

# Abwärmennutzung aus Rechenzentren im Rheinischen Revier

Ergebnisbericht der Studie

10. Juni 2026

# Zentrale Erkenntnisse der Studie (1/2)

## Übergeordnete Aussagen:

- Bei einer Realisierung der elf betrachteten Rechenzentren in der angenommenen Größenordnung mit einer elektrischen Anschlussleistung von knapp 2 Gigawatt fallen **immense Abwärmemengen** an, deren **Nutzung ökologisch sinnvoll** ist. Bei einer Nutzungsquote von 20 % wären dies 4,3 TWh/a, was in etwa der Hälfte des Wärmebedarfs einer Großstadt wie Köln entspricht.
- Nur wenige der betrachteten Rechenzentren weisen eine Nähe zu großen Wärmesenken (z. B. bestehende Wärmenetze) auf, sodass bei den meisten Rechenzentren ein Wärmetransport über eine längere Distanz (ca. 20 km) zur Nutzung der Abwärme im angestrebten Umfang erforderlich wird.
- Eine Nutzung der Abwärme eines Rechenzentrums auf einem Temperaturniveau von bis zu **60 °C** (Wasserkühlung) ist für eine Nutzung in Wärmenetzen (Fernwärme) **deutlich vorteilhafter** als auf 30 °C (Luftkühlung). Die Nutzung der Abwärme für Wärmenetze erfordert den **Einsatz einer Wärmepumpe zur Temperaturerhöhung**. Der technologische Fortschritt bei der Chipentwicklung durch wachstumsstarke KI-, Cloud- und Hochleistungsrechenanwendungen sowie die damit einhergehende Steigerung der Leistungsdichte beschleunigen den **Übergang von der Luft- zur Wasserkühlung**.
- **Abwärme aus Rechenzentren** kann einen wichtigen Beitrag sowohl zur **Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung** als auch zum **Ausbau von Fernwärmenetzen** leisten. Ein Ausbau von Wärmenetzen zählt auf die Dekarbonisierung des Wärmesektors insgesamt ein. Dadurch wird der sehr starke Ausbaubedarf in den Strom-Verteilnetzen verringert, der durch einen massiven Zubau von dezentralen Wärmepumpen verursacht wird.
- Auch über mehrere Technologiegenerationen hinweg ist von einer **langfristig belastbaren und kontinuierlich verfügbaren Wärmequelle durch Rechenzentren** auszugehen. Rechenzentrumsstandorte mit hoher Stromverfügbarkeit werden daher auch in den nächsten Jahrzehnten im Rheinischen Revier bestehen bleiben.

## Wärmebereitstellungskosten für Rechenzentrumsabwärme über eine 20-km-Leitung im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugungstechnologien:

- Die **Wärmebereitstellungskosten von Abwärme aus einem großen Rechenzentrum** (150 MW Stromleistung) bei einem Transport über eine 20-km-Leitung liegen mit den getroffenen Annahmen **auf einem ähnlichen Niveau** wie die Wärmeerzeugungskosten von **alternativen Technologien** für Wärmenetze (z. B. Großwärmepumpen).
- Die Attraktivität der Rechenzentrumsabwärme ist insbesondere dann gegeben, wenn ein sehr hoher Bedarf an erneuerbarer Wärme und ein geringes Potenzial an klimaschonenden Wärmequellen vorliegt.

## Zentrale Erkenntnisse der Studie (2/2)

### **Wärmebereitstellungskosten für eine Lieferung in bestehende Wärmenetze in Abhängigkeit der Transportdistanz:**

- Mit den getroffenen Annahmen zeigt sich bei einer strukturierten Lieferung (Grund- und Mittellast) für Liefermengen von 50 bzw. 100 GWh/a eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zu alternativen Erzeugungstechnologien bei Transportdistanzen bis zu 4 bzw. 7 km. Diese Liefermengen entsprechen etwa 500 bzw. 1.000 Hausanschlüssen für mittelgroße Mehrfamilienhäuser.
- Für größere Liefermengen von 500 GWh/a (entsprechend etwa 5.000 Hausanschlüssen für mittelgroße Mehrfamilienhäuser) sind längere Entfernungen bis zu 20 km wirtschaftlich konkurrenzfähig.

### **Belieferung innovativer Wärmesenken:**

- Eine direkte Belieferung von innovativen Wärmesenken (z. B. Vertical Farming, Aquaponik) aus einem Rechenzentrum ohne den Einsatz einer Wärmepumpe ist mit den getroffenen Annahmen (z. B. Liefertemperatur bis zu 50 °C) wirtschaftlich konkurrenzfähig.
- Sofern das Temperaturniveau der Senke höher ist und den Einsatz einer Wärmepumpe erforderlich macht, ist dies nicht mehr der Fall.

