Heizen und **Kühlen** der Zukunft: Welche Lösung für welchen Fall?

Ammerndorf | 12. Oktober 2023

Dr.-Ing. Simon Herzog

simon.herzog@tum.de

Bild: www.section-monte-rosa.ch/de/unsere-hutten/monte-rosa-huette

Auf diese Fragen gibt es Antworten

Heizen und Kühlen: Welche Lösungen für welchen Fall?

- Was steht im „Heizungsgesetz“?
- Wie viel Energie brauchen die **Wohngebäude** in Deutschland?
- Für die Wärmeversorgung von **Ammerndorf** erforderliche Fläche für die Versorgung mit **Holz** bzw. **Wasserstoff** aus **Photovoltaik**?
- Wie viele **Windräder** wären nötig bei **Heizung mit Strom**?
- Wann sind **Wärmepumpen** sinnvoll?
- Wie **Überhitzung im Sommer** vermeiden?

Gebäudeenergiegesetz (GEG): Was steht drin?

Auswahl der wichtigsten Punkte.

1. **Neue Heizungen** ab 1. Januar 2024 zu **65%** mit **Erneuerbaren**.
2. **Punkt (1.) gilt nur**, wenn **kommunale Wärmeplanung** vorliegt. Sofern **keine kommunale Wärmeplanung** vorliegt, darf **bei Defekt neue Gasheizung** eingebaut werden, sofern diese für **Wasserstoff geeignet** ist. Gilt auch für Neubauten in Bestandsgebieten. In Neubaugebieten gilt (1.).
3. **Holz** und **Holzpellets** bleiben **erlaubt**.
4. Bei **klimaneutralem Gasnetz** weiterhin **neue Gasheizungen** erlaubt.
5. **Neue Gasheizung** mit über **65% erneuerbaren Gasen** erlaubt.
6. Interessenten sind über steigende Erdgas- und CO_2-Preise zu informieren.

https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2023/kw24-de-gebaeudeenergiegesetz-952846,
Einigungstext GEG vom 13. Juni 2023, Leitplanken der Ampel-Fraktionen zur weiteren Beratung des Gebäudeenergiegesetzes

Wichtige Fakten: Neue Öl- und Gasheizungen

Wie lange dürfen Öl- und Gasheizungen betrieben werden?

Einbau ab dem 1. Januar 2024 und bis zum Ablauf der Fristen für die Wärmeplanung:

Bis zum Ablauf der Fristen für die kommunale Wärmeplanung (30.06.2026 ab 100.000 Einwohner, 30.06.2028 unter 100.000 Einwohner) dürfen weiterhin neue Öl- und Gasheizungen eingebaut werden, die mit Öl oder Gas betrieben werden. Allerdings müssen diese ab 2029 einen wachsenden Anteil an Erneuerbaren Energien wie Biogas oder Wasserstoff nutzen:

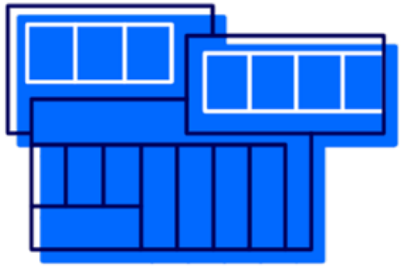
- 2029: mindestens 15 Prozent
- 2035: mindestens 30 Prozent
- 2040: mindestens 60 Prozent
- 2045: 100 Prozent

https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Dossier/geg-gesetz-fuer-erneuerbares-heizen.html

KLIMAFREUNDLICHES HEIZEN: DAS GILT AB 1. JANUAR 2024 *

NEUBAU

Bauantrag ab dem
1. Januar 2024



IM NEUBAUGEBIET

Heizung mit mindestens **65 Prozent Erneuerbaren Energien**

AUSSERHALB EINES NEUBAUGEBIETES

Heizung mit mindestens **65 Prozent Erneuerbaren Energien** frühestens ab **2026**

BESTAND

HEIZUNG FUNKTIONIERT ODER LÄSST SICH REPARIEREN

Kein Heizungstausch vorgeschrieben

HEIZUNG IST KAPUTT – KEINE REPARATUR MÖGLICH

Es gelten pragmatische **Übergangslösungen.***

Bereits **jetzt** auf Heizung mit **Erneuerbaren Energien umsteigen** und Förderung nutzen.

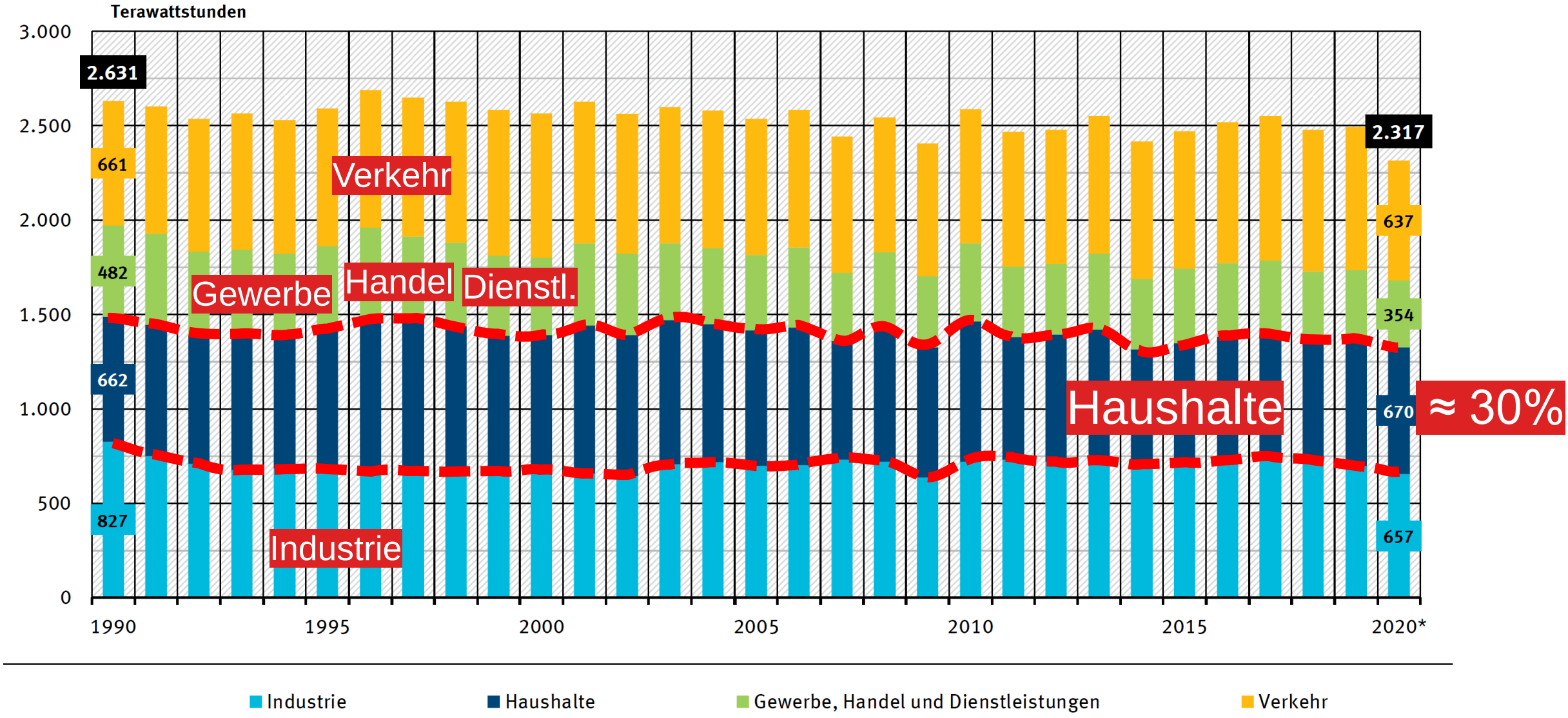
Förderungen und mehr … ➔ www.energiewechsel.de

*Diese Grafik bietet einen ersten Überblick. Informieren Sie sich über Ausnahmen und Übergangsregelungen. Mehr: energiewechsel.de/geg

Quelle: BMWK, Stand 09/2023

Verbrauch in Deutschland nach Sektoren

Endenergie von 1990 bis 2020 in Deutschland

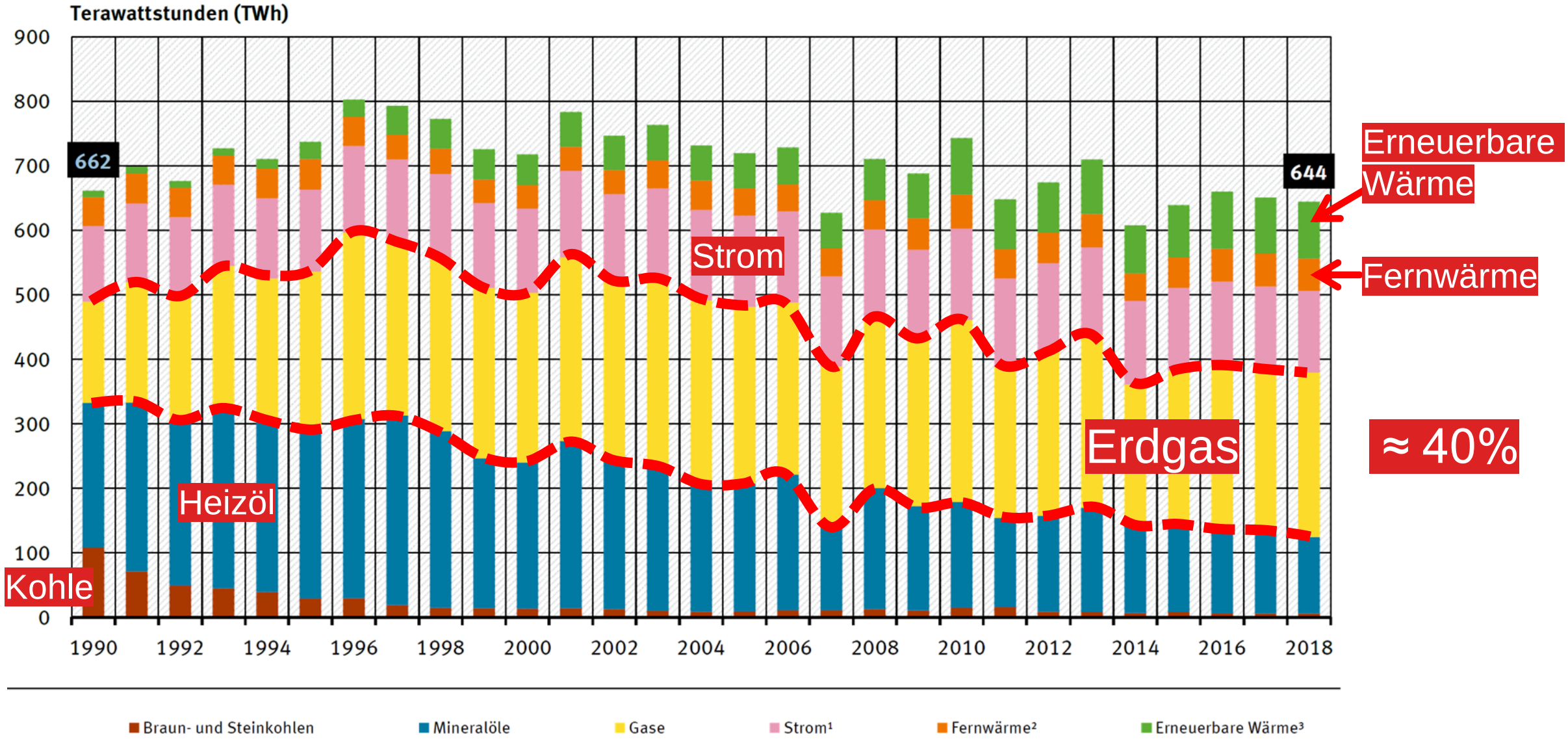


https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren

Erdgas, Öl, Strom: Was versorgt Haushalte?

Verbrauch der privaten Haushalte

Endenergie von 1990 bis 2018 in Deutschland

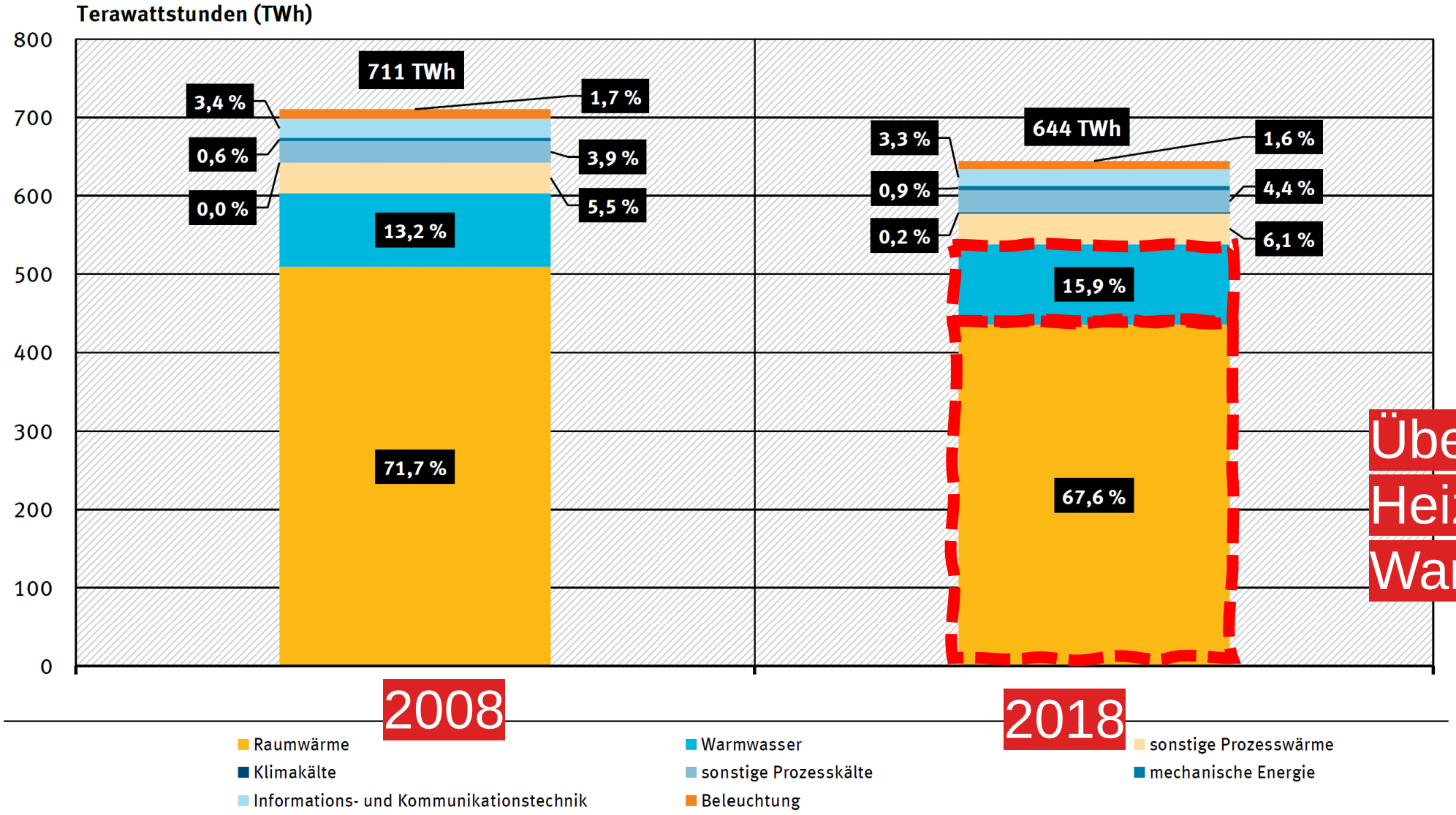


https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte

Wofür wird die Energie zu Hause verwendet?

