



## Wärmestudie NRW

# WÄRMESTUDIE NRW: VORSTELLUNG ZWISCHENERGEBNISSE

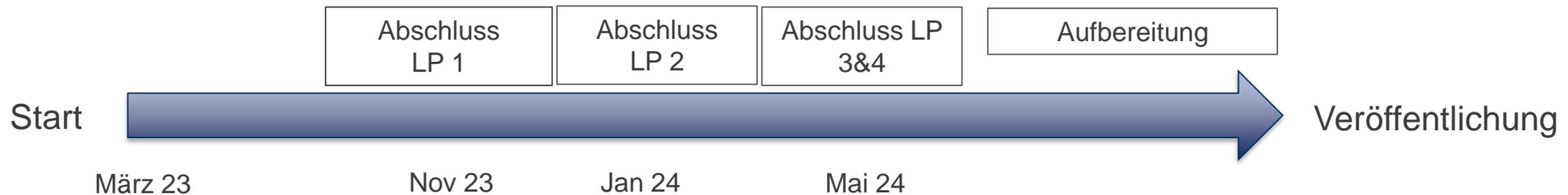
26. Januar 2024 - Onlineveranstaltung

# Hinweise

- Bei den hier dargestellten Daten und Potenzialen handelt es sich um Zwischenergebnisse, die im Laufe der Studie weiter optimiert und diskutiert werden, woraus sich auch noch Änderungen an den Potenzialen ergeben können.
- Die in Leistungspaket 2 ermittelten Potenziale sind theoretische Potenziale auf Basis der gewählten Methodik und vorerst angenommenen Randbedingungen. Aufgrund der Begebenheiten vor Ort, kann das regionale Potenzial teilweise deutlich abweichen (s. LP3 Szenarienanalyse).
- Genehmigungsrechtliche Sachverhalte wurden wo möglich und sinnvoll in der Potenzialermittlung berücksichtigt (u.a. Ausschluss der WSG I&II bei der oberflächennahen Geothermie). Bei der Umsetzung von Projekten ist je nach Quelle eine Einzelfallentscheidung notwendig.

# Wärmestudie NRW - Eckpunkte

- Studie im Auftrag des MWIKE
  - Ziel: Durchführung einer regionalen Wärmeplanung für NRW
  - Leistungspakete:
    - Wärmebedarfsmodell
    - Aktualisierung und Erweiterungen von Status quo und Potenzialen in NRW
    - Erstellung von Szenarien, klimaneutrale Wärmeversorgung bis 2045
    - Ableitung von Handlungsempfehlungen und Eckpunkten für eine Wärmewendestrategie
- Bearbeitung: Fraunhofer IEG, IFAM, UMSICHT & Solar-Institut Jülich & HS Bochum



# Der Weg zur Wärmestudie



Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

**Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 3 - Biomasse-Energie**  
LANUV-Fachbericht 40

www.lanuv.nrw.de

2014

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

**Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 4 - Geothermie**  
LANUV-Fachbericht 40

www.lanuv.nrw.de

2015

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

**Potenzialstudie Warmes Grubenwasser**  
LANUV-Fachbericht 90

LANUV  
Kompetenz für ein lebenswertes Land

2018

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

**Potenzialstudie Industrielle Abwärme**  
Ergebnisse und Kernaussagen

LANUV  
Kompetenz für ein lebenswertes Land

2019

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

**Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung**  
LANUV-Fachbericht 116

LANUV  
Kompetenz für ein lebenswertes Land

2021



## Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in NRW

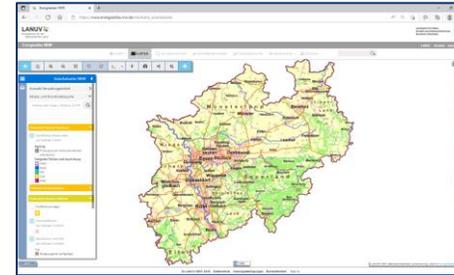


# Fachbereich 37 - Fachinformationssysteme



Energieatlas/Wärmeatlas

[www.energieatlas.nrw.de](http://www.energieatlas.nrw.de)



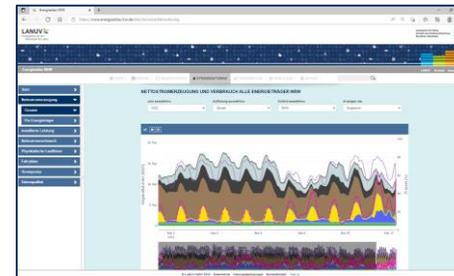
Solarkataster

[www.solarkataster.nrw.de](http://www.solarkataster.nrw.de)



Energiedaten

[www.energiedaten.nrw.de](http://www.energiedaten.nrw.de)



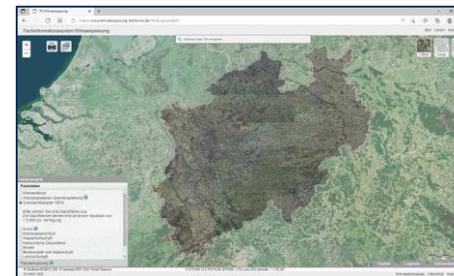
Strommarktmonitoring

[www.strommonitoring.nrw.de](http://www.strommonitoring.nrw.de)



Klimaatlas

[www.klimaatlas.nrw.de](http://www.klimaatlas.nrw.de)



Gründachkataster

[www.gruendachkataster.nrw.de](http://www.gruendachkataster.nrw.de)

# Wärmestudie NRW: Vorstellung Zwischenergebnisse

- Ergebnisse der Leistungspakete 1 und 2
- Ausblick Leistungspaket 3

*LANUV NRW – Fachzentrum Klimaanpassung, Klimaschutz, Wärme und Erneuerbare Energien*

05.02.2024

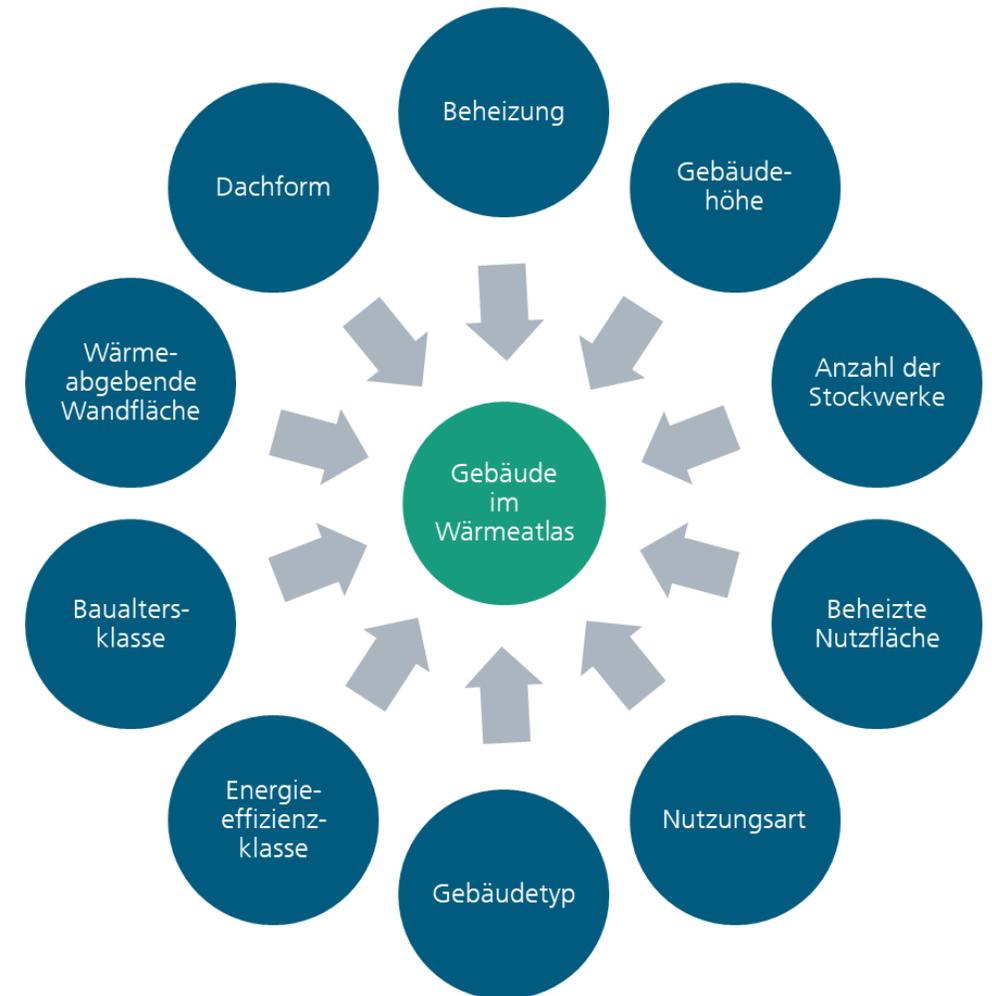
# Agenda LP 1

- Berechnung des Wärmebedarfs Ist-Stand Karen Janßen, Fraunhofer IFAM
- Fortschreibung des Wärmebedarfs Karen Janßen, Fraunhofer IFAM
- Kostenrahmen von Sanierungsmaßnahmen Michael Rath, Fraunhofer IEG
- Aktualisierung des Prozesswärmebedarfs Marcus Budt, Fraunhofer UMSICHT

# Berechnung des Wärmebedarfs Ist-Stand

## Datengrundlagen

- 3D Gebäudemodelle (LoD1 und LoD2)
- ALKIS (Flurstücke)
- Gebäudereferenzen (Adressen)
- Räumliche Ebenen (Flure, Gemarkungen, Gemeinden, Kreise, Regierungsbezirke, Planungsregionen, Straßen)
- Baualtersklassen (Nexiga GmbH<sup>1</sup> und ältere Gebäudemodelle)
- Energetische Quartiere (InWIS GmbH)
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (Testreferenzjahre)



<sup>1</sup> Nexiga 2021: Baualtersklassen auf Gebäudeebene (V58)

# Berechnung des Wärmebedarfs Ist-Stand - Wohngebäude

## Aufbau eines Ein-Zonen-Modells zur Berechnung des Raumwärmebedarfs

- Daten aus dem Wärmeatlas (z. B. beheizte Nutzfläche, wärmeabgebende Wandfläche, Energieeffizienzklassen, Gebäudetyp,...)
- Klimadaten DWD Testreferenzjahre (solare Gewinne und Heizgradtage)
- TABULA / IWU-Gebäudetypologie<sup>1)</sup>
  - Annahmen zu Fenster- und Türanteilen sowie Dachflächen
  - U-Werte für Urzustand sowie zwei Sanierungsstände für relevante Bauteile
  - Interne Gewinne
  - Lüftungsverluste
- Verifizierung des Gebäudemodells

## Berechnung des Warmwasserbedarfs in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Nutzfläche

Gebäudeindividuell berechneter Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser als flächenspezifischer und absoluter Wert

<sup>1)</sup> Institut Wohnen und Umwelt (IWU) : „TABULA“ – Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern, 2015, <https://www.iwu.de/index.php?id=205>

# Berechnung des Wärmebedarfs Ist-Stand - Nichtwohngebäude

## Kennwerte über BBSR-Studie <sup>1)</sup>

- Ausweisung von Warmwasser- und Raumwärmebedarfen je Gebäudegruppe, Nutzungszone und Energieeffizienzklasse
- Zuordnung der Nutzungsarten gemäß Wärmeatlas zu Gebäudegruppen soweit möglich

## Erfahrungswerte des Fraunhofer IFAM

- Nutzungsarten ohne Entsprechung der Gebäudegruppe in BBSR-Studie erhalten Erfahrungswerte des Fraunhofer IFAM für Raumwärme sowie pauschale Annahmen zu Warmwasser

## Ausschließlich Prozesswärmebedarf

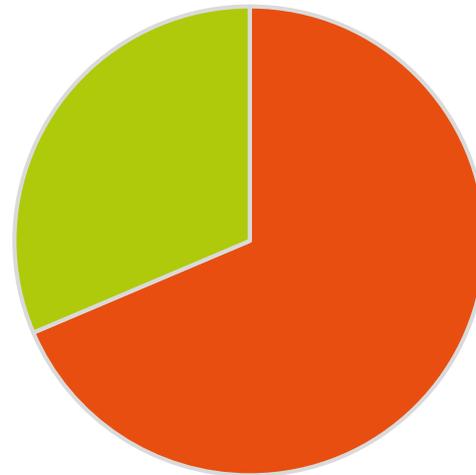
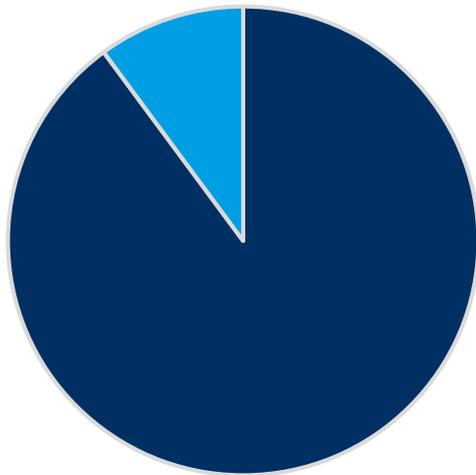
- Nutzungsarten, die ausschließlich Prozesswärmebedarfe aufweisen, erhalten einen Raumwärme- bzw. Warmwasserbedarf von 0 zugewiesen

Raumwärme- und Warmwasserbedarf

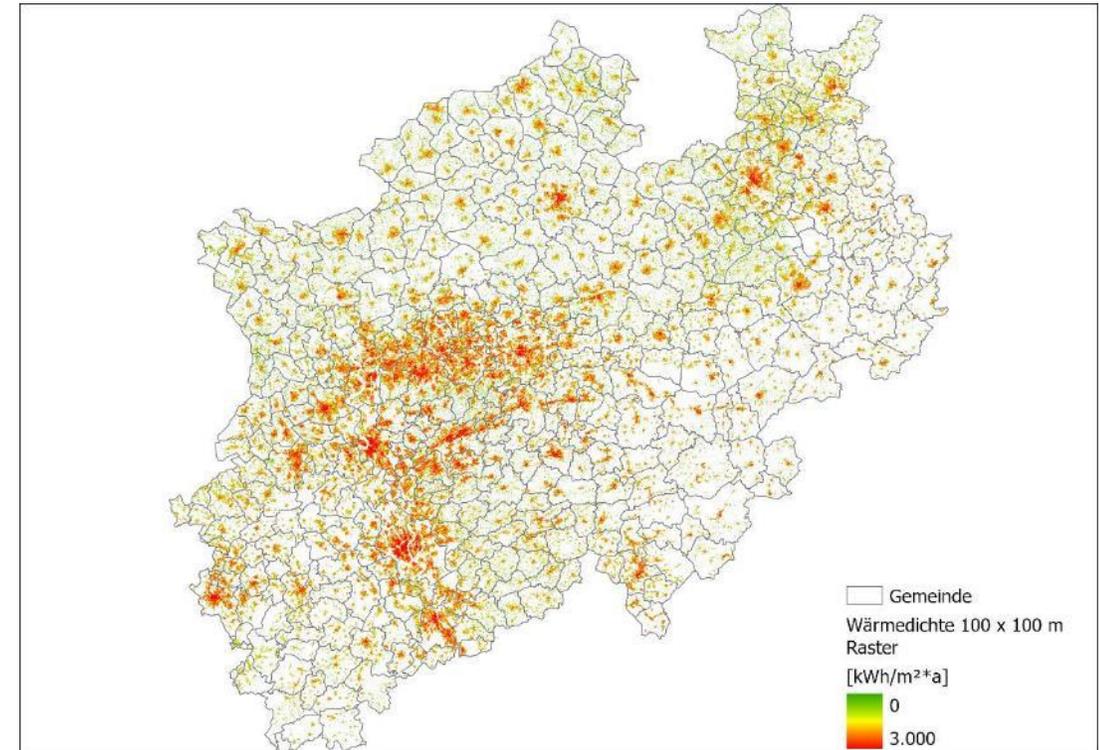
<sup>1)</sup> BBSR: *Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden* (2019) sowie die Aktualisierung mit Informationen zu den Gebäudegruppen und ihrer Nutzungszonenaufteilung aus 2021  
[https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-20-2019-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-20-2019-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1)  
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2021/bbsr-online-37-2021.html;jsessionid=5F21E2E3B4909D0BB2A326A8581D379A.live21322>

