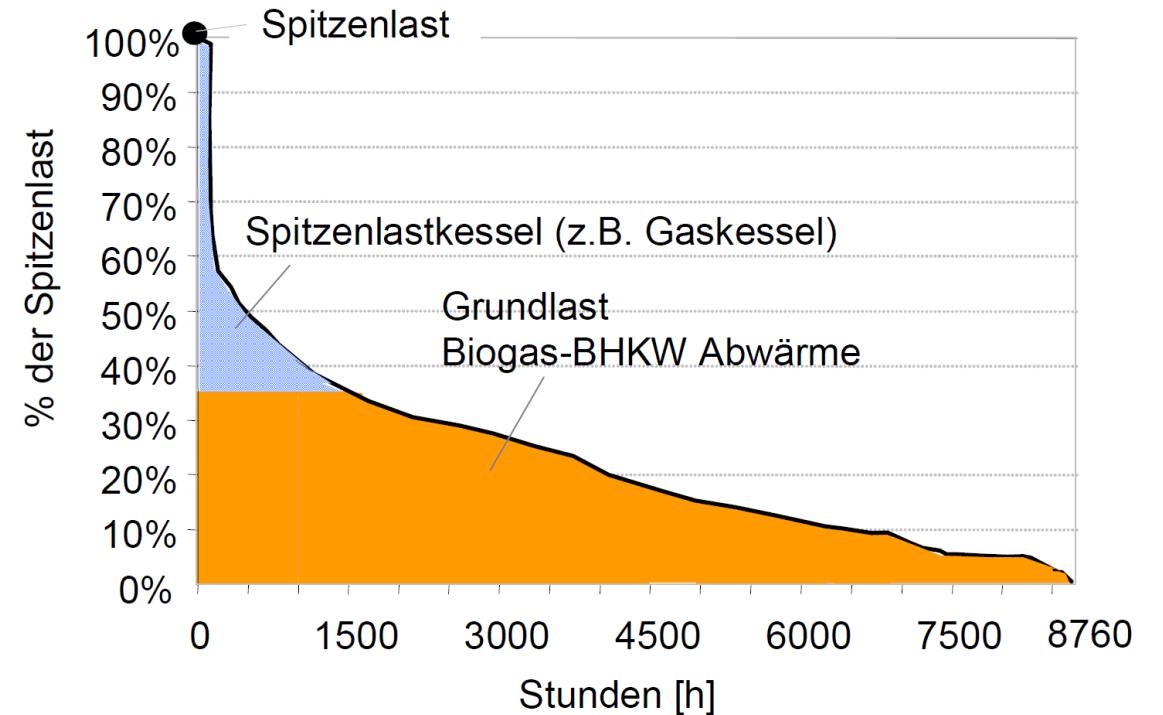
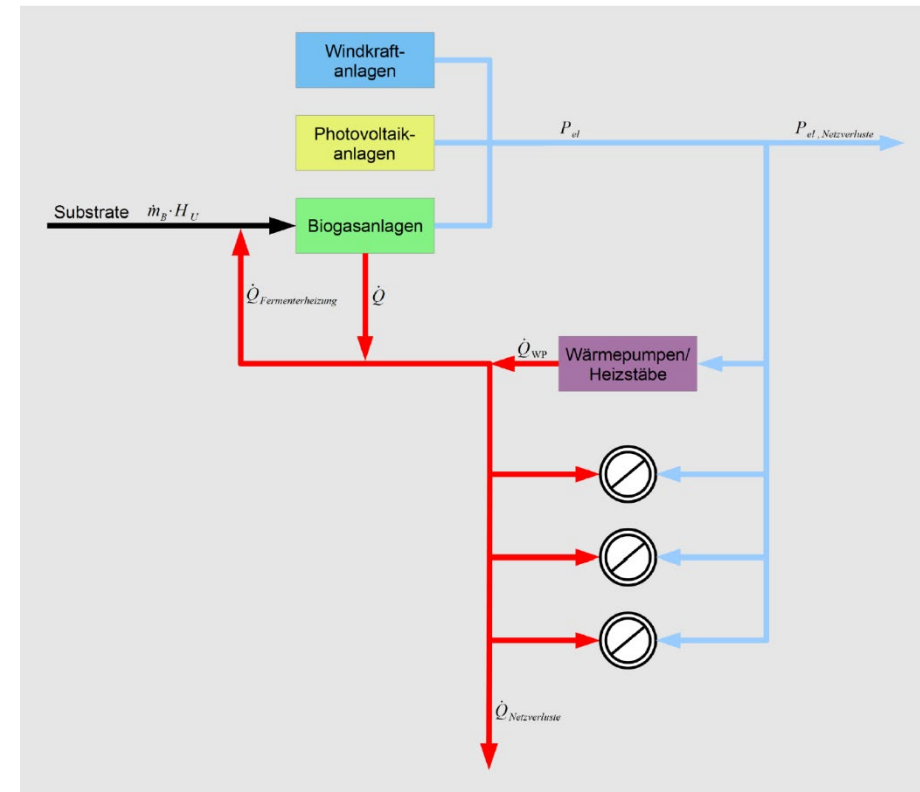
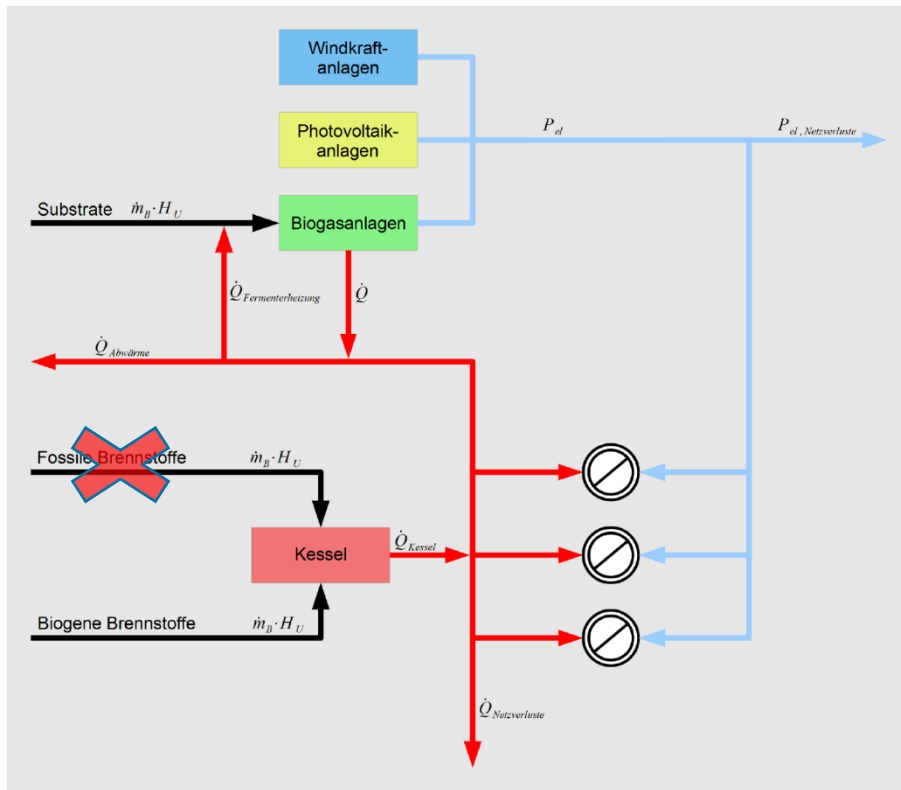


Abbildung 5-1: Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs

Quelle: Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen
ISBN (Online-Version): 978-3-940009-32-6; LfU Bayern

Wärmenetze mit hybriden Wärmeerzeugungsanlagen

Biogasanlagen in Kombination z.B. Heizkessel und/oder Wärmepumpe(n)



Quelle: M. Kahle, Zentrale Wärmeversorgung mit Biogasanlagen und Wärmepumpen in ländlichen niedersächsischen Kommunen, Dissertation GWL Universität Hannover 2016
<https://www.repo.uni-hannover.de/handle/123456789/8763>

Anrechenbarkeit von Biomasse in Wärmenetzen

→ Beschränkungen des Gesetzgebers beachten!

Siehe z. B. Wärmeplanungsgesetz (WPG)

§ 29 Anteil erneuerbarer Energien in Wärmenetzen

(1) Die jährliche Nettowärmeerzeugung muss für jedes Wärmenetz ab den genannten Zeitpunkten aus den folgenden Wärmequellen gespeist werden:

1. ab dem 1. Januar 2030 zu einem Anteil von mindestens 30 Prozent aus erneuerbaren Energien, unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination hieraus,
2. ab dem 1. Januar 2040 zu einem Anteil von mindestens 80 Prozent aus erneuerbaren Energien, unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination hieraus.