Einsatz Endenergie in privaten Haushalte

2008 bis 2018 in Deutschland



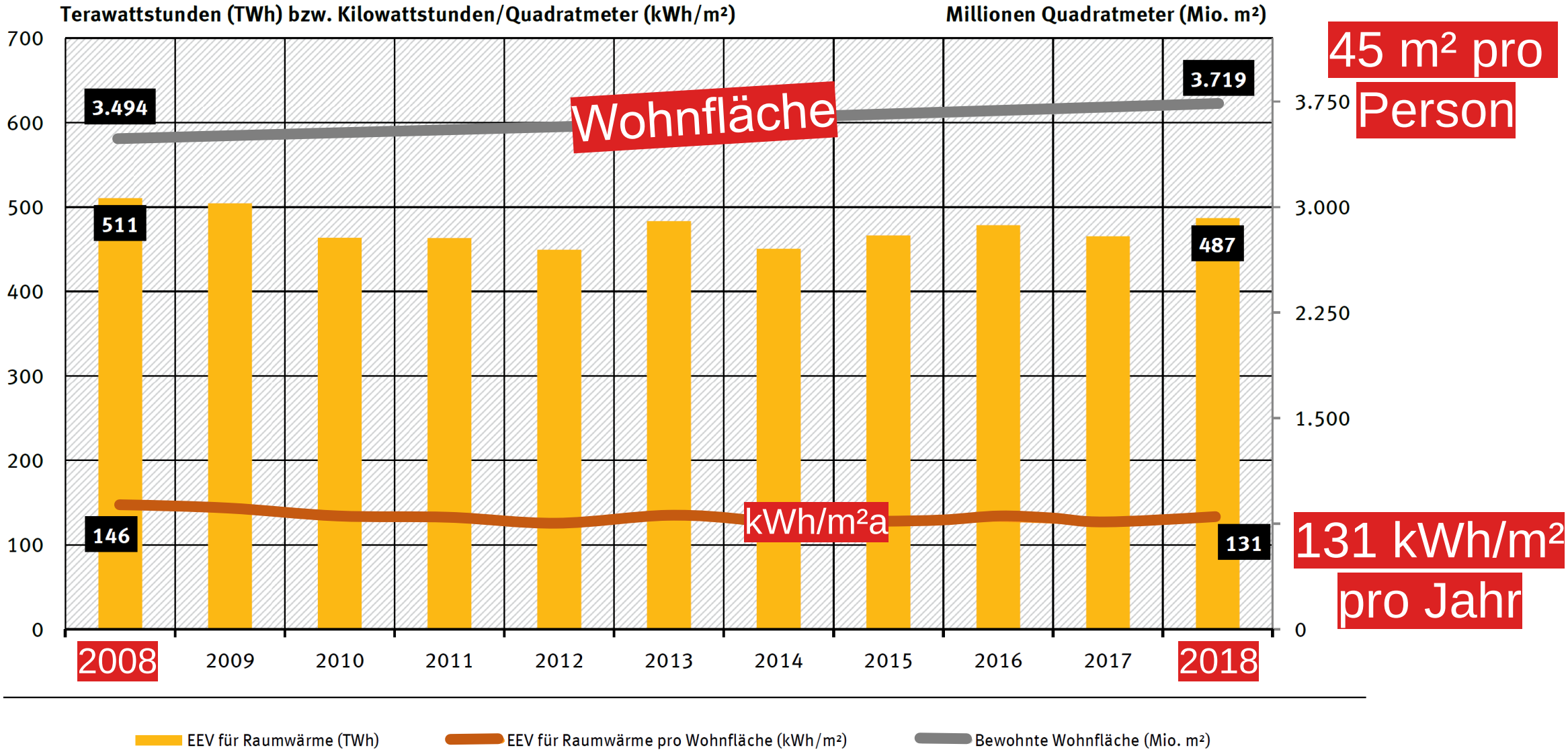
Über 80 % für Heizen und Warmwasser.

https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte

Welcher Heizbedarf pro m² Wohnfläche?

Verbrauch Raumwärme für private Haushalte

2008 bis 2018 in Deutschland

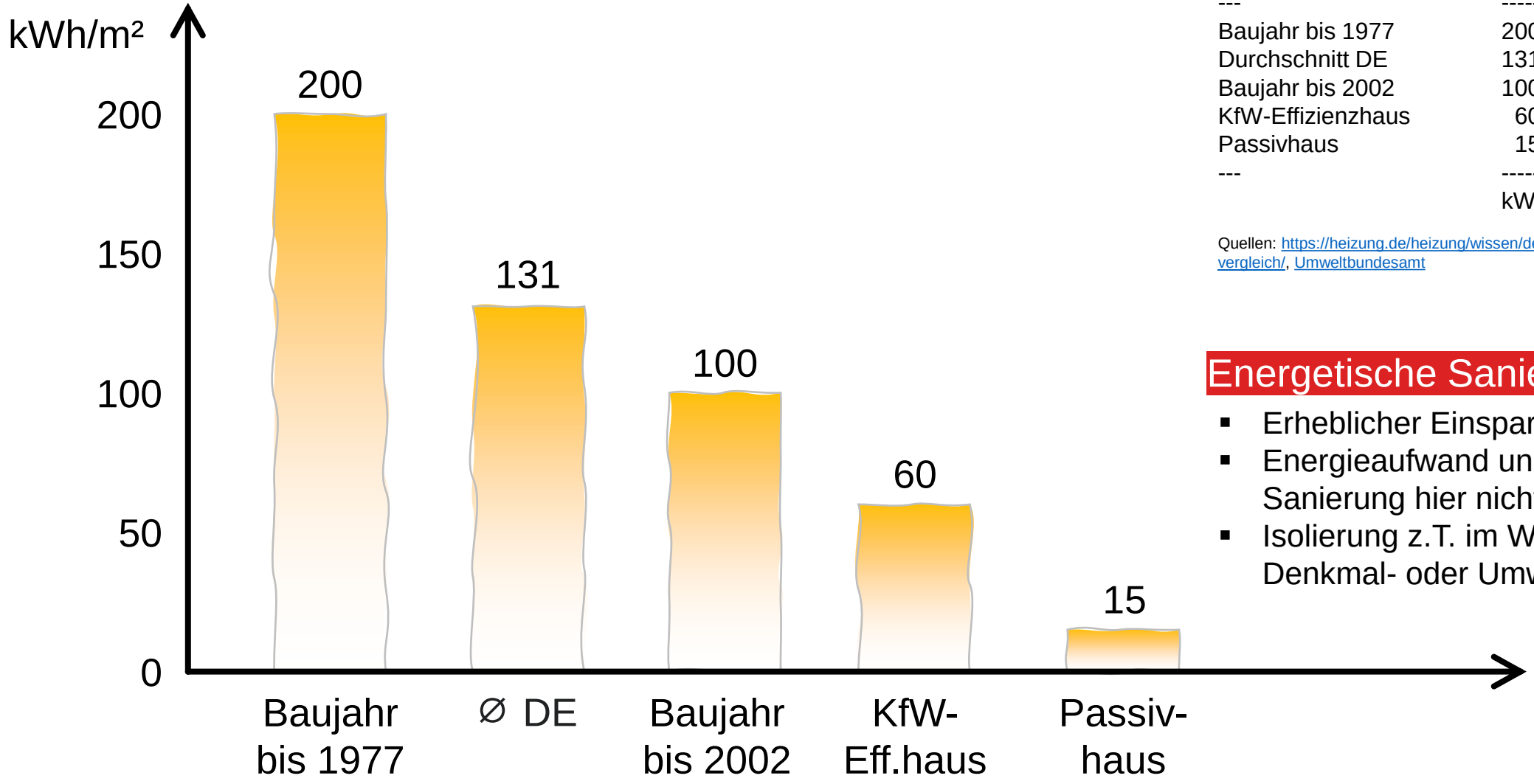


https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte, Annahme: 83 Mio. Einwohner in Deutschland in 2018

Wie unterscheidet sich der Heizbedarf nach Art des Wohngebäudes?

Verbrauch Raumwärme pro Jahr und m² im Vergleich

Nach Baualtersklasse bzw. Energiestandard



Gebäude	Heizwärmebedarf
---	---
Baujahr bis 1977	200
Durchschnitt DE	131 im Jahr 2018
Baujahr bis 2002	100
KfW-Effizienzhaus	60
Passivhaus	15
---	---
	kWh/m²

Quellen: https://heizung.de/heizung/wissen/der-energieverbrauch-im-vergleich/, Umweltbundesamt

Energetische Sanierung:

- Erheblicher Einsparbedarf
- Energieaufwand und Kosten für Sanierung hier nicht berücksichtigt
- Isolierung z.T. im Widerspruch zu Denkmal- oder Umweltschutz

Zwischenfazit

Welche Fragen können wir bis hier in beantworten?

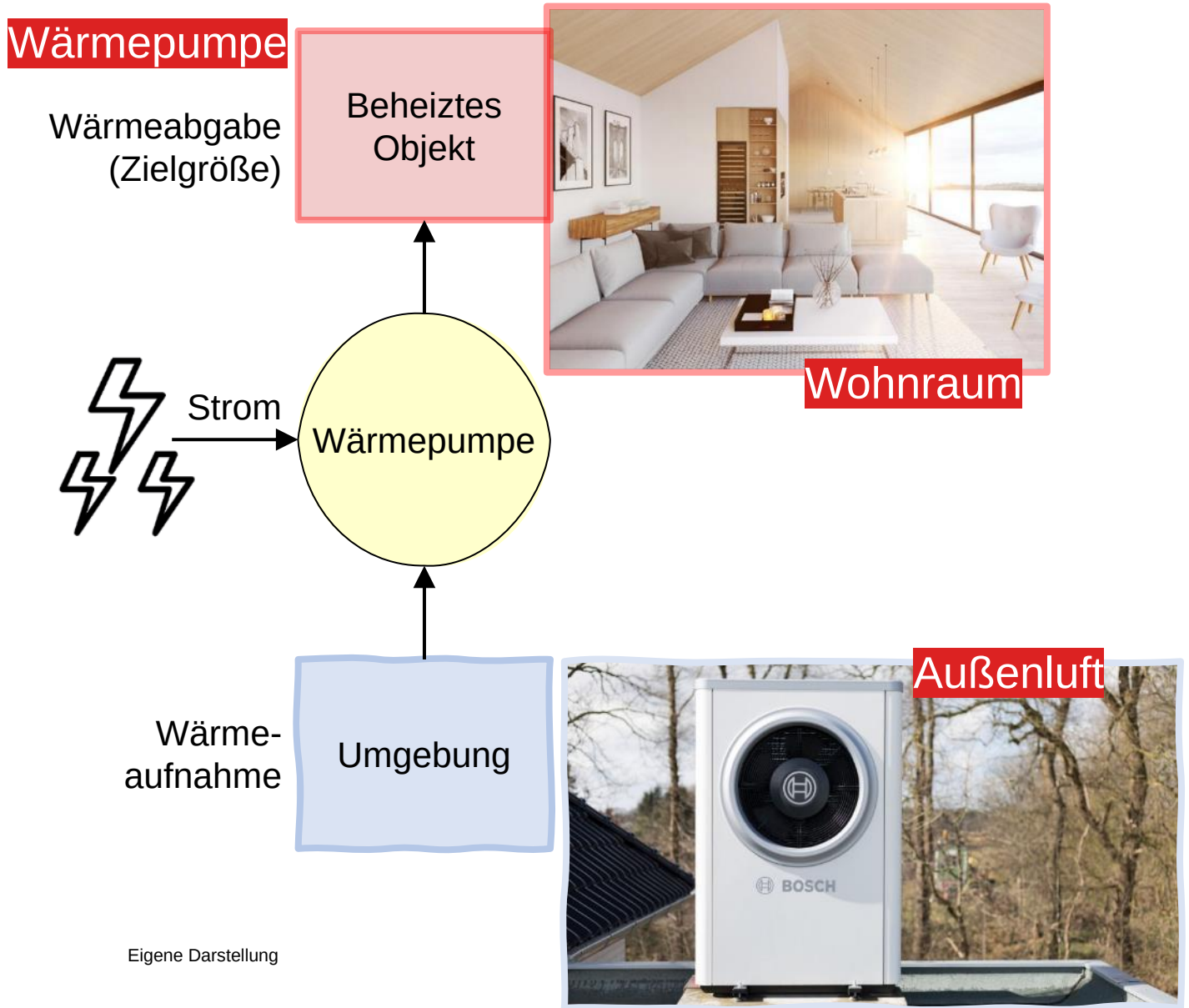
- **Private Haushalte** (ohne Autos) ca. für 30% des Verbrauches an Endenergie verantwortlich.
- **Gas** (≈40%) und **Öl** (≈20%) sind noch die **wichtigsten Energieträger**
- Heizen und Warmwasser für über 80% des Energiebedarfes in Wohngebäuden verantwortlich.
- Durchschnittlich **45 m² Wohnfläche** und **131 kWh/m² Heizbedarf**
- Erhebliches **Einsparpotenzial** durch energetische **Sanierung**