# Berechnung des Wärmebedarfs Ist-Stand - Ergebnisse

- Insgesamt 8.282.523 beheizte Objekte
- Raumwärme- und Warmwasserbedarf: 188.434 GWh/a



■ Raumwärme   ■ Warmwasser   ■ Wohngebäude   ■ Nichtwohngebäude

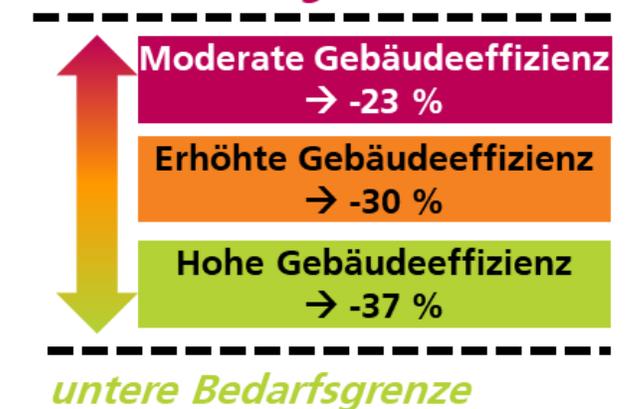


# Fortschreibung des Wärmebedarfs - Annahmen

- Orientierung an den Langfristszenarien T45 für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (2022; Fraunhofer ISI, Consentec, Ifeu, TU Berlin):
  - Szenarien PtG/PtL/H<sub>2</sub>-G
    - Moderate Gebäudeeffizienz
    - Niedrige Sanierungsraten
  - Szenario Strom
    - Hohe Gebäudeeffizienz
    - Hohe Sanierungsraten
- NRW-Szenarien:
  - Erstellung von drei Szenarien
  - Übernahme der Gesamtreduktionsziele aus den T45 Szenarien für das moderate und das hohe Szenario
  - Anpassung der Berechnungsmethodik, der Sanierungsraten und der U-Werte

## Gesamtreduktion bis 2045

*obere Bedarfsgrenze*



# Fortschreibung des Wärmebedarfs - Methodik

## Definition Sanierungspakete

Definition von 5 Sanierungspaketen für Wohngebäude (WG) und 3 für Nichtwohngebäude (NWG) sowie Festlegung der Häufigkeit



## Verbesserung der U-Werte (WG) bzw. der Energieaufwandsklasse (NWG)

WG: Bestimmung U-Werte in Abhängigkeit von Szenario und Ambitionsniveau; NWG: Reduktion gemäß BBSR-Studie (s. Folie 10)



## Sanierungswahrscheinlichkeit

wird aus den Energetischen Quartieren übernommen; zusätzlich Multiplikation mit Zufallszahl



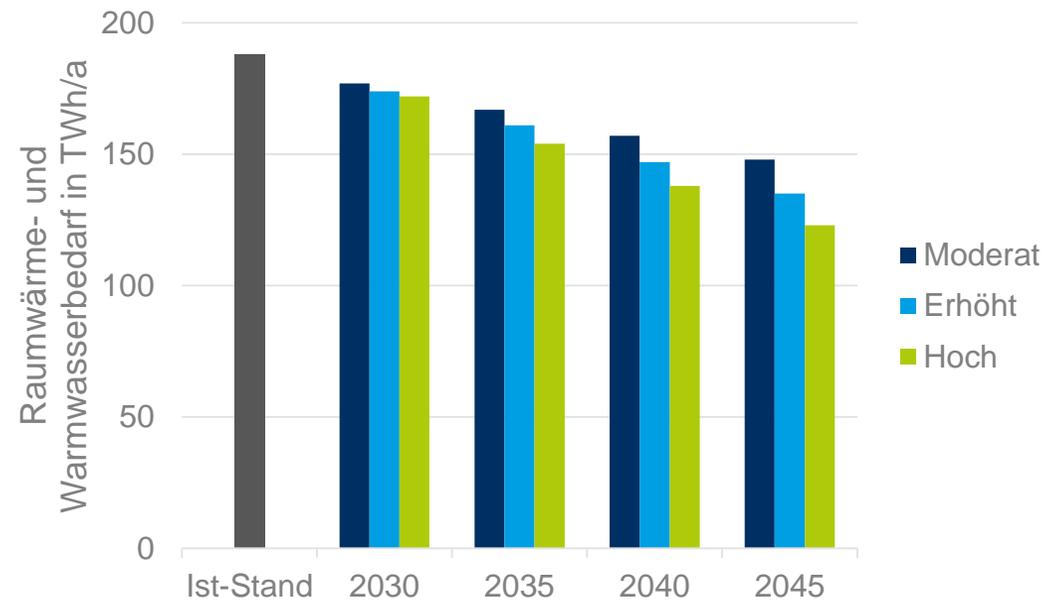
## Gebäudesanierungsrate

Anteil der Gebäude mit Sanierung, bis Reduktionsziele des Szenarios erreicht sind

- Ausnahmen sind:
  - Nutzungsarten, für die Erfahrungswerte des Fh IFAM angenommen wurden → Annahme mittlerer Reduktion
  - Sonderbauten wie religiöse oder historische Bauten → Wärmebedarf bleibt konstant

# Fortschreibung des Wärmebedarfs - Ergebnisse

- Bis 2045 beträgt die kumulierte Gebäudesanierungsrate (Anteil der Gebäude, in denen mindestens eine Teilsanierung durchgeführt wird) in den Szenarien:
  - Moderat: 63 %
  - Erhöht: 76 %
  - Hoch: 94 %
- Die Reduktion in den Szenarien verläuft wie folgt:



# Bestimmung des Kostenrahmens von Sanierungsmaßnahmen

1. Fenster
2. Dachflächen
3. Oberste Geschossdecke
4. Fußboden gegen Keller
5. Fußboden gegen Erdreich
6. Außenwand
7. Wand gegen Erdreich
8. Wand gegen Keller



Image generated using the prompt "Costs for building refurbishment - a house built out coins" by OpenAI, DALL-E, 2024 (<https://labs.openai.com>)

## Verhältnis nachhaltige/konventionelle Sanierung für Kostenansatz

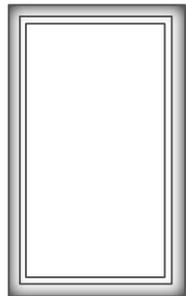
- 2020: 10%/90% (CO2-online), dann 1%/Jahr Zunahme
- 2045: 35%/65%

## Einbezug und Gewichtung verschiedener Kostenquellen

- u.a. Baupreislexikon, Heinze und Baupreise

# Beispiel Bestimmung Kostenrahmen Fenster (0,8 W/(m²K))

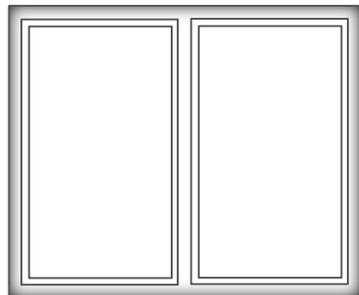
Kosten für Ersatz ein- und zweiteilige Fenster – konventionell (Kunststoff) & nachhaltig (Holz) – inkl. Lohnkosten, Baustelle etc.



Kunststofffenster	Standard Fenstermaße	Preis
Einteilig	1,23m x 1,48m = 1,82m²	676 €/Stück
Einteilig	1,30m x 2,30m = 2,99m²	1007 €/Stück
Zweiteilig	1,48m x 2,18m = 3,23m²	1249 €/Stück
Zweiteilig	1,45m x 2,35m = 3,41m²	1308 €/Stück

**Gemittelte Kosten Kunststoff**  
Preis/m² = 370 €/m²

**Gemittelte Kosten Holz**  
Preis/m² = 431 €/m²



Holzfenster	Standard Fenstermaße	Preis
Einteilig	1,23m x 1,48m = 1,82m²	785 €/Stück
Einteilig	1,30m x 2,30m = 2,99m²	1161 €/Stück
Zweiteilig	1,48m x 2,18m = 3,23m²	1479 €/Stück
Zweiteilig	1,45m x 2,35m = 3,41m²	1502 €/Stück



→ BSP Durchschnittspreis Fenster 2024  
**14 % nachhaltig, 86 % konventionell**

**379 €/m²**



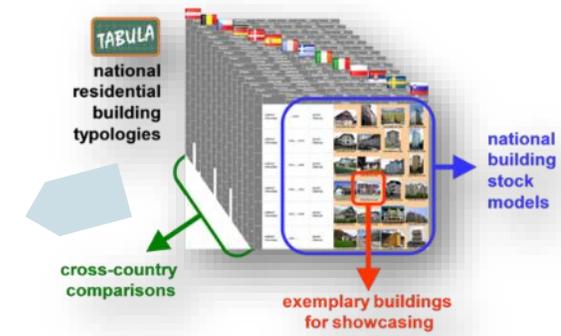
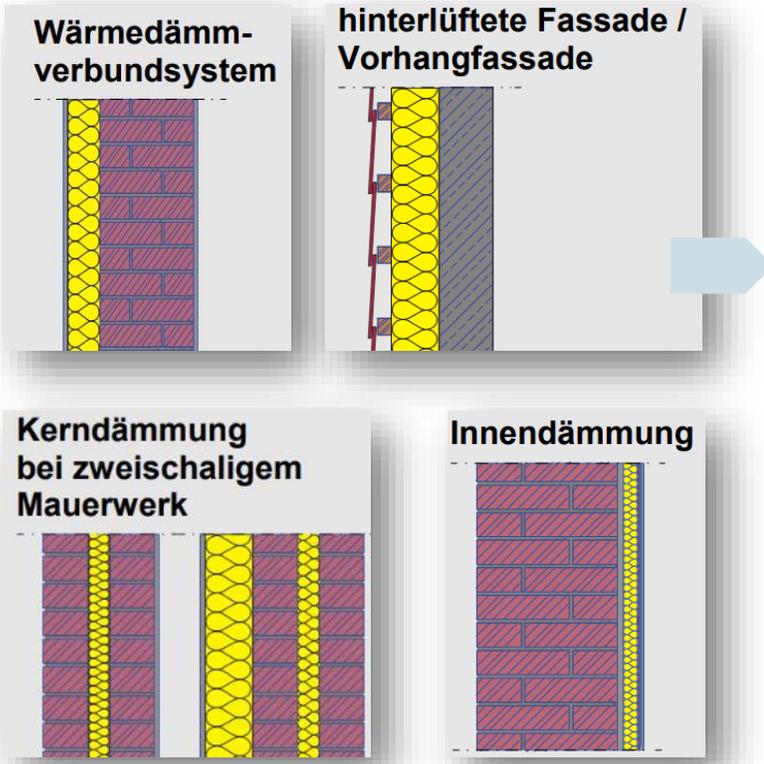
# Opake Bauteile | Beispiel: Außenfassade

Wesentlich komplexer – Sanierung von Ist-U-Werten auf definierte Ziel-U-Werte aus Langfristszenarien

Für einen gegebenen Ist-U-Wert ohne genaue Kenntnis des Aufbaus des Bauteils müssen durchschnittliche Kosten für die jeweilige Maßnahme abgeschätzt werden

1. Je Maßnahme (WDVS, Kerndämmung etc.) werden in Abhängigkeit...
  - verschiedener Dämmstärken und
  - verschiedener Dämmstoffarten
  - ... Kosten ermittelt.
2. Diese werden nach Häufigkeit der Dämmstoffarten gewichtet (u.a. konventionell/nachhaltig) und es werden durchschnittliche Wärmeleitfähigkeiten ermittelt (-> Ziel-U-Wert)
3. Statistische Einsatzhäufigkeiten der Sanierungsmaßnahmen liefern schließlich spezifische Kosten abhängig von Ist-/Ziel U-Wert & m<sup>2</sup>

Ø-Dämmung	Kosten
24,00 cm	177 €/m <sup>2</sup>
20,00 cm	165 €/m <sup>2</sup>
14,00 cm	145 €/m <sup>2</sup>
10,00 cm	118 €/m <sup>2</sup>
6,00 cm	88 €/m <sup>2</sup>



• Figge, Dieter (2013). „Konstruktion von zweischaligen Außenwänden“. In Leistungsfähigkeit von Verblendmauerwerk – Konstruktion und Ausführung. Ziegel-Zentrum NordWest e.V.  
 • FVHF-Leitlinie „Planung und Ausführung von Vorgehängten Hinterlüfteten Fassaden“ (2017). Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e. V. (FVHF)  
 • Loga, Tobias et al. (2015). „Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden“. IWU (Hrsg.)  
 • Loga, Tobias et al. (2021). „Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich (MOBASY-Teilbericht). Realistische Bilanzierung und Quantifizierung von Unsicherheiten als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich beim Energieverbrauchscontrolling“. IWU (Hrsg.)



# Weitere Opake Bauteile

Dachflächen, oberste Geschossdecke, Fußboden gegen Keller, Fußboden gegen Erdreich, Wand gegen Erdreich, Wand gegen Keller



- Aufstellen von Standardsanierungsmaßnahmen je Bauteil / Referenzmaßnahme
- Funktionsfähigkeit steht im Vordergrund (→ keine Sonderkonstruktionen wie Vakuumdämmung o.ä.)



- Bestimmung der fehlenden Wärmedurchlasswiderstände R in Abhängigkeit der Ist- & Ziel- U-Werte
- Auswahl der Dämmstoffe sowie verschiedener gängiger Stärken, Wahl je nach Sanierungszustand



- Realistische Kostenschätzung je Sanierungsmaßnahmen je Dämmstoffstärke, Ausweisung Sowieso-Kosten



- Gewichtung nachhaltig/konventionell & statistische Häufigkeit



- Ermittlung der Sanierungskosten in Abhängigkeit der Ist- und Ziel-U-Werte

- „DENA-GEBÄUDEREPORT 2022. Zahlen, Daten, Fakten.“(2021). Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.)
- „dena-GEBÄUDEREPORT KOMPAKT 2019 „Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand“ (2019). Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.)
- „Handbuch für Energieberaterinnen und Energieberater –Anleitung zur Erstellung des individuellen Sanierungsfahrplanes“ (2021). Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.)
- „Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 - Energieeffizienzpotenziale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand“ (2017). Umweltbundesamt (Hrsg.)
- Diefenbach, N. et a. (2010). „Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. IWU (Hrsg)



# Prozesswärmebedarf

1

## Regionalisierte PW-Bedarfe

Je Kreis wird der Prozesswärmebedarf sowie ein regionalisierter flächenspez. PW-Bedarf angegeben

### Top-Down

- Energiebilanzen NRW [IT.NRW]
- Anwendungsbilanz NRW [LANUV]
- Aufteilung auf Kreise nach Umsätzen der WZ [IT.NRW]

2

## Prozesswärme-intensive Standorte

Identifikation von PW-intensiven Standorten und zugehörigen WZ

- Recherche einzelner Branchen
- Energieintensive Branchen
- Unternehmen mit PW-relevanten Anlagen [Emissionskataster]

3

## Standortscharfe PW-Bedarfe

PW-intensive Einzelstandorte mit spezifischer Zuweisung von Prozesswärmebedarfen

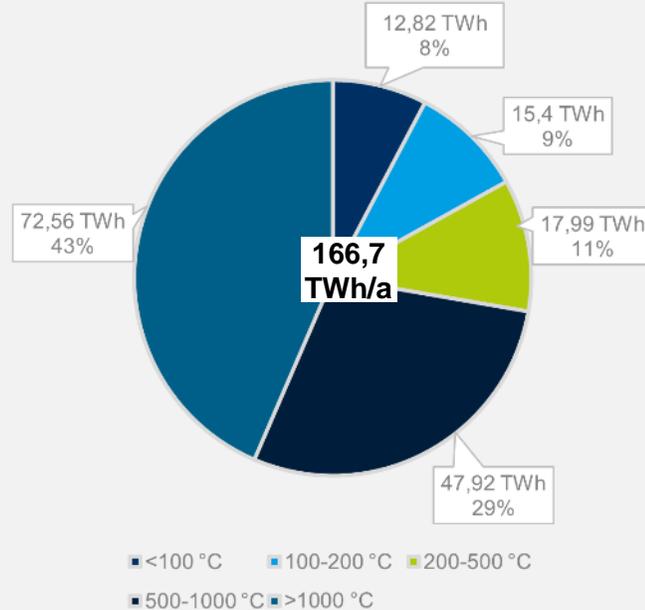
### Bottom-Up

- Recherche Prozesswärmeintensität (PW/Produktionsmenge)
- Recherche Produktionsmenge von Unternehmen aus öffentlichen Quellen