§ 30 Anteil erneuerbarer Energien in neuen Wärmenetzen

(1) Jedes neue Wärmenetz muss abweichend von § 29 Absatz 1 Nummer 1 ab dem 1. März 2025 zu einem Anteil von mindestens 65 Prozent der jährlichen Nettowärmeerzeugung mit Wärme aus erneuerbaren Energien, aus unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination hieraus gespeist werden.

ab dem 1. Januar 2045 vollständig!

ab dem 1. Januar 2045 maximal 15 Prozent

(2) Der Anteil Biomasse an der jährlich erzeugten Wärmemenge ist in neuen Wärmenetzen mit einer Länge von mehr als 50 Kilometern ab dem 1. Januar 2024 auf maximal 25 Prozent begrenzt. Satz 1 ist nicht anzuwenden für Wärme aus thermischer Abfallbehandlung, die unter § 3 Absatz 1 Nummer 15 Buchstabe e fällt. Eine Anlage, die bis zum 1. Januar 2024 genehmigt wurde und Wärme aus Biomasse erzeugt, die in ein Wärmenetz eingespeist wird, ist im Rahmen der Bestimmung des Biomasseanteils nach Satz 1 nicht zu berücksichtigen.

Die Nettowärmeerzeugung ist die von einem industriellen Heizkraftwerk an ein Netz oder einen Produktionsprozess abgegebene und gemessene Wärme. Sie setzt sich zusammen aus der Enthalpie des Vorlaufes abzüglich der Enthalpien des Rücklaufes und des Zusatzwassers. Damit wird indirekt die über die Antriebsenergie der Fernwärme-Umwälzpumpen zugeführte Energie miterfasst.

Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz - WPG) vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394)

Leistungs- und Wärmedichte von Fernwärmenetzen

- Typisch:
1 bis 2 MW/km Wärmeleistungsliniendichte und
>1 MWh/a·m Wärmeabsatz
- 50 km Länge entspricht einem Netz der Dimension >50 MW
Wärmeleistung Wärmeplanungsgesetz (WPG)

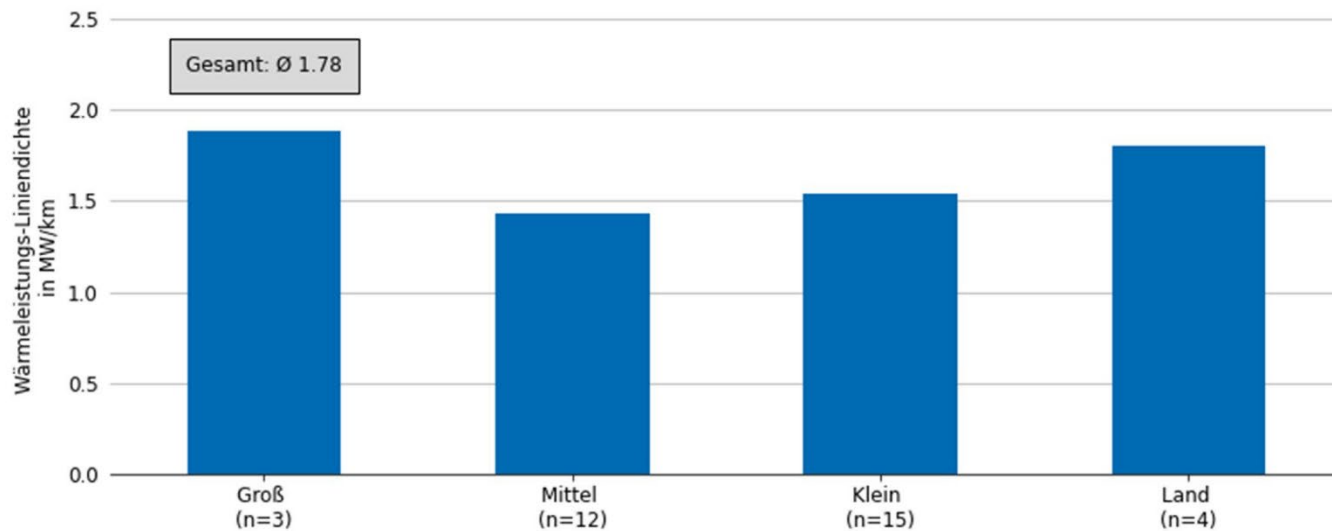
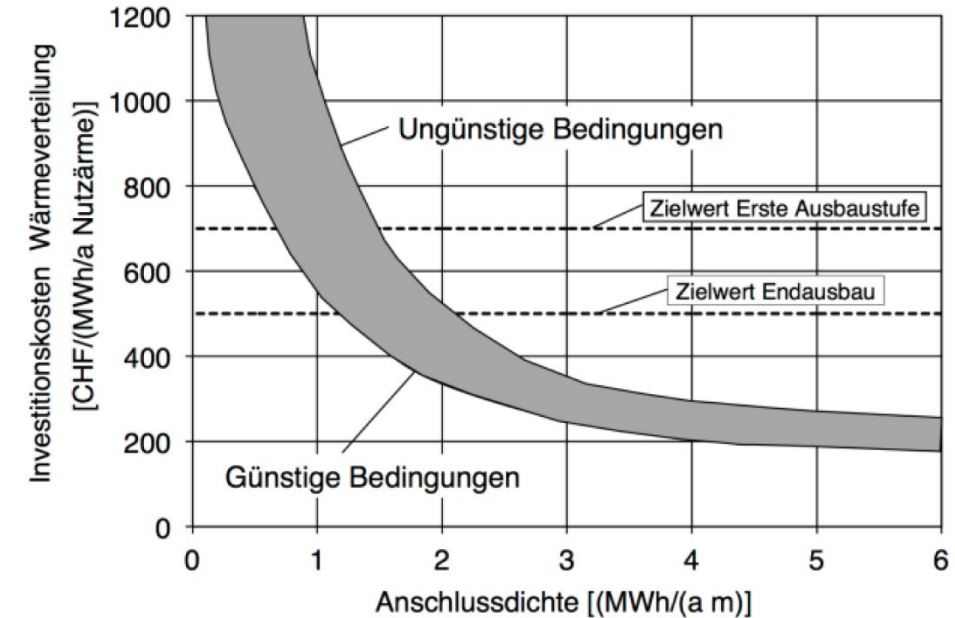


Abbildung 25: Wärmeleistungsliniendichte je Gemeindetyp (n = 34)

Quelle: Fernwärme in Sachsen – eine Status Quo-Analyse der derzeitigen Erzeugung sowie Gewinnung eines Überblicks zu Vorhaben der Treibhausgassenkung, TU Dresden im Auftrag des SMEKUL 2022
Planungshandbuch Fernwärme; ISBN 3-908705-30-4 Version 1.3, vom 3. Mai 2021 Free-Download unter: www.qmfernwaerme.ch



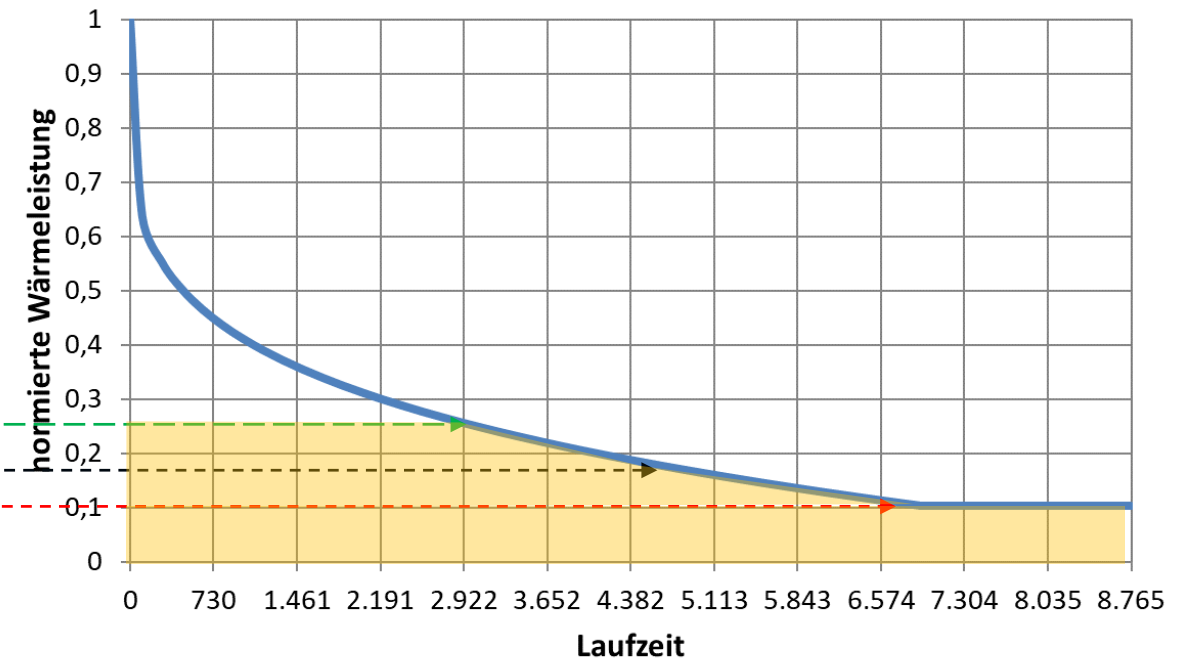
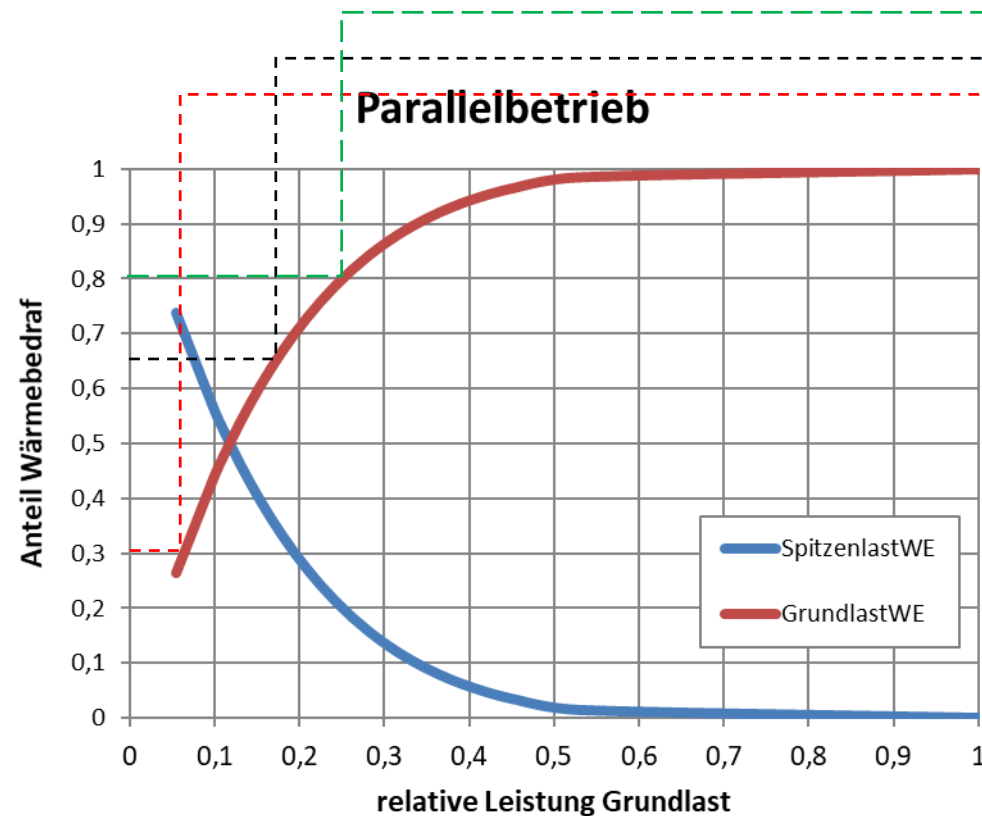
Biogasanlagen: Faktor 100 kleiner → 500 kW