### **Vergleich einer Direktbelieferung der Regionen Köln und Düsseldorf mit einer Fernwärmeschiene:**

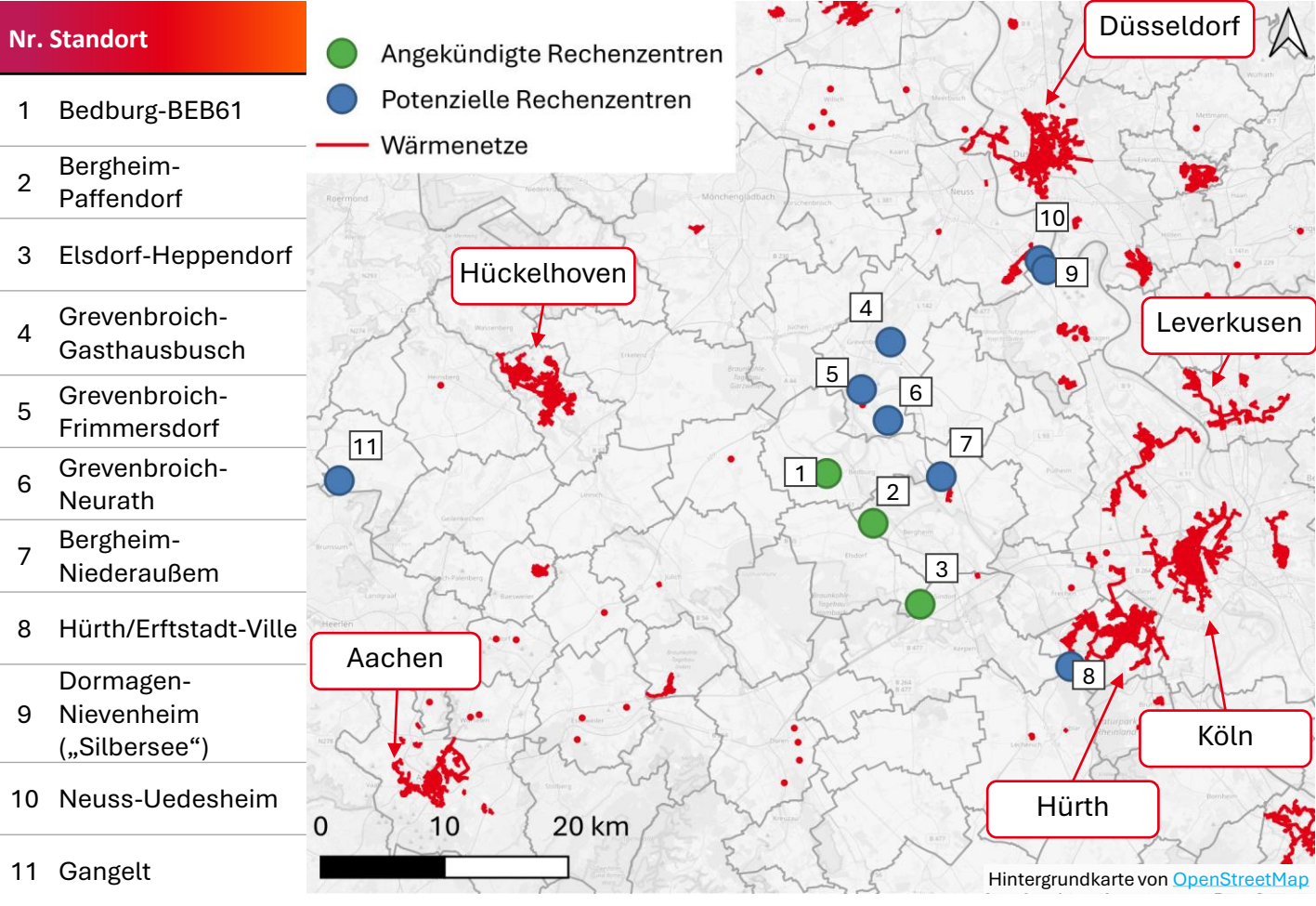
- Bei der betrachteten Direktbelieferung in Wärmenetze der Regionen Köln und Düsseldorf aus den nächstgelegenen Rechenzentren ergeben sich Wärmebereitstellungskosten auf einem ähnlich hohen Niveau wie bei alternativen Wärmeerzeugungstechnologien vor Ort.
- Eine Fernwärmeschiene mit einem Anschluss vieler Rechenzentren und einer Anbindung weiterer Wärmesenken führt zu sehr hohen Wärmegestehungskosten und ist mit einem sehr hohen Investitionsaufwand verbunden. Die deutlich höheren Wärmebereitstellungskosten einer Fernwärmeschiene gegenüber einer Direktbelieferung aus nahegelegenen Rechenzentren könnten über zusätzliche Absatzpotenziale reduziert werden. Da diese im Rheinischen Revier nach aktuellem Kenntnisstand nicht vorhanden sind, ist die Fernwärmeschiene derzeit keine wettbewerbsfähige Lösung.

## Die vorliegende Studie zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren im Rheinischen Revier verfolgt mehrere Zielsetzungen

- Im Rheinischen Revier wurden 11 potenzielle Standorte zu großen Rechenzentren identifiziert, die einen unterschiedlichen Konkretisierungsgrad aufweisen. Zu den Standorten Bergheim-Paffendorf, Bedburg-BEB61 und Elsdorf-Heppendorf gibt es bereits konkrete Investitionsankündigungen des Unternehmens Microsoft.
- In Rechenzentren entsteht in großem Umfang Abwärme. Zur Nutzung dieser Abwärme enthält das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) Vorgaben. Unabhängig von den gesetzlichen Vorgaben ist eine Nutzung nachhaltig und kann einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung liefern.
- Diese Studie hat die Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme aus Rechenzentren im Rheinischen Revier zum Gegenstand und hat die folgenden Zielsetzungen:
  - Analyse der Optionen und Möglichkeiten zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren unter Berücksichtigung unterschiedlicher Abnehmergruppen
  - Ermittlung der Kosten und der Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung von Abwärme aus Rechenzentren
  - Austausch mit betroffenen Akteuren
  - Entwicklung eines überregionalen Nutzungskonzeptes für Abwärme aus den betrachteten Rechenzentren
  - Informationsbereitstellung und Schaffung von Transparenz zu den Möglichkeiten und Herausforderungen einer Abwärmenutzung aus diesen Rechenzentren

# In den potenziellen Rechenzentren fallen sehr große Abwärmemengen an, für deren Nutzung unterschiedliche Abnehmergruppen in Frage kommen

## Angebot und Nachfrage



- Eine Abschätzung des Abwärmepotenzials aus den angekündigten und potenziellen Rechenzentren ergibt unter Annahme eines Nutzungsanteils von 20 % (wie im EnEfG vorgesehen) eine **sehr große Abwärmemenge von 4,3 TWh/a**. Dies entspricht etwa der Hälfte des Wärmebedarfs einer Großstadt wie Köln.
- Für eine Nutzung ist eine Auskopplung der Abwärme aus den Rechenzentren auf einem Temperaturniveau von 60 °C (Wasserkühlung) für die Fernwärmenutzung deutlich vorteilhafter als auf 30 °C (Luftkühlung).
- Als potenzielle Nutzer der Abwärme kommen folgende Abnehmergruppen in Frage:
  - bestehende Wärmenetze
  - neue Wärmenetze
  - Unternehmen mit Prozesswärmebedarf
  - innovative Branchen mit hohem Wärmebedarf, die sich noch im Rheinischen Revier ansiedeln könnten
- Die drei ersten Nutzergruppen benötigen Wärme auf einem höheren Temperaturniveau als 60 °C, was eine Temperaturerhöhung durch den Einsatz von Großwärmepumpen erforderlich macht.
- Die meisten der Rechenzentrumsstandorte liegen weit entfernt von großen Wärmenetzen als potenzielle Wärmesenken, so dass für eine Abwärmenutzung aus diesen Rechenzentren Transportleitungen von 20 km und mehr zu errichten wären.

# Rechenzentrumsabwärme entwickelt sich zu einer langfristig zuverlässigen Wärmequelle



## Das Markt- und Nachfragewachstum erhöht das Abwärmepotenzial

- Anwendungen wie **Künstliche Intelligenz (KI)**, **Cloud Computing** und **Hochleistungsrechnen** (High Performance Computing, HPC) führen zu dauerhaft höheren Rechenlasten und treiben somit den Ausbau leistungs- und kühlintensiver Rechenzentrumskapazitäten voran.
- Der europäische Rechenzentrumsmarkt steht in den kommenden Jahrzehnten vor einem strukturellen Kapazitätsausbau. Ausgehend von einer Gesamtleistung von rund **21 GW** Ende 2025 wird diese allein im Ausblick bis 2035 auf einen Wert zwischen **48 und 70 GW** anwachsen.
- Bis 2035 wird sich auch die installierte Kapazität in Deutschland von derzeit rund **3 GW** auf etwa **7 bis 9 GW** erhöhen. Damit bleibt Deutschland einer der größten nationalen Einzelmärkte Europas.
- Dadurch erhöht sich auch das potenziell mobilisierbare Abwärmeangebot erheblich.



