

# 0°C, aber 0 CO<sub>2</sub>- Emissionen? – Transformationspfade zur Dekarbonisierung der Fernwärme

Aurora-Webinar  
27. Januar 2022



# Ihre heutigen Redner

---



**Hanns Koenig**

*Head of Commissioned Projects – Central EU*

[Hanns.Koenig@auroraer.com](mailto:Hanns.Koenig@auroraer.com)



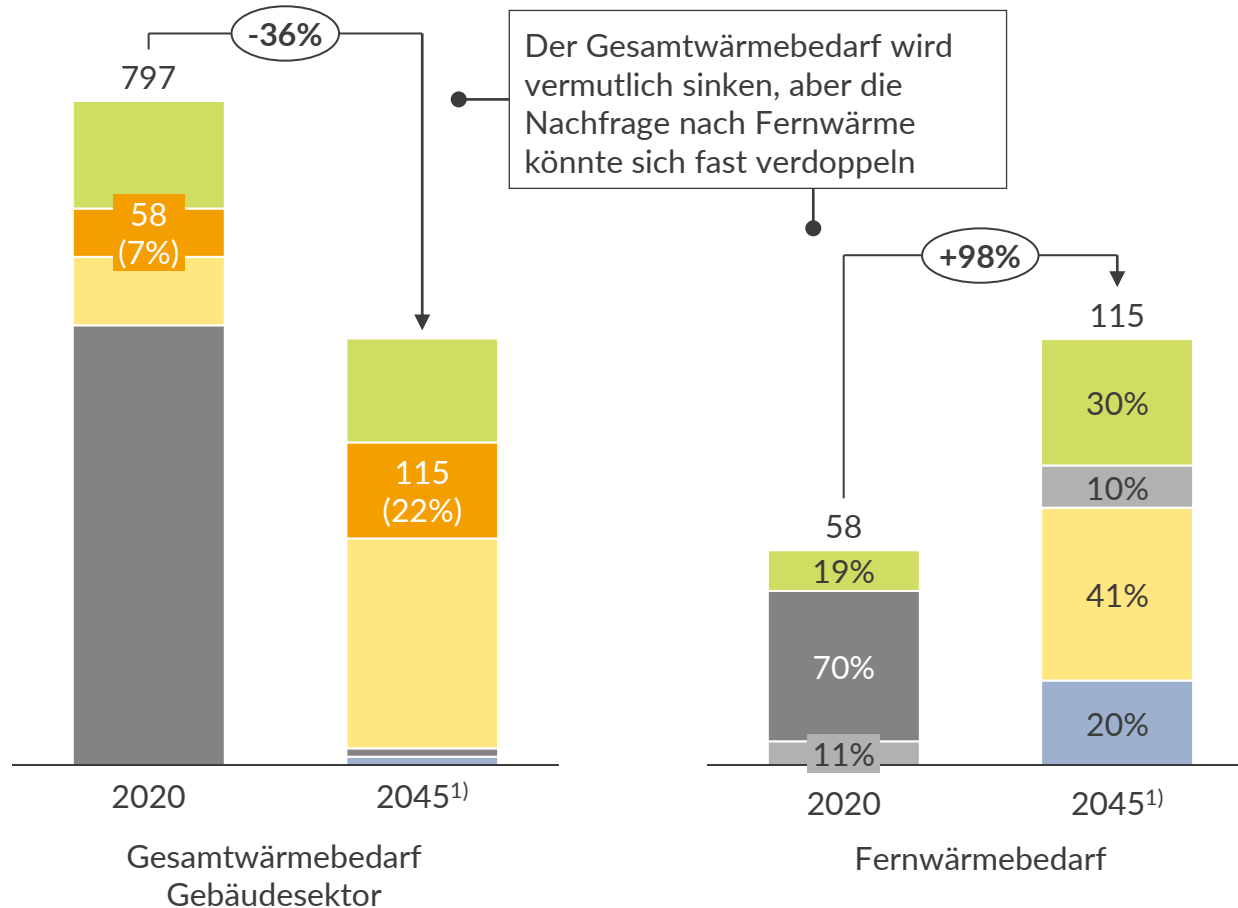
**Johannes Maywald**

*Product Lead, SaaS*

[Johannes.Maywald@auroraer.com](mailto:Johannes.Maywald@auroraer.com)

# Fernwärme wird eine Schlüsselrolle im Wärmemix spielen - dabei sind Dekarbonisierung und Sektorkopplung mit Strom große Herausforderungen

Entwicklung der Wärmeversorgung nach Energieträger  
TWh



Wichtige Herausforderungen und Überlegungen



## Sektorkopplung: Strom zu Wärme

- Was bedeutet die zunehmende Elektrifizierung der Wärme für den Stromsektor?
- Wo liegen die Grenzen für die Integration von Wärmepumpen?



## Dekarbonisierung: Alternativen zu fossilen Brennstoffen

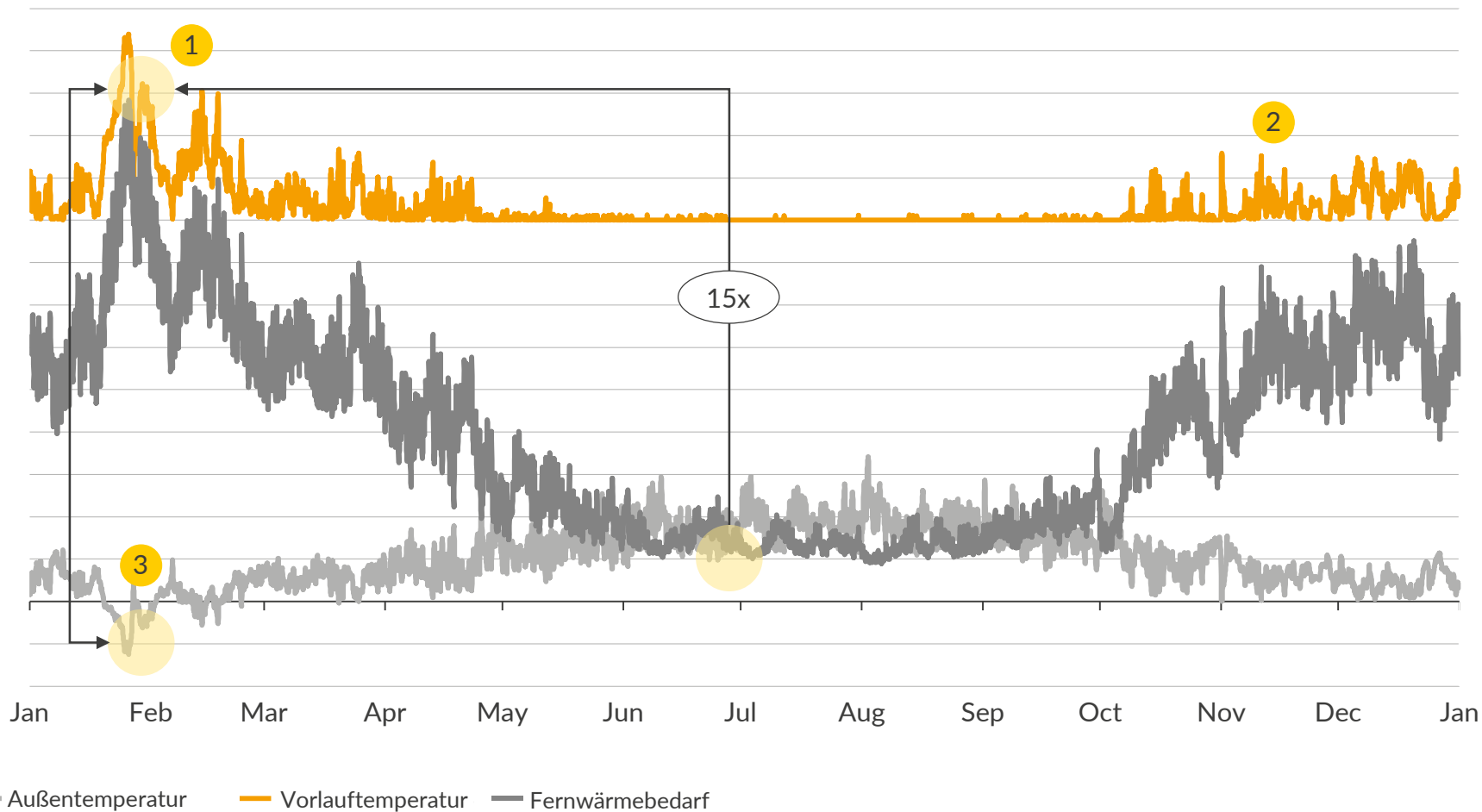
- Was kann die Verbrennung fossiler Brennstoffe als häufigste Art der Wärmeerzeugung ersetzen?
- Um wie viel kann der Wärmebedarf von Gebäuden durch verbesserte Isolierung und Energieeffizienzmaßnahmen gesenkt werden?
- Wird die Fernwärme eine größere Rolle spielen müssen, um die Integration von erneuerbaren und Niedertemperatur-Wärmequellen zu ermöglichen?
- Welche Rolle spielen die Kommunen bei der Planung zukünftiger Wärmesysteme, z.B. im Kontext von Anschluss- und Benutzungszwang?