Damit folgen aus dem WPG keine Limitierungen
den Einsatz der Wärme aus (gasförmiger)
Biomasse betreffend!

Zur Auslegung der Heizzentrale

Zusammenhang zwischen Leistung und Deckungsanteil

→ aus Jahres-Dauerlinie ableitbar,
d.h. Wärmebedarfscharakteristik muss bekannte sein!



Beispiel:

30% Deckungsanteil (2030): Leistungsanteil 10%,
Volllaststunden 8760h

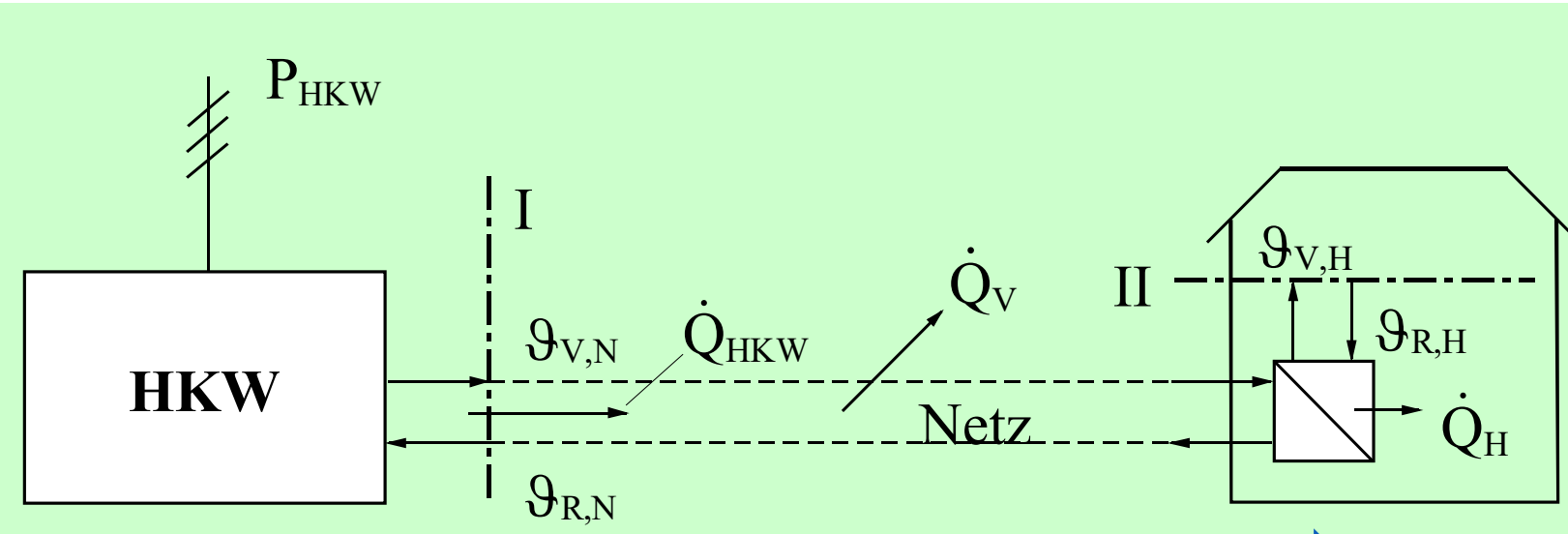
65% Deckungsanteil (2030): Leistungsanteil 18%,
Volllaststunden 4400h

80% Deckungsanteil (2040): Leistungsanteil 25%,
Volllaststunden 2920h

Spitzenlasterzeuger ?
Wärmespeicher?

Zum Grundverständnis

Wärmeabgabe der Verteilnetzes = Wärmeverluste beim Medientransport → struktureller Nachteil der Fernwärme

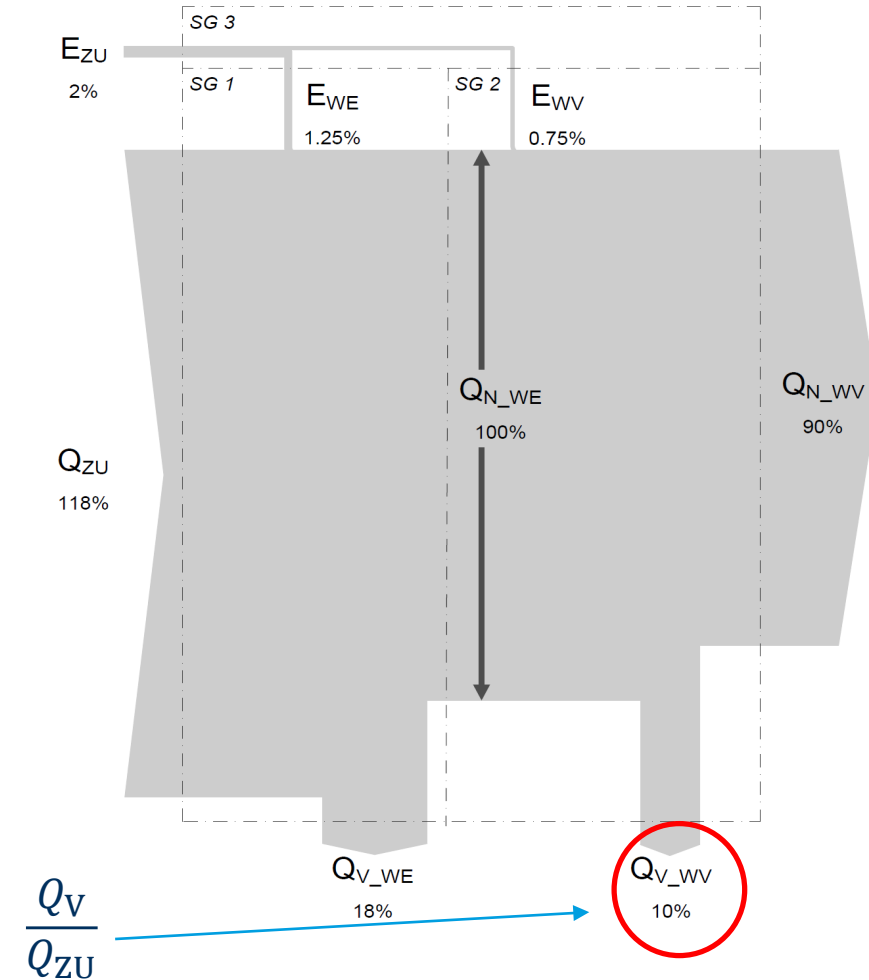


Temperaturgefälle von der Wärmequelle bis zur Wärmesenke

Temperaturanforderungen entstehen sowohl am Anfang als auch am Ende der Übertragungskette!