## Die steigende Leistungsdichte erhöht die Wärmekonzentration

- In den bestehenden Rechenzentren (Edge, Enterprise und Colocation) dominieren derzeit moderate Rack\*-Dichten von ca. **5 bis 30 kW pro Rack\*** bei einem Abwärme-Temperaturniveau von überwiegend **30 °C**.
- Wachstumsstarke Installationen von KI- und Hochleistungsrechnern erreichen zunehmend **über 60 kW pro Rack\***.
- Perspektivisch werden Anschlussleistungen von **150 bis 600 kW pro Rack\*** und langfristig sogar von bis zu **1 bis 2 MW pro Rack\*** erreicht.
- Dadurch wird die Abwärme räumlich stärker konzentriert und ist somit temperaturseitig relevanter.



## Die Wasserkühlung verbessert die Nutzbarkeit

- Mit steigenden Leistungsdichten stößt die Luftkühlung zunehmend an ihre Grenzen, weshalb flüssigkeitsbasierte Kühlsysteme an Bedeutung gewinnen.
- Wasserkühltechnologien erschließen nutzbare Temperaturbereiche von rund **35 bis 60 °C** und ermöglichen dadurch die Einbindung in Niedertemperatur- bzw. transformierte Wärmenetze.
- Die technische Nutzung von Abwärme, die durch neue Chip- und Servertechnologien mit höheren Temperaturniveaus entsteht, wird somit effizienter und zuverlässiger.

**Technisch gesehen ist Rechenzentrumsabwärme eine robuste, lastabhängige und kontinuierlich verfügbare Wärmequelle, deren langfristige Nutzbarkeit durch Marktwachstum, höhere Leistungsdichten und den Übergang zur Wasserkühlung weiter zunimmt.**

**Die marktseitige und investive Verlässlichkeit des Abwärmebezugs steigt insbesondere dann, wenn mehrere räumlich nahe Rechenzentrumsstandorte zu einem Cluster zusammengeschlossen werden, um eine langfristig hohe Verfügbarkeit der Abwärme sicherzustellen.**

Für eine Nutzung dieses sehr großen Abwärmepotenzials kommen mehrere Abnehmergruppen in Frage, die sehr heterogen sind

## Informationen zu den Abnehmergruppen

### Bestehende Wärmenetze

- z. B. Fernwärmenetze der Stadtwerke Düsseldorf, SW Hürth oder der RheinEnergie in Köln
- Temperaturniveau meist im Bereich 80 °C – 120 °C, d. h. im Winter > 90 °C
- Abwärmelieferung aus einem Rechenzentrum umfasst nur einen Teil des Wärmebedarfs im Wärmenetz

### Neue Wärmenetze

- Netze sind erst noch zu errichten, z. B. basierend auf Ergebnissen der kommunalen Wärmeplanungen
- i. d. R. geringeres Temperaturniveau (ca. 90 °C)
- geringere Liefermengen (besonders anfänglich), da Wärmebedarf im Netz mit dem Netzausbau über die Jahre langsam ansteigt

### Industrieunternehmen

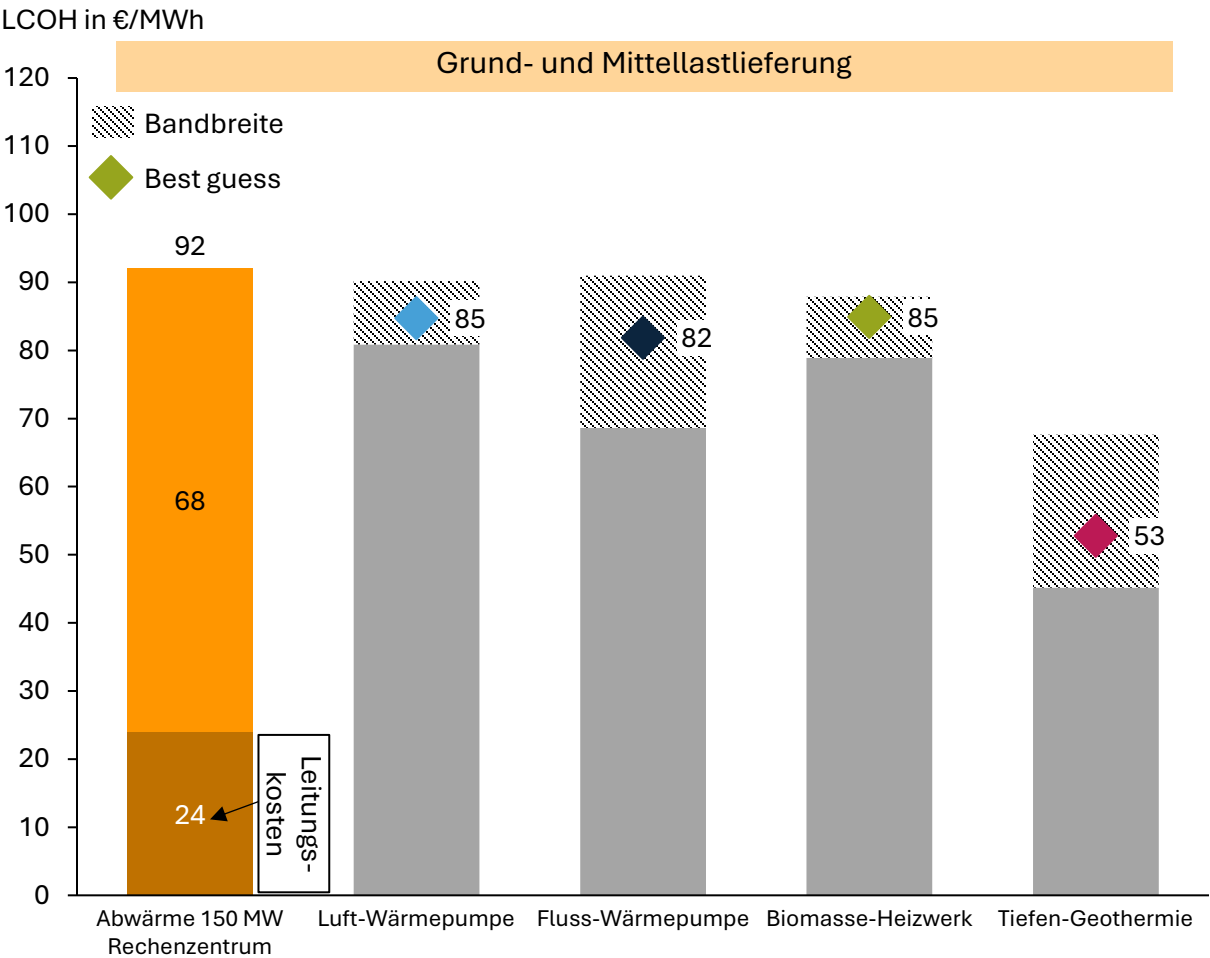
- Bedarf an Prozesswärme
- in Frage kommendes Temperaturniveau zumeist höher als in Wärmenetzen (ca. 100 °C – 200 °C)
- Unternehmen haben aus Prozessen mit noch höherem Temperaturniveau häufig eigene Abwärmepotenziale, die vorrangig genutzt werden