Erneuerbare Energien Fernwärme Strom Fossile Brennstoffe Wasserstoff Sonstige

1) Durchschnittliche Bewertung der verschiedenen Projektionen in der Literatur

# Saisonale Temperatur- und Nachfrageschwankungen erfordern Flexibilität, um die Spitzenlast mit hohen Temperaturen zu bedienen

Stündliche Temperaturen und Wärmebedarf  
°C, MW<sub>th</sub>(normalisiert)

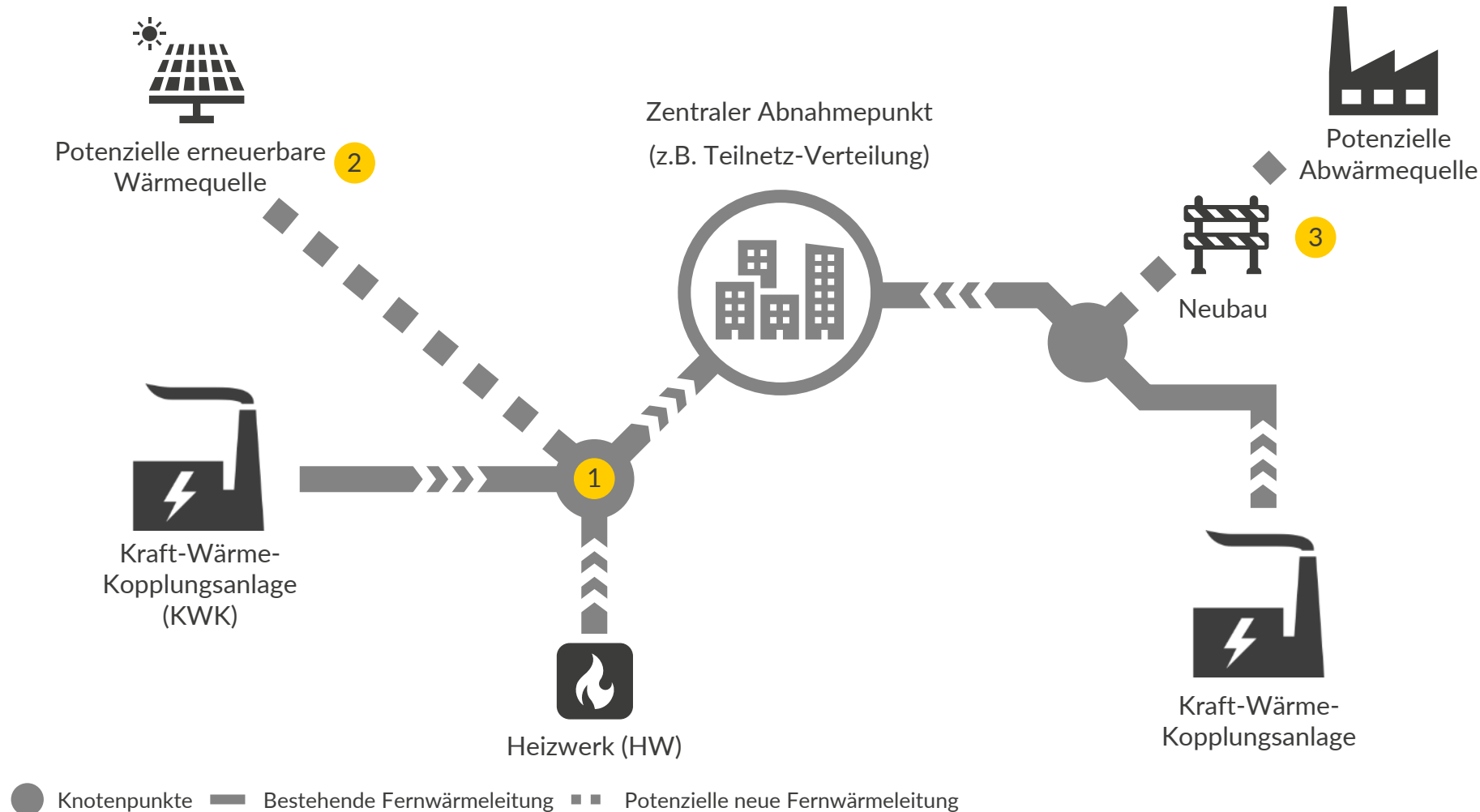


## Wichtige Herausforderungen und Überlegungen

- 1 Versorgungssicherheit**
  - Die Spitzenlast im Winter ist bis zu 15 Mal höher als die Grundlast im Sommer
  - Reservekapazitäten sind bei extrem niedrigen Temperaturen und zur Überbrückung einzelner Ausfälle (N-1) nötig
- 2 Vorlauftemperatur**
  - Der Durchfluss wird durch die Rohrleitungen des Heizungsnetzes begrenzt
  - Im Winter sind höhere Temperaturen erforderlich, um mehr Energie durch das Netz zu leiten
- 3 Umgebungswärmequellen**
  - Hoher Bedarf bei niedrigen Außentemperaturen
  - Herausfordernde Integration, z. B. Oberflächenwasser