Thermischer Nutzungsgrad des FW-Netzes

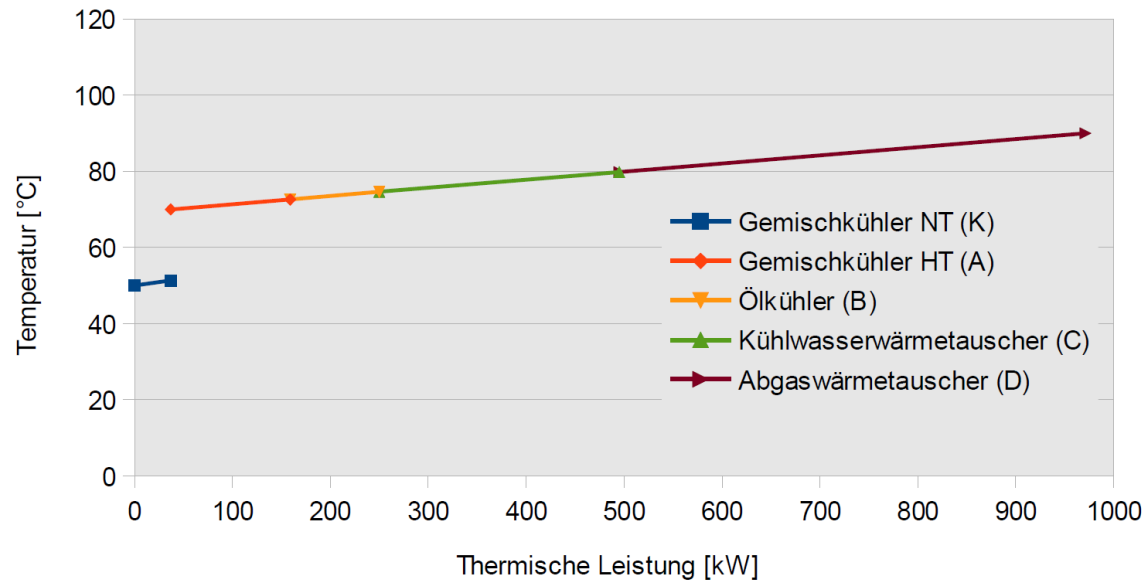
$$\eta_{FWNetz} = 1 - \frac{Q_V}{Q_{HKW}} = \frac{Q_H}{Q_{HKW}}$$



Zur Temperatur der Wärmenetze

Aus Biogas-BHKW verschiedene Temperaturniveaus verfügbar

→ Anlagentechnische Optimierung zur Ertragsoptimierung und dem sicheren Anlagenbetrieb (minimale Rücklauftemperaturen!)



Quelle: M. Kahle, Zentrale Wärmeversorgung mit Biogasanlagen und Wärmepumpen in ländlichen niedersächsischen Kommunen, Dissertation GWL Universität Hannover 2016
<https://www.repo.uni-hannover.de/handle/123456789/8763>

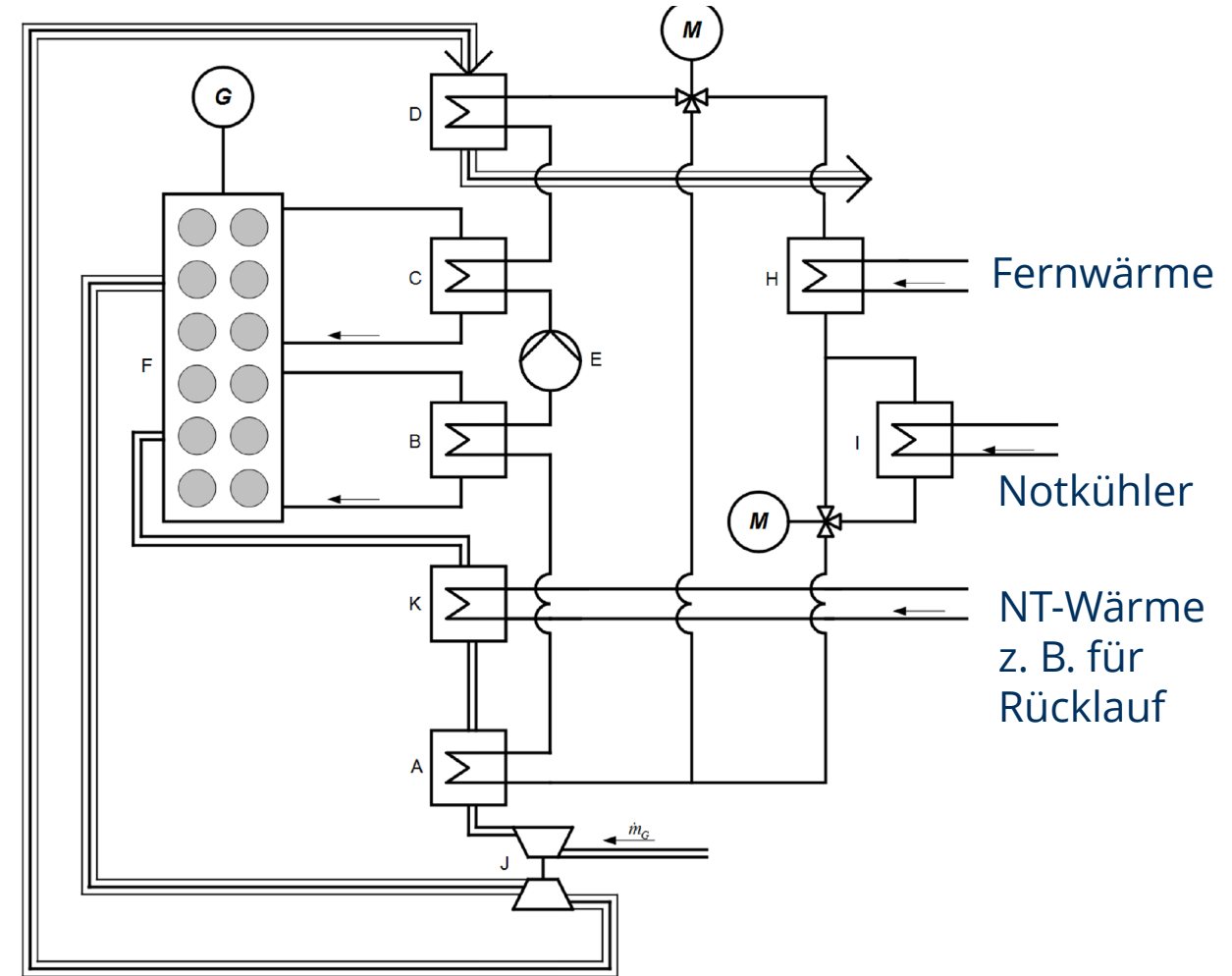
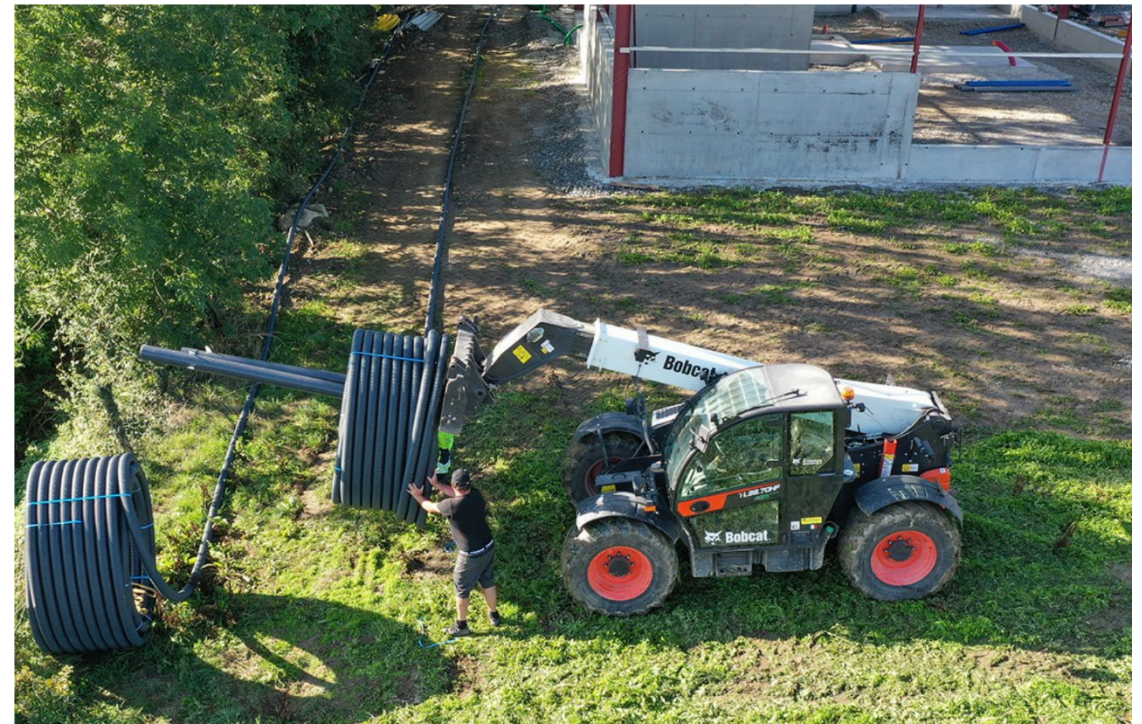