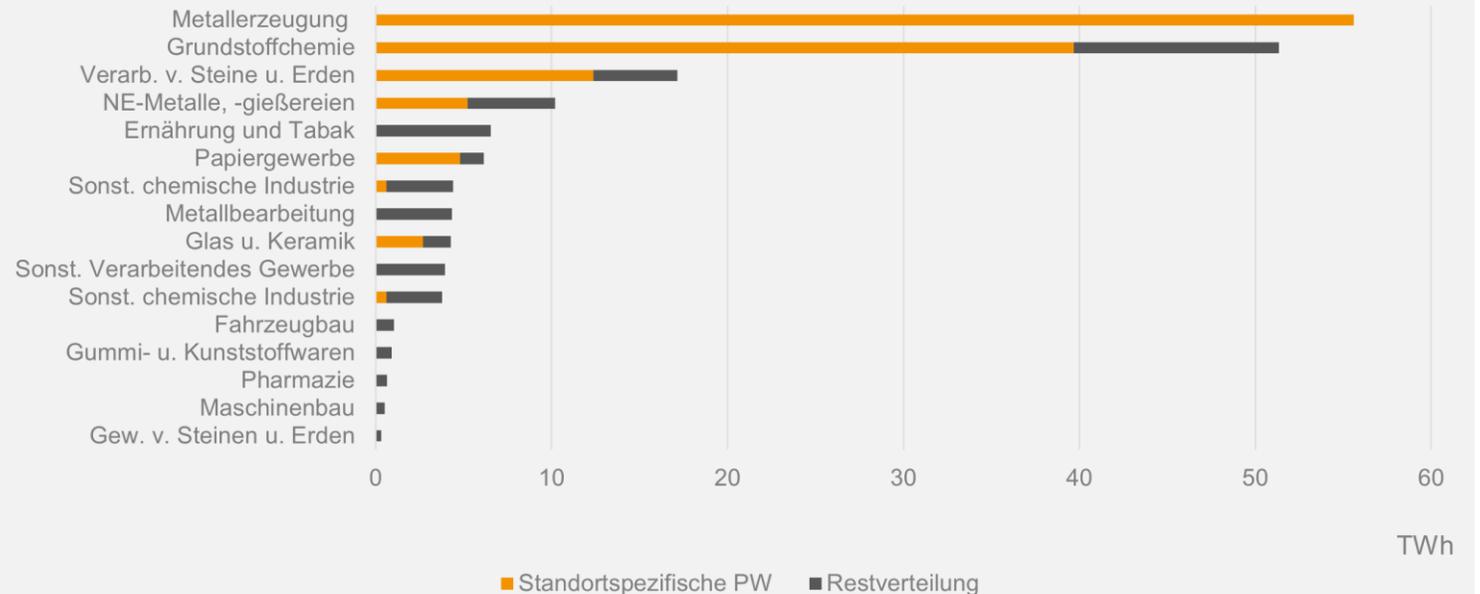


# Prozesswärmebedarf

## Temperaturverteilung der Prozesswärmebedarfe [TWh]



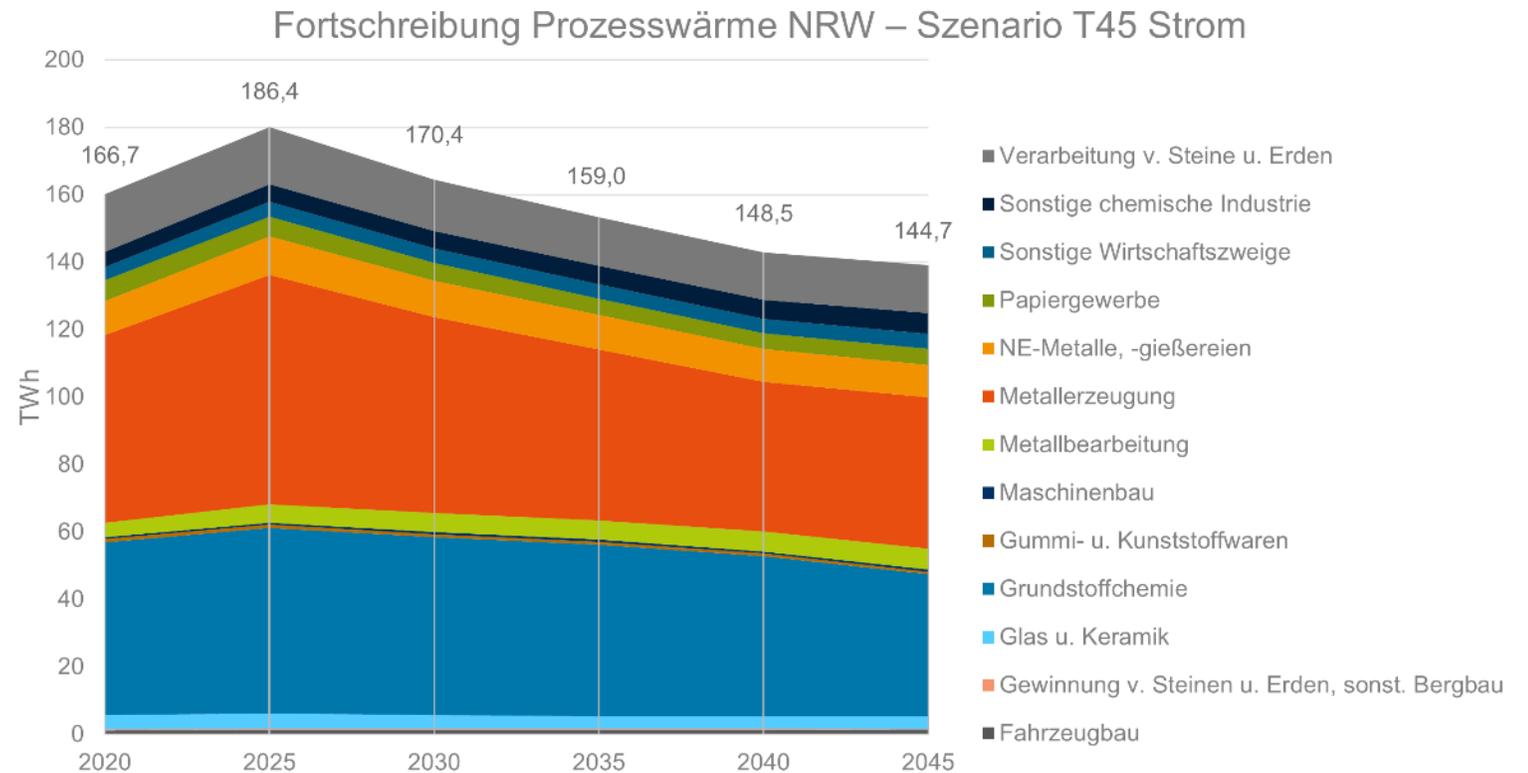
## Prozesswärmebedarf nach Wirtschaftszweigen inkl. der Einzelstandorten zuweisbaren Anteile der Prozesswärme



# Prozesswärmebedarf

## Fortschreibung Prozesswärme

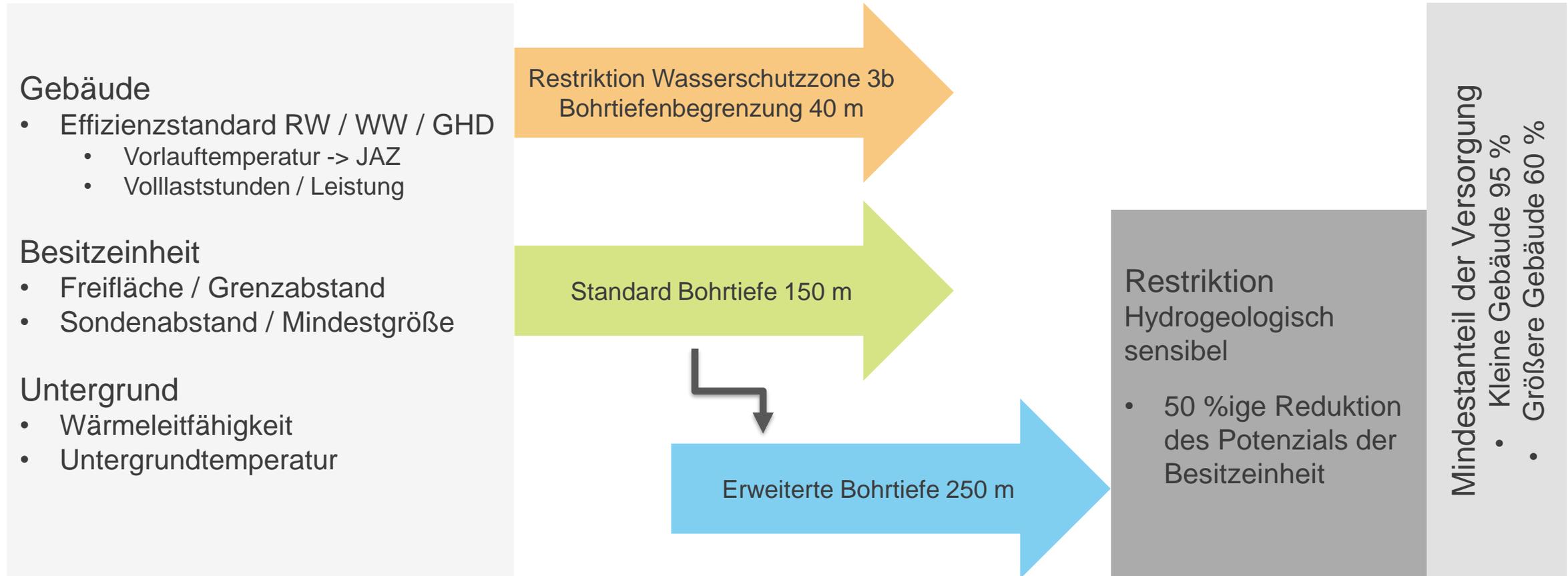
- Branchenspezifische Bedarfsentwicklung entspr. der T45-Langfristszenarien
- Zwei Szenarien wurden betrachtet: T45-Strom und T45-H2
- Geringer Einfluss auf PW-Bedarf
- Annahme: Temperaturverteilung des PW-Bedarfs der Branchen bleibt unverändert



# Agenda LP 2

- Oberflächennahe Geothermie Timm Eicker, Fraunhofer IEG
- Tiefe Geothermie Gregor Bussmann, Fraunhofer IEG
- Biomasse Boris Dresen, Fraunhofer UMSICHT
- Industrielle Abwärme Marcus Budt, Fraunhofer UMSICHT
- Umgebungsluft Holger Born, Fraunhofer IEG
- Stehende und fließende Gewässer Holger Born, Fraunhofer IEG
- Abwasserwärme Holger Born, Fraunhofer IEG
- Freiflächensolarthermie Joachim Göttsche, Solar-Institut Jülich
- Abwärme Gewerbe, Industrie Marcus Budt, Fraunhofer UMSICHT

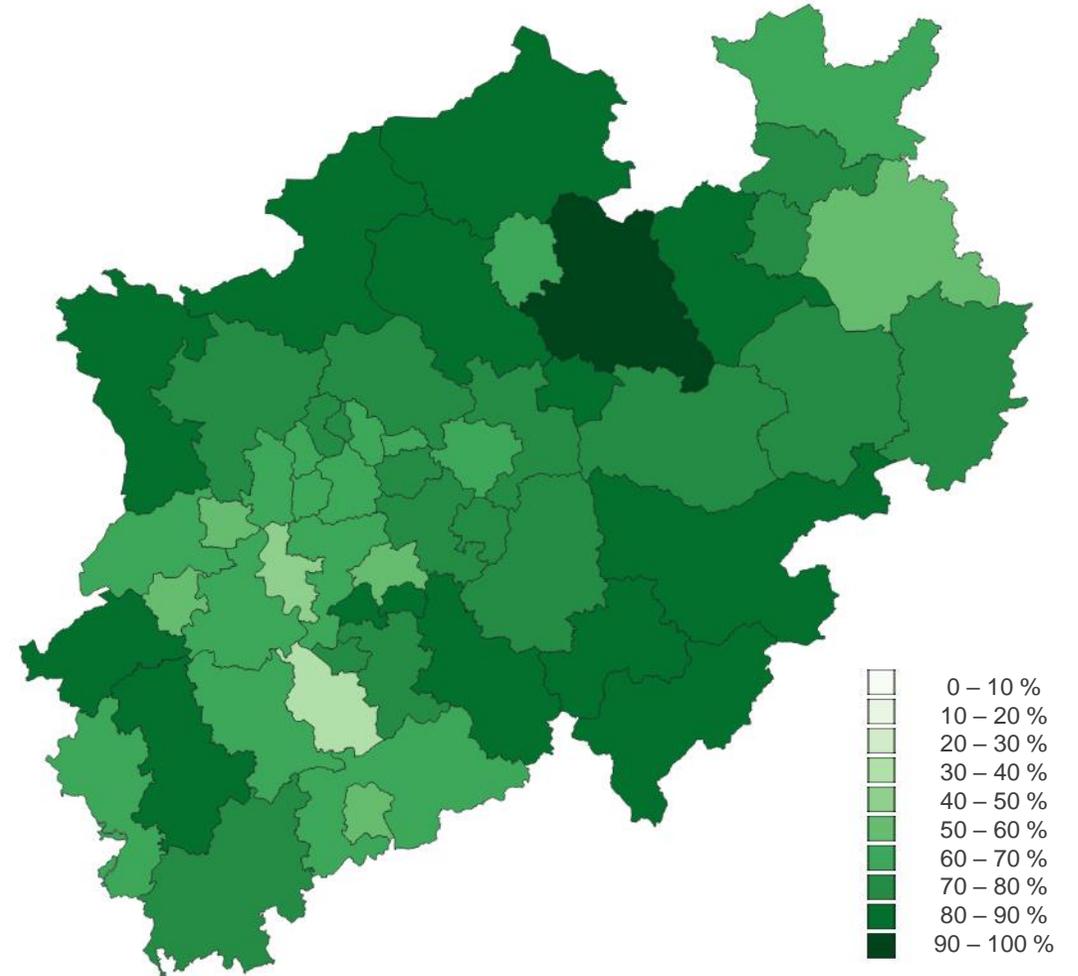
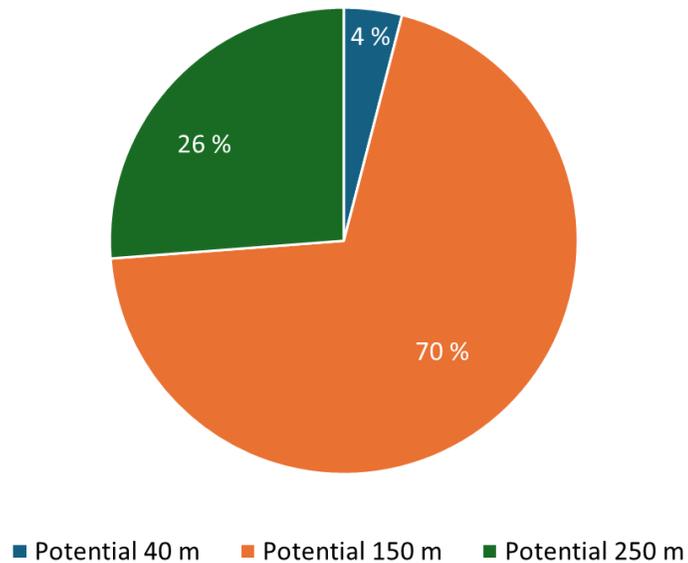
# Potenzial Oberflächennahe Geothermie



# Potenzial Oberflächennahe Geothermie

## ■ Potenzial Oberflächennahe Geothermie

135 TWh/a  71 % Bedarfsdeckung  
(Raumwärme + Warmwasser + GHD Prozesswärme)



# Potenzial Mitteltiefe Geothermie

## Gebäude

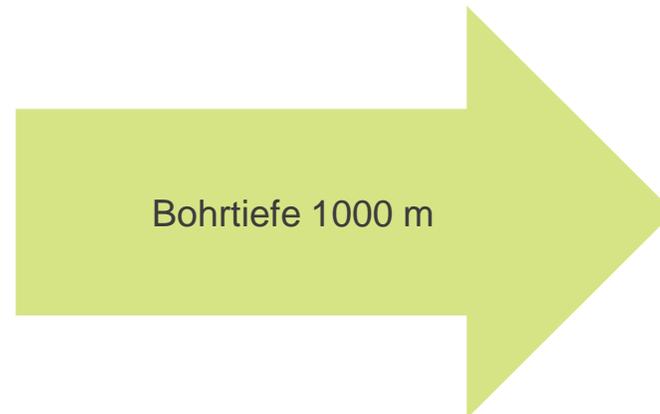
- Effizienzstandard RW / WW / GHD
  - Vorlauftemperatur -> JAZ
  - Volllaststunden / Leistung