### Innovative Wärmesenken

- zukünftig ansiedelbare Verbraucher mit hohem Wärmebedarf
- Fokus auf niedrige Temperaturniveaus < 50 °C
- Beispiele für innovative Branchen sind Insektenproduktion, Aquakultur/Aquaponik, Cannabisproduktion, Fermentierung und zelluläre Landwirtschaft

# Die Kosten der Rechenzentrumsabwärme liegen für einen exemplarischen Fall auf einem ähnlich hohen Niveau wie bei alternativen Wärmeerzeugungstechnologien

## Wirtschaftlichkeitsergebnisse für einen exemplarischen Fall (Rechenzentrum mit 150 MW<sub>el</sub>)



- In einer exemplarischen Betrachtung wurden die Wärmebereitstellungskosten (LCOH\*) aus einem Rechenzentrum (elektrische Anschlussleistung: 150 MW, Abwärmenutzungsanteil von 20 %, Abwärmtemperatur 60 °C) mit dem Einsatz einer Wärmepumpe und einer Belieferung in ein 20 km\*\* entferntes Wärmenetz ermittelt. Dabei wurde eine umfängliche Inanspruchnahme der Fördermöglichkeiten aus der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) angenommen.
- Um der Witterungsabhängigkeit des Wärmebedarfs Rechnung zu tragen, wird eine Bereitstellung der Wärme mit einer variablen Leistung (67 MW<sub>th</sub>) als **Grund- und Mittellast** angenommen. Sie geht damit über die Lieferung mit konstanter Leistung (Grundlast) hinaus, deckt jedoch keine Leistungsspitzen im Wärmebedarf des Netzes ab.
- Die Bereitstellungskosten der Rechenzentrumsabwärme liegen mit den getroffenen Annahmen zu technischen und wirtschaftlichen Parametern (inkl. Energiepreisentwicklungen) auf einem ähnlichen Niveau wie die Wärmegestehungskosten von alternativen Technologien zur Bereitstellung grüner Wärme. Dabei entfallen 26 % der Bereitstellungskosten der Rechenzentrumsabwärme auf die Transportleitung.
- Bei der Entscheidung eines Wärmenetzbetreibers für eine bestimmte Wärmequelle spielen über die Wirtschaftlichkeit hinaus weitere Faktoren eine Rolle, wie z. B.:
  - Abhängigkeit von einer Wärmelieferung vs. Zugriff auf eine eigene Anlage
  - Realisierbarkeit von Anlagen zur Erzeugung grüner Wärme im eigenen Netz
  - Betriebliche Einschränkungen bei den unterschiedlichen Wärmequellen
  - Diversifizierung des Erzeugungsportfolios

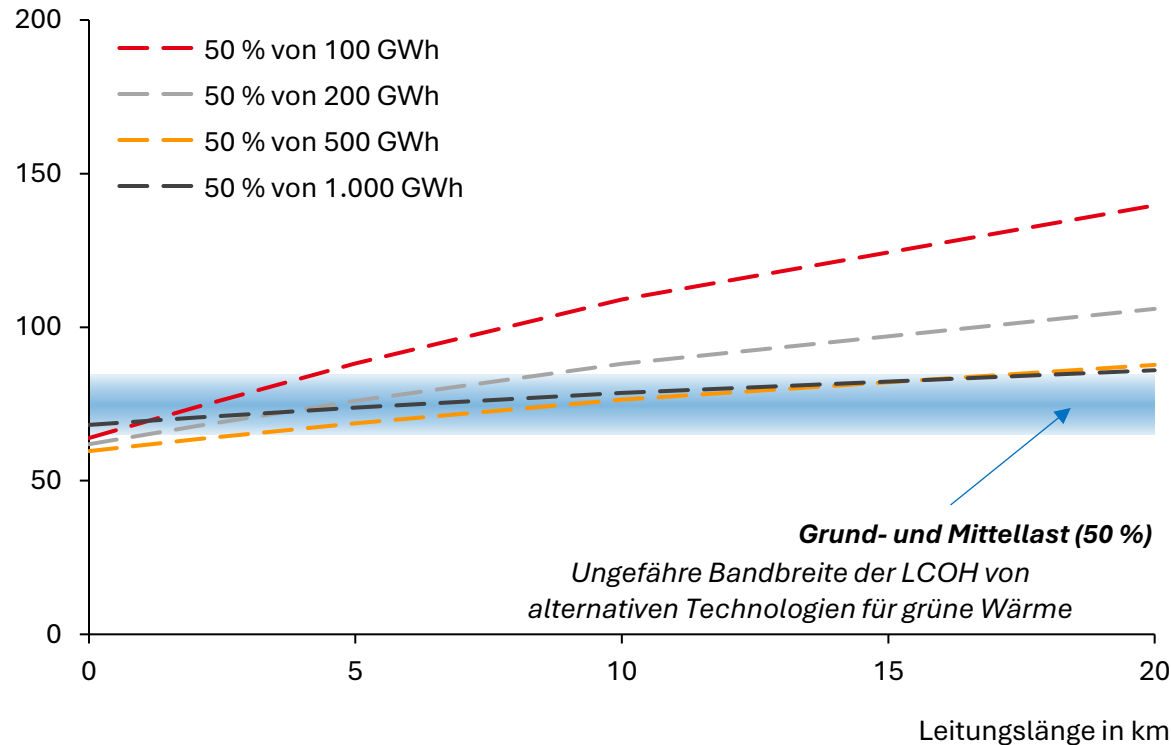
\* Abdiskontierung und Aufsummierung der jährlichen Kosten und Wärmemengen über den gesamten Betrachtungszeitraum mit einem WACC (Weighted Average Cost of Capital) von 6 % auf den heutigen Zeitpunkt

\*\* Konkurrenztechnologien sind ohne Leitung gerechnet, da hier von größerer Nähe zur Senke ausgegangen wird.

# Eine Lieferung in bestehende Wärmenetze ist bei großen Wärmemengen oder bei geringen Distanzen wirtschaftlich konkurrenzfähig zu alternativen Technologien

## Wärmebereitstellungskosten für Lieferung in bestehende Wärmenetze

LCOH in €/MWh



**Anmerkung:** Aus dem Vergleich mit den Wärmebereitstellungskosten von alternativen Technologien lässt sich für die Grund-/Mittellastlieferung eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit für LCOH im Bereich 65 bis 85 €/MWh ableiten (vgl. Grafik: blauer Balken).