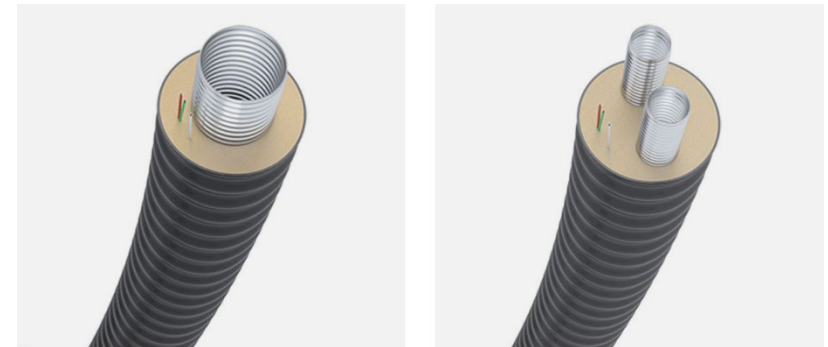
Abbildung 53: Anlagenskizze eines Biogas-Motor-BHKW

Übertragungsleitungen für Wärmenetze

Fokus hier: einfache Verlegung



Ausführungen als flexibles Rohr (Fernwärmekabel) Kunststoff (< 95 °C) oder Stahl (< 160 °C)



https://www.bruggpipes.com/fileadmin/user_upload/downloads/nah-und-fernwaerme/Case_Studies/FXS_Veigy_Foncenex_DE.pdf
<https://www.bfwev.de/wp-content/uploads/2020/04/brugg-Fernwaermekabel-scaled-e1585823518758.jpg>

Verlegekosten

Hier Branchenerhebungen 2020/21: Kosten stark abhängig von Art der Oberfläche

→ Keine verlässlichen Informationen möglich

Tief- und Rohrleitungsbau stehen für 80...90 % der Gesamtkosten!

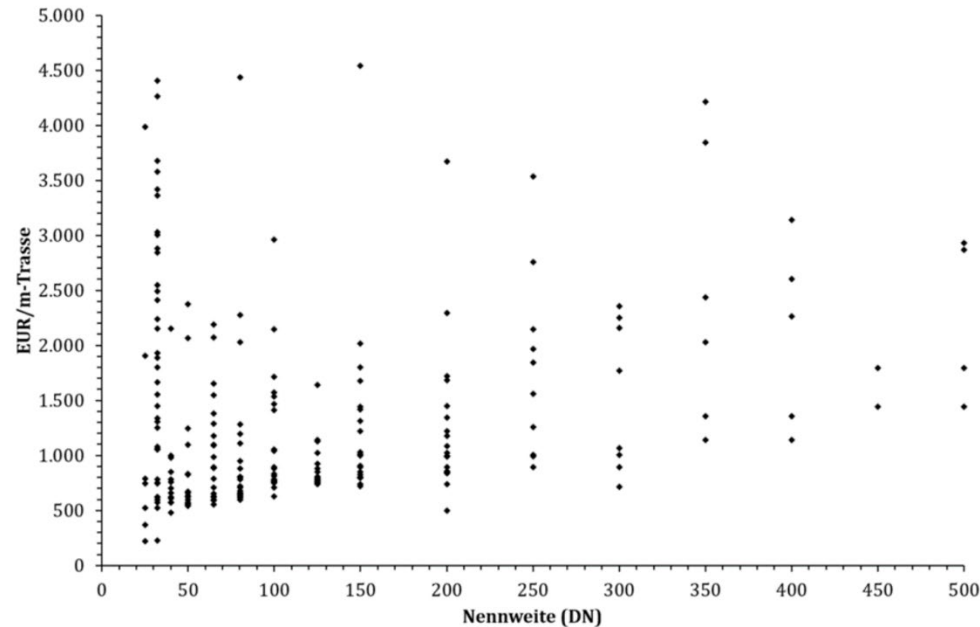


Bild 11 - Verlegekosten für KMR, Dämmserie 1, nach DIN EN 253 unter befestigten Oberflächen (ohne MwSt)

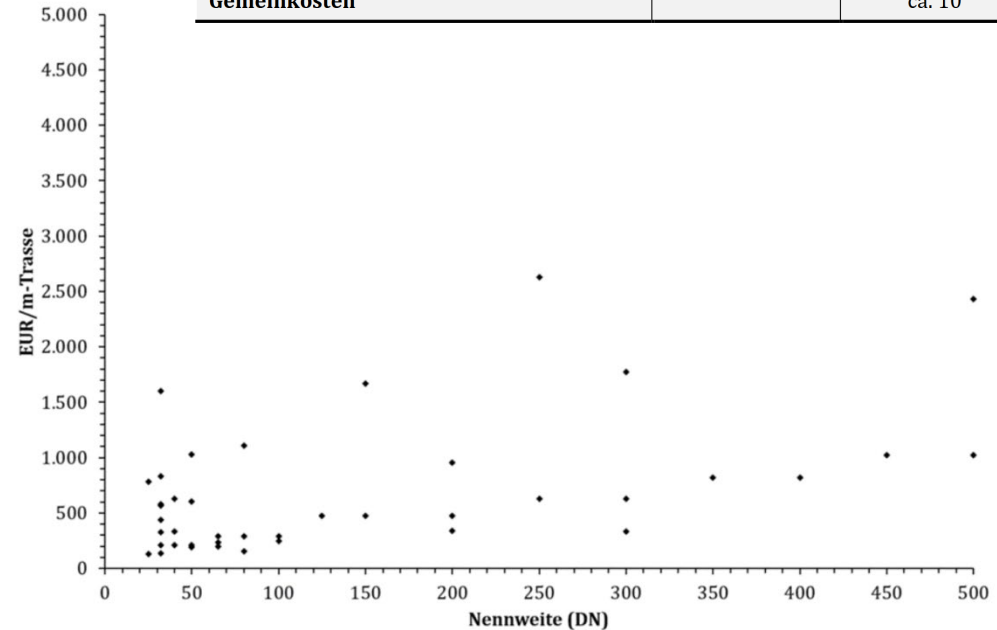


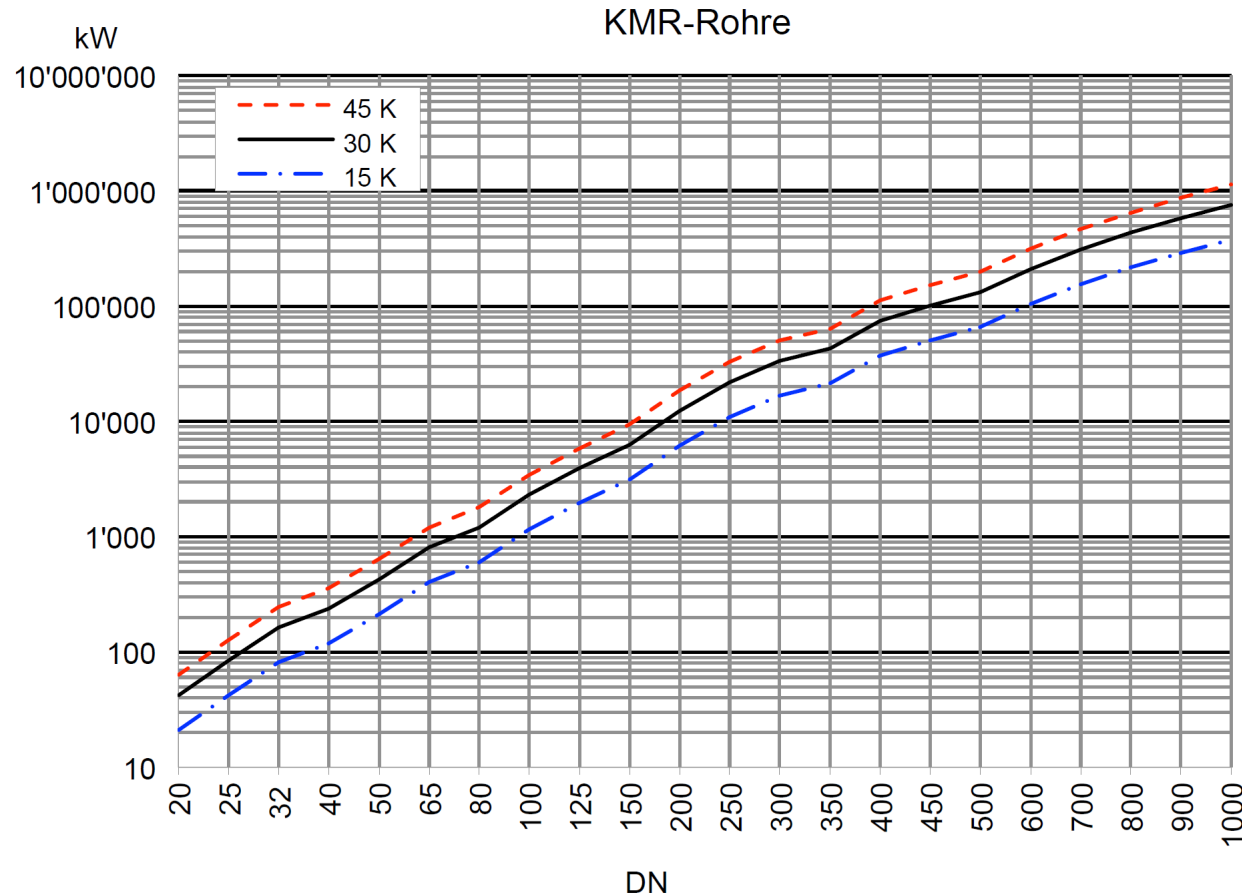
Bild 12 - Verlegekosten für KMR, Dämmserie 1, nach DIN EN 253 unter unbefestigten Oberflächen (ohne MwSt)