# Die Fernwärmeversorgung wird durch die technische Netzarchitektur und die Lage potenzieller Wärmequellen begrenzt

Schematischer Aufbau eines beispielhaften Fernwärmenetzes

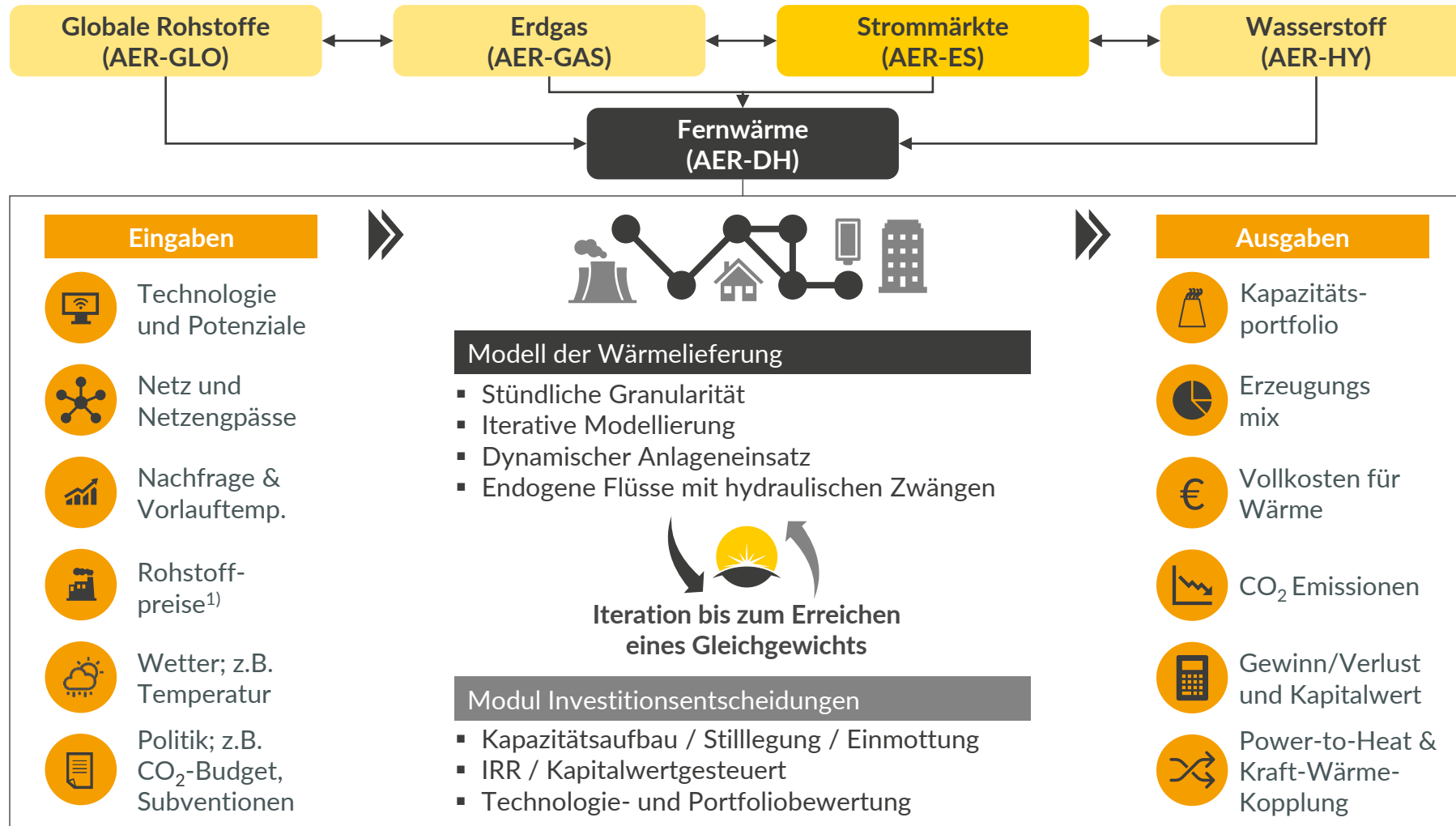


## Wichtige Herausforderungen und Überlegungen

- 1 Strömungsbeschränkungen**
  - Energie wird in Form von heißem Wasser transportiert
  - Erhalt der Flussrichtung
- 2 Lokale Verfügbarkeit**
  - Potenzielle Wärmequellen können weit von den Kunden entfernt sein und müssen an das Netz angeschlossen werden
  - Die Temperatur muss mit der Vorlauftemperatur übereinstimmen oder muss aufgetoppt werden
- 3 Disruptive Netzarbeiten**
  - Gebäude, Straßen etc. beschränken Netzänderungen
  - Möglichst weitgehende Nutzung des bestehenden Netzes, trotz der Rohrleitungslimits



# Um dieses komplexe Problem zu lösen und optimale Übergangspfade für Fernwärmesysteme zu finden haben wir AER-DH entwickelt



## Wesentliche Merkmale

- Endogene Fernwärmeportfolio-Optimierung von Dekarbonisierungsoptionen auf der Grundlage individueller lokaler Potenziale und Beschränkungen
- Dynamik im Rohrleitungsnetz:
  - Massenstrombegrenzung zur Aufrechterhaltung von Druckdifferenzen und Strömungsrichtungen
  - Mischen verschiedener Wärmequellen, um Vorlauftemperaturen zu erreichen
- Sektorkopplung mit Strom:
  - PtH-Einsatz auf Basis der stündlichen Strompreise
  - Optimierte Kraft-Wärme-Kopplung auf der Grundlage von Wärmebedarf, Brennstoff- und Strompreisen
- Explizites CO<sub>2</sub>-Budget als zusätzliche Bedingung

1) Gas-, Kohle-, Öl- und Kohlenstoffpreise werden grundlegend intern mit einem integrierten Rohstoff- und Gasmarktmodell modelliert

# Neben Kosten müssen auch technische und lokale Gegebenheiten zur Umsetzung der Wärmewende berücksichtigt werden

## Lokale Verfügbarkeit und Einschränkungen

- Die Erschließung einer Ressource hängt von ihrem Standort ab und ist möglicherweise nicht im bestehenden Netz möglich
- Das Potenzial der natürlichen Ressourcen variiert je nach geografischer Lage
- Die Erschließung neuer Wärmequellen kann durch externe Faktoren wie lokale Beschränkungen erschwert sein

## Verlässlichkeit

- Dekarbonisierte Wärmequellen sind oft nicht voll regelbar, z. B. erneuerbare Energiequellen
- Einige Quellen hängen von externen Faktoren ab, z. B. Stromnetz, Wetter (Temperatur, Sonnenschein usw.)