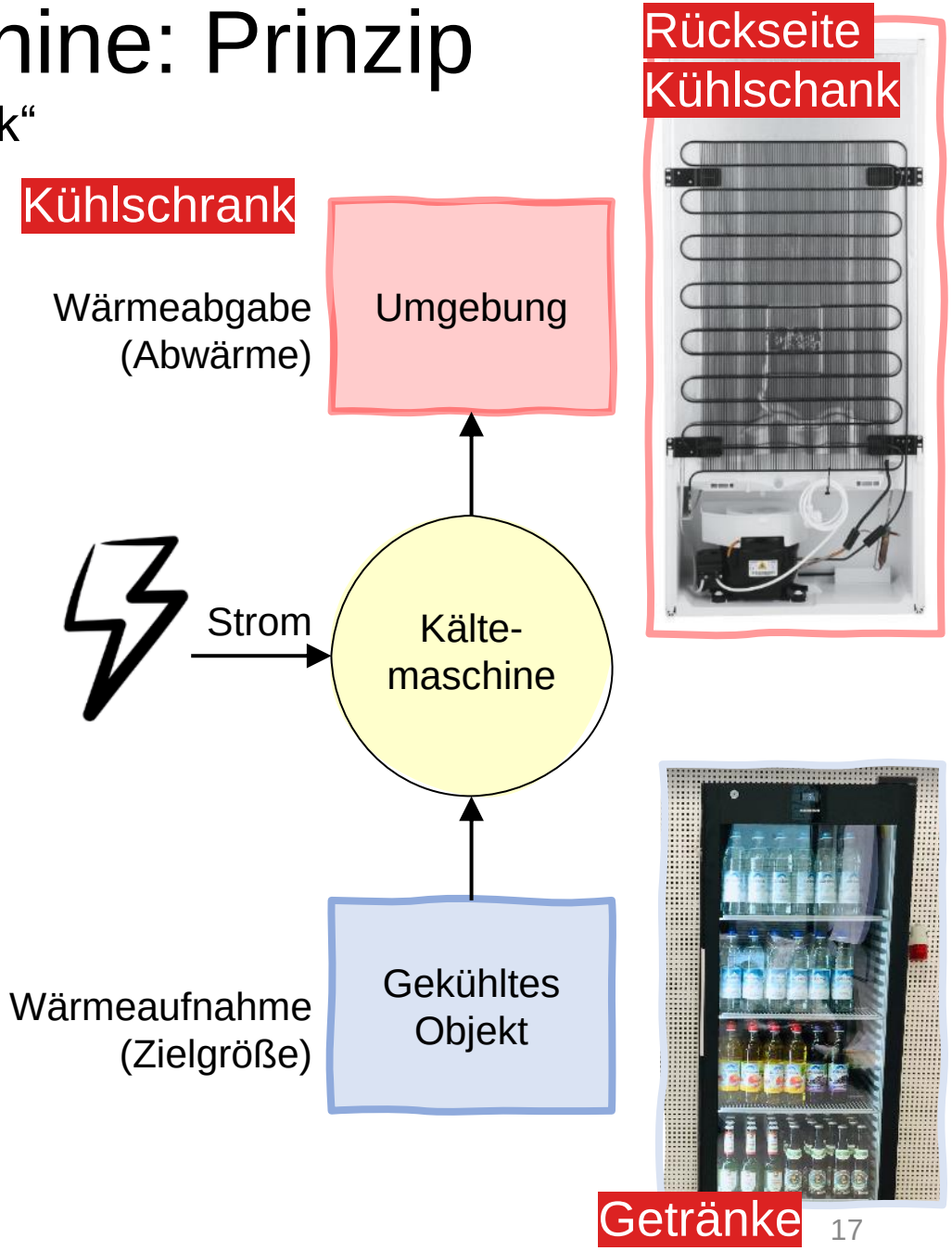
Hinweis: Alle angaben für Deutschland. Quellen auf den Folien zuvor genannt.

Was sind Wärmepumpen und wann sind sie sinnvoll?

Wärmepumpe und Kältemaschine: Prinzip

„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“

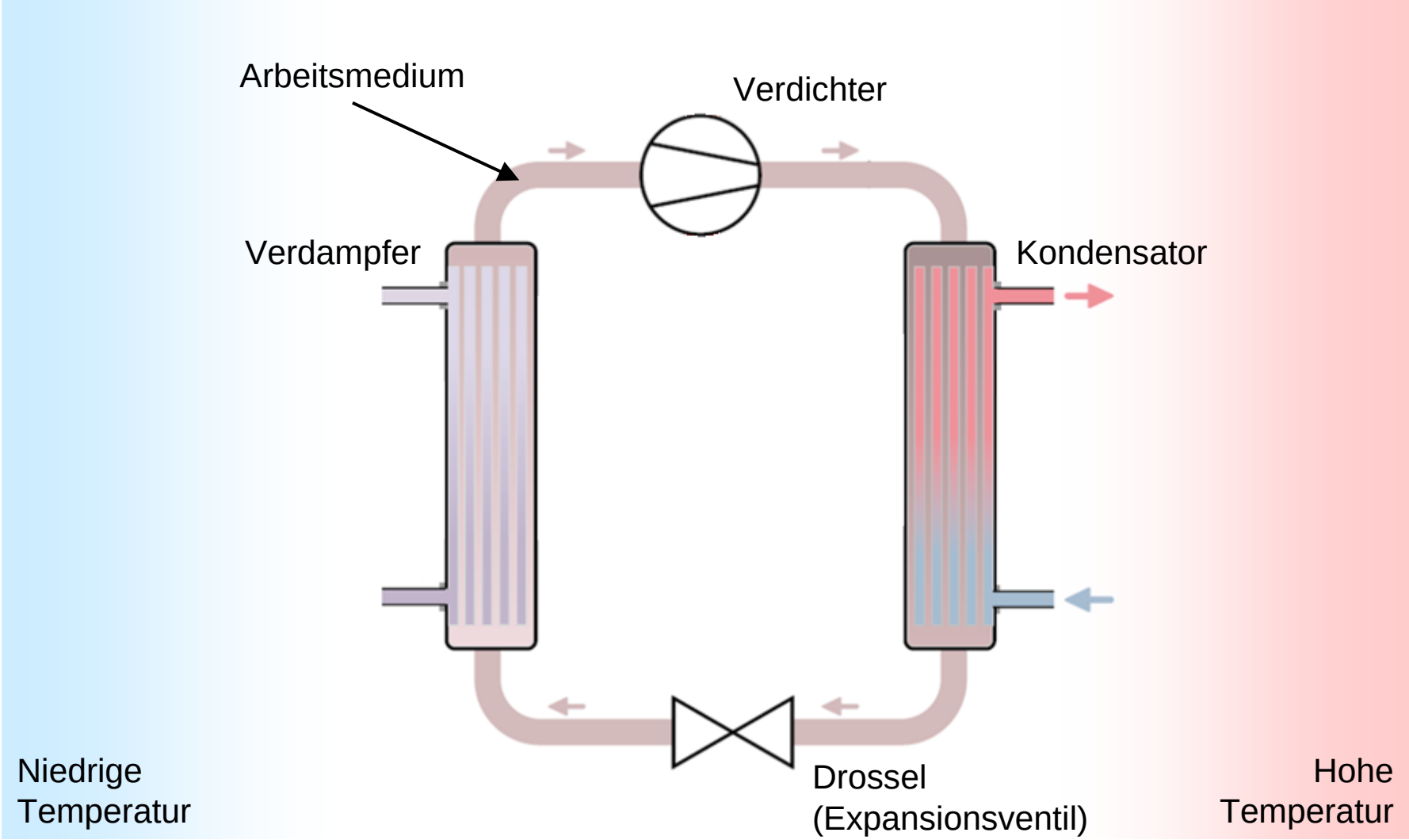




Eigene Darstellung

Wärmepumpe und Kältemaschine: Schaltbild

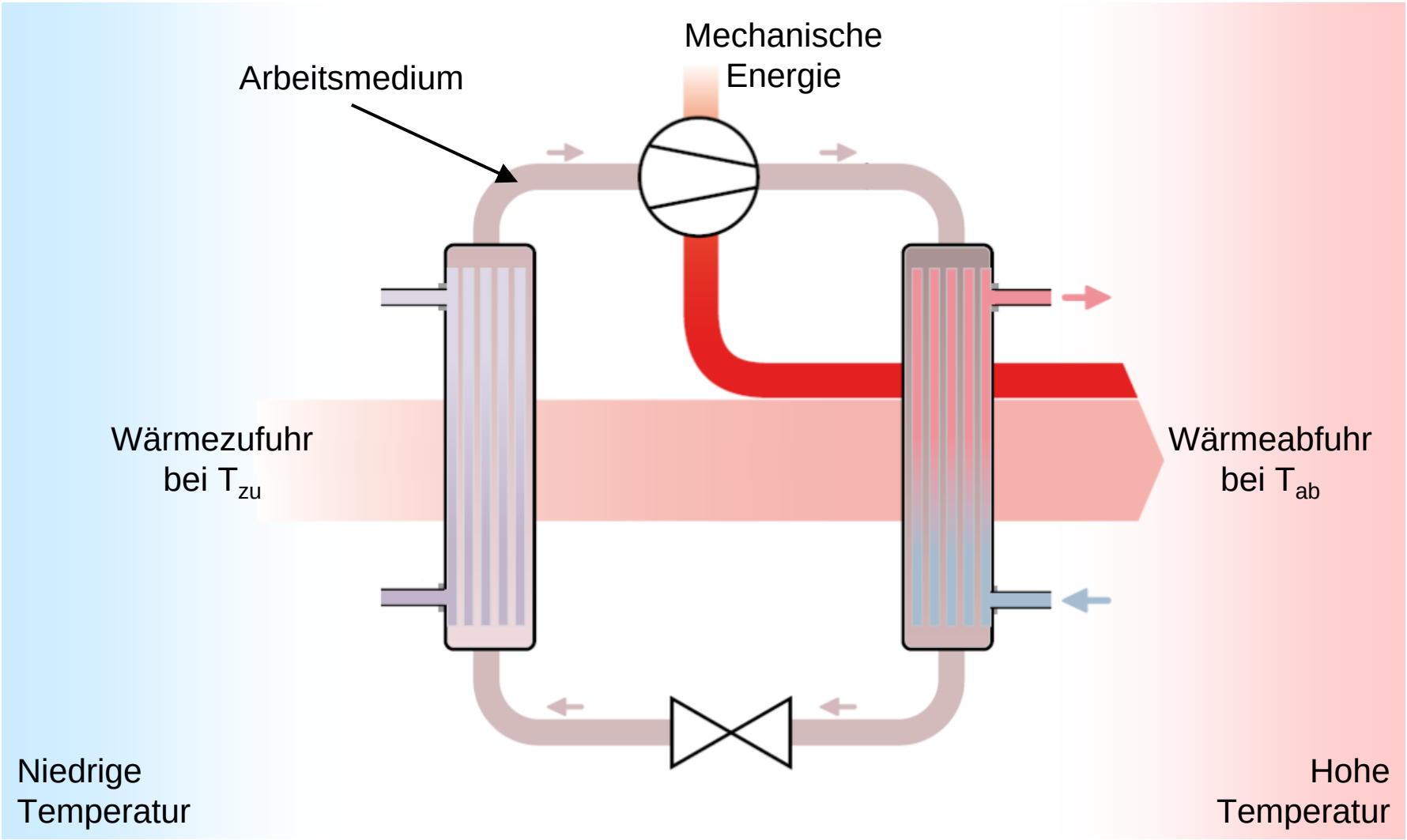
„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“



Eigene Darstellung

Wärmepumpe und Kältemaschine: Schaltbild

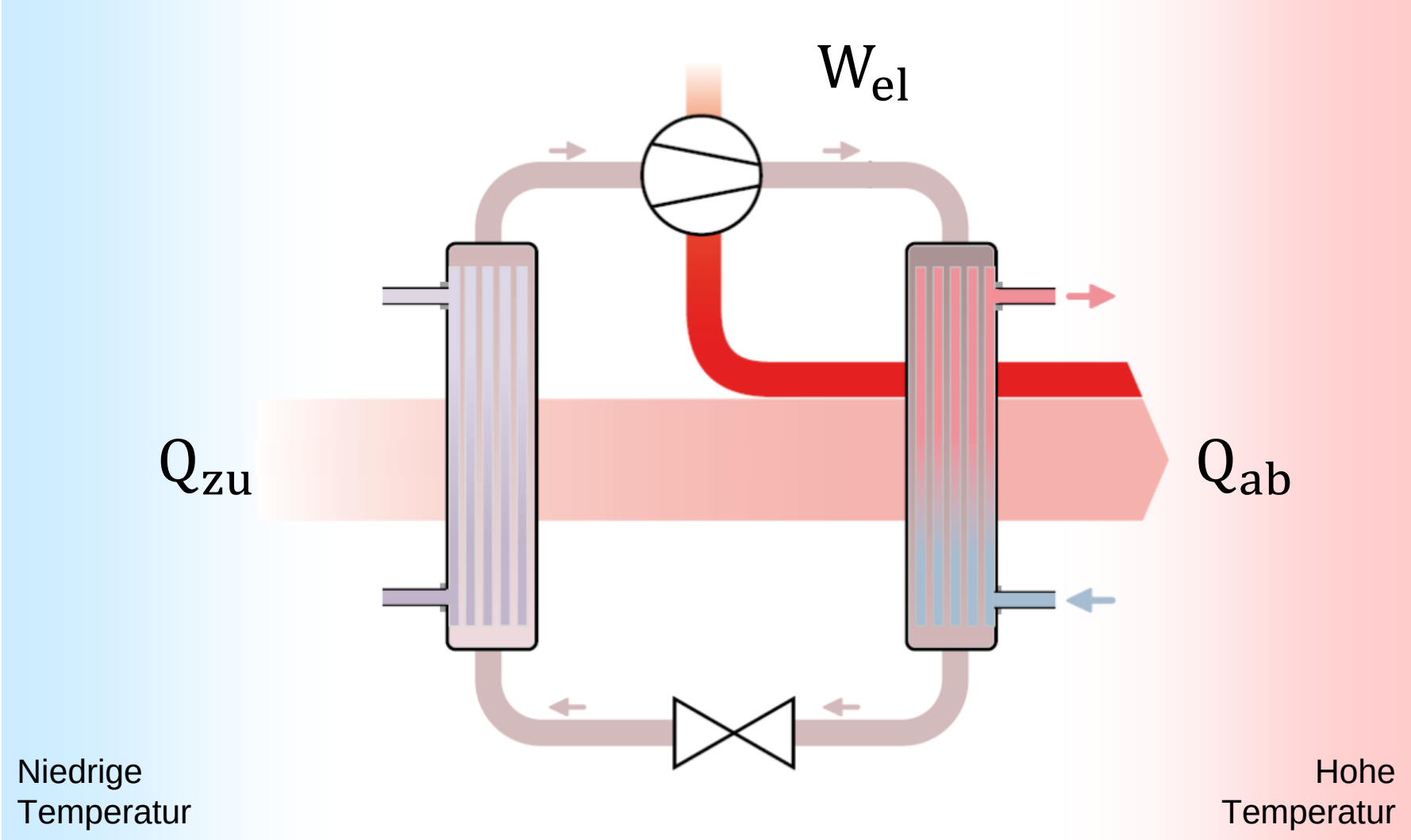
„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“