Die Verlegekosten können entsprechend der Umfrage wie folgt aufgliedert werden:

	Anteile an den Verlegekosten in %		
	Minimum	Mittel	Maximum
Planung und Baukoordination		ca. 10	< 40
Tiefbau und Oberflächenwiederherstellung		ca. 60	< 80
Rohrbau, Muffenmontage, Einmessung	> 10	ca. 30	< 95
Gemeinkosten		ca. 10	< 30

Übertragungs- und Transportkapazität von Fernwärme-Leitungen

Übertragungsleistung bei verschiedenen Temperaturspreizungen



$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta\vartheta$$

Kleine Temperaturspreizungen (z. B. infolge von Vorlauf-temperaturabsenkungen) reduzieren die Übertragungsleistung

Größere Masseströme (z. B. infolge von kleinen Temperaturdifferenzen) erfordert größere Masseströme
→ höhere Fließgeschwindigkeiten + höhere Druckverluste + höhere Hilfsenergieaufwendungen

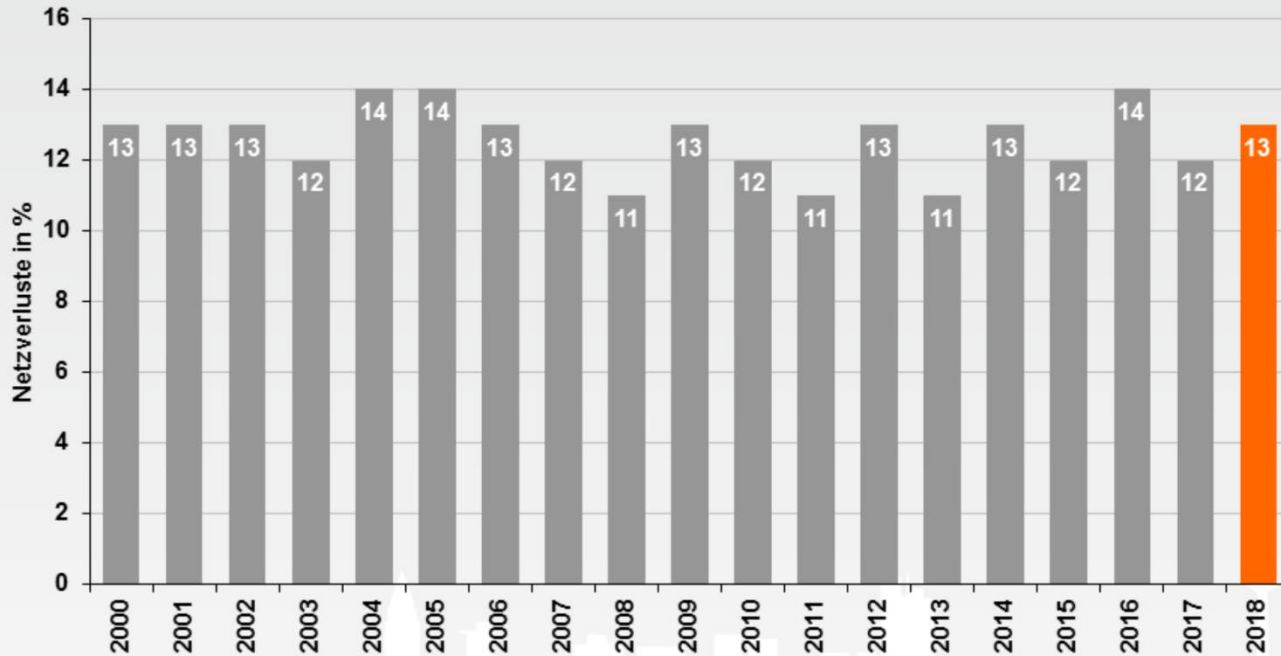
→ Größere Rohrdurchmesser + höhere Installations-/Investitionskosten

Fernwärme Statistik Deutschland

Siedlungstyp	Wärmeverlust bei Spitzenlast	Wärmeverlust im Jahresmittel	spezifische Trassenlänge
Einfamilienhausbebauung	4 ... 5 %	12 ... 17 %	14 ... 25 m/WE
Reihenhausbebauung	3 ... 4 %	8 ... 12 %	6 ... 14 m/WE
Mehrfamilienhausbebauung	2 ... 3 %	5 ... 9 %	2 ... 6 m/WE
AGFW-Statistik über 843 Netze		11 %	

AGFW

Fernwärme-Netzverluste – durchschnittlich in %



Jagnow/Wolff: Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung 2011

Wärmeverluste abhängig von:

- Wärmedämmung
 - Netztemperaturen (saisonal- und tageszeitliche Schwankungen)
 - Verlege-/Umgebungsbedingungen
 - Wärmeabsatz
- Starke saisonale Schwankungen: 5...50%

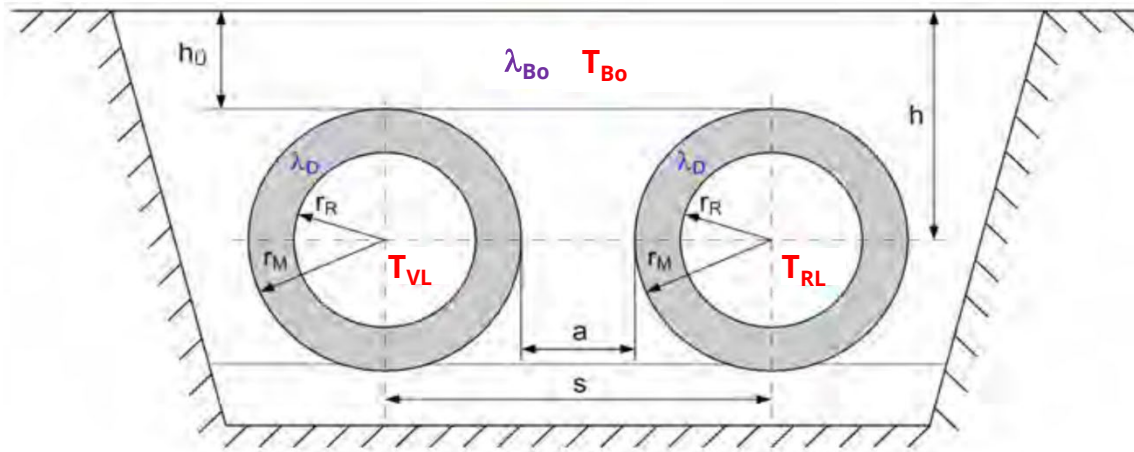
AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.

Quelle: AGFW

AGFW- Hauptbericht 2018

Wärmeverluste von Fernwärmenetzen

Schematische Darstellung von erdverlegten Fernwärmerohren in Einzelrohrausführung

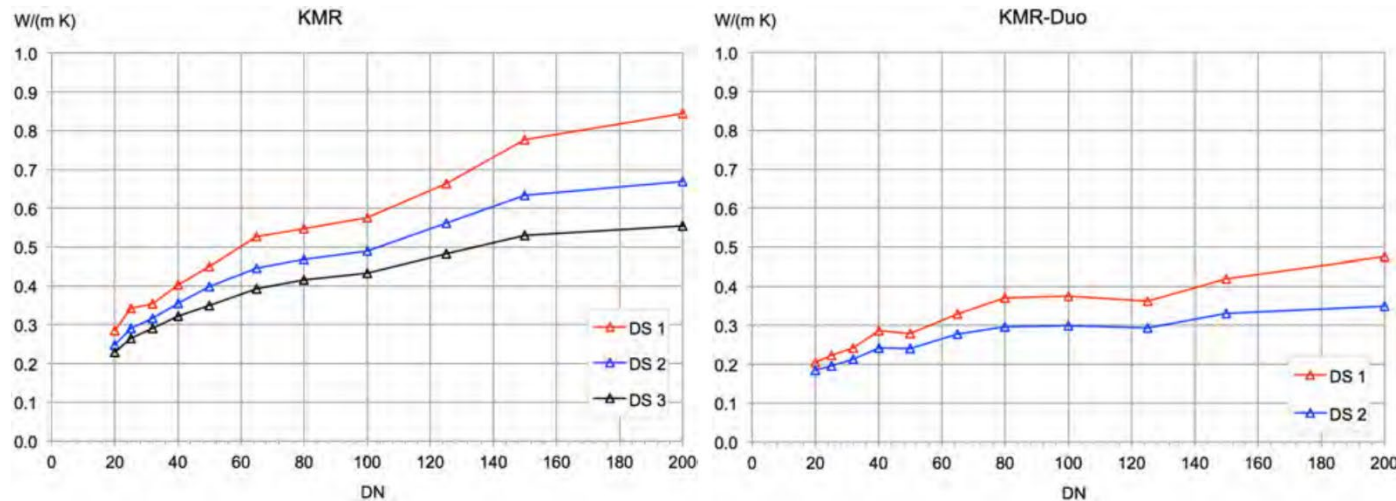


$$\dot{Q}_V = kA_O(\vartheta_w - \vartheta_a) = kU_O L(\vartheta_w - \vartheta_a)$$