## Temperatur

- Im Winter sind meist höhere Vorlauftemperaturen erforderlich, um die höhere Nachfrage zu decken
  - Viele potenzielle Wärmequellen liefern niedrigere Temperaturen und müssten aufgetoppt werden
  - Verschiedene Temperaturen können gemischt werden, um die gewünschten Vorlauftemperaturen zu erreichen

## Investitionskosten

- CAPEX umfassen die Anlage, deren Installation (z. B. Erdarbeiten und Bohrungen), Bau, Netzanschluss sowie Projektentwicklung
- Projektlaufzeit und Diskontierung sind Schlüsselannahmen für die Bewertung

## Operative Kosten

- Variable Kosten wie Brennstoff und Strom können zeitlich schwanken, z. B. stündliche Strompreise.
- Kosten für Betrieb und Wartung sowie vertraglich vereinbarte Preise mit Dritten (z.B. Anbieter industrieller Abwärme) müssen bei der Versorgung berücksichtigt werden

## Kommentare

- Die Bewertung der unterschiedlichen techno-ökonomischen und lokalen Dimensionen ist für die Ermittlung und Bewertung eines ausgewogenen Portfolios unerlässlich
  - Technische und wirtschaftliche Parameter können sich in Zukunft verbessern
  - Lokale Verfügbarkeit, die Beschränkungen und die Zuverlässigkeit variieren für die einzelnen Netze und Systeme.
- Verschiedene Technologien und Optionen können anhand der fünf Schlüsseldimensionen links verglichen werden

# Dekarbonisierungsoptionen sind z. B. Brennstoffwechsel, Einbindung neuer Wärmequellen, Flexibilisierung oder Netzbauten

## Status quo

### a) Fossile Brennstoffe



## Betrachtete Dekarbonisierungsoptionen

1 Brennstoffwechsel

- Biomasse
- Biogas
- Wasserstoff
- Synthetische Kraftstoffe

2 Neue direkte Wärmequellen

- Industrielle Abwärme
- Geothermie

3 Indirekte Quellen + Wärmepumpe

- Abwasser
- Fluss-/Meerwasser
- Solarthermie

4 Flexibilisierung durch Speicher

- Elektrodenkessel
- Kurzzeitspeicher
- Saisonale Speicher

### b) Andere Brennstoffe



## Weitere Optionen (nicht untersucht)

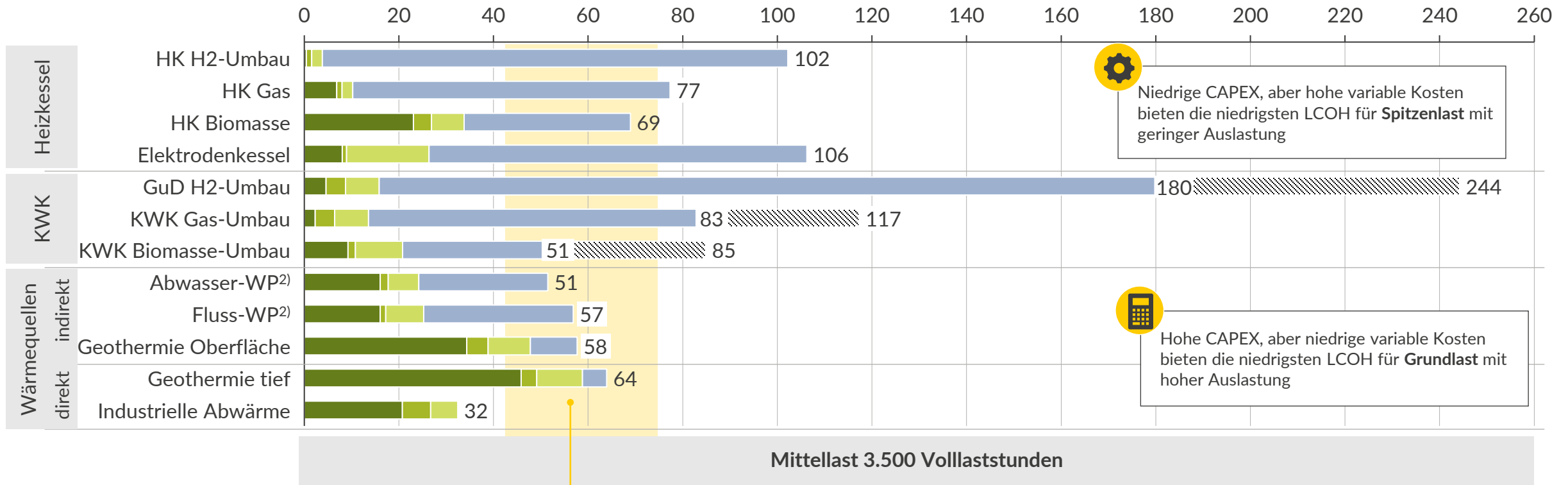
- Netzanpassungen, z. B.
  - größere Leitungsdurchmesser zur Erhöhung des Durchflusses
  - Verbesserung der Leitungsisolierung zur Verringerung von Wärmeverlusten
- Verringertes Temperaturniveau des Netzes
  - Beinhaltet möglicherweise o.g. Netzanpassungen
  - Mögliche Installation von Wärmepumpen auf Kundenseite zur Wärmeentnahme bei niedriger Vorlauftemperatur
  - Ermöglicht die Integration von Niedrigtemperaturquellen ohne Wärmepumpen oder Auftoppen
- Weiterbetrieb mit fossilen Brennstoffen und CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung (CCS)

1) In Deutschland wird Energie aus der Abfallverbrennung oft als 50% erneuerbar und 50% nicht-erneuerbar eingestuft.



# Mehrere Technologien können Mittellast zu ähnlichen Kosten bereitstellen – lokale Faktoren geben oft den Ausschlag

Wärme-Gestehungskosten (LCOH)<sup>1)</sup> nach Wärmequelle und Technologie  
EUR/MWh<sub>th</sub>



In den nächsten 25 Jahren könnten verschiedene Technologien ähnliche Wärmegestehungskosten (LCOH) bei Mittellastbetrieb erreichen. Ein ausgewogenes Portfolio zur Absicherung gegen idiosynkratische Risiken ist damit auch aus ökonomischer Sicht möglich und sinnvoll.

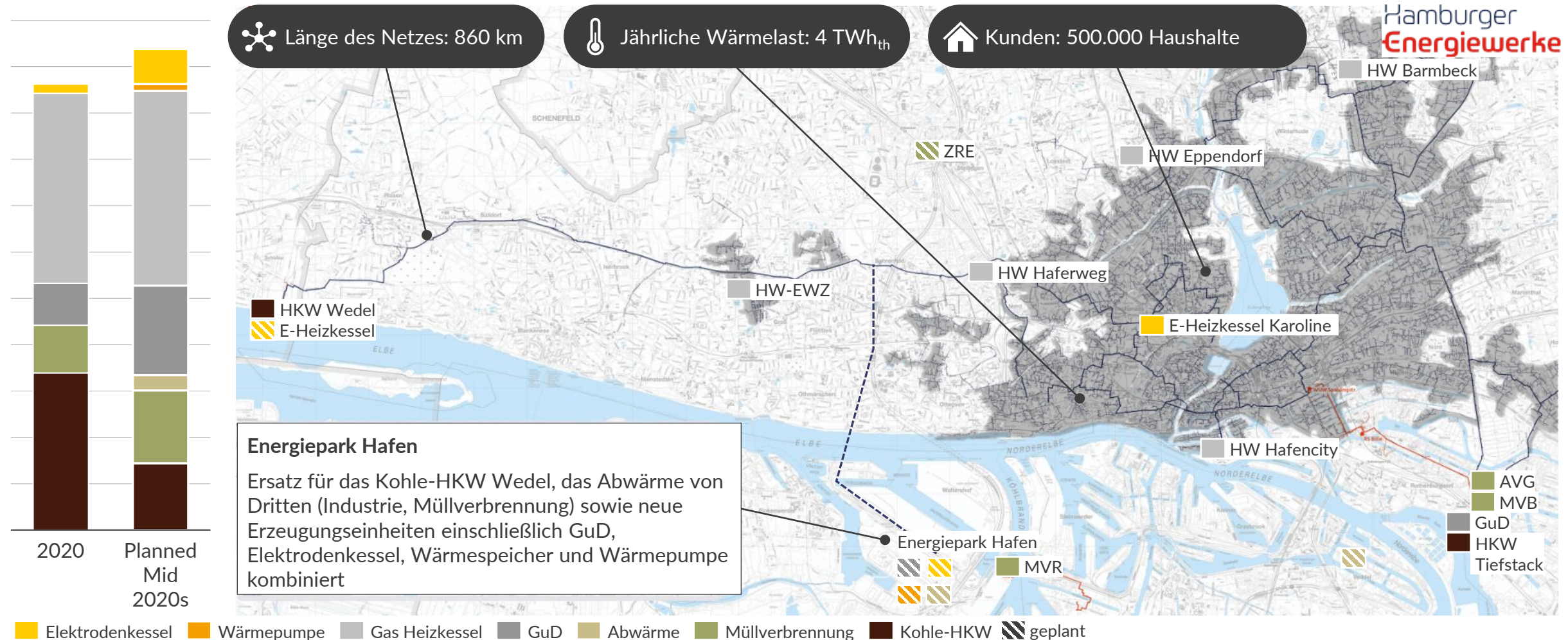
■ Investitionskosten ■ Variable Kosten ■ Fixkosten ■ Netto-Energiepreis (inkl. CO2 Kosten)<sup>3)</sup> ▨ Querfinanzierung durch Stromerlöse