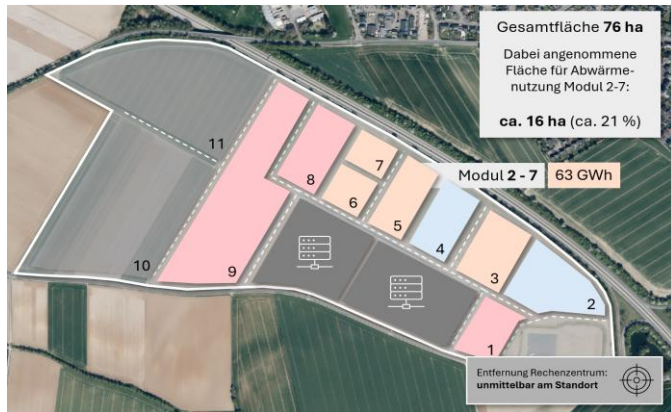
- Für bestehende Wärmenetze wurden die Bereitstellungskosten in Abhängigkeit der Liefermenge und der Distanz zum Rechenzentrum ermittelt. Dazu wurden unterschiedlich große Wärmenetze mit Wärmemengen zwischen 100 GWh/a und 1.000 GWh/a betrachtet.
- Es wird angenommen, dass die **Liefermenge** aus dem Rechenzentrum **50 % der Wärmemenge des Fernwärmenetzes** beträgt und die Lieferung mit einer variablen Leistung als **Grund- und Mittellast** erfolgt.
- Die Wärmebereitstellungskosten sinken mit steigender Liefermenge und sinkender Distanz. Eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zu alternativen Erzeugungstechnologien zeigt sich mit den getroffenen Annahmen bei kleineren Wärmenetzen mit Liefermengen von 50 bzw. 100 GWh/a (entsprechend etwa 500 bzw. 1.000 Hausanschlüssen für mittelgroße Mehrfamilienhäuser) bei geringen Entfernungen von 4 bzw. 7 km. Für größere Wärmenetze mit Liefermengen von 500 GWh/a (entsprechend etwa 5.000 Hausanschlüssen für mittelgroße Mehrfamilienhäuser) sind längere Entfernungen bis zu 20 km wirtschaftlich konkurrenzfähig.
- Bei neuen Wärmenetzen, deren Absatzmengen über viele Jahre langsam anwachsen und auch dann noch relativ klein sind, ergeben sich insbesondere in den Anfangsjahren sehr hohe Wärmebereitstellungskosten (hier ohne Abbildung). Ohne eine zusätzliche Förderung ist eine wirtschaftliche Belieferung nur schwer darstellbar.

# Die gezielte Bündelung verschiedener Nutzer ermöglicht die effizienteste Nutzung von Abwärme und stärkt zugleich Innovation und regionale Wertschöpfung

## Identifizierte Abwärmenutzer aus potenziellen Branchen



## Übertragung auf ein fiktives Standortprofil (BEB61, Bedburg)



## Zusammenfassung aus der Potenzialanalyse zur Abwärmenutzung durch innovative Wärmesenken

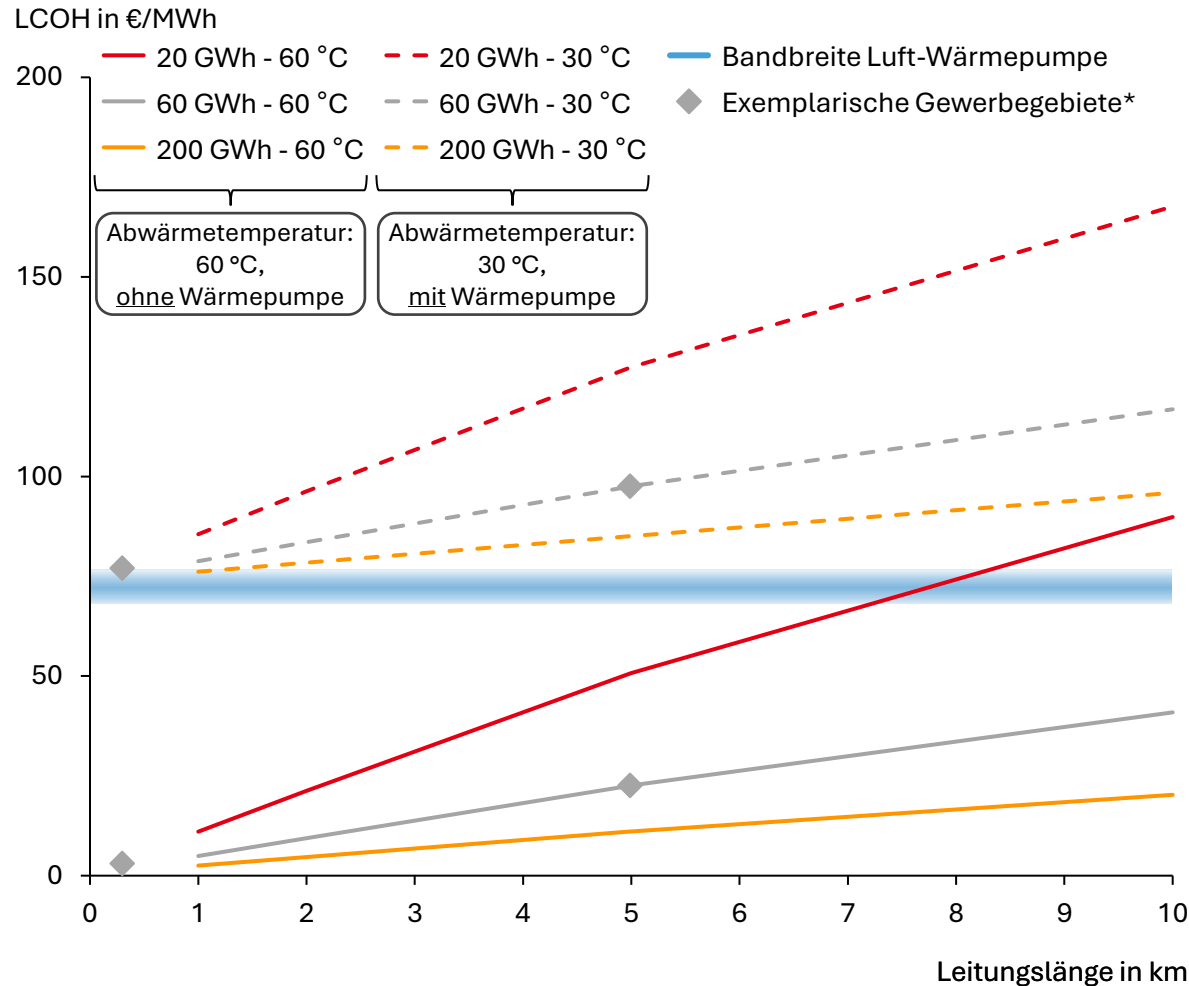
In der Potenzialanalyse wurde zunächst bewusst ein breites Branchenspektrum betrachtet, das von der Lebensmittelindustrie und Agrartechnik über Chemie, Pharma und Medizin bis hin zu Dienstleistungen, Freizeit sowie Bauwesen und Produktion reicht. Auf dieser breiten Ausgangsbasis wurden im weiteren Projektverlauf die Nutzungen mit der höchsten Passung zur Rechenzentrumsabwärme vertieft analysiert. Dabei kristallisierte sich das Konzept „New Food“ als besonders innovativ und zukunftsfähig heraus.