## Besitzeinheit

- Freifläche / Grenzabstand
- Sondenabstand / Mindestgröße

## Untergrund

- Wärmeleitfähigkeit (pauschal)
- Untergrundtemperatur (pauschal)



## Restriktion Hydrogeologisch sensibel

- 50 %Reduktion des  
Potenzials der  
Besitzeinheit um

Mindestanteil der Versorgung 60 %  
Mindestbedarf 145 MWh/a

# Potenzial Mitteltiefe Geothermie (Erdwärmesonde)

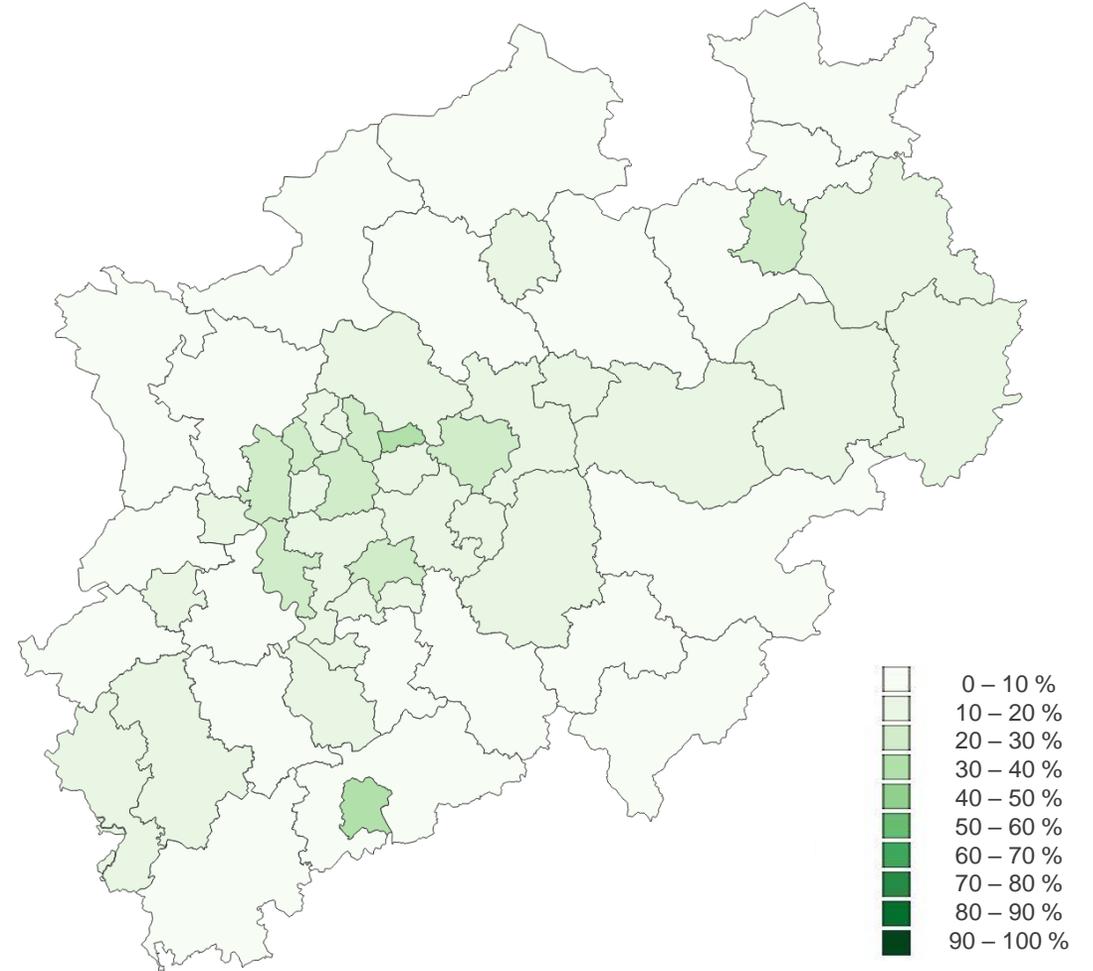
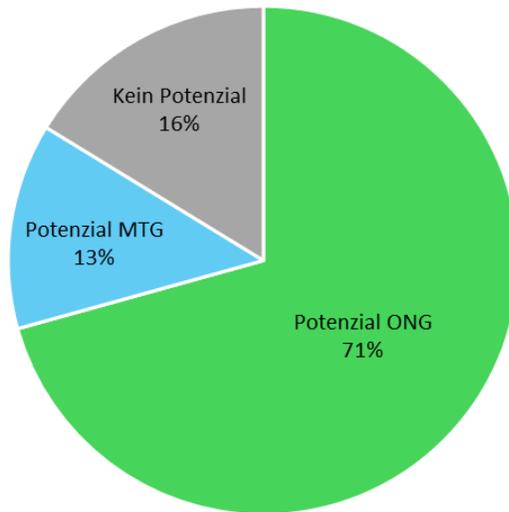
- Potenzial Mitteltiefe Geothermie
  - Potenzial für Besitzeinheiten welche nicht ausreichend durch oberflächennahe Geothermie versorgt werden können.

25 TWh/a



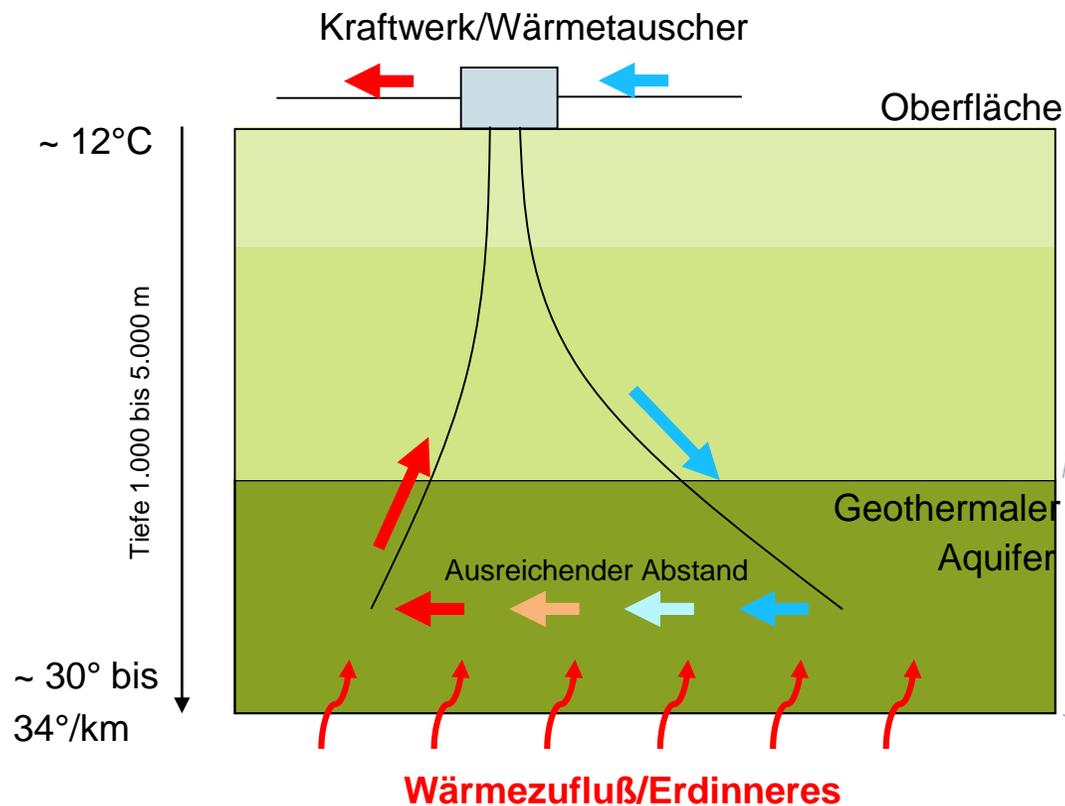
13 % Bedarfsdeckung

(Raumwärme + Warmwasser + GHD Prozesswärme)



# Mitteltiefe+Tiefe Geothermie - Hydrothermale Systeme

- Fokus: Nutzung thermalwasserführende Gesteine für mitteltiefe und tiefe geothermische Energieversorgung > 400 m



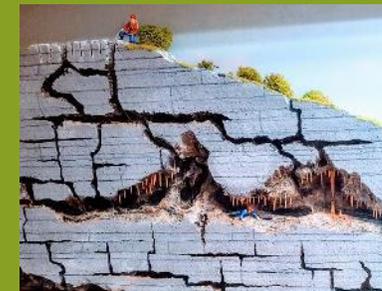
## Hydrothermale Trägergesteine



sandalkas.org



gdanmitchell.com



gsi.ie

- Porengrundwasserleiter (z.B. Sandstein)
- Kluftgrundwasserleiter (alle Gesteinsarten)
- Karstgrundwasserleiter (nur Karbonate / Kalkstein)

# Mitteltiefe+Tiefe Geothermie - Relevante Reservoirre in NRW

## ■ Karbonatreservoirre (Mitteltiefe bis tiefe Kalksteine mit hoher Verkarstungsfähigkeit)

1. Devonische Massenkalk
2. Unterkarbonische Kohlenkalk
3. Cenoman-/Turon Ablagerungen der Oberkreide

## ■ Sandige Lockersedimente des Tertiärs (Porengrundwasserleiter)

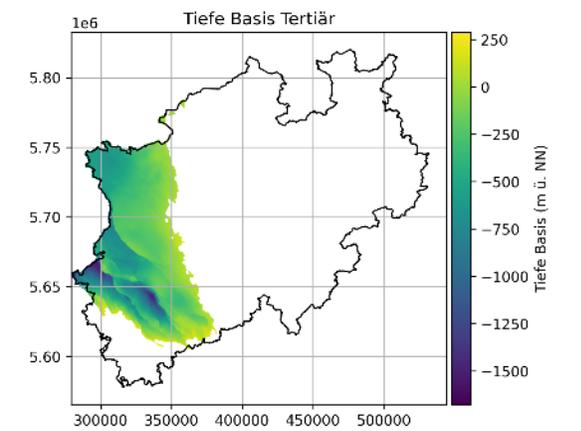
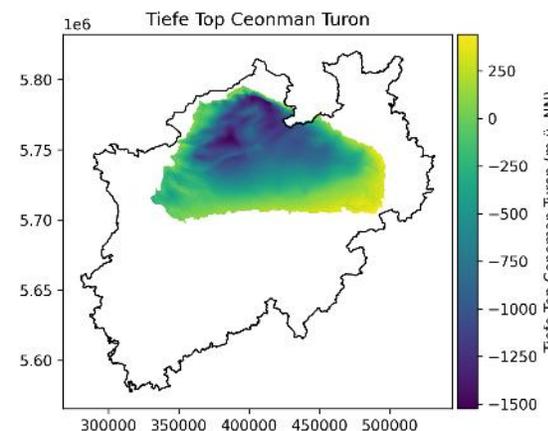
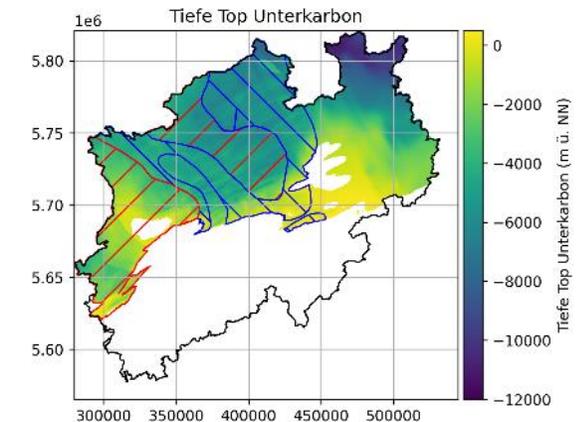
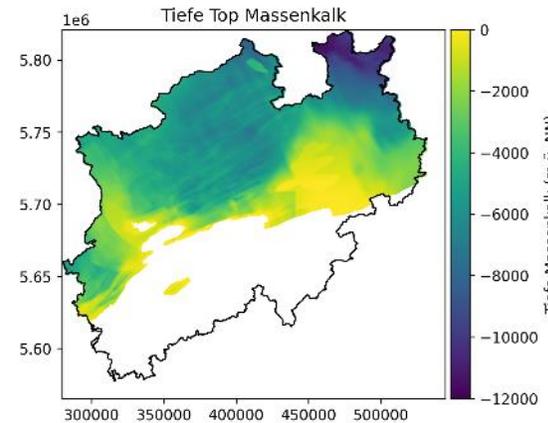
→ Quantifizierung der geothermische Potenziale auf Datengrundlage GD NRW

- Tiefenlage Top Reservoir,
- Reservoirmächtigkeiten
- Porositäten und Permeabilitäten
- Temperaturen

Weitere potenzielle Reservoirre in NRW (z.B. mesozoische Sand-/Kalksteine) werden aufgrund unzureichender Datenlage zunächst nicht betrachtet

Platformkarbonate

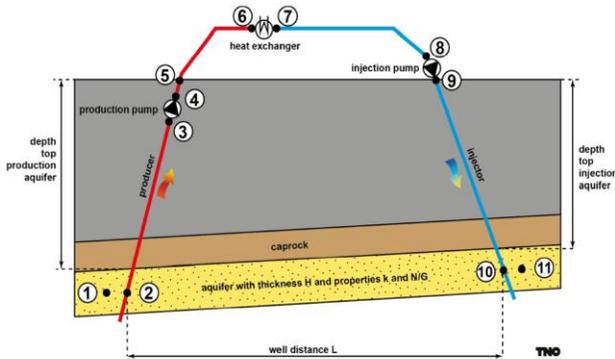
Calciturbidite



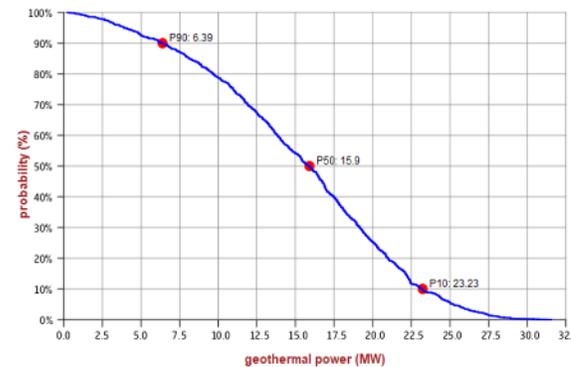
# Tiefe Geothermie -Theoretisches Potenzial DoubletCalc (TNO)

- Stochastische Simulation der thermischen Leistung einer geothermischen Dublette
  - Reservoirparameter u.a. Tiefe, Permeabilität, Mächtigkeit, Salinität, Net-to-Gross-Verhältnis (N/G), Temperatur
  - Technischen Parametern wie Geometrie der Dublette, Verrohrung, Pumpen, Injektionstemperatur
  - Durchführung von Monte Carlo Simulationen (mit P90, P50, P10 Wahrscheinlichkeiten als Ergebnis)

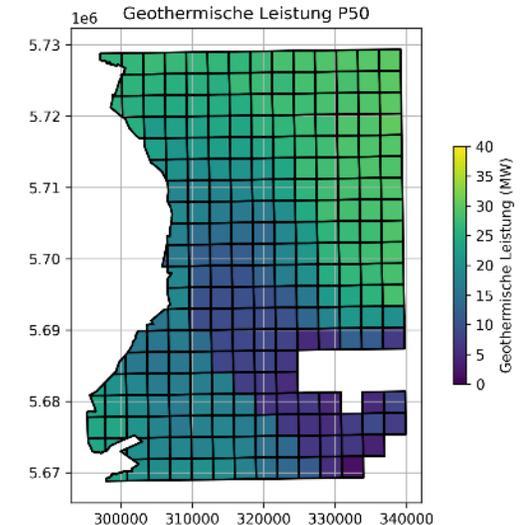
- Zweiteilung in Mitteltiefe >400 - ≤1.500 m Basis und Tiefe Geothermie >1.500 bis ≤ 5.000 m Basis
- Erstellung eines 3 x 3 km Gitter für NRW aus LAEA Gitter (1km)
  - Wahl eines konservativen Ansatzes: Berechnung einer Dublette pro Rasterelement
  - Keine thermische und hydraulische Beeinflussung durch benachbarte Standorte