Eigene Darstellung

Wärmepumpe und Kältemaschine: Schaltbild

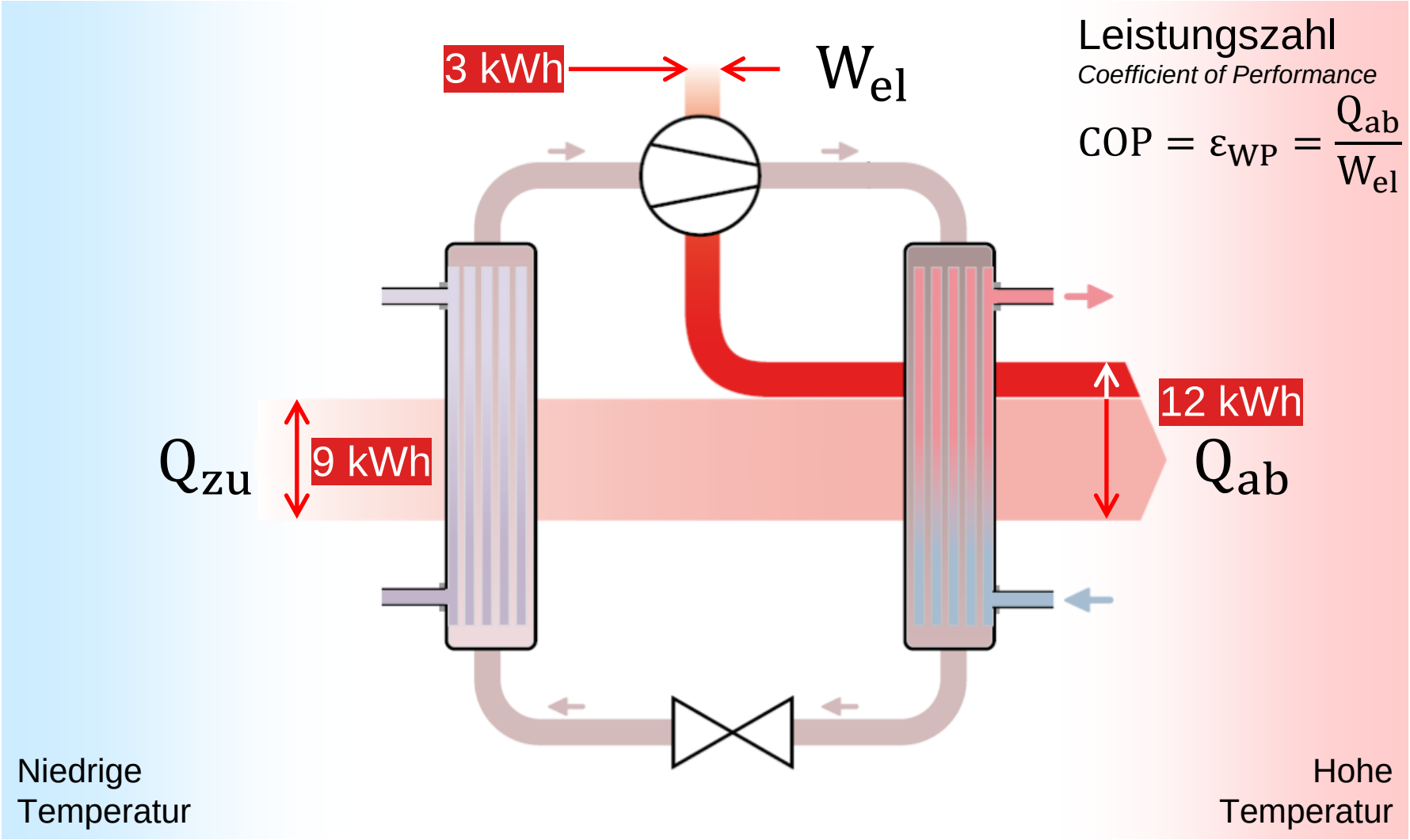
„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“



Eigene Darstellung

Wärmepumpe und Kältemaschine: Schaltbild

„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“



Leistungszahl

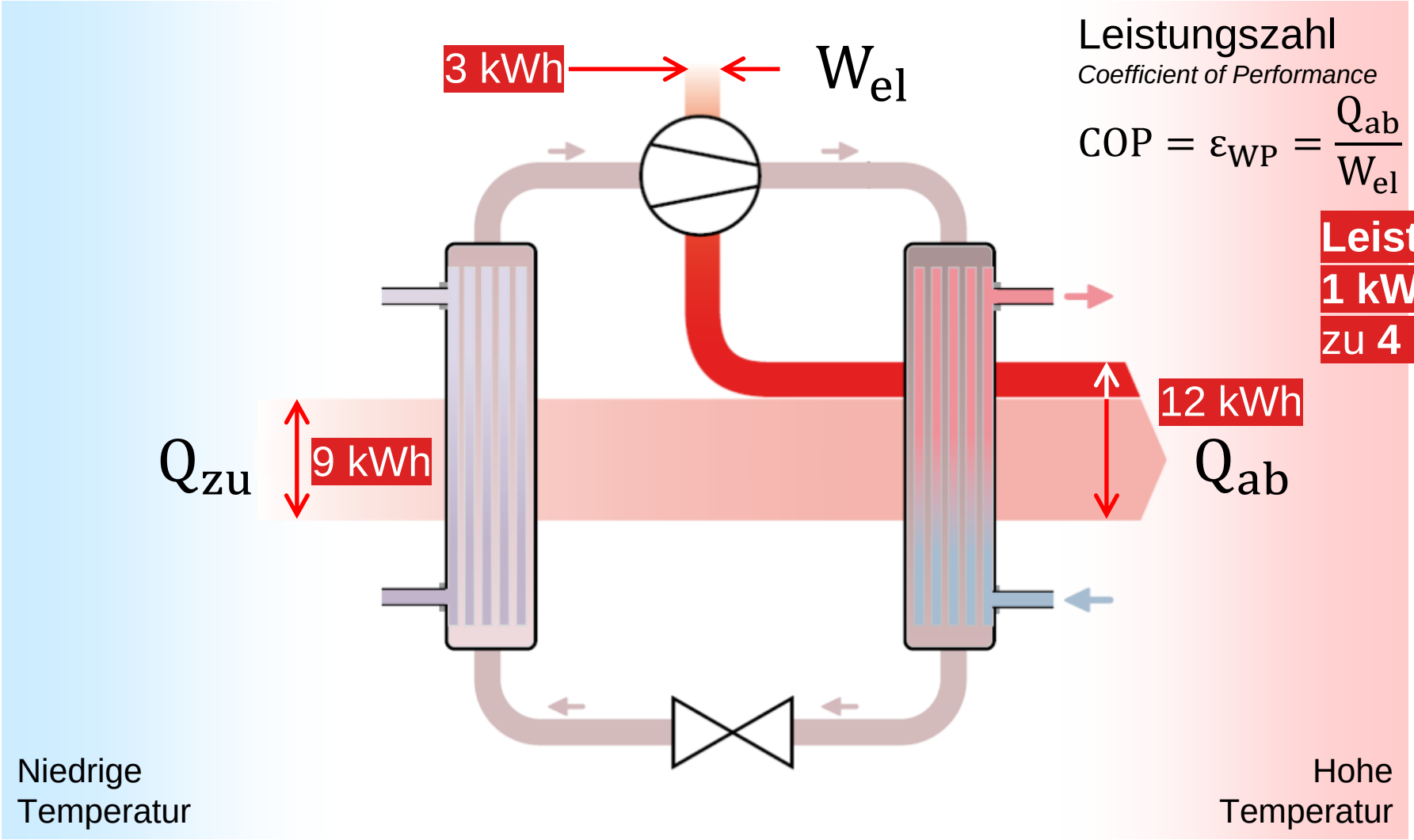
Coefficient of Performance

$$COP = \varepsilon_{WP} = \frac{Q_{ab}}{W_{el}}$$

Eigene Darstellung

Wärmepumpe und Kältemaschine: Schaltbild

„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“



Leistungszahl

Coefficient of Performance

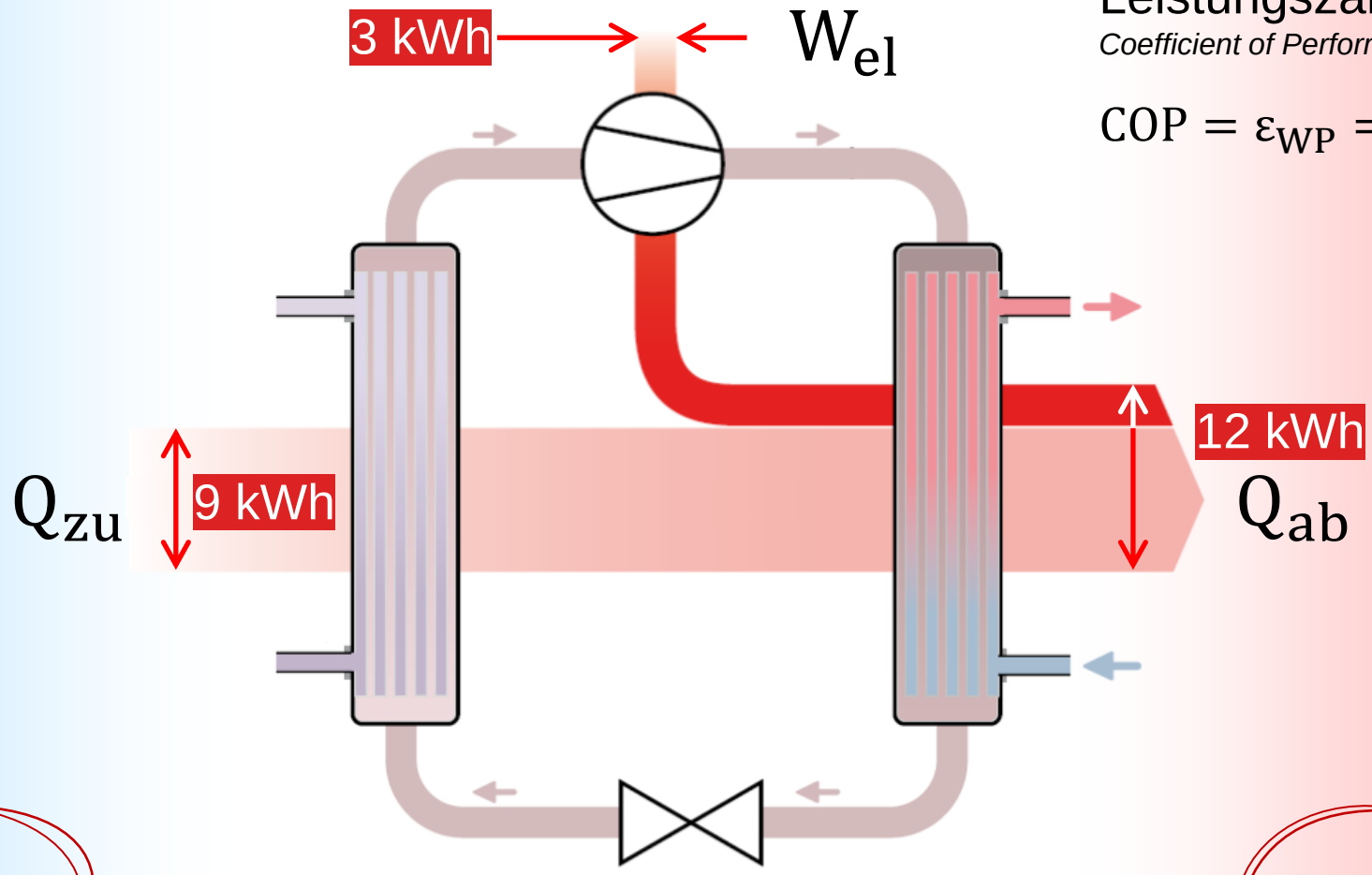
$$COP = \varepsilon_{WP} = \frac{Q_{ab}}{W_{el}} = \frac{12\ kWh}{3\ kWh} = 4$$

Leistungszahl ε=4:
1 kWh Strom
zu **4 kWh Wärme.**

Eigene Darstellung

Wärmepumpe und Kältemaschine: Schaltbild

„Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank“



Leistungszahl

Coefficient of Performance

$$COP = \varepsilon_{WP} = \frac{Q_{ab}}{W_{el}} = \frac{12\ kWh}{3\ kWh} = 4$$

Leistungszahl ε=4:
1 kWh Strom
zu **4 kWh Wärme.**

Niedrige Temperatur

Hohe Temperatur

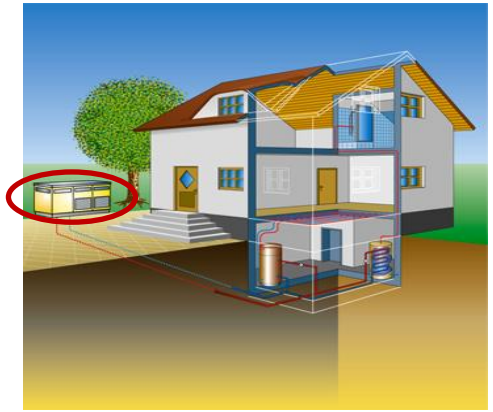
Je **geringer** die **Temperaturdifferenz**,
umso **höher** die **Leistungszahl**,
umso **geringer** der **Stromverbrauch.**

Eigene Darstellung

Wärmepumpe braucht eine Wärmequelle:
Welche **Wärmequellen** gibt es?