- Als am besten geeignete Branchen für die Nutzung von Rechenzentrumsabwärme wurden die **Lebensmittelindustrie und Agrartechnik** identifiziert. Besonders relevant sind dabei **Aquakultur/Aquaponik, Insektenproduktion, Fermentierung** sowie ergänzend **Molkereien** und die **pharmazeutische Produktion**.
- Die priorisierten Anwendungen zeichnen sich durch einen **ganzjährig konstanten und planbaren Wärmebedarf** aus und passen damit gut zu den **Abwärmeprofilen von Rechenzentren im Niedertemperaturbereich**.
- Der wesentliche **Temperaturkorridor** liegt überwiegend bei **ca. 20 bis 50 °C**. Zusätzliche **prozessbedingte Temperaturspitzen** können je nach Anwendung über **Kaskaden-, Hybrid- oder Wärmepumpenlösungen** abgedeckt werden.
- Durch die **Bündelung passender Nutzer** sowie die **Kombination innovativer und konventioneller Anwendungen** kann ein **stabiles und wirtschaftlich tragfähiges Abnahmeprofil** aufgebaut werden.
- Daraus ergeben sich **hohe Ansiedlungs-, Innovations- und Wertschöpfungspotenziale** für das Rheinische Revier. Perspektivisch sind **innovative Modelle** wie die Umsetzung eines „**New-Food-Campus**“ vorstellbar.

Die wirtschaftlich und technisch vielversprechendste Nutzung von Rechenzentrumsabwärme ergibt sich, wenn mehrere passende Abwärmenutzer, insb. aus den Bereichen Lebensmittelindustrie und Agrartechnik, räumlich gebündelt und mit ergänzenden konventionellen Nutzungen kombiniert werden. So lassen sich stabile, ganzjährige Abnahmeprofile aufbauen. Voraussetzungen für die Umsetzung sind geeignete Flächen und Infrastruktur, tragfähige Wärmepreise sowie eine frühzeitige Abstimmung aller relevanten Akteure.

# Die Wärmebereitstellungskosten für innovative Senken zeigen ein positives Bild, sofern keine Temperaturerhöhung mit einer Wärmepumpe erforderlich ist