Quelle TNO Handbuch DoubletCalc



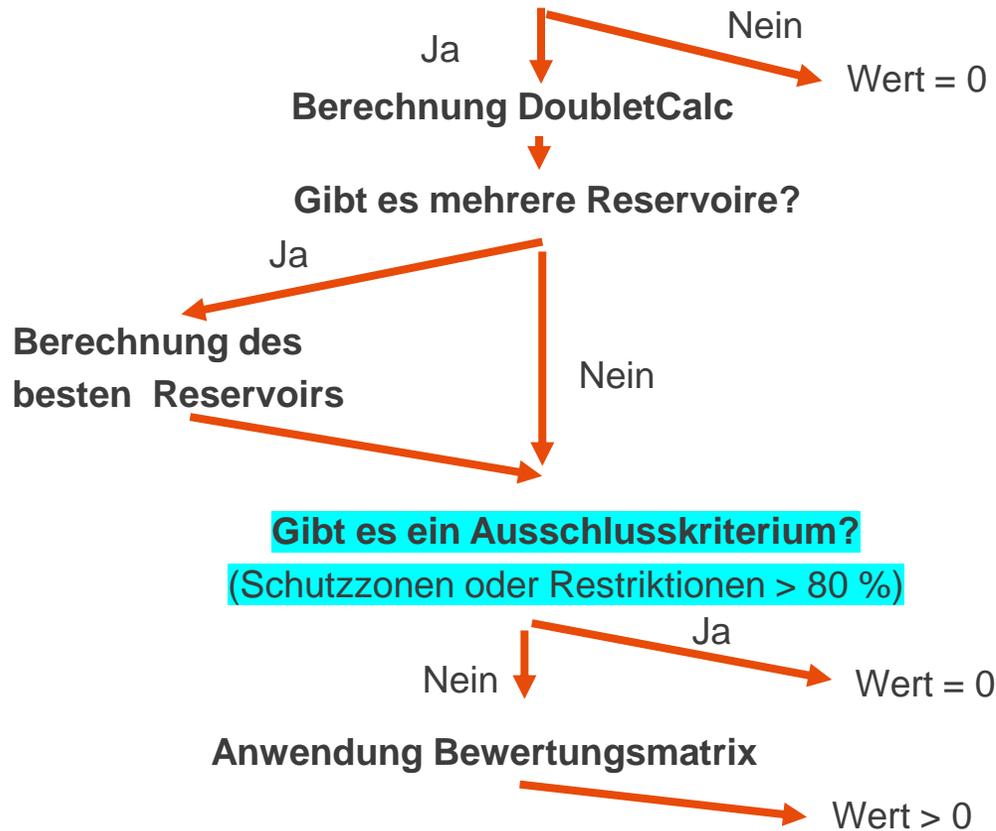
Mijnlieff et al. (2014)



# Mitteltiefe + Tiefe Geothermie - Ganzheitliche Bewertung

Ablaufplan und Bewertungsmatrix der geothermischen Nutzungspotenziale

Notwendiges Kriterium: A) Mitteltiefes 400 – 1.500 m oder B) Tiefes Reservoir 1.500- 5.000 m vorhanden)

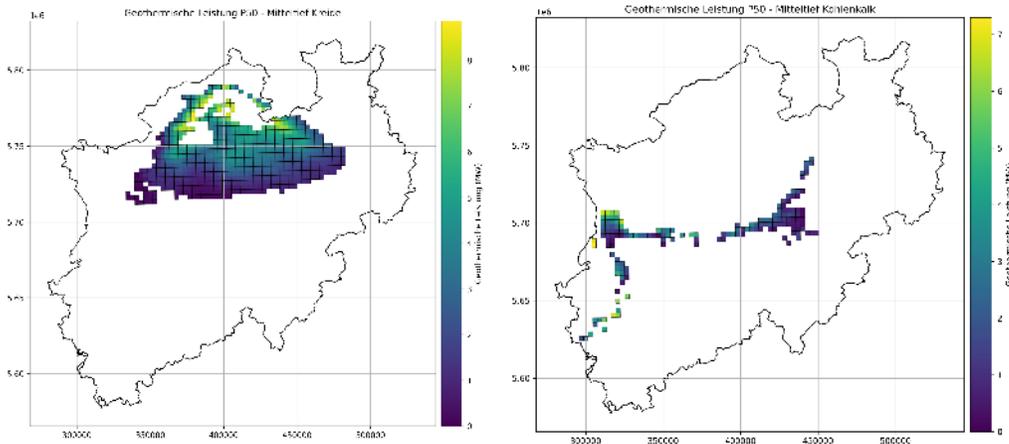


Bewertungskriterien	Bewertung	Wichtung
<b>Potenzialermittlung</b>		
Ergebnis DoubletCalc	Therm. Leistung [MW]	
<b>Fündigkeit/Erschließungsrisiko/Datensicherheit</b>		
Anzahl erschließbarer Reservoirs	Anzahl (1, 2 oder 3)	
Bohrtechnischer Erschließungsaufwand	Tiefenlage	
Altdaten (Seismik/relevanten Bohrungen)	Abstand zum Mittelpunkt	
Bearbeitungsraum GD NRW/Hauptstörungszonen	Abstand zum Mittelpunkt	
<b>Schutzzonen</b>		
Trinkwasserschutzgebiete (I, II, III)	Flächenanteil	
Heilquellenschutzgebiete (I, II, III)	Flächenanteil	
Naturschutzgebiete	Flächenanteil	
Überschwemmungsgebiete	Flächenanteil	
<b>Sonstige Restriktionen</b>		
Abgrabungsbereiche	Flächenanteil	
Oberflächenwasserkörper	Flächenanteil	
Erdbebenzonen	Flächenanteil	
Waldgebiete	Flächenanteil	
Altbergbau	Flächenanteil	
Versiegelung	Flächenanteil	
<b>Wärmeabnehmersituation</b>		
Bestandsfernwärmenetze	Abstand zum Mittelpunkt	
Wärmebedarf in Raster	Wärmebedarf in [GWh / a]	

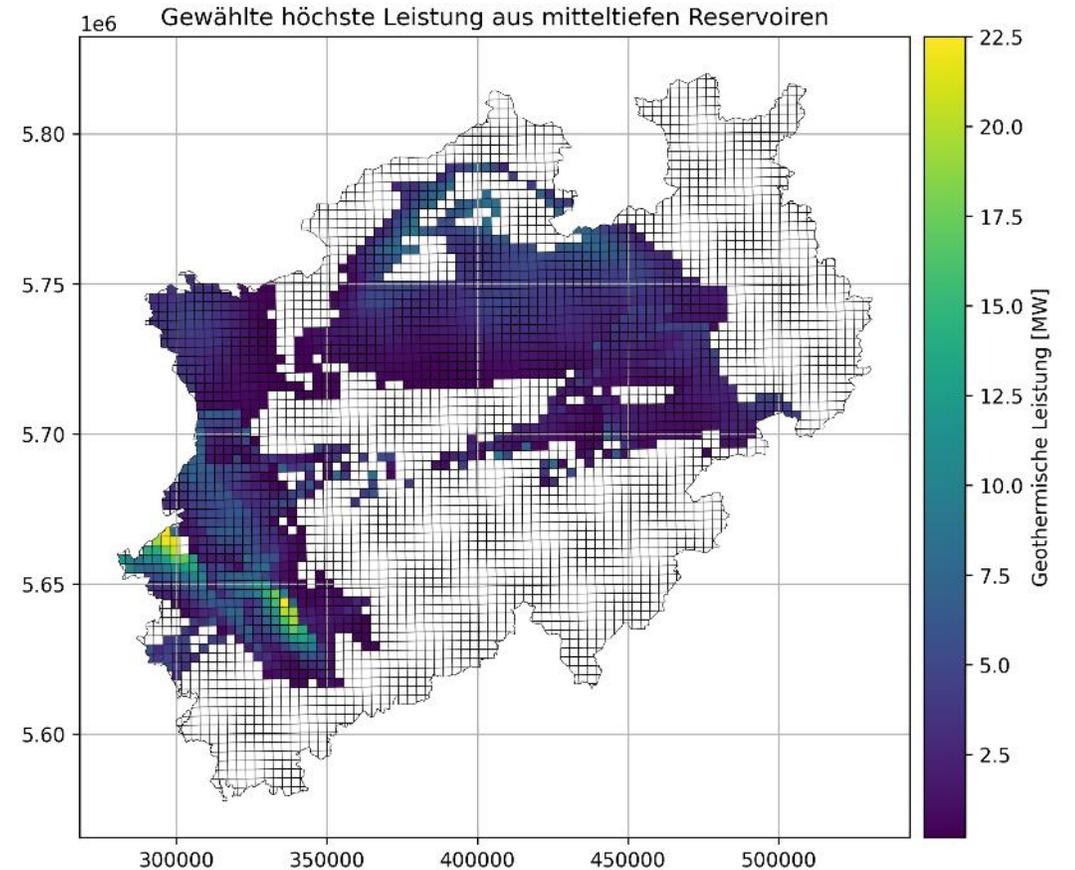
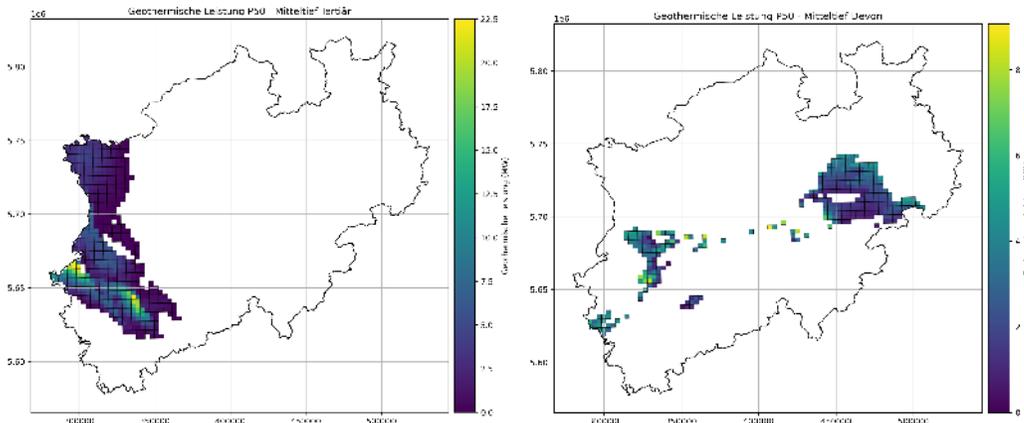
# Mitteltiefe Geothermie - Ergebnisse theoretisches Potenzial

Leistungen Mitteltiefe Geothermie 400 - 1.500 m

Summe Leistung mitteltiefer Reservoire: 5.246 MW



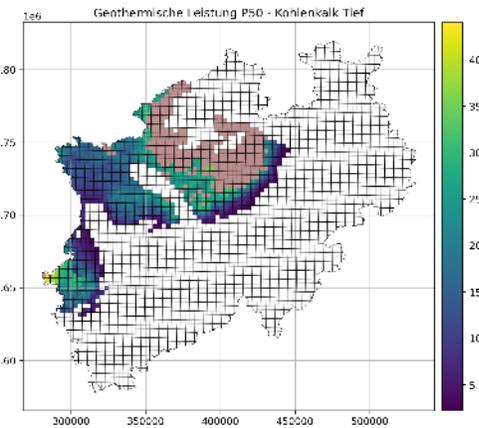
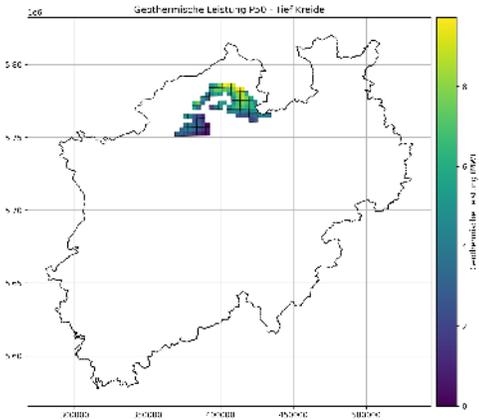
Auswahl der höchsten Leistung im Raster



# Tiefe Geothermie - Ergebnisse theoretisches Potenzial

Leistungen Tiefe Geothermie 1.500 - 5.000 m

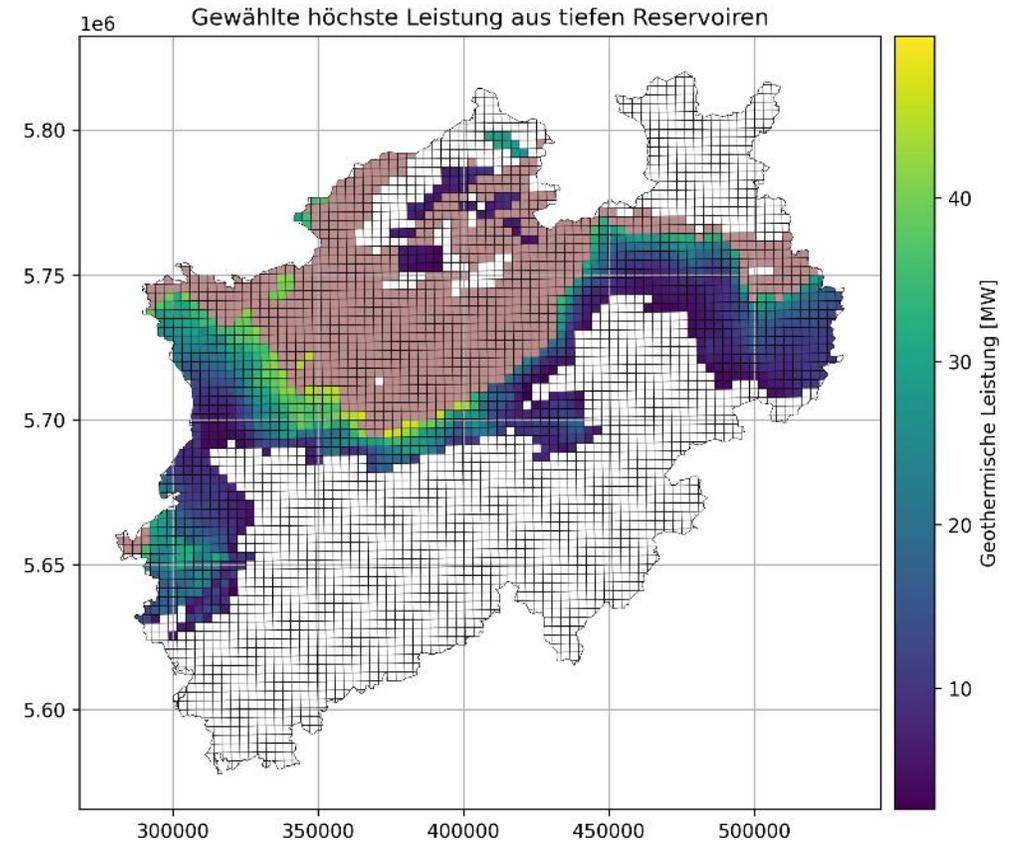
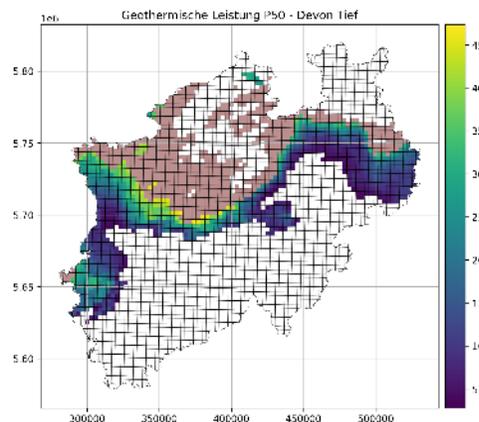
**Summe Leistung Tiefer Reservoire: 20.750 MW**



Auswahl der höchsten Leistung im Raster



Braune Flächen 5.000 – 6.000 m  
außerhalb Bewertungsbereich  
→ keine Simulation  
→ Einzelfallbetrachtung erforderlich