1) 20 Jahre Laufzeit, Annahme durchschnittlicher Rohstoff- bzw. Strompreise 2025-2050 2) Beinhaltet 300k EUR/MW Investitionszuschuss 3) Für stromverbrauchende Technologien wird angenommen, dass die EEG-Umlage für den Stromverbrauch wegfällt

# Das Hamburger Netz ist eines der größten in Deutschland, die meiste Wärme von zwei Kohle-HKWs außerhalb der Stadt geliefert wird

Wärmeleistungsmix<sup>1)</sup> und Netzausbau der Hamburger Energiewerke

GW<sub>th</sub>

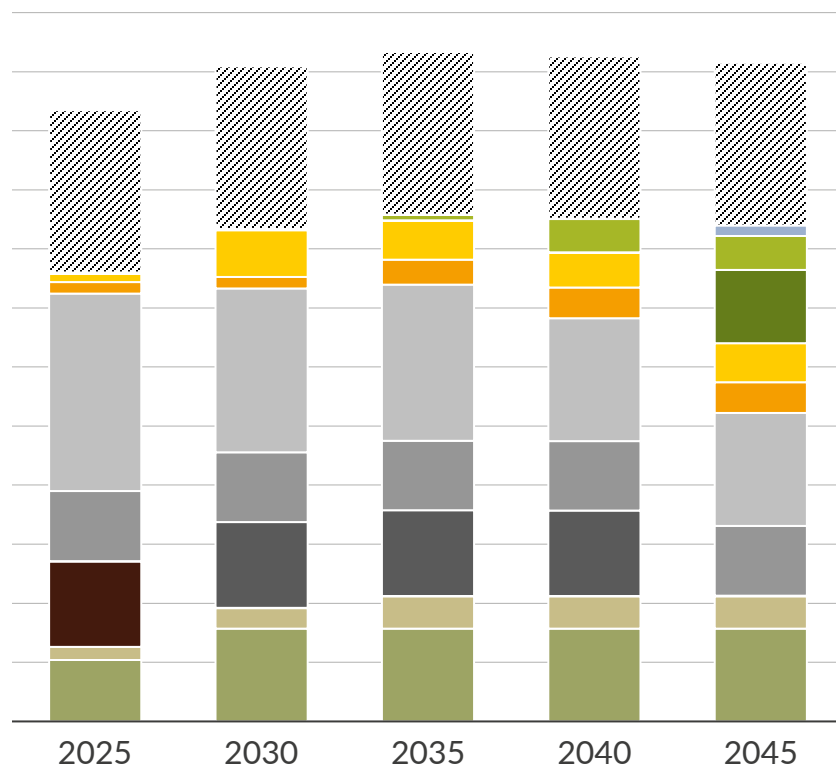


1) Einschließlich Reservekapazität

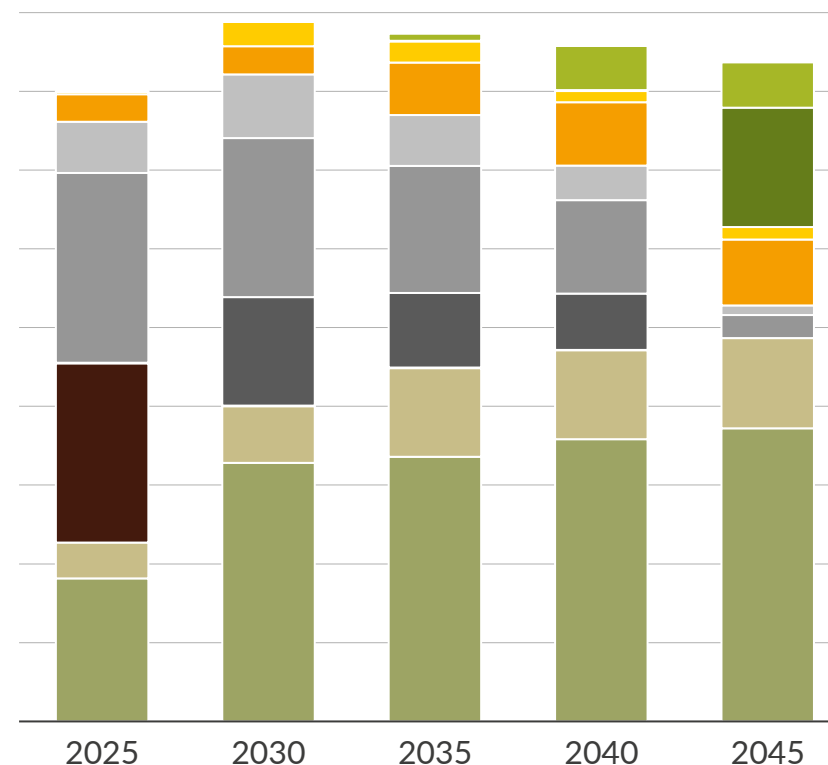
# Ein dekarbonisiertes Portfolio könnte sich auf Müllverbrennung Abwärme, P2H, Biomasse stützen – mit Erdgas für den Übergang



Leistung  
GW<sub>th</sub>



Erzeugung  
TWh<sub>th</sub>



■ Müllverbrennung
 ■ Kohle HKW
 ■ GuD<sup>1)</sup>
■ Wärmepumpe
 ■ Biomasse HKW
 ■ H2 Heizkessel
 ■ Abwärme
 ■ Gas HKW<sup>1)</sup>
■ Gas Heizkessel<sup>1)</sup>
■ Elektrodenkessel
 ■ Biomasse Heizkessel
 ▨ Reservekapazität<sup>2)</sup>

1) Es wird davon ausgegangen, dass für Klimaneutralität nach 2045 nur Biogas (oder ein anderes molekular äquivalentes Gas) in der Anlage zu einem höheren Preis, aber ohne Umwandlungskosten verwendet werden könnte 2) Die Reservekapazität ist nicht Teil der wirtschaftlichen Optimierung, ist aber für extreme Wetterereignisse oder zur Abdeckung von Ausfällen vorgesehen  
Quelle: Aurora Energy Research