## Wärmebereitstellungskosten für Lieferung an innovative Senken

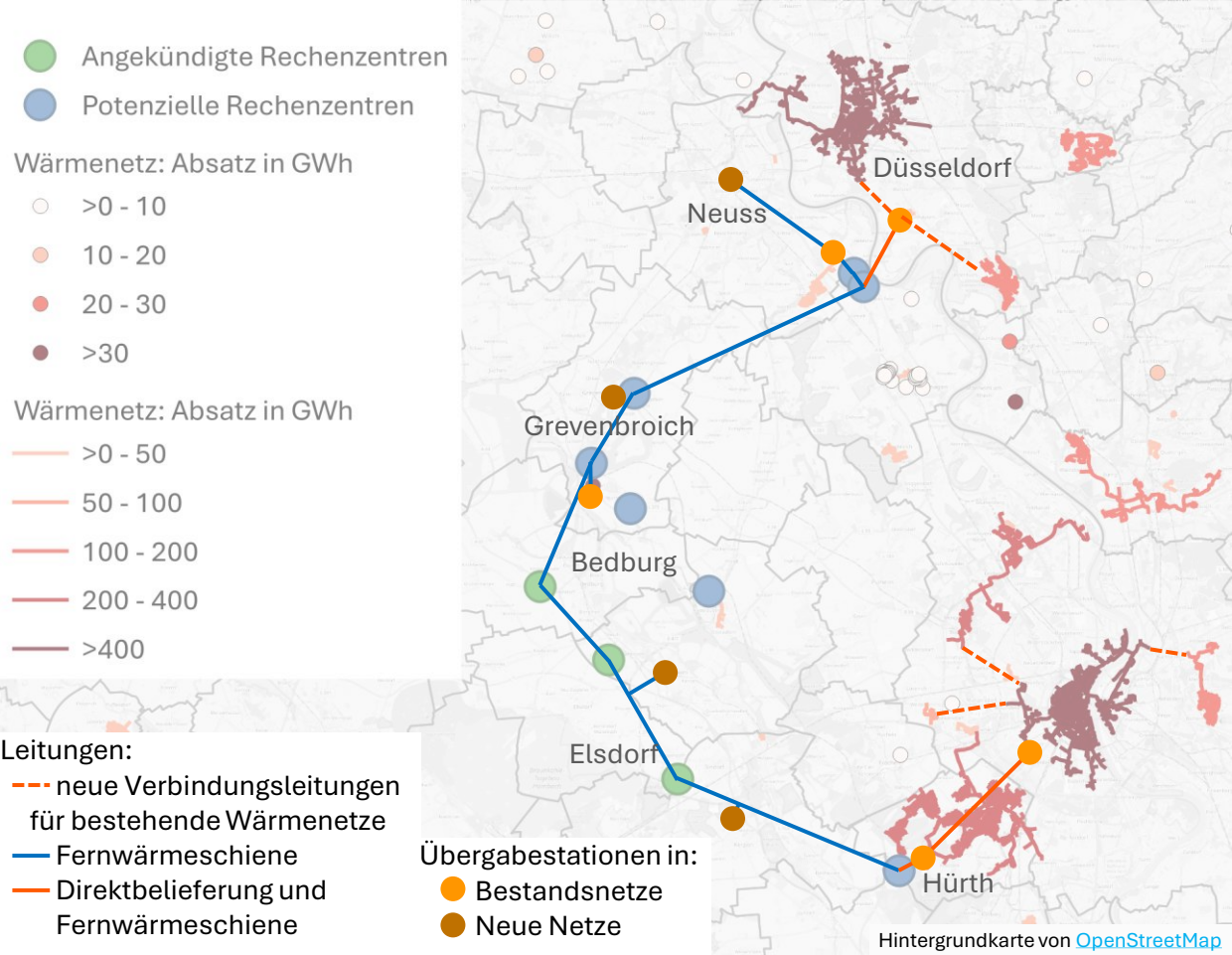


- Bei innovativen Wärmesenken wird von einem Wärmebedarf auf einem geringeren Temperaturniveau (max. 50 °C) ausgegangen, so dass bei einem Rechenzentrum mit Wasserkühlung und einer Abwärmtemperatur von 60 °C keine Wärmepumpe erforderlich wird.
- Für die untersuchten Liefermengen zwischen 20 GWh/a und 200 GWh/a ergeben sich im Vergleich zu einer dezentralen Erzeugung von grüner Wärme mit einer Luft-Wärmepumpe mit den getroffenen Annahmen konkurrenzfähige Wärmebereitstellungskosten. Der Vergleich in der Abbildung zeigt, bis zu welchen Leitungslängen die Rechenzentrums-abwärme günstiger bereitgestellt werden kann:
  - Bei einem niedrigen Absatz von 20 GWh ist die Direktbelieferung mit Rechenzentrums-abwärme bis etwa 7 - 8 km Leitungslänge günstiger als die Luft-Wärmepumpe.
  - Bei einer mittleren oder hohen Liefermenge von 60 oder 200 GWh ist die Direktbelieferung bis 10 km und darüber hinaus wirtschaftlicher als eine Luft-Wärmepumpe.
- Sofern bei zu geringerer Abwärmtemperatur eine Wärmepumpe erforderlich wird, ergibt sich durch die zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten eine massive Erhöhung der LCOH, die keine wirtschaftliche Belieferung zulässt.
- Sofern das Temperaturniveau der innovativen Senken jedoch unterhalb der Abwärmtemperatur des Rechenzentrums liegt, ist keine Wärmepumpe erforderlich und eine Belieferung wäre wirtschaftlich konkurrenzfähig.

**Eine direkte Belieferung von innovativen Wärmesenken aus einem Rechenzentrum ohne den Einsatz einer Wärmepumpe ist mit den getroffenen Annahmen wirtschaftlich konkurrenzfähig. Sofern das Temperaturniveau der Senke eine Wärmepumpe erforderlich macht, ist dies nicht mehr der Fall.**

# In einer systemischen Betrachtung wurden modellhaft die beiden Varianten „Direktbelieferung“ und „Fernwärmeschiene“ miteinander verglichen

## Variante 1 und 2: Direktbelieferung und Fernwärmeschiene (exemplarisch)



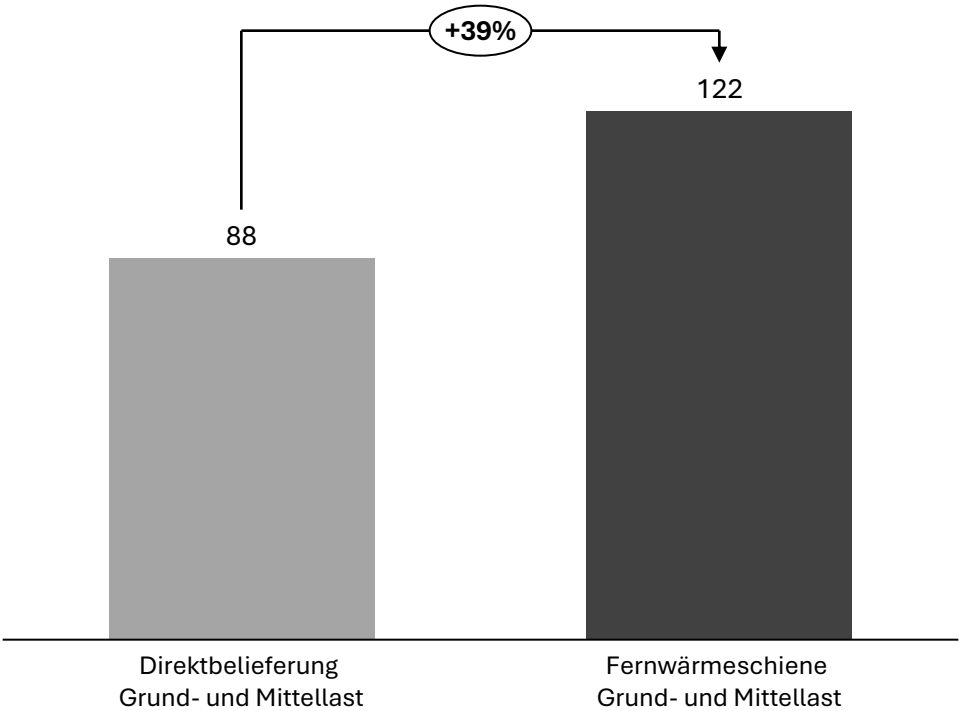
- Die Variante „Direktbelieferung“ betrachtet eine Belieferung in bestehende Wärmenetze in den beiden Regionen Köln/Hürth und Düsseldorf jeweils aus dem nächstgelegenen Rechenzentrum.
- In der Variante „Fernwärmeschiene“ wird modellhaft ein umfassendes Transportleitungssystem (Fernwärmeschiene) angenommen mit der Zielsetzung, möglichst viele Quellen und Senken miteinander zu verbinden. An die angenommene Fernwärmeschiene sind acht Rechenzentren sowie die entlang der Schiene sinnvoll versorgbaren Bestands- und potenzielle neue Netze angeschlossen. Diese Variante ist offener für den Anschluss weiterer Quellen und Senken als die Direktbelieferung.

|                                               | Direktbelieferung     | Fernwärmeschiene      |
|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                               | Grund- und Mittellast | Grund- und Mittellast |
| Wärmepumpen-Leistung in MW <sub>th</sub>      | 308                   | 491                   |
| Trassenlänge in km                            | 17                    | 90                    |
| Abgesetzte Menge in GWh <sub>th</sub> (2045)* | 1.687                 | 2.092                 |
| Anteil genutzter RZ-Abwärme in % (2045)**     | 11,4 %                | 14,1 %                |

Während sich bei einer Direktbelieferung vergleichbar hohe Bereitstellungskosten wie bei alternativen Technologien ergeben, führt eine Fernwärmeschiene zu höheren Kosten