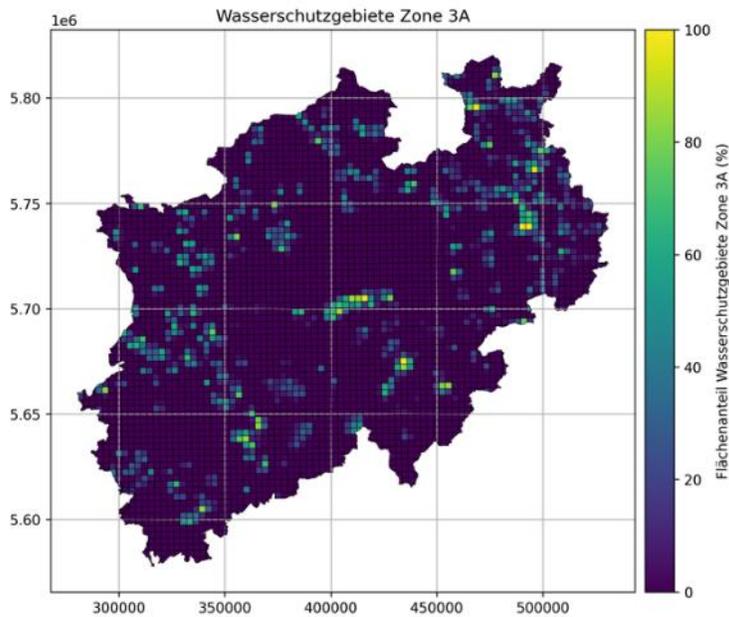
# Mitteltiefe+Tiefe Geothermie - Beispiele Kriterien

Flächenanteile

## Wasserschutzzonen

Flächenanteil in %

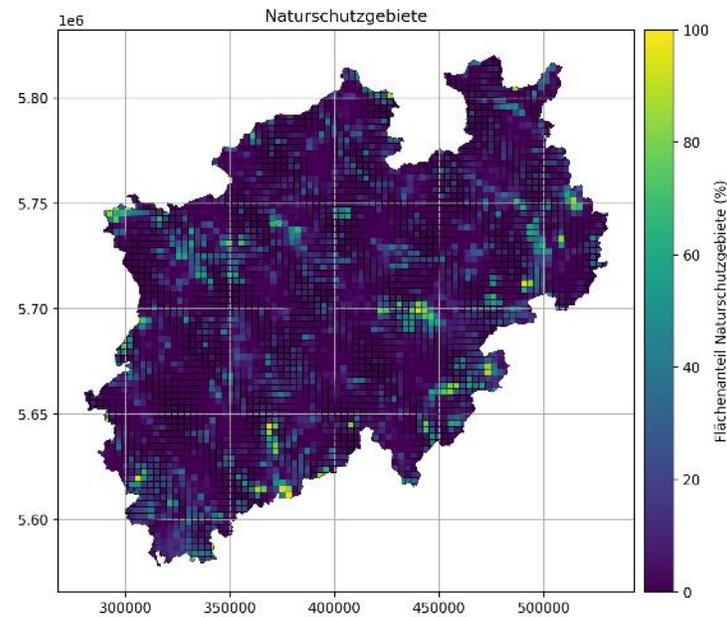
Zone 1/2 > 80 % = Ausschluss



## Naturschutzgebiete

Flächenanteil in %

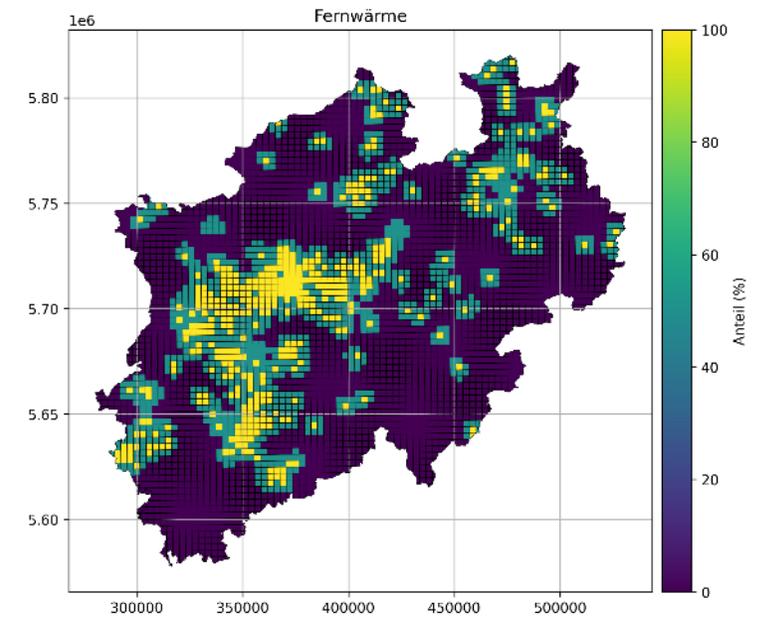
> 80 % = Ausschluss



## Abstand zum Fernwärmenetz

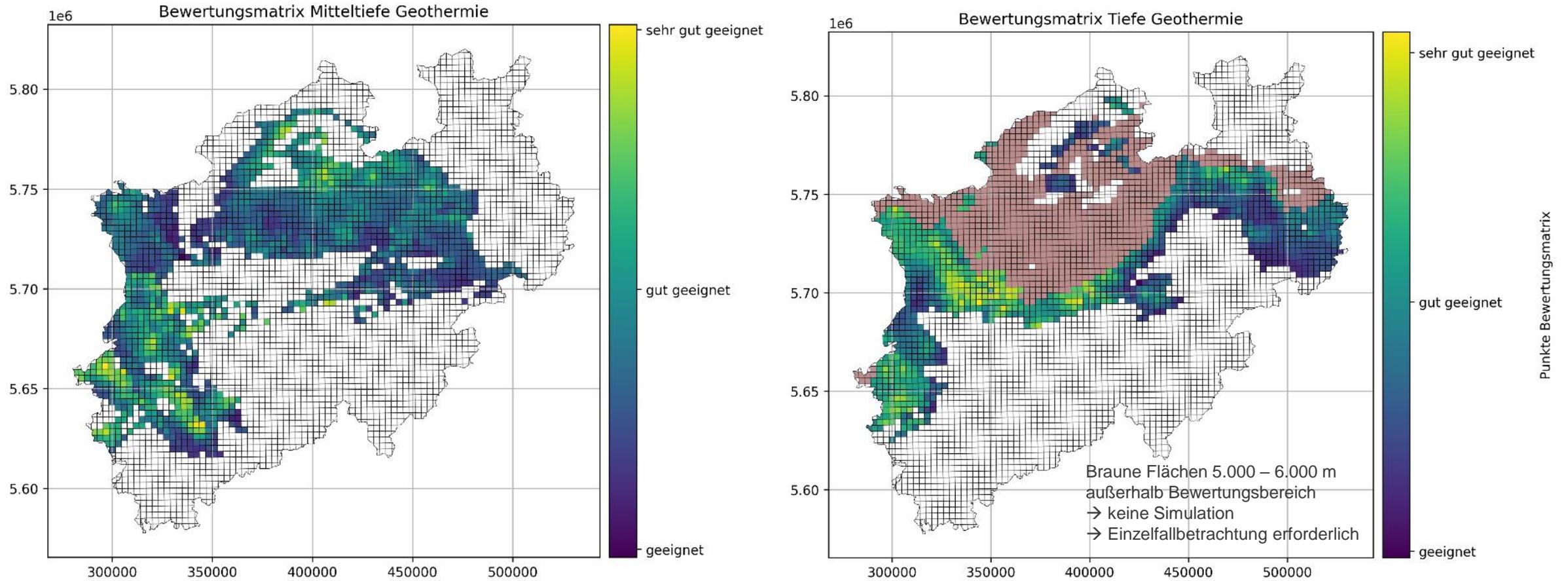
prozentual

Prozente	100 %	50 %	0 %
Entfernung	≤ 1,5 km	1,5 – 5 km	≥ 5 km



# Mitteltiefe+Tiefe Geothermie - Ergebnisse Bewertungsmatrix

Gesamtbewertung mitteltiefe (400 – 1.500 m) und tiefe Geothermie (1.500 – 5.000 m)



# Mitteltiefe und Tiefe Geothermie - Zusammenfassung

- Mitteltiefe Geothermie in NRW
  - Theoretische Leistung: 5,25 GW
  - Theoretische Wärmemenge: 31,5 TWh /a (bei 6.000 h/a)
- Tiefe Geothermie in NRW
  - Theoretische Leistung: 20,75 GW
  - Theoretische Wärmemenge: 124,5 TWh / a (bei 6.000 h/a)
- Technisches Abnahmepotenzial
  - Unsicherheiten bezüglich fazieller Ausbildung
  - Unsicherheiten bezüglich Präsenz des Reservoirs
  - Abnahme mit der Tiefe (Fündigkeit, Permeabilitäten)
  - Mitteltiefe Geothermie = 20 – 40 %: 6,3 – 12,6 TWh / a
  - Tiefe Geothermie = 10 – 20 %: 12,5 - 25 TWh / a

# Biomasse

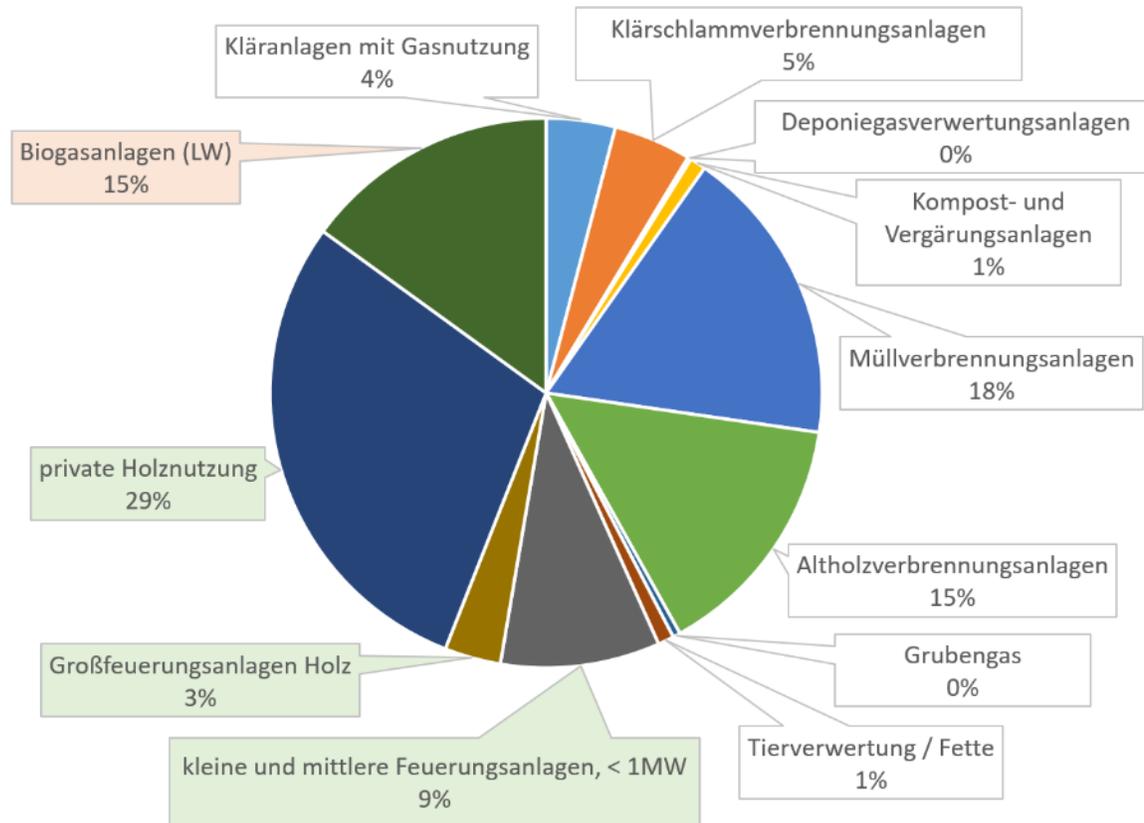
- Analyse von zwölf Stoffströmen = Inputsubstrate für energetische Nutzung
  - **Abfallwirtschaft:** Landschaftspflegematerial, Straßenbegleitgrün, Bioabfall, Grünabfall, Altholz, Hausmüll & Sperrmüll, Deponiegas, Klärgas, Klärschlamm
  - **Forstwirtschaft:** Holz aus NRW
  - **Landwirtschaft:** Wirtschaftsdünger, Erntenebenprodukte
- Bestandsanalyse
  - **Vielfältiger Anlagenpark:** Von Einzelfeuerungen in privaten Haushalten (Holzöfen) bis zu Kraftwerken (Müllverbrennungsanlagen)
- Potenzialanalyse
  - **Vielfältige Substratarten:** Gase, Schlämme, Fette, gras-/holzartiges Material
  - Randbedingungen: Stoffliche Nutzung, Bevölkerungs- und Flächenentwicklung, Abfallaufkommen/Einwohner

→ zahlreiche Datenquellen, Experten, Institutionen

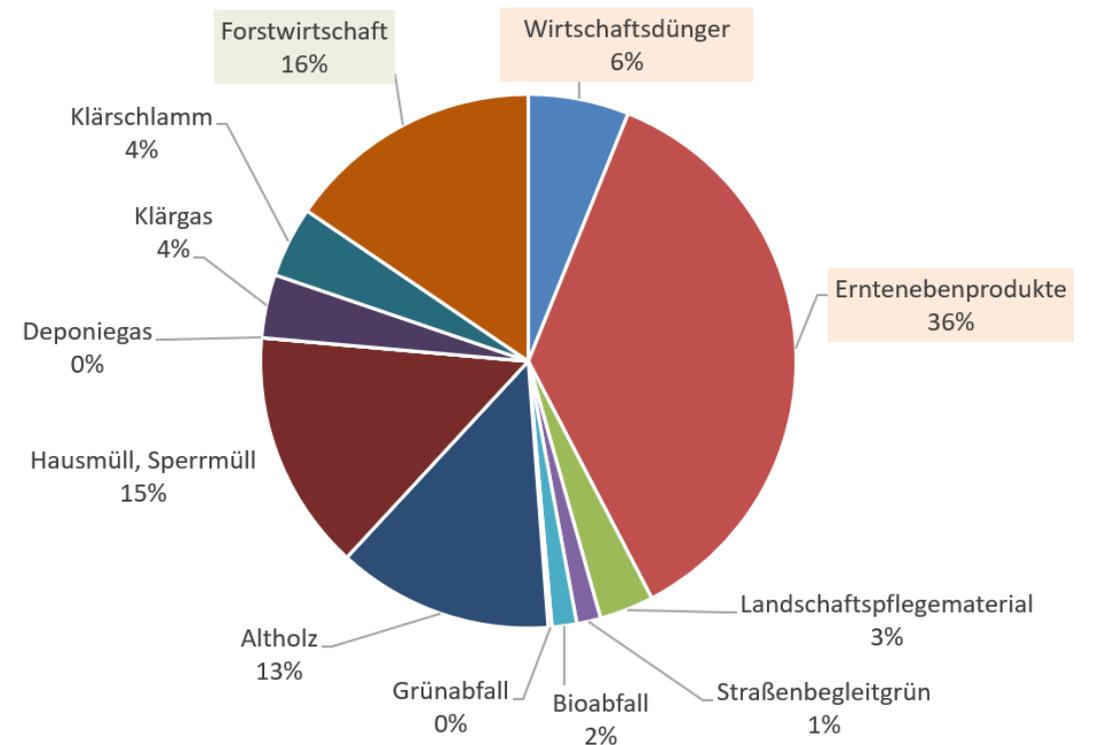


# Biomasse

Bestandsanlagen: 17.500 GWh/a



Potenzial 2045: 20.300 GWh/a



# Industrielle Abwärme

1

## Regionalisierte Abwärmepotenziale

Aus der Top-Down-Methodik ergibt sich ein Abwärmepotenzial für die unterschiedlichen Branchen in NRW

### Top-Down

- Prozesswärmeverteilung Kreise
- Abwärmestudie BW [ISI]
- Abwärmefaktoren aus 4. BImSchV [Dissertation Brückner]

2

## Abwärme-relevante Standorte

Identifikation von Standorten meldepflichtiger Anlagen und Standorten relevanter Branchen