Wärmequellen für Wärmepumpen

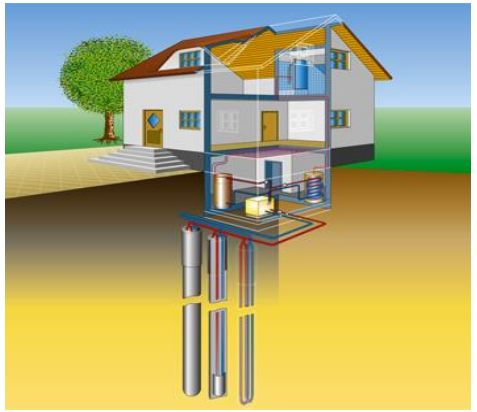
Luft



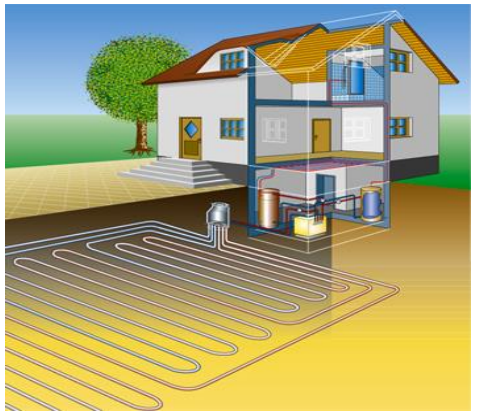
Außenaufstellung

Innenaufstellung

Erde

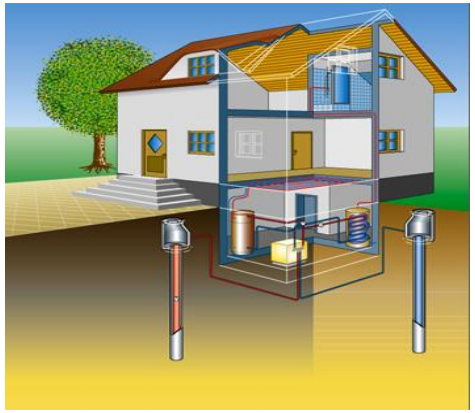


Erdwärmesonden

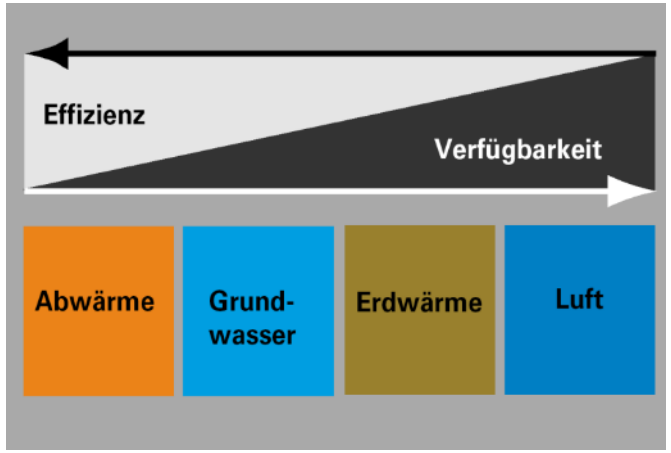


Erdwärmekollektoren

Wasser



Grundwasser

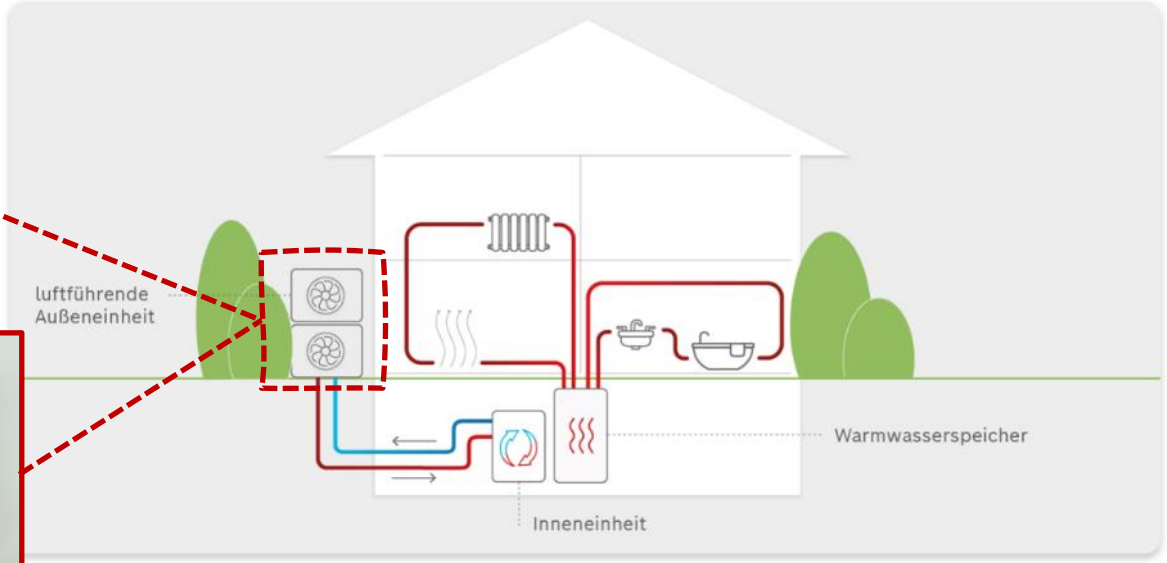


© TUM IfE 45-439-B06

Qualitativer Zusammenhang zwischen Verfügbarkeit der Wärmequelle und Effizienz (mittlere reale Leistungszahl)

Luft als Wärmequelle

Vor- und Nachteile ggü. Erdreich als Wärmequelle (Auwahl)



Schematische Darstellung der Komponenten eines Wärmepumpenheizsystems mit Luft als Wärmequelle

Vorteile:

- Einfache Installation, relativ geringer Investitionsaufwand
- Geringer Flächenbedarf

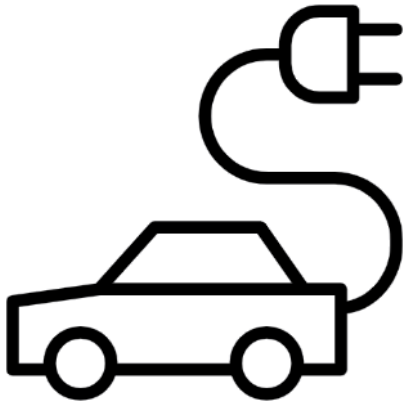
Nachteile:

- Im Winter niedrige Leistungszahl ➔hoher Strombedarf
- Geräusche durch Ventilator
- Sichtbare Komponenten im Außenbereich

Bilder: Weishaupt, Vaillant, Daikin, Bosch

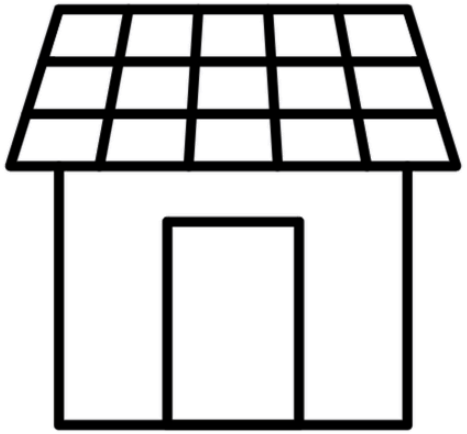
Neubau Einfamilienhaus: Optimaler Einsatz

Photovoltaik + Wärmepumpe + Fußbodenheizung



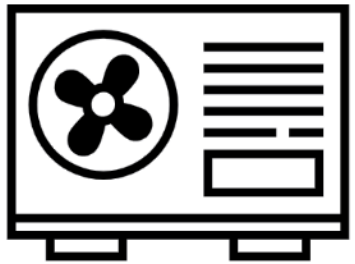
E-Auto

Abnahme Strom bei geringem Heizbedarf



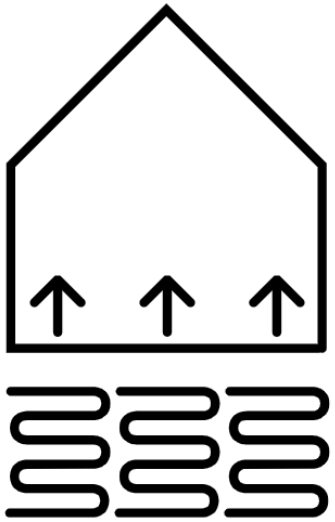
Photovoltaik

Günstiger Strom



Wärmepumpe

Effiziente Umwandlung von Strom in Wärme



Flächenheizung

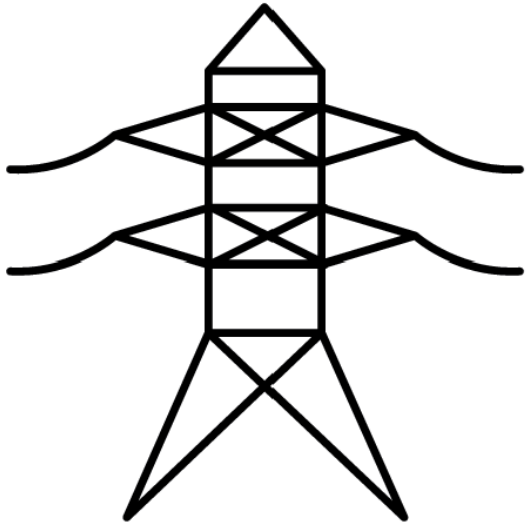
z.B. Fußbodenheizung, niedr. Vorlauftemperatur garantiert hohe Effizienz der Wärmepumpe

Nachteile Wärmepumpe: Wirkungsgrad

Leistungszahl niedrig, hohe Betriebskosten

Schlechte Bedingungen für Wärmepumpe

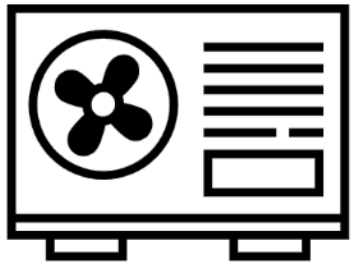
- Hoher Strompreis
- Geringe Leistungszahl wegen ungünstiger Wärmequelle
- Geringe Leistungszahl wegen hoher Vorlauftemperatur des Heizsystems, z.B. Radiator



Teurer Strom aus Netz

Stromkosten deutlich über 0,30 €/kWh über das ganze Jahr machen Wärmepumpe ggf. unwirtschaftlich je nach Kosten der Alternativen.

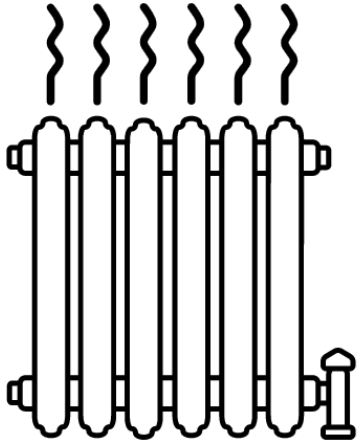
+



Wärmepumpe

Effiziente Umwandlung von Strom in Wärme

+

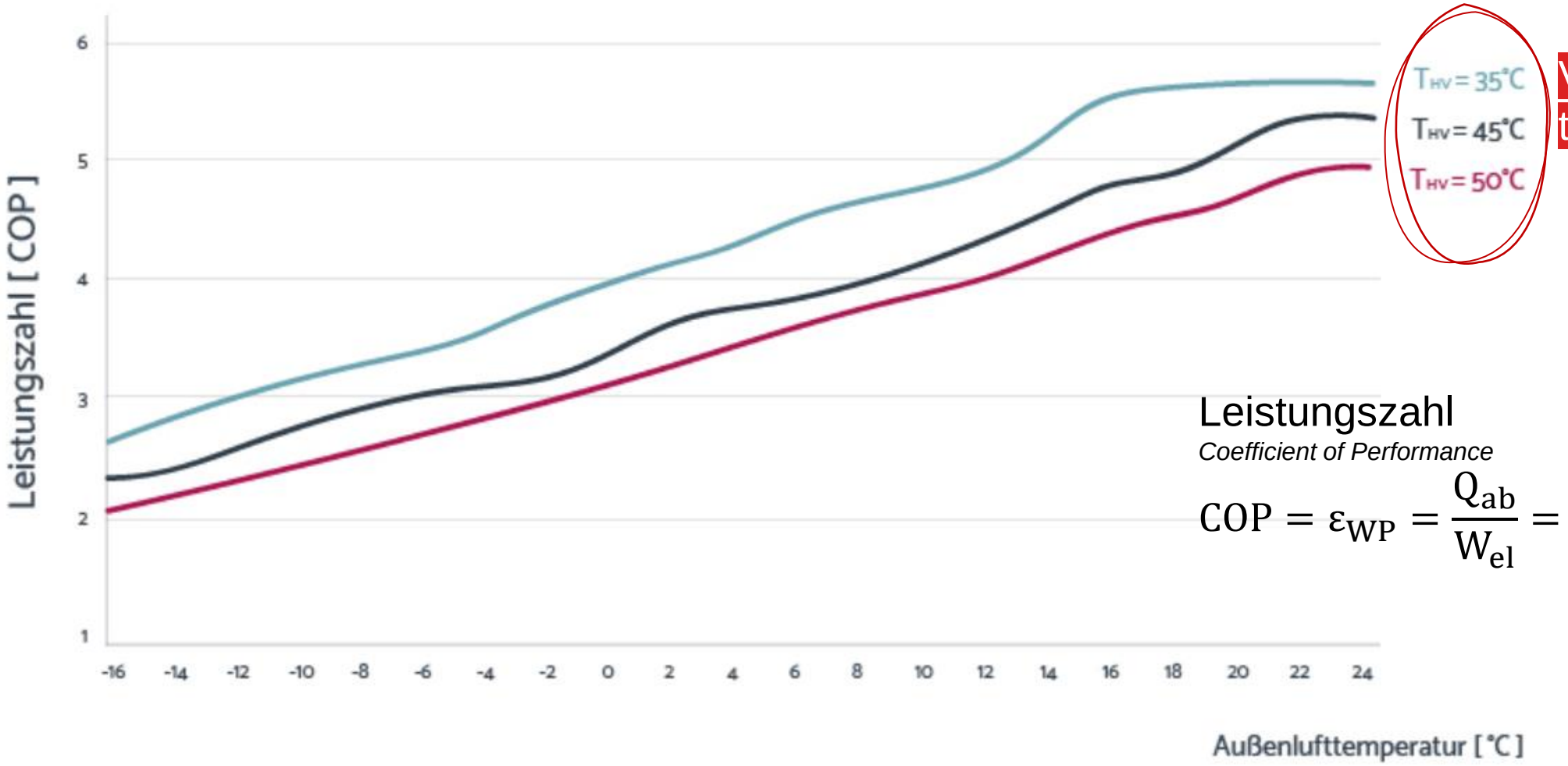


Radiator

Heizung mit hoher Vorlauftemperatur senkt Leistungszahl der Wärmepumpe ➔mehr Stromverbrauch

Außen- und Vorlauftemp. bestimmen Leistungszahl

Luft-Wasser-Wärmepumpe transportiert Wärme von Außenluft zum Heizwasser



Vorlauf-temperatur

Leistungszahl

Coefficient of Performance

$$\mathrm{COP} = \varepsilon_{\mathrm{WP}} = \frac{Q_{\mathrm{ab}}}{W_{\mathrm{el}}} = \frac{\text{Heizwärme}}{\text{Strom}}$$

https://www.dein-heizungsbauer.de/ratgeber/energie-sparen/wirkungsgrad-waermepumpe/

Nachteile Wärmepumpe: Installationsaufwand

Kein Platz vor Außenkomponenten

Flächenkollektor

Grabenkollektor

Erdsonde

Kein Platz

Vorteile von Erdreich als Wärmequelle:

- Ganzjährig relativ konstantes Temperaturniveau ➔hohe Leistungszahl der Wärmepumpe
- Keine sichtbaren Komponenten im Außenbereich
- Schnee bleibt auf Kollektor länger liegen

Nachteile:

- Hoher Platzbedarf, hoher Investitionsaufwand
- Aufwändige Reparatur im Falle von Schäden
- Eingeschränkte Nutzung der Kollektorfläche, z.B. keine Pflanzung von Bäumen nachträglich möglich

Nachteile Wärmepumpe: Keine „Sofortlösung“

Deutschlandfunk

Umbau der Heizungssysteme

Heizungshersteller: Öl und Gas wird weiter eine Rolle spielen

In 15 bis 20 Jahren werde Deutschland vor allem mit Wärmepumpen, Fernwärme und Biomasse heizen, glaubt Frank Voßloh, Deutschland-Geschäftsführer des Heizungsherstellers Viessmann. Bislang seien die Altbestände an Öl- und Gaskesseln aber noch groß.