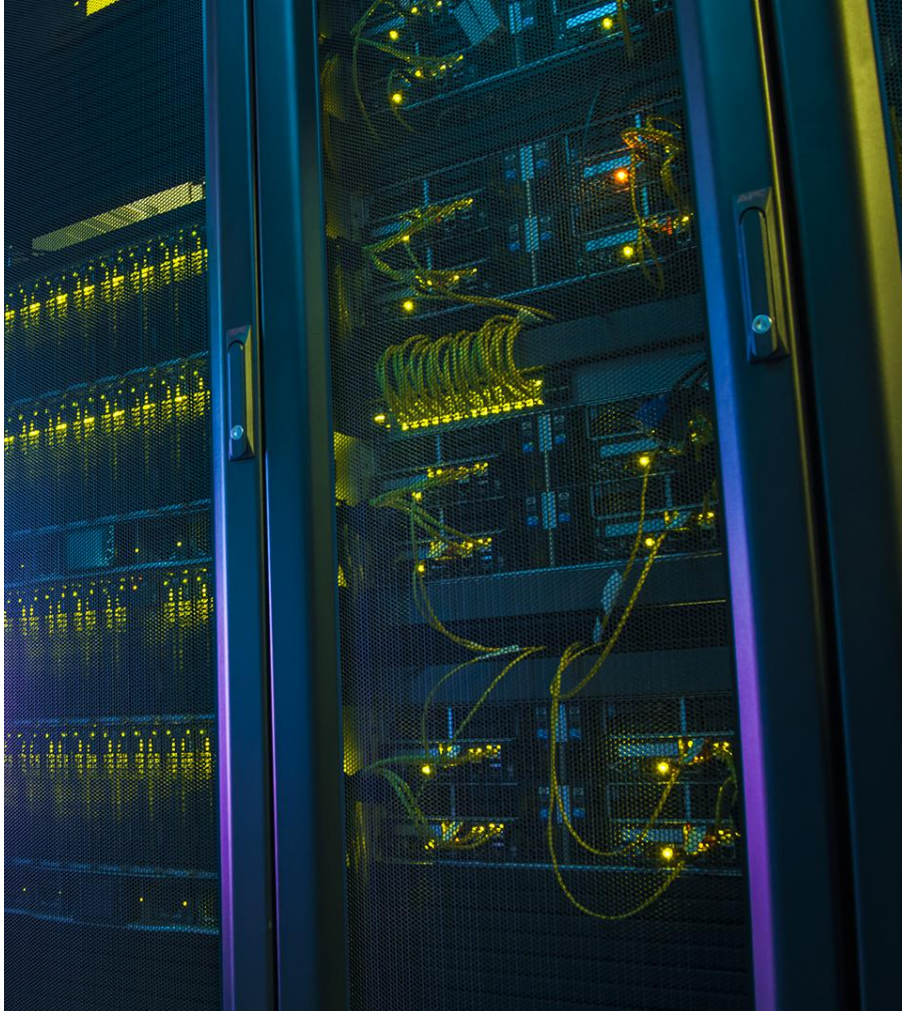
### Vergleich der Wärmebereitstellungskosten: Direktbelieferung vs. Fernwärmeschiene

LCOH in €/MWh



- Bei der Direktbelieferung ergeben sich Wärmebereitstellungskosten, die im Vergleich zu alternativen Technologien ebenfalls auf einem ähnlichen Niveau liegen. Sofern anstelle des nächstgelegenen, ein weiter entferntes Rechenzentrum herangezogen werden müsste, steigen die Wärmebereitstellungskosten um 4 €/MWh bei einer um 14 km längeren Transportleitung an.
- Bei der Fernwärmeschiene ergeben sich Wärmebereitstellungskosten, die deutlich höher sind als die von alternativen Technologien zur Bereitstellung grüner Wärme, weil:
  - sehr hohe zusätzliche Investitionskosten für lange Transportleitungen und Wärmepumpen (für eine redundante Auslegung) anfallen
  - die zusätzliche Absatzmenge dies nicht kompensieren kann, zumal in den betrachteten neuen Netzen zunächst geringe Absatzmengen anfallen, die erst mit dem Ausbau über die Jahre hinweg ansteigen.
- Mit zusätzlichen Absatzmengen würde sich die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeschiene verbessern. Allerdings erscheint die Erschließung dieser Mengen nach heutigem Kenntnisstand nicht realistisch.
- Bei der Fernwärmeschiene liegen die Investitionskosten und die Fördersumme mehr als doppelt so hoch wie bei der Direktbelieferung.

# Eine Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren im Rheinischen Revier ist mit einigen Herausforderungen und Gelingensbedingungen verbunden



- Eine wichtige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Abwärmenutzung ist die tatsächliche Realisierung mehrerer großer Rechenzentren\* in der angenommenen Größenordnung, insbesondere in der Nähe der Verbrauchsschwerpunkte für die Wärme in den Regionen Köln und Düsseldorf. Dies setzt auch die Bereitstellung der erforderlichen Netzanschlussleistung aus dem Stromnetz voraus.
- Die begrenzte Anzahl von größeren Wärmesenken (insbes. Wärmenetze) führt dazu, dass das ermittelte Potenzial von 4,3 TWh\* an Rechenzentrumsabwärme im Rheinischen Revier bei Weitem nicht ausgeschöpft werden kann.
- Eine (verlässliche) Inanspruchnahme von Förderungen (insbes. BEW-Förderung) ist eine essenzielle Voraussetzung für eine Bereitstellung der Abwärme für Wärmenetze zu wettbewerbsfähigen Kosten. Das gilt insbesondere deshalb, da die alternativen Technologien ebenfalls eine BEW-Förderung in Anspruch nehmen können.
- Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Rechenzentrumsbetreiber und potenziellem Abnehmer ist eine wichtige Grundlage. Für die potenziellen Abnehmer ist die Verlässlichkeit einer langfristigen Bereitstellung von Abwärme von hoher Bedeutung.
- Für innovative Wärmesenken mit einem Wärmebedarf auf geringerem Temperaturniveau als bei Wärmenetzen kann Abwärme aus Rechenzentren zu wirtschaftlich attraktiven Konditionen bereitgestellt werden. Voraussetzung dafür ist eine erfolgreiche Ansiedlung der in Frage kommenden Branchen auf Flächen in der Nähe von Rechenzentrumsstandorten.
- Die deutlich höheren Wärmebereitstellungskosten einer Fernwärmeschiene gegenüber einer Direktbelieferung aus nahegelegenen Rechenzentren könnten über zusätzliche Absatzpotenziale reduziert werden. Da diese im Rheinischen Revier nach aktuellem Kenntnisstand nicht vorhanden sind, ist die Fernwärmeschiene derzeit keine wettbewerbsfähige Lösung.

\* Nutzung von 20 % der zur Verfügung stehenden Wärme aus potenziellen Rechenzentren.

## **Anschrift & Kontaktdaten**

### **BET Consulting GmbH**

info@bet-consulting.de | www.bet-consulting.de

#### **Standort Aachen**

Alfonsstraße 44  
D-52070 Aachen

Telefon +49 241 47062-0

#### **Standort Berlin**

Krausenstraße 8  
D-10117 Berlin

Telefon +49 30 2418991-80

#### **Standort Leipzig**

Floßplatz 31  
D-04107 Leipzig

Telefon +49 341 30501-0

#### **Geschäftsführer:**

Dr. Alexander Kox | Dr. Olaf Unruh

**Sitz der Gesellschaft:** Aachen

**Registergericht:** Aachen

**Handelsregister:** HRB 5731