- Anlagen aus 4. BImSchV
- Berechnung der Abgas-Abwärme [LANUV Fachbericht 96; Dissertation Brückner]

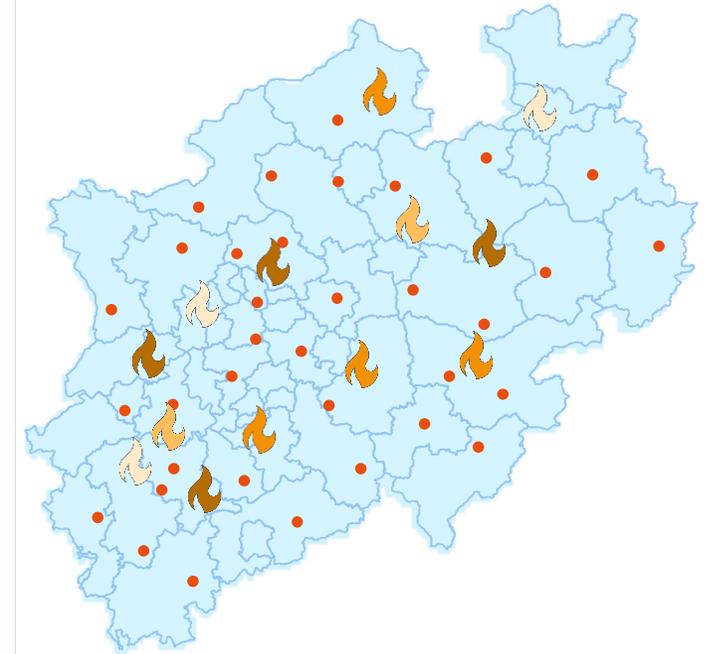
3

## Standortscharfe Abwärmepotenziale

Anhand von öffentlichen Projekten kann das Abwärmepotenzial einzelner Standorte angegeben werden

### Bottom-Up

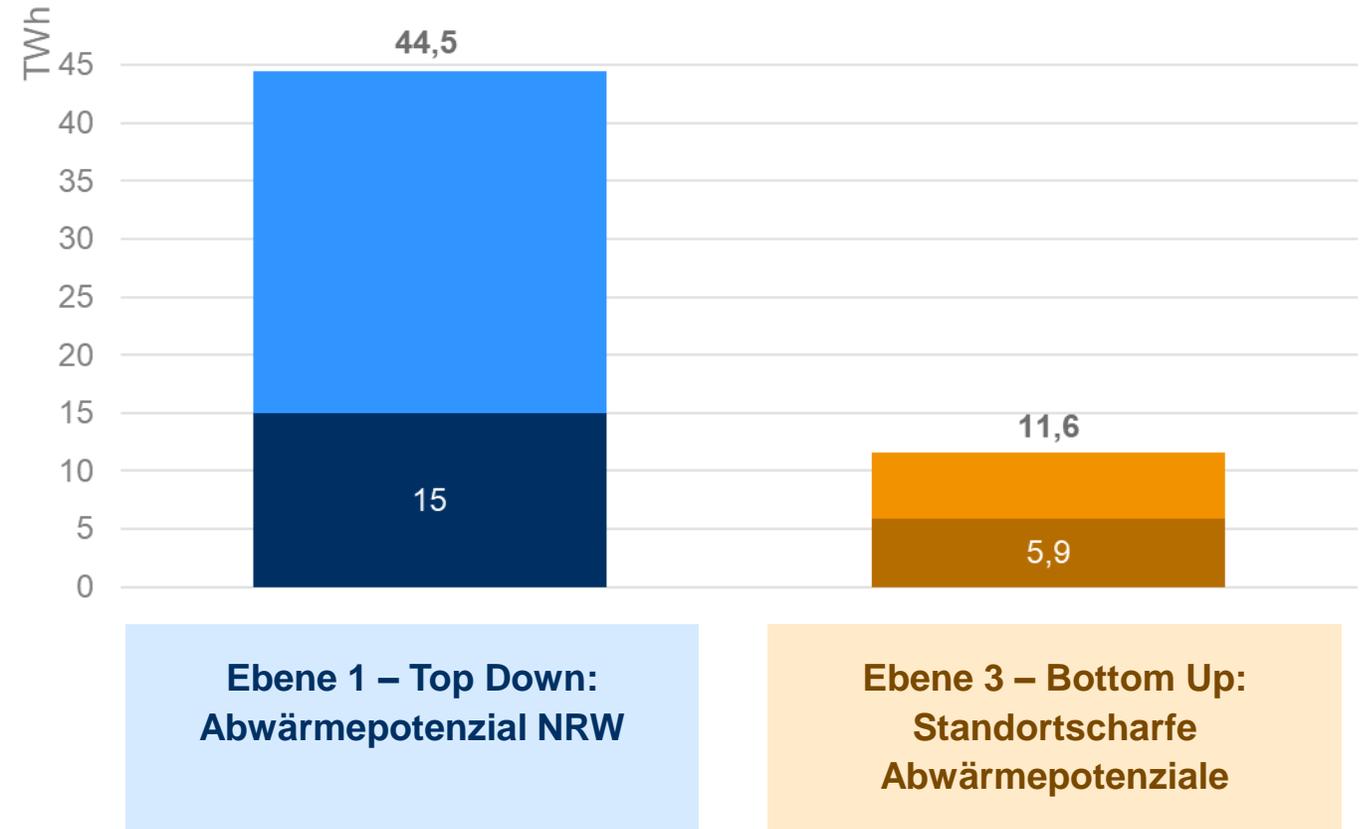
- Daten aus Abwärmeprojekten [sEEnergies; EuropeanWasteHeatMap]
- Ergänzt um eigene Berechnungen anhand abgeleiteter Abw.-Faktoren



# Industrielle Abwärme

## Ergebnisse – Industrielle Abwärme

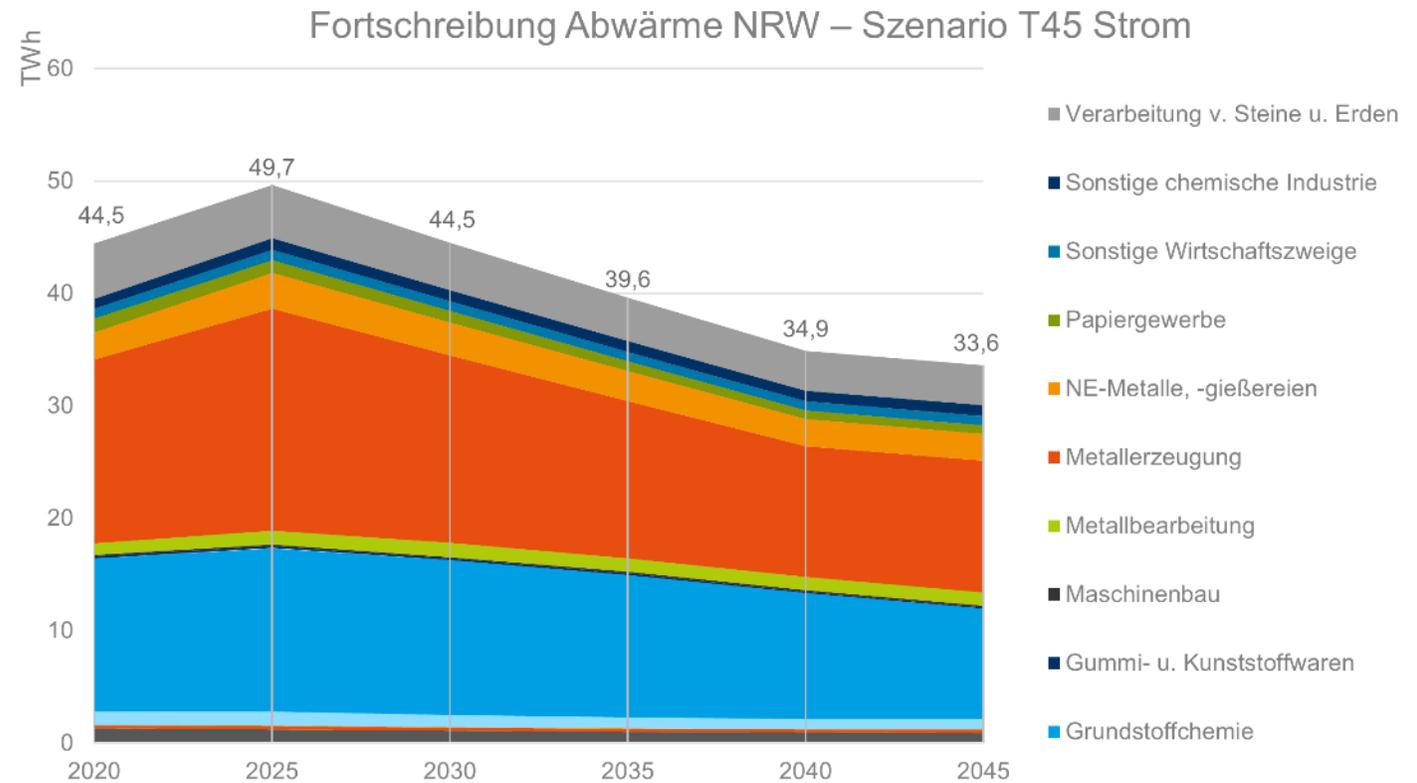
- Obere Schätzung (44,5 TWh/a) mittels spezifischen Potenzialen in Abhängigkeit der Prozesstemperaturen & -anwendung
- Untere Schätzung (15 TWh) aus Abwärmefaktoren pro Branche aus Daten der 4. BImSchV- berechnet + anteiligem Potenzial für Stromanwendungen
- 89 Standorte mit spezifischen Abwärmepotenzialen identifiziert
- 11,6 TWh/a Abwärmepotenzial zuweisbar; unter der Annahme vollständiger Wärmeintegration reduziert sich der Wert auf 5,9 TWh/a



# Industrielle Abwärme

## Fortschreibung Abwärme NRW

- Basis sind die obere Abwärmeschätzung 2020 sowie die Fortschreibung der PW-Bedarfe entlang der T45-Langfristszenarien
- Annahmen zur Entwicklung der Elektrifizierung/Umstellung auf alternative Brennstoffe entspr. T45-Strom und T45-H2
- Potenzial 2045: 33,6-35,4 TWh



# Umgebungsluft

- Für die Wärmequelle Luft wird kein eigenes Gesamtpotenzial ausgewiesen
  - Luft dient als Referenz, um die alternativen Wärmequellen hinsichtlich ihrer Effizienz zu beurteilen
  - Berechnung der notwendigen elektrischen Leistung / elektrischen Arbeit (bzw. der entsprechenden Reduktion)
- 
- Referenzfall: Versorgung aller Gebäude in NRW über Luft-Wärmepumpen
  - Standortbezogene Berechnung auf Basis der TestReferenzDaten – Auflösung 1km\*1km



# Stehende und fließende Gewässer (Flüsse)

- Bestimmung des Potenzials als Verdampferleistung (W) für den relevanten Auslegungspunkt
- Problem der monovalenten Versorgung / des monovalenten Potenzials
- Potenzialermittlung
  - Stündlicher Volumenstrom \* Temperaturabsenkung \* Wärmekapazität \* nutzbarer Anteil des Volumenstroms
- Temperaturabsenkung & Wärmekapazität: 1,5 Kelvin \* 1,16 kWh/m<sup>3</sup>

Datengrundlage Stehende und fließende Gewässer:

[https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt\\_klima/wasser/oberflaechengewaesser/gsk3e/](https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/wasser/oberflaechengewaesser/gsk3e/)

<https://www.elwasweb.nrw.de/>

<https://hochwasserportal.nrw/>



# Stehende und fließende Gewässer (Flüsse)

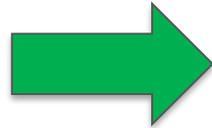
- Stündlicher Volumenstrom: NQ als Auslegungspunkt (Niedrigster Niedrigwasserabfluss)
- Beispiel des Ruhrpegels in Villigst  
NQ: 0,87 m<sup>3</sup>/s  
Aber MQ (mittlerer Abfluss) 27,77 m<sup>3</sup>/s → Faktor 30
- Annahme: nutzbarer Anteil des Volumenstroms: 1% je Anlage → 100 potenzielle Anlagen im Verlauf des Flusses



# Stehende und fließende Gewässer (Flüsse)

In Betracht kommende Flüsse in NRW

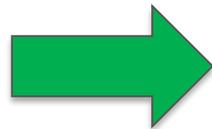
Erft
Lenne
Lippe
Pader
Ruhr
Rur
Sieg
Werre
Wupper



- Flussverlauf in NRW
- Potenzial je Anlagenstandort: 50 kW bis 700 kW
- Potenzielle Anlagenstandorte entlang des Flusslaufs gewichtet verteilt



Ems
Rhein
Weser



- Grenzüberschreitende Flüsse
- Weniger potenzielle Standorte in NRW
- Potenzial je Anlagenstandort Rhein: ~30 MW



# Stehende und fließende Gewässer (Flüsse)

Gesamtes  
Potenzial NRW

	Potenzial je Anlagenstandort (kW)	Anzahl Standorte in NRW	Potenzial NRW (MW)
Erft	125	100	12.5
Lenne	100	100	10
Lippe	300	100	30
Pader	130	100	13
Ruhr	150	100	15
Rur	200	100	20
Sieg	100	100	10
Werre	100	100	10
Wupper	200	100	20
Ems	50	25	1.25
Rhein	30000	20	600
Weser	2000	5	10
			<b>751.75</b>



# Stehende und fließende Gewässer (Seen)

- Bestimmung des Potenzials als Verdampferleistung (W) für den relevanten Auslegungspunkt
- Potenzialermittlung
  - Das Volumen des Sees kann in Gänze um 1,5 Kelvin abgekühlt werden
  - $\text{Volumen (m}^3\text{)} * 1,16 \text{ kWh} * 1,5 \text{ K} \rightarrow \text{Potenzial der thermischen Arbeit}$
  - Annahme: 3.000 Vollbenutzungsstunden
  - $\text{Potenzial} = \text{Potenzial der thermischen Arbeit} / 3.000$
- Volumenbestimmung der Seen
  - 32 gr. Seen NRWs  $\rightarrow$  Einzelfallrecherche
  - Seen mit Fläche 20 ha bis 100 ha  $\rightarrow$  angenommene Tiefe von 7,5 Metern
  - Seen mit Fläche 5 ha bis 20 ha  $\rightarrow$  angenommene Tiefe von 3 Metern



# Stehende und fließende Gewässer (Seen)

- Zentraler Unterschied der NRW Seen zu den Pionieren der Seethermie (Bodensee / Zürichsee)  
→ Tiefe / Durchfluss der Seen → Schichtung des Wassers
- 777 Seen mit einem Potenzial größer 100 kW (plus 72 mit einem Potenzial 80 kW bis 100 kW)
- 1275 MW gesamt
  - 18 Seen größer 10 MW
  - 16 Seen größer 5 MW



# Abwasserwärme (Kläranlagen)

- Bestimmung des Potenzials als Verdampferleistung (W) für den relevanten Auslegungspunkt
- Betrachtet werden öffentliche Kläranlagen
- Es erfolgt kein Eingriff in den Kläranlagenprozess
- Kläranlagen arbeiten kontinuierlich – keine Stillstandszeiten / keine Revisionen
- Es können 100% des Volumenstroms genutzt werden
  
- Potenzial:
  - $\dot{V}_a / 8760 * 80\% = \text{nutzbarer } \dot{V}_h \text{ (m}^3\text{/h)}$
  - $P_{6K} = \dot{V}_h * 1,16 \text{ kWh} * 6 \text{ K} \rightarrow \text{nutzbares Potenzial in kW}$

# Abwasserwärme (Kläranlagen)

- 594 Kläranlagen wurden insgesamt betrachtet
- Davon 74 mit weniger als 100 kW → Ausschlusskriterium
- Die weiteren mit einem Potenzial zwischen 100 kW und 214.000 kW (214 MW)
- 129 Anlagen: 100 kW bis 500 kW
- 278 Anlagen 500 kW bis 3000 kW
- 113 Anlagen größer 3 MW
- In Summe alle Anlagen (520) größer 100 KW: 1,5 GW