## Kommentare

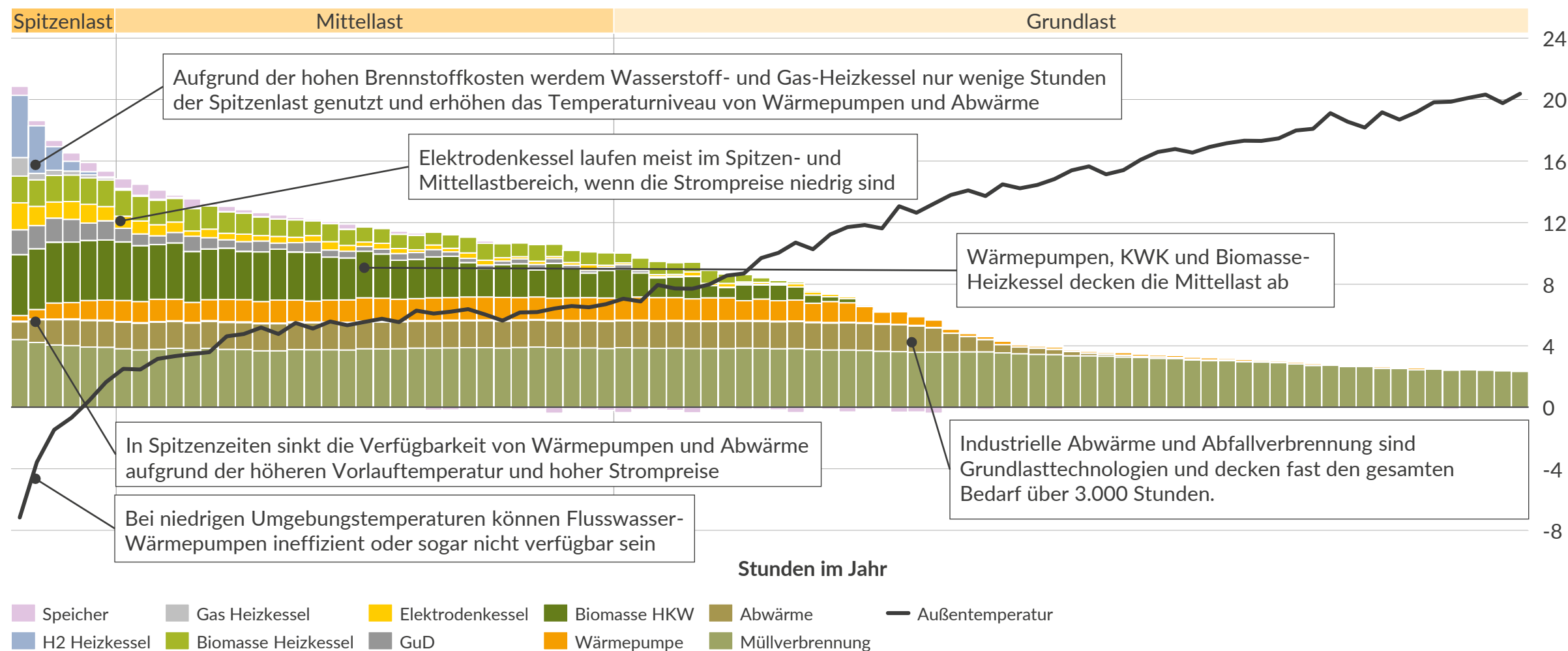
- Müllverbrennung und Abwärme als Grundlasttechnologien könnten im Jahr 2045 fast die Hälfte des gesamten Wärmebedarfs decken
- Umstellung von Kohle-KWK auf Gas und später auf Biomasse aufgrund höherer Brennstoffkosten für klimaneutrales Biogas, Betrieb im Mittellastbereich
- Neu gebaute Wärmepumpen für Grund-/Mittellast
- Biomasse-KWK und Heizkessel (HK) zur Unterstützung der Mittel- und Spitzenlast
- Bestehende Elektrodenkessel werden vor 2030 kaum genutzt, dann für Spitzenlast oder bei niedrigen Strompreisen
- Gas- und Wasserstoff-HK wird für Spitzenlast und zum Aufheizen des Temperaturniveaus verwendet

# Im CO<sub>2</sub>-neutralen System könnten Müll, Abwärme und Wärmepumpen die Grundlast liefern, ergänzt durch Biomasse und Elektrodenkessel



Durchschnittliche Wärmeerzeugung gruppiert und sortiert nach Wärmelast im Vergleich zur Umgebungstemperatur im Jahr 2050