Armbrüster, Tobias | 30. September 2022, 06:49 Uhr

Hören 09:11 | Audio herunterladen

Frank Vossloh, Deutschland-Chef Viessmann

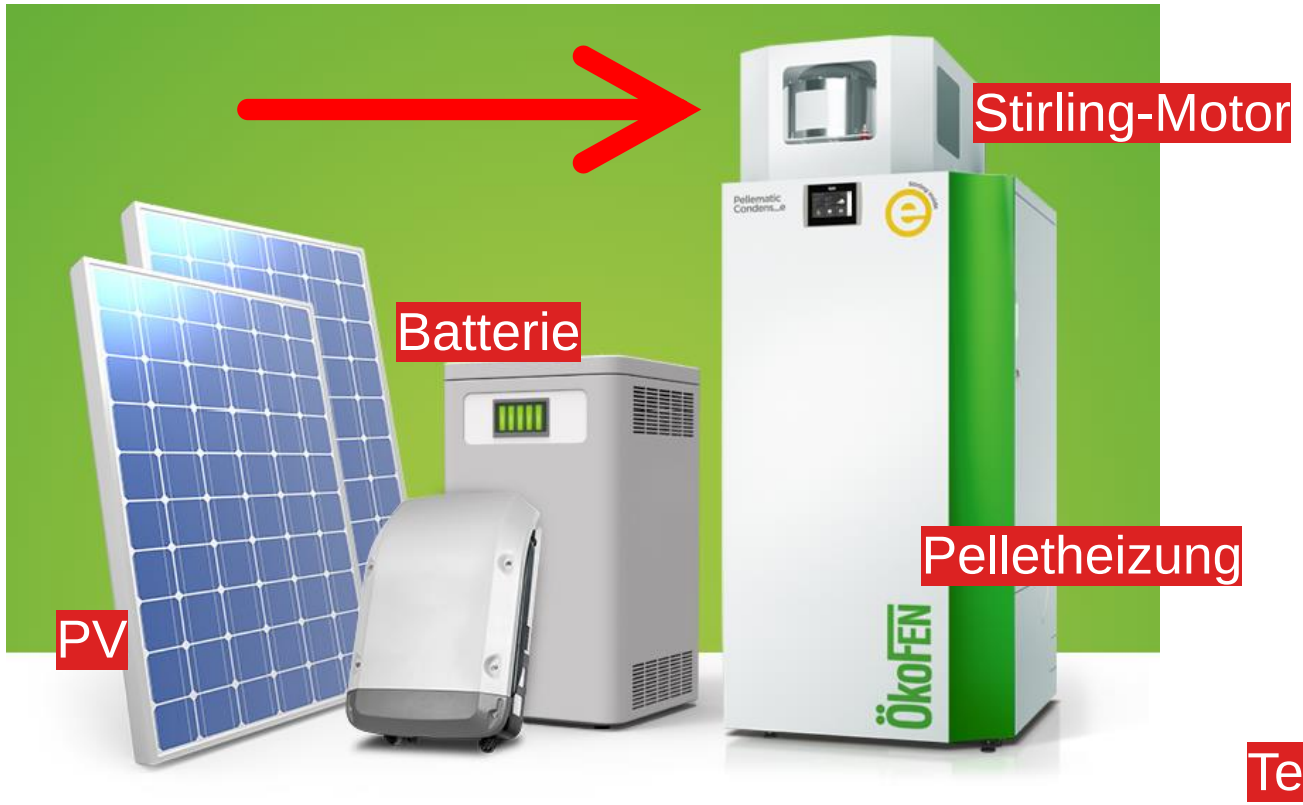
- In Deutschland 13 Mio. Gasheizungen, 5 Mio. mit Öl
- Pro Jahr ca. 1 Mio. neue Anlagen als Ersatz

➔ ≈18 Jahre bis bestehende Anlagen ersetzt sind.

https://www.deutschlandfunk.de/unternehmen-als-krisengewinner-interview-mit-frank-vossloh-viessman-dlf-76c71446-100.html

Welche Alternativen zur Wärmepumpe?

Holzheizung für Wärme und Strom



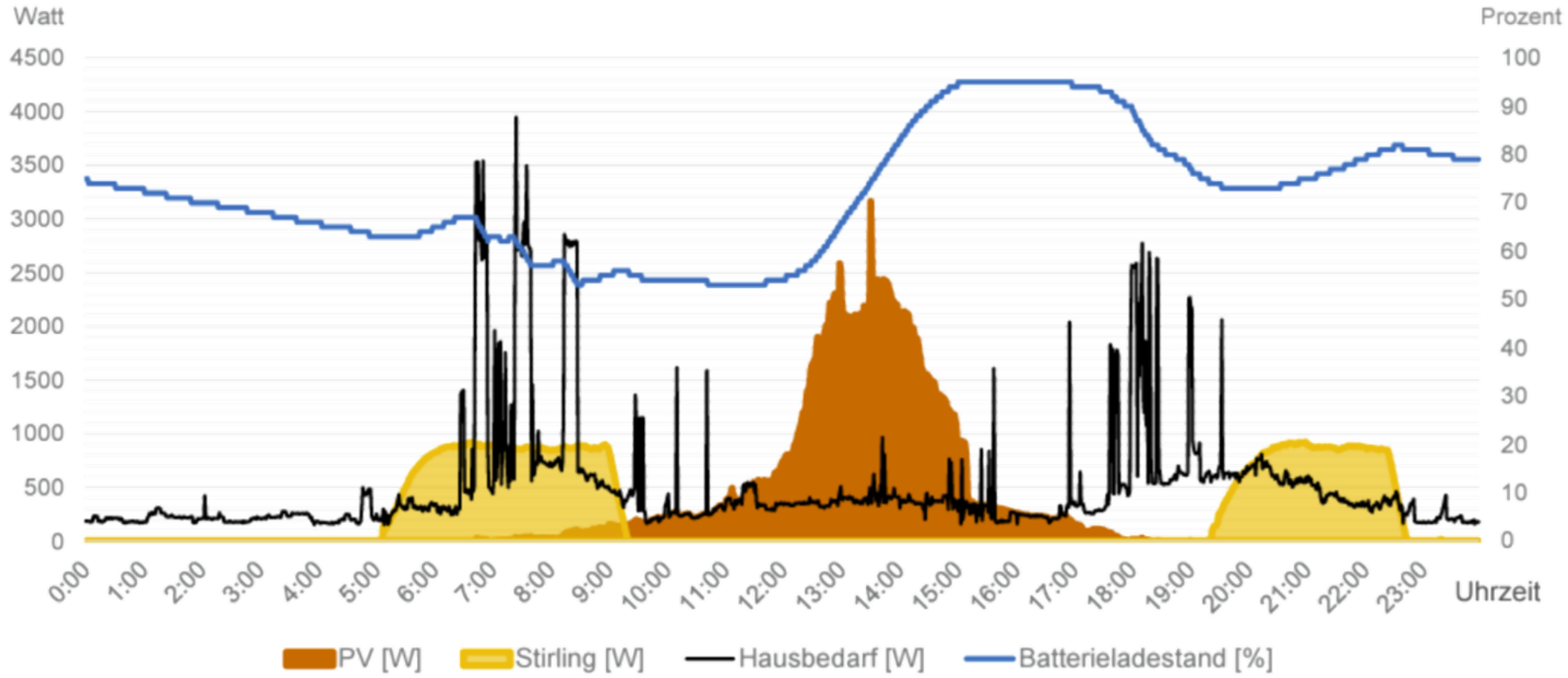
Technische Daten

- **10-16 kW Wärme** von Holzheizung
- **600 W Strom** vom Stirlingmotor
- **100% Autarkie** über das ganze Jahr
- Hersteller aus Österreich
- Gesamtpreis ca. 15.000 EUR ohne Einbau

https://www.oekofen.com/de-de/myenergy365/

Holzheizung für Wärme und Strom: Messung

Messtag: 4. März



Strombedarf

Hausbedarf: 11,6 kWh

Netzbezug: 0 kWh

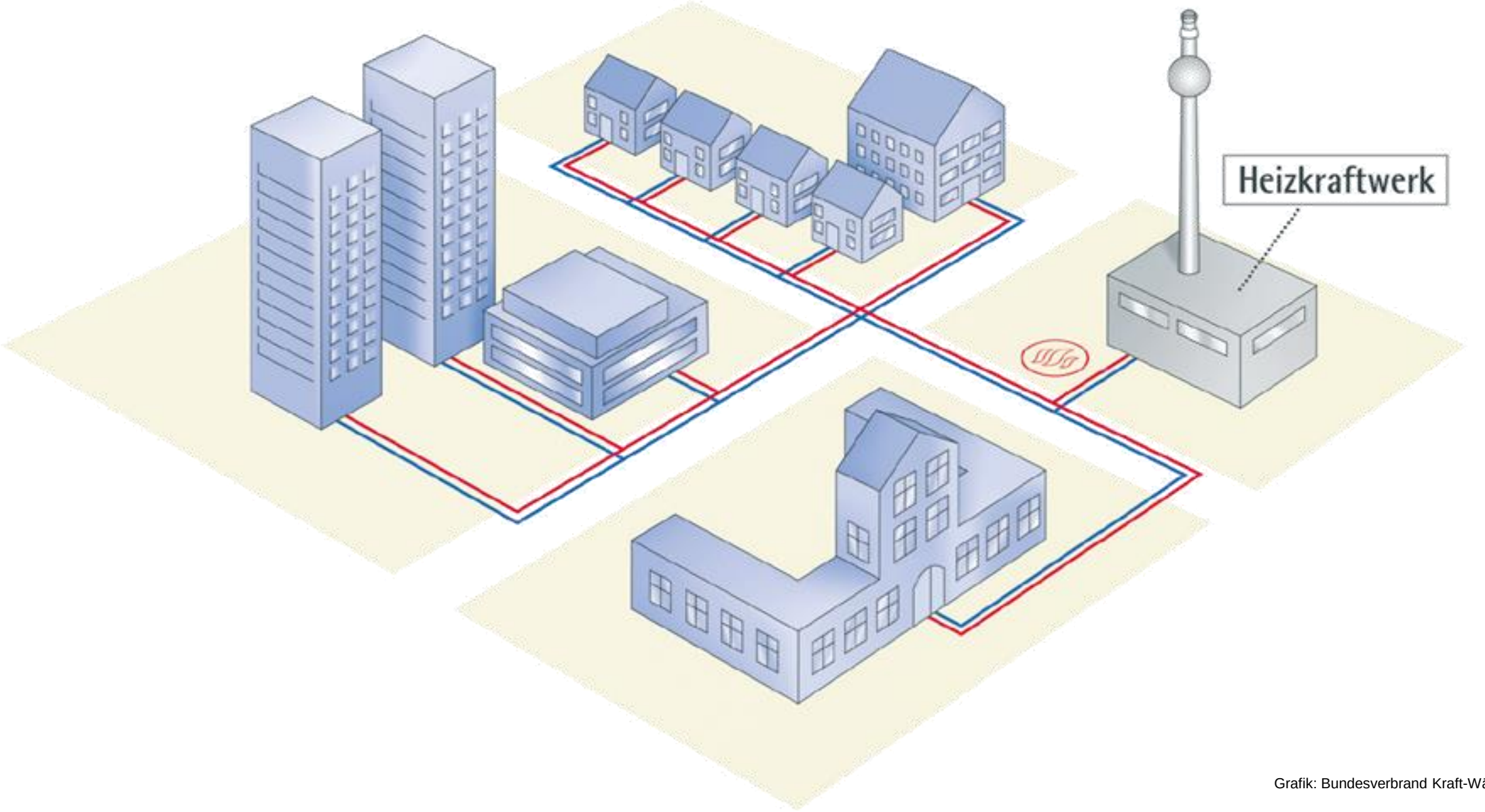
Stromproduktion

Stirling: 5,6 kWh

PV-Anlage: 6,6 kWh

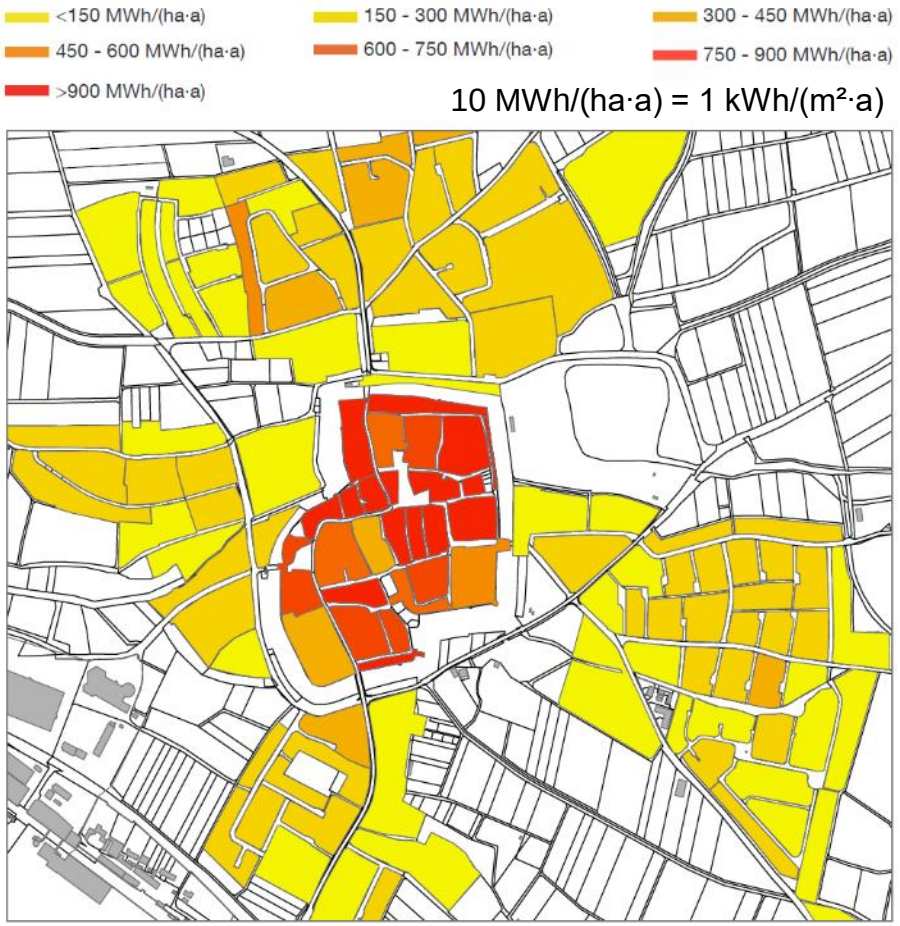
https://www.oekofen.com/de-de/myenergy365/

Schema von Nah- und Fernwärmenetzen



Grafik: Bundesverbrand Kraft-Wärme-Kopplung, 2013

Wärmebedarfsdichte: Ein Kriterium für Ausbau der Fernwärme



10 MWh/(ha·a) = 1 kWh/(m²·a)

Iphofen (Franken)

Fernwärme vorteilhaft:

Hohe Wärmebedarfsdichte (z.B. historische Altstadt, Industriekunde) ➔großer Wärmeabsatz bei kleiner Netzausdehnung

Fernwärme ungünstig:

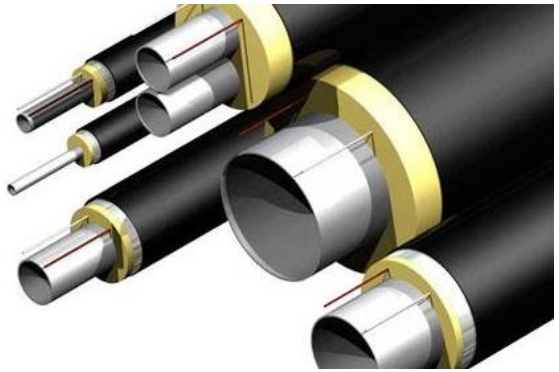
Niedrige Wärmebedarfsdichte (z.B. Einfamilienhaussiedlung in Niedrigenergiebauweise) ➔**geringer Wärmeabsatz** bei **großer Netzausdehnung**

Bilder: Drittenpreis/Schmid/Zadow (TU München), 2012, Leitfaden Energienutzungsplan für Iphofen, Luftbild: Bayernatlas

Vor- und Nachteile von Fernwärme

Auswahl

Infrastruktur für Fernwärme



Grafik, Fotos: Logstor/Stadtwerke München

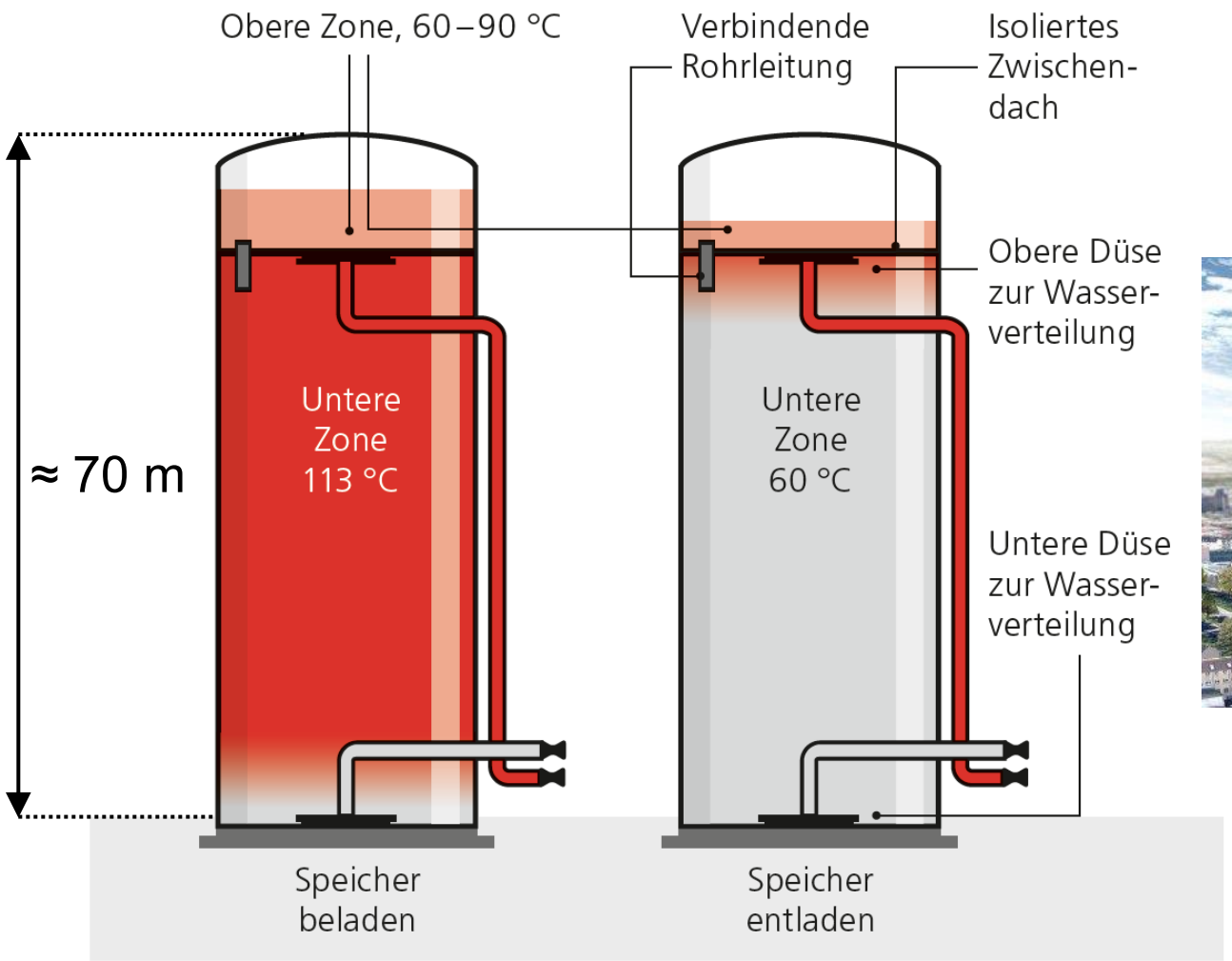
Nachteile:

- Erheblicher Investitionsaufwand für Aufbau von Fernwärmenetzen
- Fernwärmenetz als „Natürliches Monopol“
- Anbieterwechsel problematisch

Vorteile:

- Keine Emissionen und wenig Platzbedarf beim Verbraucher
- Flexibilität bei Energieträgern für Wärmeerzeugung

Wärmespeicher Nürnberg



Volumen:	33.000 m³ Wasser
Kapazität:	1500 MWh_{th}
Leistung Elektroheizer:	2x25 MW_{el}

Bilder und Zahlen: N-Eergie AG, Flyer: Wahrzeichen der Energiewende – Der Wärmespeicher der N-Ergie

Schichtladespeicher mit 6.000 m³:

Beispiel Olympiapark München, Wohngebiet am Ackermannbogen

„Schichtladelanze“

Bilder: Kuckelkorn et al., Solare Wärme am Ackermannbogen (ZAE Bayern)

Schichtladespeicher mit 6.000 m³: Wärme vom Sommer in Winter

Beispiel Olympiapark München, Wohngebiet am Ackermannbogen

Integration in Spielplatz:
Speicher unter Grashügel

Bilder: http://www.bine.info

Wasserstoff als Speicher und zum Heizen?

Autarkes Quartier mit Wasserstoffspeicher

Handelsblatt

ENERGIESPEICHER

Wasserstoff als Klimaretter im Eigenheim? Was Experten sagen

Brennstoffzellen als Energiespeicher in Wohnhäusern gelten als zu ineffizient und zu teuer. Doch Forscher und Start-ups wollen Skeptiker widerlegen.

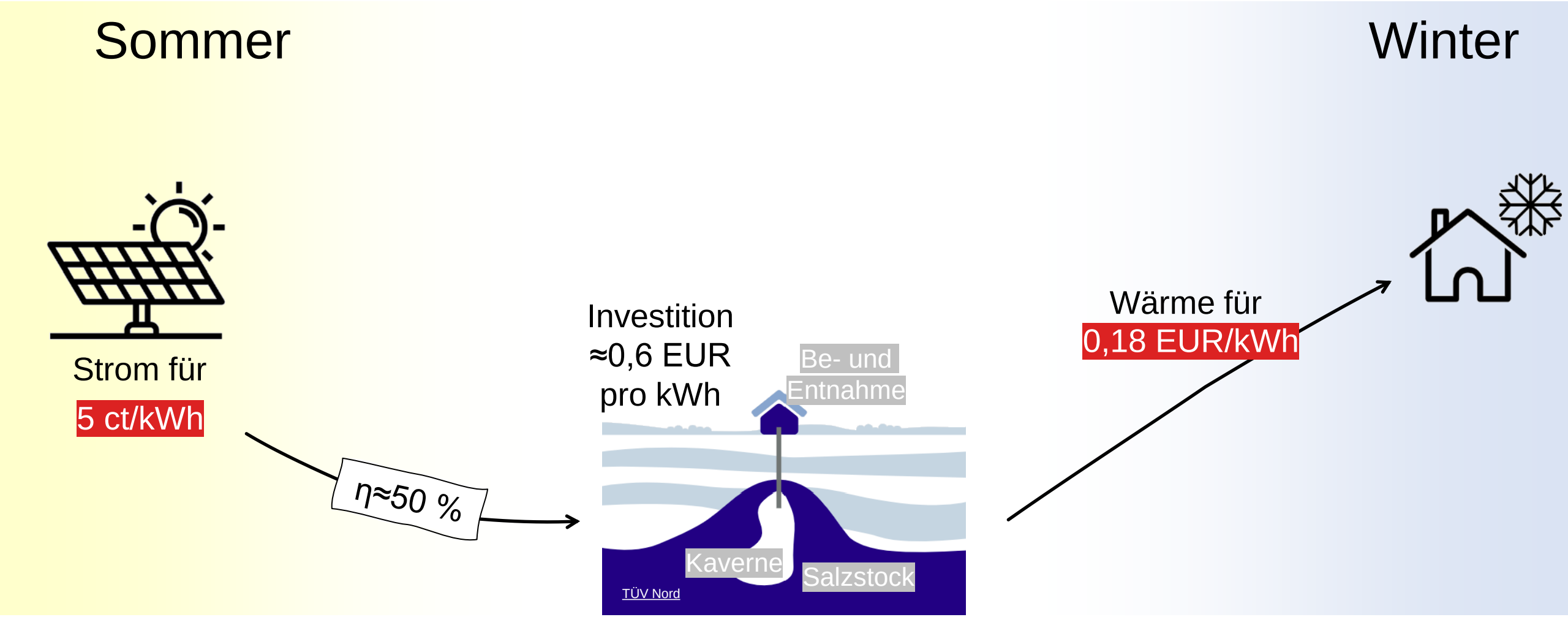
Über 100 Systeme habe das 2014 gegründete Unternehmen schon im Einsatz. Zwischen 70.000 und 100.000 Euro kostet die Installation, der Bund fördert diese mit rund 15.000 Euro. „Wir müssen Energie in der Zeit und im Raum verschieben, wenn wir eine klimaneutrale Versorgung wollen."

https://www.homepowersolutions.de/produkt,
https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/energiespeicher-wasserstoff-als-klimaretter-im-eigenheim-was-experten-sagen/27611218.html

Mit kommunalem Wasserstoff …

Solarenergie in den Winter holen?

Saisonale Speicherung: Wasserstoff in Kavernen

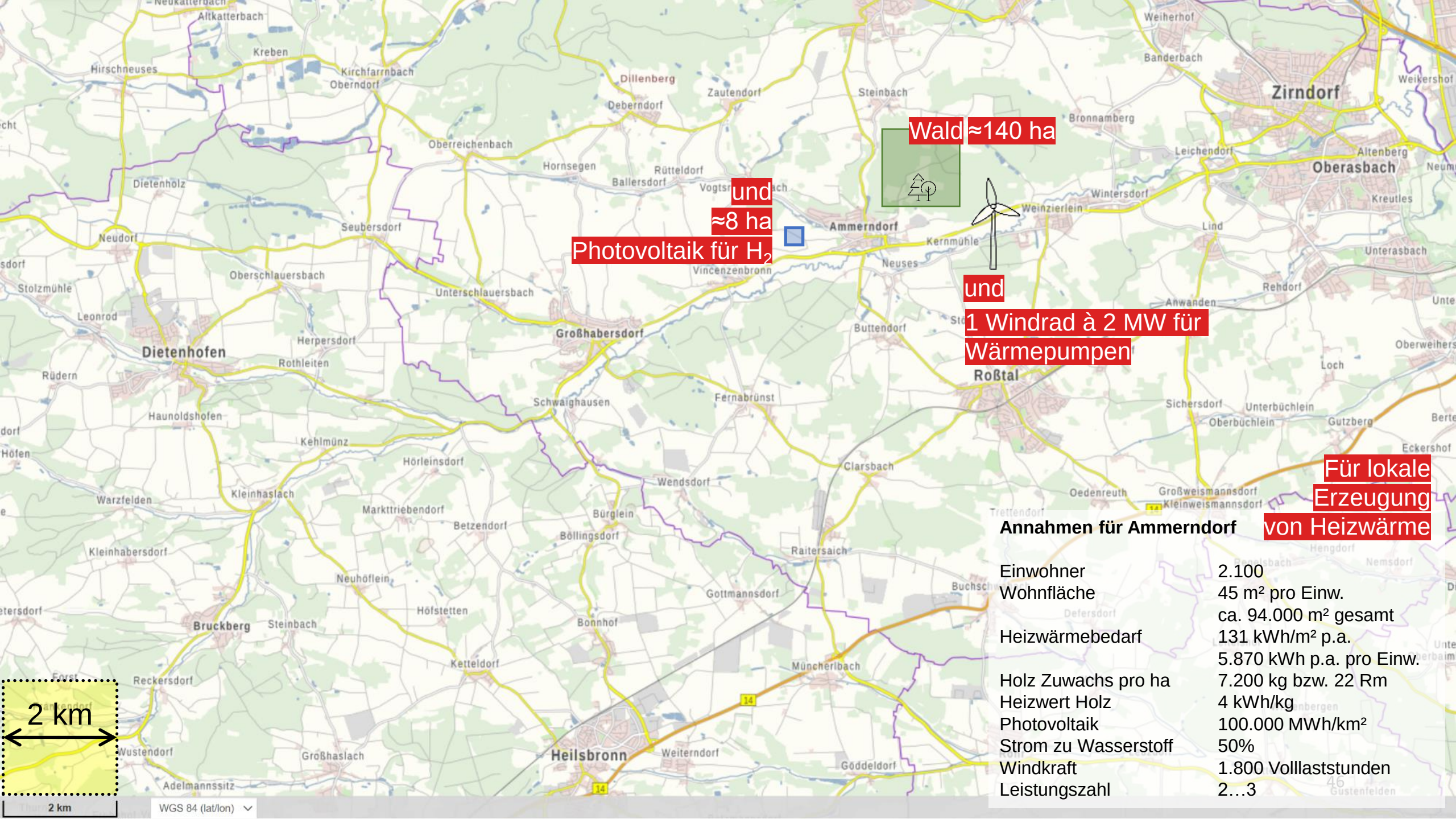


100 EUR/kWh: Kosten Lithium-Ionen-Akkus 2020 pro kWh: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/
0,60 EUR/kWh: Kosten für unterirdische Wasserstoffspeicher, vgl. S. 26 in Prognos (2020): Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger
1,5 USD/kg für Herstellung H2 <0,05 EUR/kWh, v.a. Abschreibung Elektrolyseur, https://nelhydrogen.com/press-release/nel-cmd-2021-launches-1-5-usd-kg-target-for-green-renewable-hydrogen-to-outcompete-fossil-alternatives

Beispiel:

*Regionale Erzeugung von Heizwärme für **Ammerndorf***

- ***1/3 Wind** für Wärmepumpen*
- ***1/3 Wasserstoff** aus Photovoltaik*
- ***1/3 Wald für Holz** aus nachhaltiger Forstwirtschaft*



Annahmen für Ammerndorf

Einwohner	2.100
Wohnfläche	45 m² pro Einw.
	ca. 94.000 m² gesamt
Heizwärmebedarf	131 kWh/m² p.a.
	5.870 kWh p.a. pro Einw.
Holz Zuwachs pro ha	7.200 kg bzw. 22 Rm
Heizwert Holz	4 kWh/kg
Photovoltaik	100.000 MWh/km²
Strom zu Wasserstoff	50%
Windkraft	1.800 Volllaststunden
Leistungszahl	2…3