# Abwasserwärme (Kanalisation)

- Bestimmung des Potenzials als Verdampferleistung (W) für den relevanten Auslegungspunkt
- Wärmetauscher können nachträglich in die Kläranlage implementiert werden
- Mindestkriterien
  - DN 600
  - Volumenstrom 10-15l/s
- Nach einer Nutzung muss die 2-3 fache Strecke zur Regeneration ungenutzt bleiben (Regenerationsstrecke)
- Eingangsdaten
  - Bochum, Hagen, Köln
  - Emschergenossenschaft
- Potenzialabschätzung – innerhalb von 500 m Kanal 100 kW

# Abwasserwärme (Kanalisation)

- Potenzial Köln:  $328 * 100 \text{ kW} \rightarrow 32,8 \text{ MW}$  (0,03 kW/EW)
- Potenzial Hagen:  $99 * 100 \text{ kW} \rightarrow 9,9 \text{ MW}$  (0,052 kW/EW)
- Potenzial Bochum:  $478 * 100 \text{ kW} \rightarrow 47,8 \text{ MW}$  (0,13 kW/EW)
  
- Potenzial Emschergenossenschaft:  $712 * 100 \text{ kW} \rightarrow 71,2 \text{ MW}$

## Potenzialhochrechnung:

- 18 Mio. EW
- 0,1 kW / EW
- 1,8 GW

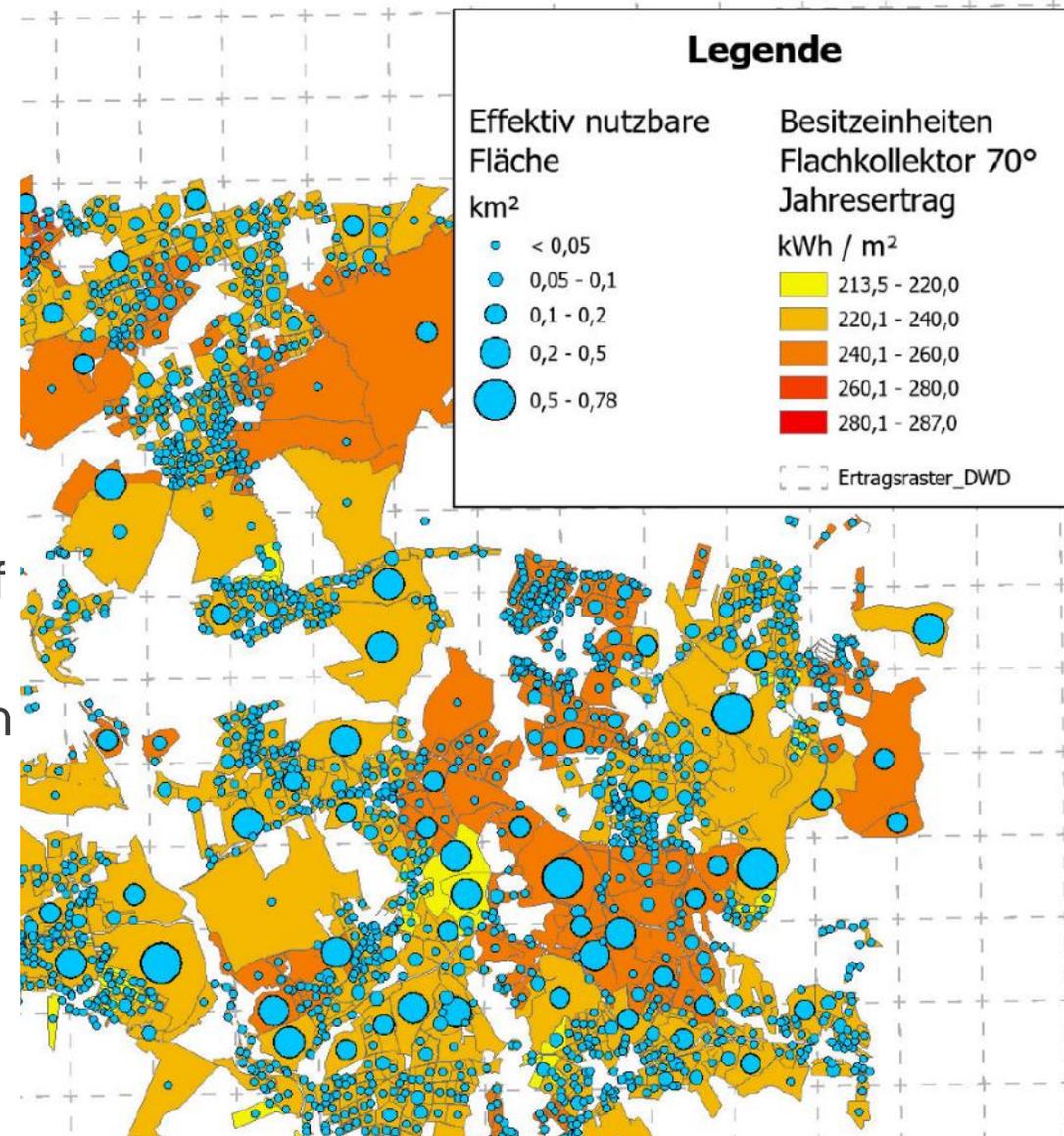


# Freiflächensolarthermie

- Temperaturabhängige Ertragsberechnungen für vier Kollektortypen
  - Unverglaster Solarabsorber (Temperaturbereich: 0 °C ... 25 °C)
  - Flachkollektor (Temperaturbereich: 40 °C ... 90 °C)
  - Vakuumröhrenkollektor (Temperaturbereich: 70 °C ... 120 °C)
  - Parabolrinnenkollektor (Temperaturbereich: 100 °C ... 200 °C)
- Optimierte Reihenabstände und Kollektorneigung basierend auf Verschattungsberechnung und Kostenverhältnis (Kollektorfläche : Grundfläche  $\approx$  20 : 1)
- Flächenauswahl
  - Berücksichtigung von Flächennutzungsangaben aus dem ALKIS NRW
  - Grundstückseinheiten basierend auf Besitzeinheiten
  - nur Flächeneinheiten > 3000 m<sup>2</sup> berücksichtigt
  - ungenutzter Randstreifen modellhaft berücksichtigt
- Wetterdaten: DWD-Testreferenzjahre im 1km-Raster

# Freiflächensolarthermie

- **Flächenauswahl:**
  - ca. 57 % der Fläche in NRW nicht geeignet
  - Aufteilung auf Basis von Besitzeinheiten
- Die Ertragsberechnung erfolgte monatsweise.
- Die Jahreserträge werden in der Karte bezogen auf die Grundfläche (nicht Kollektorfläche!) dargestellt.
- Bei Nutzung aller grundsätzlich geeigneten Flächen in NRW übersteigen die Potenziale den Wärmebedarf bei Weitem, realistisch kann nur ein minimaler Anteil genutzt werden.
- Wesentliche Reduktion durch Abgleich mit Bedarf und Einschränkung durch sinnvolle Leitungslängen erwartet



# Abwärme Gewerbe, Industrie – Rechenzentren

## Abwärmepotenzial in NRW (Annahme: 8760 h/a)

- 2020: 0,98–1,35 TWh<sub>th</sub>/a | 112–154 MW<sub>th</sub>
- 2045: 2,68–3,71 TWh<sub>th</sub>/a | 306–424 MW<sub>th</sub>

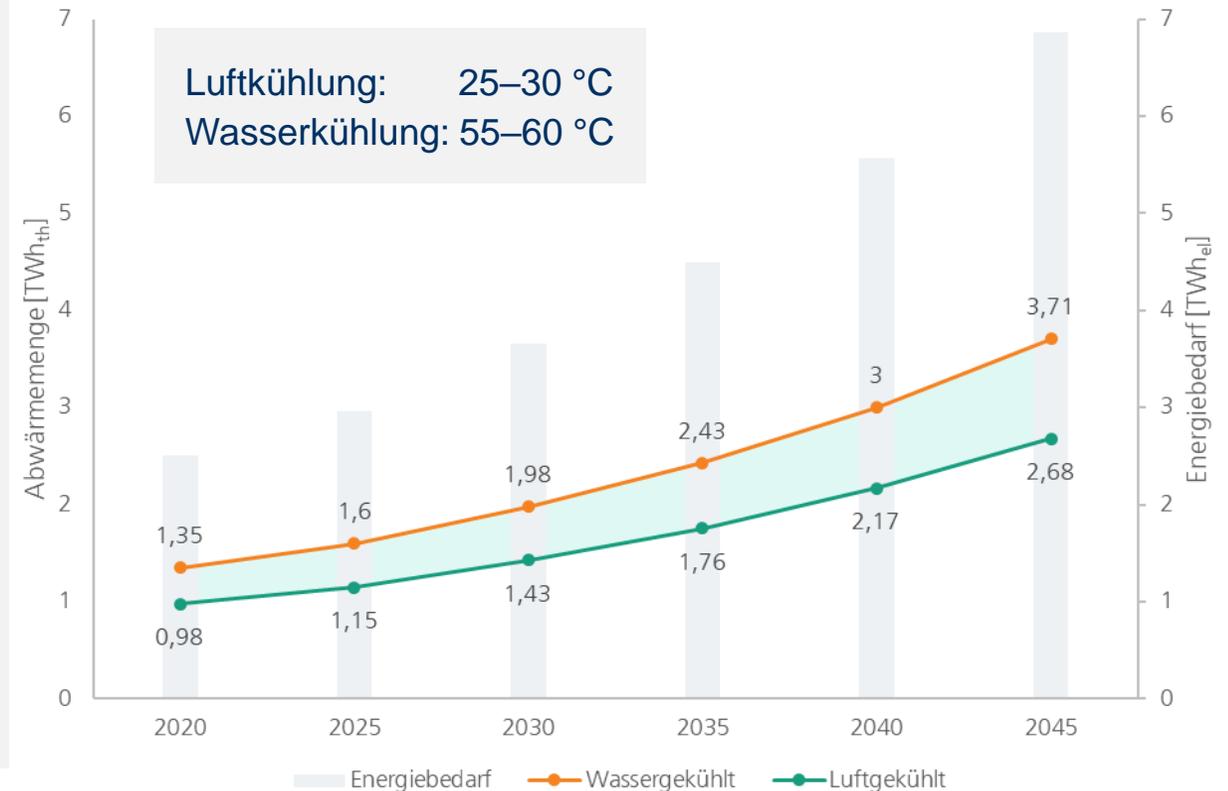
## Standorte in NRW

- 40 bestehende Großrechenzentren
  - 16x Düsseldorf, 7x Köln, 5x Dortmund
- 110 kleine Rechenzentren (interne Wärmenutzung)

## Fortschreibung / Ausblick

- NRW-Wachstumsquote entsprechend Bitkom-Prognose<sup>1</sup> für Deutschland angenommen
- Energieeffizienzregister für Rechenzentren wird Potenzialerhebung ab 2024 deutlich vereinfachen

## Fortschreibung Abwärmemengen aus Rechenzentren



<sup>1</sup> <https://www.bitkom.org/sites/default/files/2022-02/10.02.22-studie-rechenzentren.pdf>

# Abwärme Gewerbe, Industrie – Elektrolyseure

## Abwärmepotenzial in NRW (Annahme: 4000 h/a)

- 2020: kein Potenzial
- 2045: 10,5–14,7 TWh<sub>th</sub>/a | 2,625–3,675 GW<sub>th</sub>

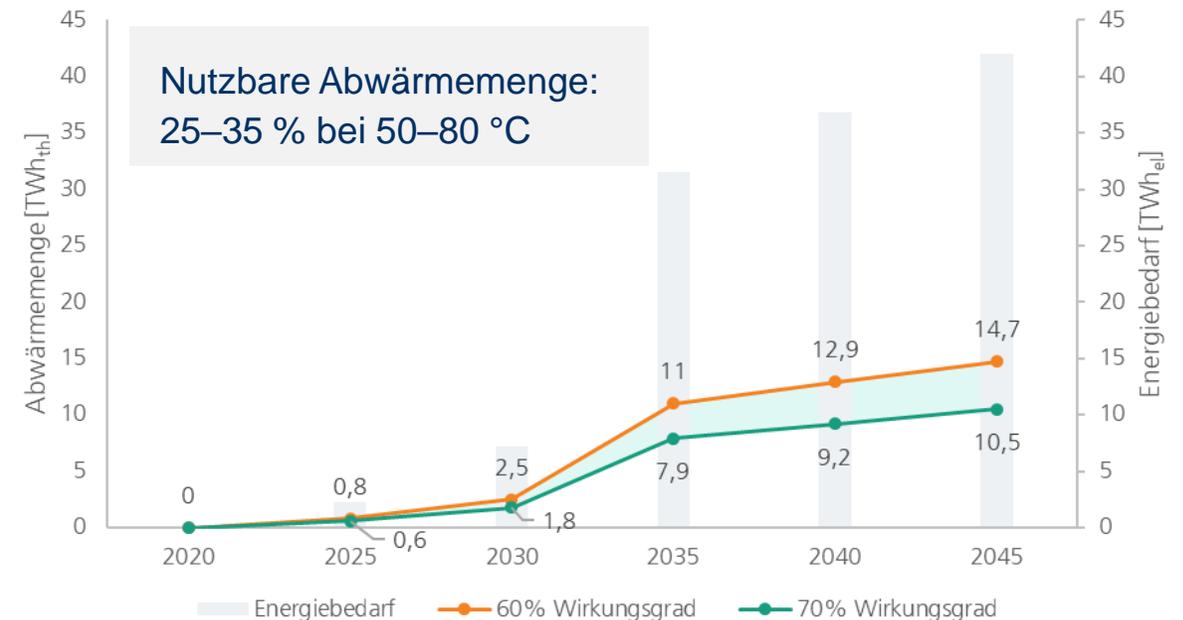
## Standorte in NRW

- 24 geplante/angekündigte/bekannte Projekte
  - Datenbasis: FNB-Liste zum NEP-2022 + Update auf Basis der H<sub>2</sub>-Kernnetz Projektliste

## Fortschreibung

- Elektrolyseurleitung NRW 2045: 10.500 MW<sub>el</sub> [Integrierte Netzplanung NRW, 2023], davon sind 6.447 MW<sub>el</sub> entsprechend o.g. Projektdaten konkret räumlich zuweisbar

## Fortschreibung Abwärmemengen aus Elektrolyseuren



# Abwärme Gewerbe, Industrie – Kühl-/Abwasser

## Status Quo in NRW

- Potenzialermittlung analog zur Ermittlung der Potenziale der Kläranlagen auf Basis der Jahreseinleitungs-Wasservolumen, hier jedoch bezogen auf die direkt einleitenden Unternehmen (Datenbasis: Fachinformationssystem ELWAS)
- Industrielles Kühl-/Abwasser: 1,032 GW<sub>th</sub> (6K)
- Direkteinleitung Kraftwerke: 3,123 GW<sub>th</sub> (6K)

## Standorte in NRW

- 313 Einleitungsstellen (direkteinleitende Unternehmen)
- 141 Einleitungsstellen (21 Kraftwerke)

## Fortschreibung / Ausblick

- Potenziale der direkteinleitenden Unternehmen bleiben langfristig verfügbar
- Potenziale der Kraftwerke werden entsprechend der Entwicklung des NRW-Kraftwerksparks sinken

# Agenda LP 3

- Ausblick Wärmeplanung NRW

Karen Janßen, Fraunhofer IFAM



# Ausblick: Wärmeplanung NRW

Ziel ist die Aufstellung und Untersuchung von drei Szenarien, die jeweils das Ziel der Klimaneutralität im Wärmesektor in 2045 als Vorgabe haben.

- Grundlagen sind insbesondere die
  - Daten und Ergebnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen
  - Rahmenbedingungen der zu betrachtenden Szenarien
  - Preisprognosen
- Im Ergebnis werden räumlich hoch aufgelöste Transformationspfade des Wärmemarktes für die drei zu betrachtenden Szenarien stehen:
  - Wirtschaftlichkeit
  - Systemeffizienz
  - Zielszenario → Mischung aus Wirtschaftlichkeit und Systemeffizienz



# Für Rückfragen:

Klaus Vogel  
[klaus.vogel@lanuv.nrw.de](mailto:klaus.vogel@lanuv.nrw.de)

Nils Dering  
[nils.dering@lanuv.nrw.de](mailto:nils.dering@lanuv.nrw.de)

Enrico Fleiter  
[enrico.fleiter@lanuv.nrw.de](mailto:enrico.fleiter@lanuv.nrw.de)

FB 37: Fachzentrum Klimaanpassung, Klimaschutz, Wärme und Erneuerbare Energien  
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW  
Wallneyer Str. 6  
45133 Essen