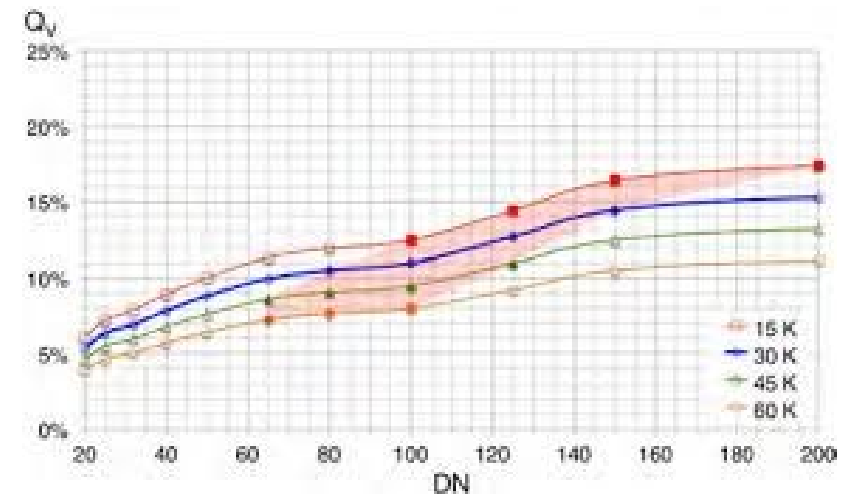
$$\frac{\dot{Q}_V}{L(\vartheta_w - \vartheta_a)} = kU_O$$

U_O - Rohrumfang in m
 L - Rohrlänge in m
 k - Wärmedurchgangskoeffizient in W/mK

Typischer längenbezogener Wärmeverlust: ...7...40... W/m



Quelle: Planungshandbuch Fernwärme; EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

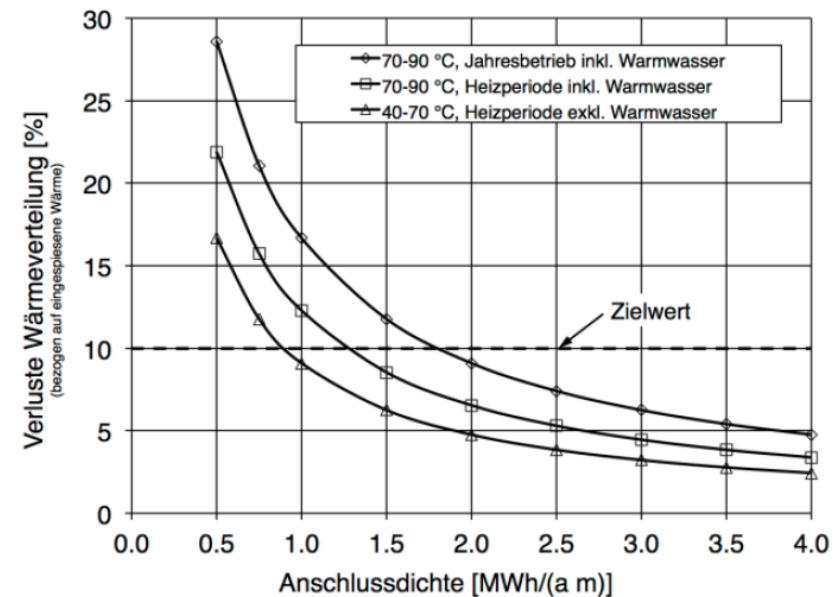
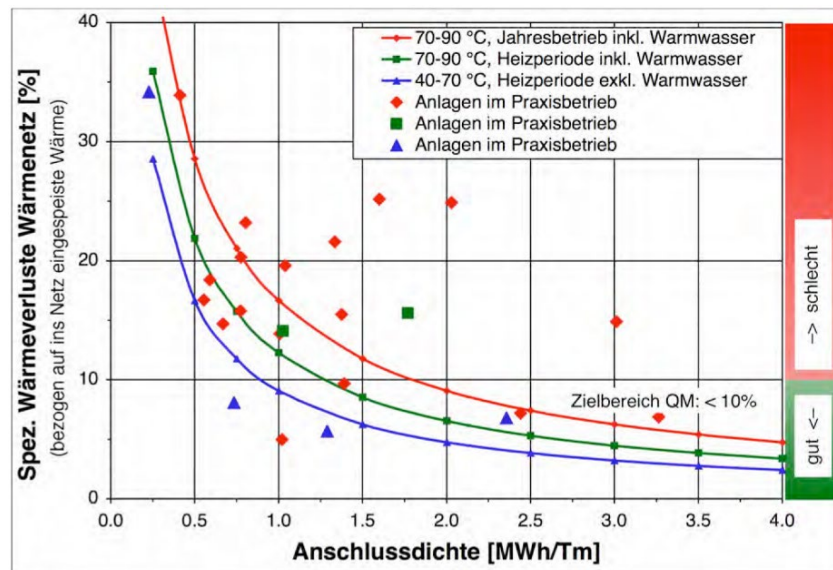


Geringe Verluste bei geringen Netztemperaturen und kleinen Rohrdimensionen

→ Wärmetransportleistung ausreichend?

Wärmeverluste von Fernwärmenetzen

Wärmeverluste abhängig von der Anschlussdichte

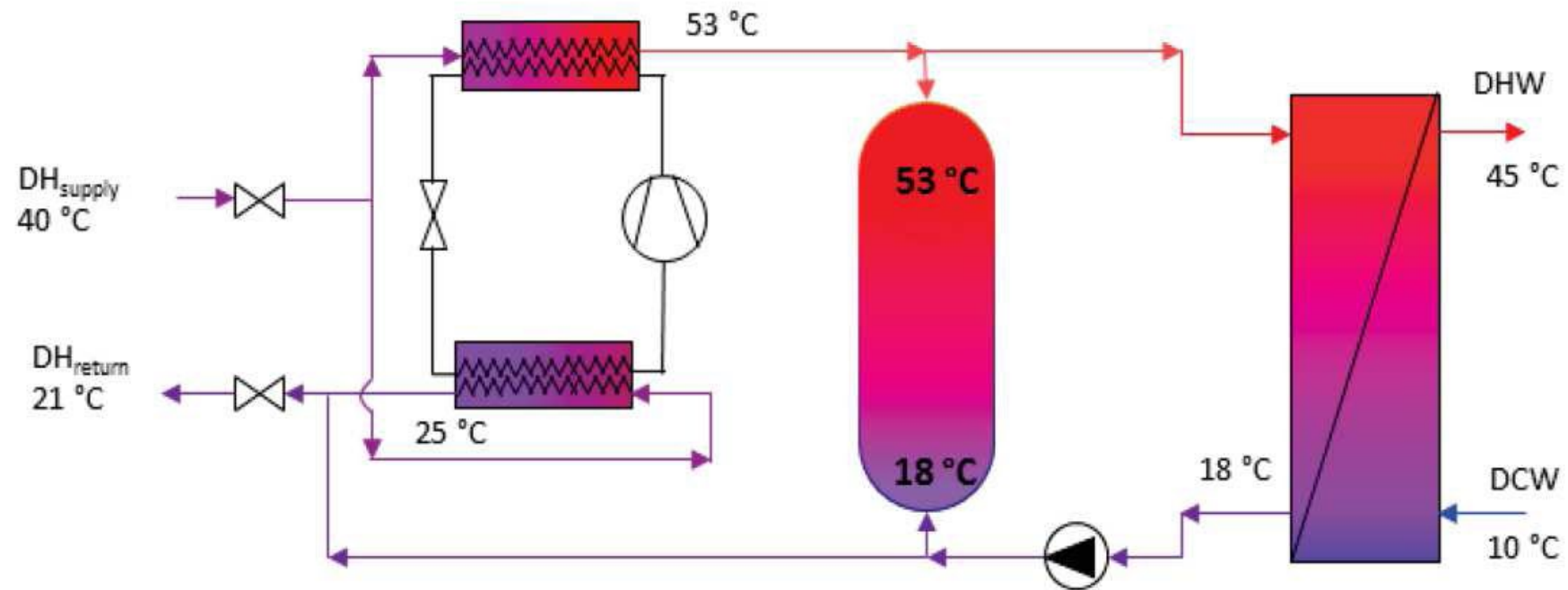


Quelle: Schlussbericht Dezember 2005
Systemoptimierung automatischer Holzheizungen; Projekt 44278 Vertrag 85514