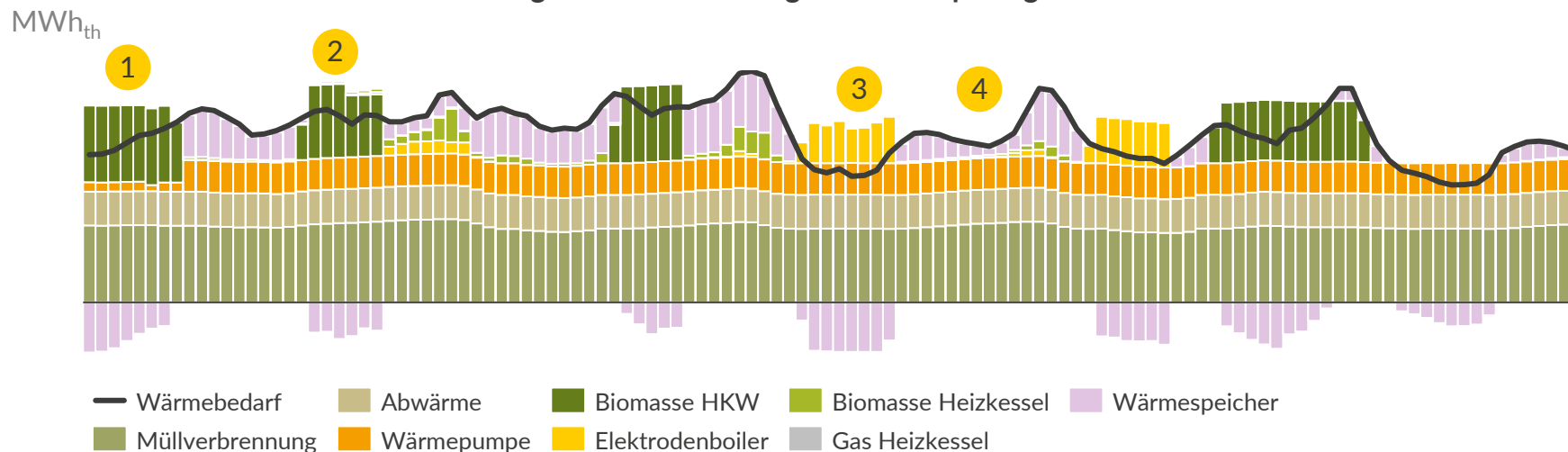
MW<sub>th</sub>, °C



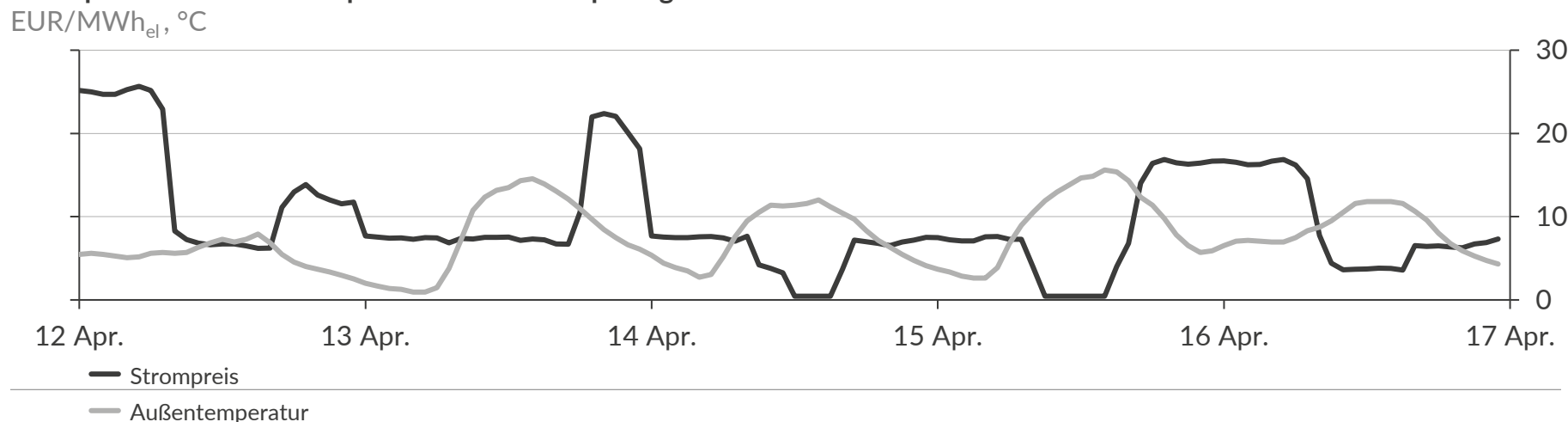
# Die Sektorkopplung zwischen Wärme und Strom ist am effizientesten, wenn überschüssige Wärme gespeichert werden kann



Stündlicher Wärmebedarf und Wärmeabgabe nach Technologie für 5 Beispieltage



Strompreise und Außentemperaturen für 5 Beispieltage



## Kommentare

- Speicher können Wärme aufnehmen, wenn die Strommärkte für KWK-Anlagen oder Elektrodenkessel attraktiv sind:

- Bei hohen Strompreisen verdrängt die KWK effiziente Wärmepumpen
  - Bei mittleren Strompreisen werden Mittellasttechnologien wie Biomasse-HKW verdrängt
  - Elektrodenkessel werden bei sehr niedrigen Strompreisen eingesetzt
  - Gespeicherte Wärme kann bei niedrigen Strompreisen abgegeben werden, wenn weder KWK-Anlagen noch Elektrodenkessel günstige Wärme liefern
- KWK-Anlagen, Elektrodenkessel und Kurzzeitspeicher bilden ein hochflexibles System in Zeiten mittleren Wärmebedarfs und volatiler Strompreise



# Wir prüfen die Robustheit unseres Basisszenarios, indem wir einzelne Annahmen zu Infrastruktur und Regulierung in Sensitivitäten testen

## Standard-Annahmen



### 1. Basisszenario

- Kapazitätszeitleisten wurden mit dem Klienten abgestimmt
- Das Modell kann endogen über Einmottung oder Umbau von Anlagen entscheiden
- Lokale Potenziale und technische Grenzen für jede Technologie werden für jeden Standort einzeln angegeben
- Implizite Umstellung aller Gasanlagen auf kohlenstoffneutrales Biogas bis 2045 zu einem höheren Preis, aber ohne Umstellungskosten
- Wärmepumpenförderung nach BEW: 7 ct/kWh<sub>th</sub>, aber gedeckelt auf 90% der Stromkosten in den ersten 10 Jahren
- Umsetzung im Modell als 45%ige Subvention für alle 20 Jahre der Projektlaufzeit
- CO-Budget<sub>2</sub> gemäß den Reduktionszielen des städtischen Klimaplan

## Sensitivitäten

Diese Szenarien testen einzelne Annahmen des Basisszenarios, indem sie einige Extreme berücksichtigen



### 2. Kreislaufwirtschaft

- Auslaufen der Müllverbrennung 2035-45



### 3. Uneingeschränkte Elektrifizierung

- Aufhebung der Baubeschränkungen für Elektrodenkessel und Wärmepumpen



### 4. Kein Biogas

- Gasanlagen können nach 2045 nur nach H<sub>2</sub>-Umrüstung und mit H<sub>2</sub> genutzt werden



### 5. Keine Subventionen für Wärmepumpen

- Wärmepumpen tragen volle Stromkosten



### 6. Beschleunigte Dekarbonisierung

- Knapperes CO<sub>2</sub>-Budget, insbesondere in den Jahren 2035-2045

## Gemeinsame Annahmen für alle Szenarien

- Aurora Net Zero Okt. 2021 Rohstoff- und Strompreise
- Techno-ökonomische Parameter der Dekarbonisierungsoptionen auf der Grundlage von Forschungsergebnissen
- Projektionen der Nachfrage
- Netzstruktur und Flussbeschränkungen



# Ohne Müllverbrennung als günstige Wärmequelle würden die Kosten um 26 % steigen, während der Technologiemicx andere Faktoren ausgleichen kann

Szenario	Hauptmerkmale und Unterschiede	Volle Kosten für Wärme <sup>1)</sup> Mio. EUR
1. Basisszenario	<ul style="list-style-type: none"> <li>HKW Umstellung auf Gas 2030, 2045 auf Biomasse</li> <li>HW Gas-zu-Wasserstoff-Umrüstung</li> <li>Neubau Wärmepumpen und Biomasse-HW</li> </ul>	
2. Kreislaufwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusätzliche Wärmepumpen und Geothermie als Ersatz für die Müllverbrennung als Grundlast</li> <li>Höhere Investitions- und Betriebskosten</li> </ul>	+26%
3. Uneingeschränkte Elektrifizierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niedrigere Kosten durch zusätzlichen Ausbau von Wärmepumpen mit niedrigen Betriebskosten</li> <li>Etwas höhere Investitionskosten für Wärmepumpen</li> </ul>	-2%
4. Kein Biogas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusätzliche Elektrokessel ersetzen Biogas-Spitzenlast</li> <li>Frühere Wasserstoffumrüstung von HK, aber ohne Biogas-KWK, weniger KWK-Stromerlöse</li> </ul>	+7%
5. Keine weiteren Wärmepumpen-Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weniger Wärmepumpenkapazität und -betrieb</li> <li>Stattdessen mehr Biomasse, Elektrodenkessel und Geothermie, die in Bau und Betrieb teurer sind</li> </ul>	+4%
6. Beschleunigte Dekarbonisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ähnlicher Dekarbonisierungsmix und Betrieb, aber vorgezogen; mit erhöht die Kosten aufgrund der Diskontierung</li> </ul>	+4%