Planungshandbuch Fernwärme
http://www.verenum.ch/Dokumente_QMFW.html

Trinkwassererwärmung und Niedertemperatur-Fernwärme

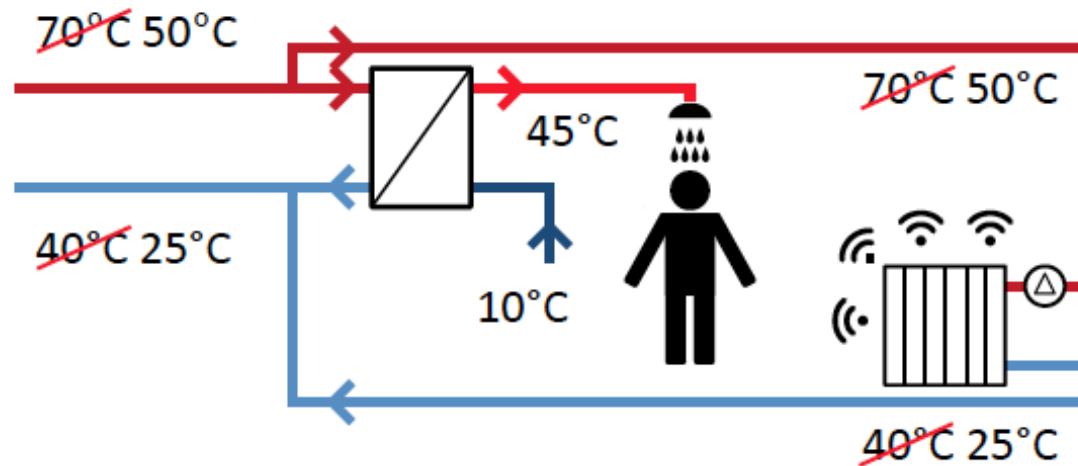
HA-Station mit integrierter Wärmepumpe und Pufferspeicher



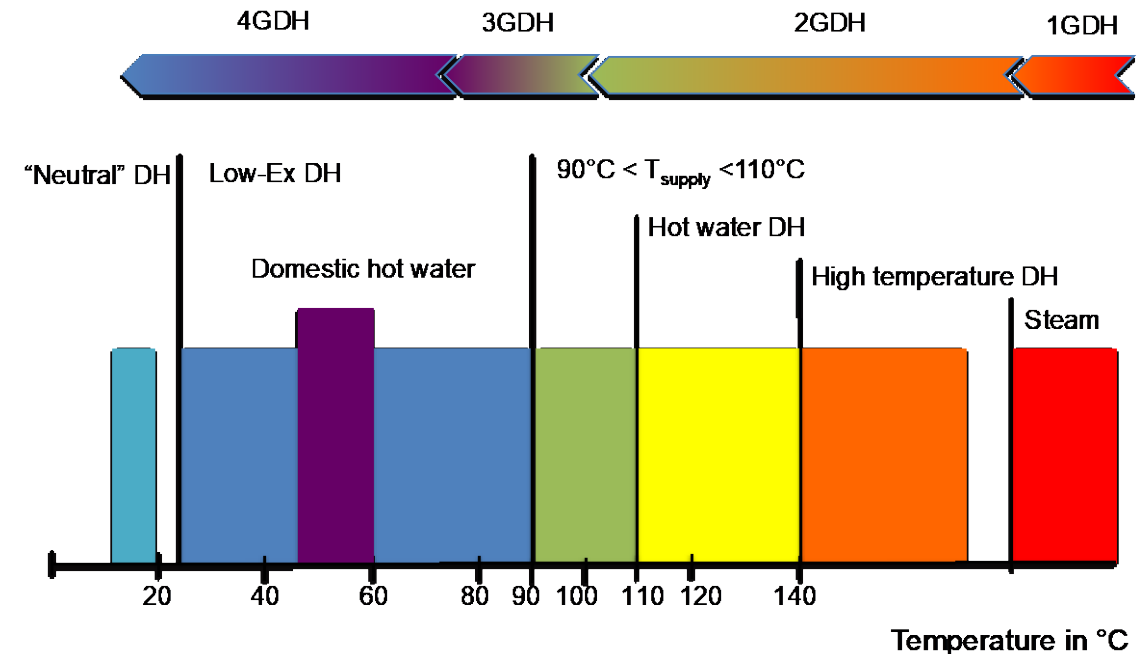
Quelle: Brand, M.: Heating and Domestic Hot Water Systems in Buildings Supplied by Low-Temperature District Heating, Dissertation DTU Kopenhagen, 2013; basierend auf: Zvingilaite E, Ommen T, Elmegaard B, Franck ML. Low temperature district heating consumer unit with micro heat pump for domestic hot water preparation. Published at the 13th International Symposium on District Heating and Cooling, September 3-4, 2013, Copenhagen, Denmark

Absenkung der Netztemperaturen

Ursache oder Folge anderer Optimierungsmaßnahmen im Fernwärmesystem?



Quelle: Brand, M.: Heating and Domestic Hot Water Systems in Buildings Supplied by Low-Temperature District Heating, Dissertation DTU Kopenhagen, 2013



Quelle: factsheet http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-311_de.htm IEA DHC Annex XI: draft final report

Mobiler Wärmetransport

Wärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien:

Paraffine, Salzhydrate (z. B. Natriumacetat NaOAC)

Voraussetzungen:

- Leistung, zeitliche Verfügbarkeit und Temperatur der Wärmequelle
> 300 kW
> 85 °C
- Entfernung, Wärmebedarf, Temperaturanforderung der Wärmesenke
2 ... 20 km Umkreis
> 700 MWh/a
Temperatur möglichst niedrig

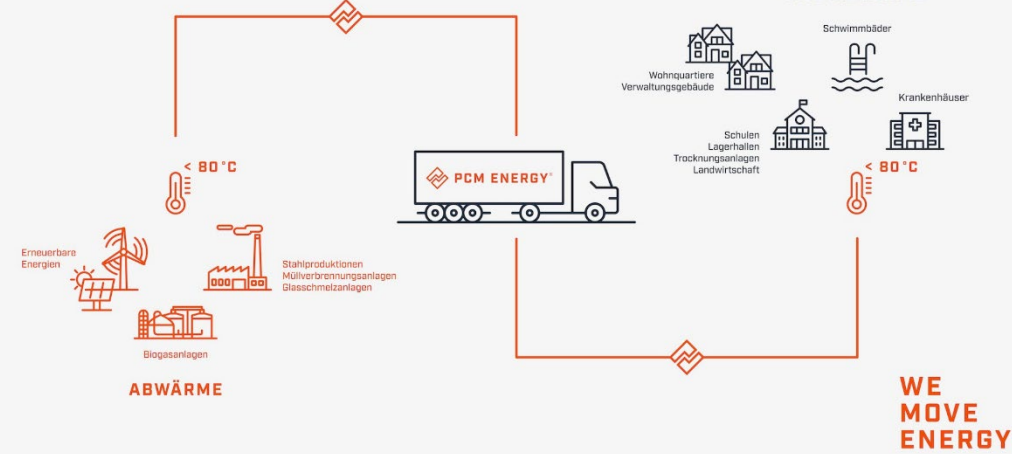
Je Wärmespeicher: 2,5 MWh Abwärme bei volle Beladung. Dauer der Be- oder Entladung ca. 8 Stunden.
→ Hoher logistischer Aufwand?

Quelle: https://swilar-eetec.de/de/mobiler_waermetransport/
<https://www.pcm-energy.de/mobile-waermespeicher>
vdi nachrichten 24.2.2024 „Wärme aus dem Pökelsalz“



CO₂-NEUTRALE WÄRME

CO₂-NEUTRALE WÄRMENUTZUNG AUS ABWÄRME



WE MOVE ENERGY

Fazit

- Wärmenutzung in Biogasanlagen ist unerlässlich aus ökologischer, energiesystemischer und auch ökonomischer Sicht und wird bereits überwiegend praktiziert.
- Viele technische Informationen und repräsentative Fallbetrachtungen verfügbar, aber immer Einzelfallbetrachtung unter Beachtung örtlicher Gegebenheiten erforderlich
- Wärmenetz-Projektmanagement zur Akquise von Wärmekunden sowie der fortwährenden Betriebsoptimierung hilfreich.
- Optimierung der Wärmekosten durch einfache und kostengünstige Montage der Rohrleitungen.
- Alternative Lösungen (z. B. mobile Wärmespeicher) unterliegen noch technischen und organisatorischen Entwicklungen
- Energiesystemischen Dienstleistungen bedürfen der finanziellen Kompensation (z. B. direkte Förderung, sonstige Anreize)

Vielen Dank!
Fragen? Diskussion?

Kontakt:

Prof. Clemens Felsmann

Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung

clemens.felsmann@tu-dresden.de

+49 351 463 32145