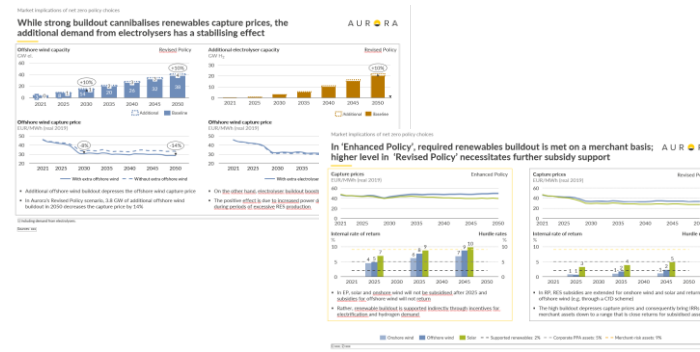
Investitionen Nettobetriebskosten Querfinanzierung durch Stromerlöse

1) Nettogegenwartswert im Jahr 2025, abgezinst mit 6 %, wobei die Cashflows des Jahres 2050 (ohne Investitionen) bis 2100 extrapoliert werden

- **Jährliche Prognosen der Großhandelsmarktpreise für 4 Szenarien** (Central, High, Low, Net Zero) bis 2050
- **Preisverteilungen**, Spreads, Spitzenpreise
- **Kapazitätsentwicklung**, Erzeugungsmix, Interkonnektorenkapazität, Kapazitätsausbau, Netto-Exporte
- **Marktwerte für Technologien** (GuD, Kohle, Onshore-Windkraft, Offshore-Windkraft, Solar-PV)
- **Analyse der wichtigsten Sensibilitäten** (Kohleausstieg, Ziel des Klimaaktionsplans)
- EU-ETS-CO<sub>2</sub>-Preis-Prognosen
- ***Prognosen für den globalen Energiemarkt***

## Group Meetings und Studien

- **Ausführliche Studien** zu aktuellen Themen
- **Vier Rundtischgespräche (Group Meetings)** pro Jahr in Berlin zur Diskussion der Berichte mit Akteuren des gesamten deutschen Strommarktes
- Vergangene und zukünftige Themen sind
  - *Flexmärkte und Geschäftsmodelle für Batterien*
  - *Kohleausstiegsauktionen*
  - *Versorgungssicherheit und Wetterrisiken*



## Interaktion durch Workshops und laufende Unterstützung

- **Bilaterale Workshops** in Ihrem Büro zur Erörterung spezifischer Fragen zum deutschen Markt
- **Unterstützung durch Analysten** (Anrufe, Zugang zu Marktexperten, Modellierern), um Fragen zu den europäischen Strommärkten zu beantworten
- Einladung zu allen Aurora-Veranstaltungen und ermäßigte Einladungen zu Auroras jährlichem **Spring Forum**



## Alle Informationen für ein erfolgreiches Geschäft, basierend auf bankfähigen Preisprognosen

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an  
**Antonia Kilavuz, Commercial Associate**



**antonia.kilavuz@auroraer.com**  
**+49 (0) 30 120 84969**

# Die Dekarbonisierung von Wärme und Strom steht im Mittelpunkt der Aurora-Group Meetings in Deutschland im nächsten Jahr



Mit dem deutschen Ziel der Klimaneutralität bis 2045 wird die Dekarbonisierung nicht nur des Strom-, sondern auch des Wärmesektors immer dringlicher. Während dies unbestritten ist, ist unklar und höchst umstritten, welche Rolle die verschiedenen Heiztechnologien und Brennstoffe in einem klimaneutralen Energiesystem spielen werden und wie ein Pfad dorthin aussehen könnte.

Um unsere Abonnenten mit dem notwendigen analytischen Hintergrund für ihre strategischen Entscheidungen auszustatten, werden wir uns darauf konzentrieren, die verschiedenen Optionen der Dekarbonisierung der Wärme mit all ihrer Komplexität zu analysieren, sowie die Auswirkungen auf den deutschen Strommarkt und die Politik im Laufe des nächsten Jahres.

## Vorläufiger Forschungsplan<sup>1</sup>



<sup>1</sup>) Änderungen vorbehalten.



## Allgemeiner Haftungsausschluss

Dieses Dokument wird Ihnen in der vorliegenden Form nur zur Information bereitgestellt und Aurora Energy Research Limited sowie die Tochtergesellschaften Aurora Energy Research GmbH und Aurora Energy Research Pty Ltd (zusammen, "**Aurora**"), seine Geschäftsführer, Mitarbeiter, Vertreter oder verbundene Unternehmen (zusammen nachfolgend als seine "Partner" bezeichnet), gibt hinsichtlich der Richtigkeit, Verlässlichkeit oder Vollständigkeit weder ausdrücklich noch stillschweigend eine Zusicherung oder Gewährleistung ab. Aurora und seine Partner übernehmen keine Verantwortung und keine Haftung für jedweden Schaden, der aus der Nutzung dieses Dokuments entsteht. Dieses Dokument darf für keinen Zweck herangezogen oder als Grundlage verwendet oder als Ersatz für Ihre eigenen Untersuchungen und fundierten Beurteilungen verwendet werden. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen spiegeln unsere Überzeugungen, Annahmen, Absichten und Erwartungen zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Dokuments wider; Änderungen sind vorbehalten. Aurora übernimmt keine Verpflichtung zur Aktualisierung dieser Informationen und beabsichtigt keine solche Aktualisierung.

## Zukunftsgerichtete Aussagen

Dieses Dokument enthält zukunftsgerichtete Aussagen und Informationen, die Auroras aktuelle Einschätzung hinsichtlich zukünftiger Ereignisse und finanzieller Ergebnisse widerspiegeln. Wörter wie "glauben", "erwarten", "planen", "können", "werden", "würden", "könnten", "sollten", "voraussehen", "schätzen", "prognostizieren", "beabsichtigen", oder "Prognose" bzw. Varianten dieser Wörter oder anderer ähnlicher Ausdrücke werden eingesetzt, um zukunftsgerichtete Aussagen und Informationen als solche zu kennzeichnen. Tatsächlich eintretende Ergebnisse können sich, da sie bekannten oder unbekannten Risiken und Unsicherheiten unterliegen, von den Erwartungen, die in diesen zukunftsgerichteten Aussagen formuliert oder impliziert sind, wesentlich abweichen. Zu bekannten Risiken und Unsicherheiten gehören unter anderem: vertragliche Risiken, die Bonität von Kunden, die Leistung von Lieferanten und die Verwaltung von Anlagen und Personal; Risiken im Zusammenhang mit finanziellen Faktoren wie der Volatilität von Wechselkursen, der Erhöhung von Zinssätzen, Beschränkungen in Bezug auf den Kapitalzugang sowie Schwankungen auf den globalen Finanzmärkten; mit inländischen und ausländischen staatlichen Vorschriften verbundene Risiken einschließlich Exportkontrollen und wirtschaftlichen Sanktionen und weitere Risiken wie z. B. Rechtsstreitigkeiten. Die oben genannte Liste ist nicht abschließend.

## Urheberrecht

Dieses Dokument und sein Inhalt (unter anderem der Text, die Abbildungen, Grafiken und Illustrationen) ist urheberrechtlich geschütztes Eigentum von Aurora. **Kein Teil dieses Dokuments darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung von Aurora kopiert, vervielfältigt, verteilt oder in irgendeiner Art und Weise kommerziell genutzt werden.**

AURORA



ENERGY RESEARCH