Fazit:

Regionale Erzeugung von Heizwärme für ***Ammerndorf***

- ***1/3 Wind*** *für Wärmepumpen*
- ***1/3 Wasserstoff*** *aus Photovoltaik*
- ***1/3 Wald für Holz*** *aus nachhaltiger Forstwirtschaft*

Hinsichtlich der Fläche ***absolut machbar.***

Beispiel:

*Regionale Erzeugung von Heizwärme für **Nürnberg, Fürth, Erlangen***

- ***1/3 Wind** für Wärmepumpen*
- ***1/3 Wasserstoff** aus Photovoltaik*
- ***1/3 Wald für Holz** aus nachhaltiger Forstwirtschaft*

Annahmen für Nürnberg, Fürth, Erlangen

Einwohner	750.000
Wohnfläche	45 m² pro Einw.
	ca. 34 Mio. m² gesamt
Heizwärmebedarf	131 kWh/m² p.a.
	5.870 kWh p.a. pro Einw.
Holz Zuwachs pro ha	7.200 kg bzw. 22 Rm
Heizwert Holz	4 kWh/kg
Photovoltaik	100.000 MWh/km²
Strom zu Wasserstoff	50%
Windkraft	1.800 Volllaststunden
Leistungszahl	2…3

Für lokale Erzeugung von Heizwärme

70 … 100 Windräder à 4 MW für Wärmepumpen

und

≈5,5 km

≈30 km²

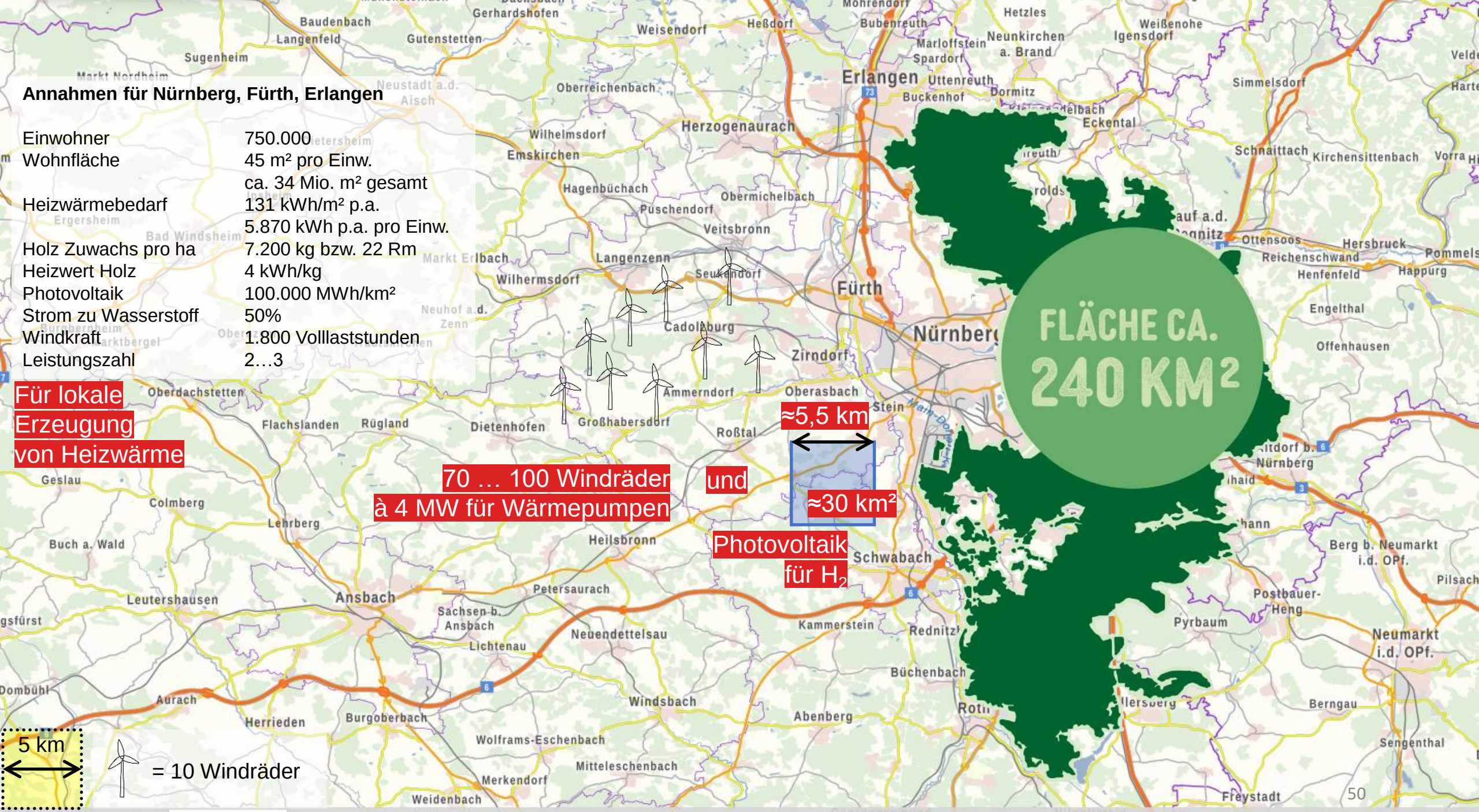
Photovoltaik für H_2

Wald 23 km

≈500 km²

5 km

= 10 Windräder


Annahmen für Nürnberg, Fürth, Erlangen
Einwohner 750.000
Wohnfläche 45 m² pro Einw.
ca. 34 Mio. m² gesamt
Heizwärmebedarf 131 kWh/m² p.a.
5.870 kWh p.a. pro Einw.
Holz Zuwachs pro ha 7.200 kg bzw. 22 Rm
Heizwert Holz 4 kWh/kg
Photovoltaik 100.000 MWh/km²
Strom zu Wasserstoff 50%
Windkraft 1.800 Volllaststunden
Leistungszahl 2…3
Für lokale Erzeugung von Heizwärme
70 … 100 Windräder à 4 MW für Wärmepumpen
und
≈5,5 km
≈30 km²
Photovoltaik für H_2
FLÄCHE CA. 240 KM²
5 km
= 10 Windräder
Erlangen
Fürth
Nürnberg
Herzogenaurach
Ansbach
Schwabach
Neumarkt i.d. OPf.
WGS 84 (lat/lon)

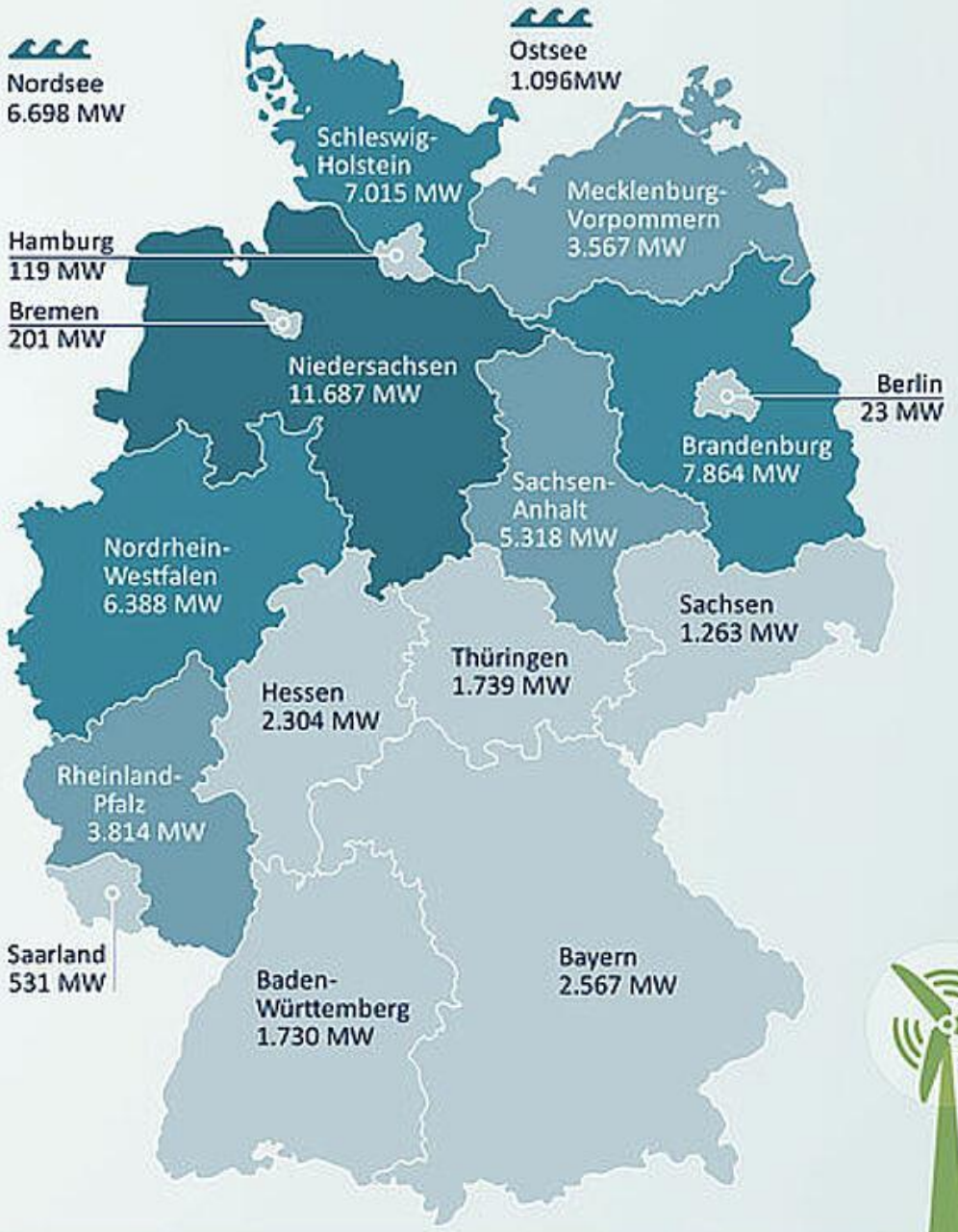
Beispiel:

Regionale Erzeugung von Heizwärme für ***Nürnberg, Fürth, Erlangen***

- ***1/3 Wind*** *für Wärmepumpen*
- ***1/3 Wasserstoff*** *aus Photovoltaik*
- ***1/3 Wald für Holz*** *aus nachhaltiger Forstwirtschaft*

Wird eng!

INSTALLIERTE LEISTUNG



ZAHLEN & FAKTEN

63.924 **Megawatt [MW]**
Gesamtleistung installiert
56.130 MW an Land
7.794 MW auf See

29.731 **Anlagen [kumuliert]**
28.230 an Land
1.501 auf See

1.716 **Megawatt [MW]**
2021 neu installiert [netto]
1.692 MW an Land
24 MW auf See

5,78 **Milliarden Euro**
2,95 Mrd. € Investitionen
2,83 Mrd. € Umsatz & Betrieb

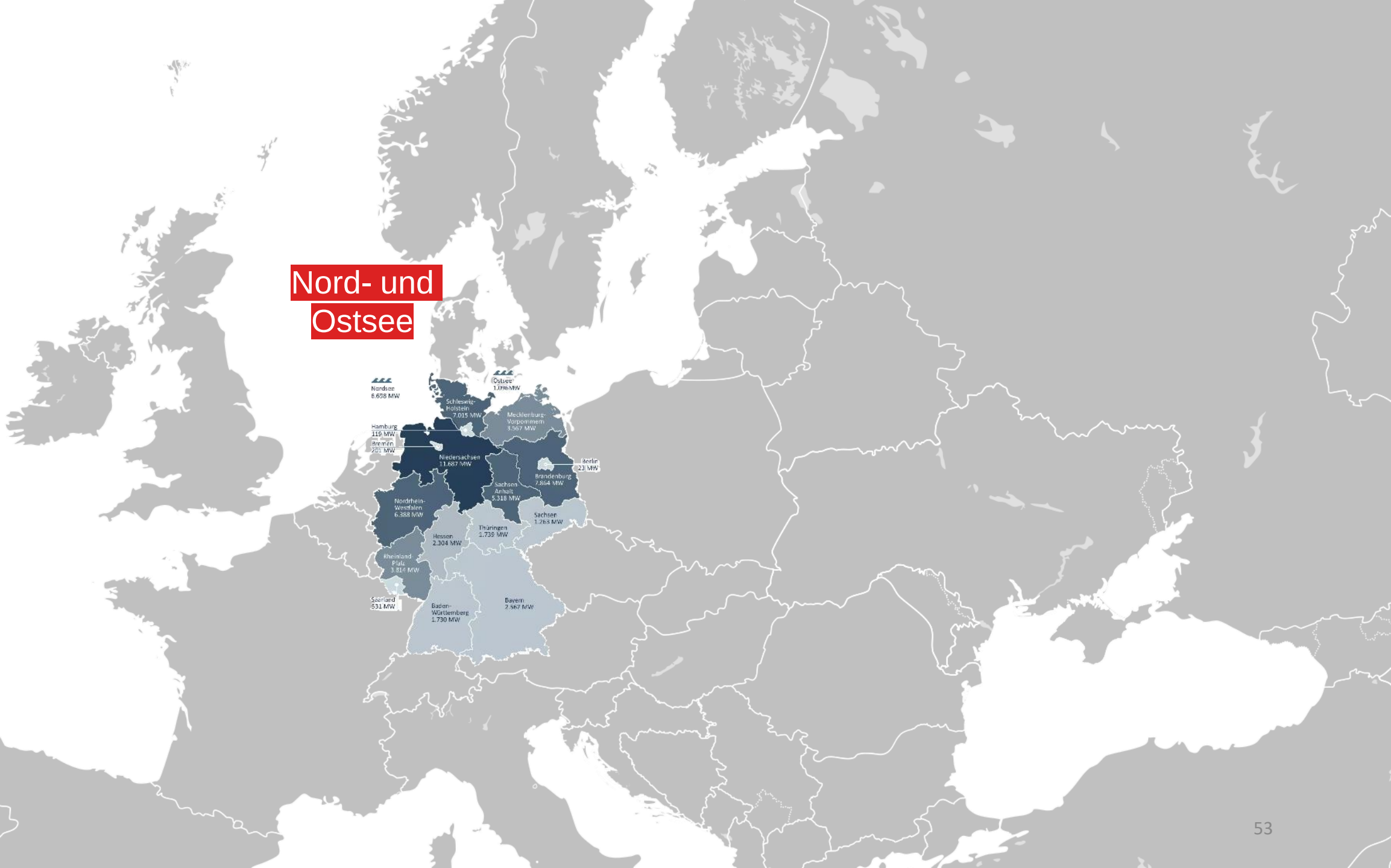
122 **Terawattstunden [TWh]**
96 TWh an Land
26 TWh auf See

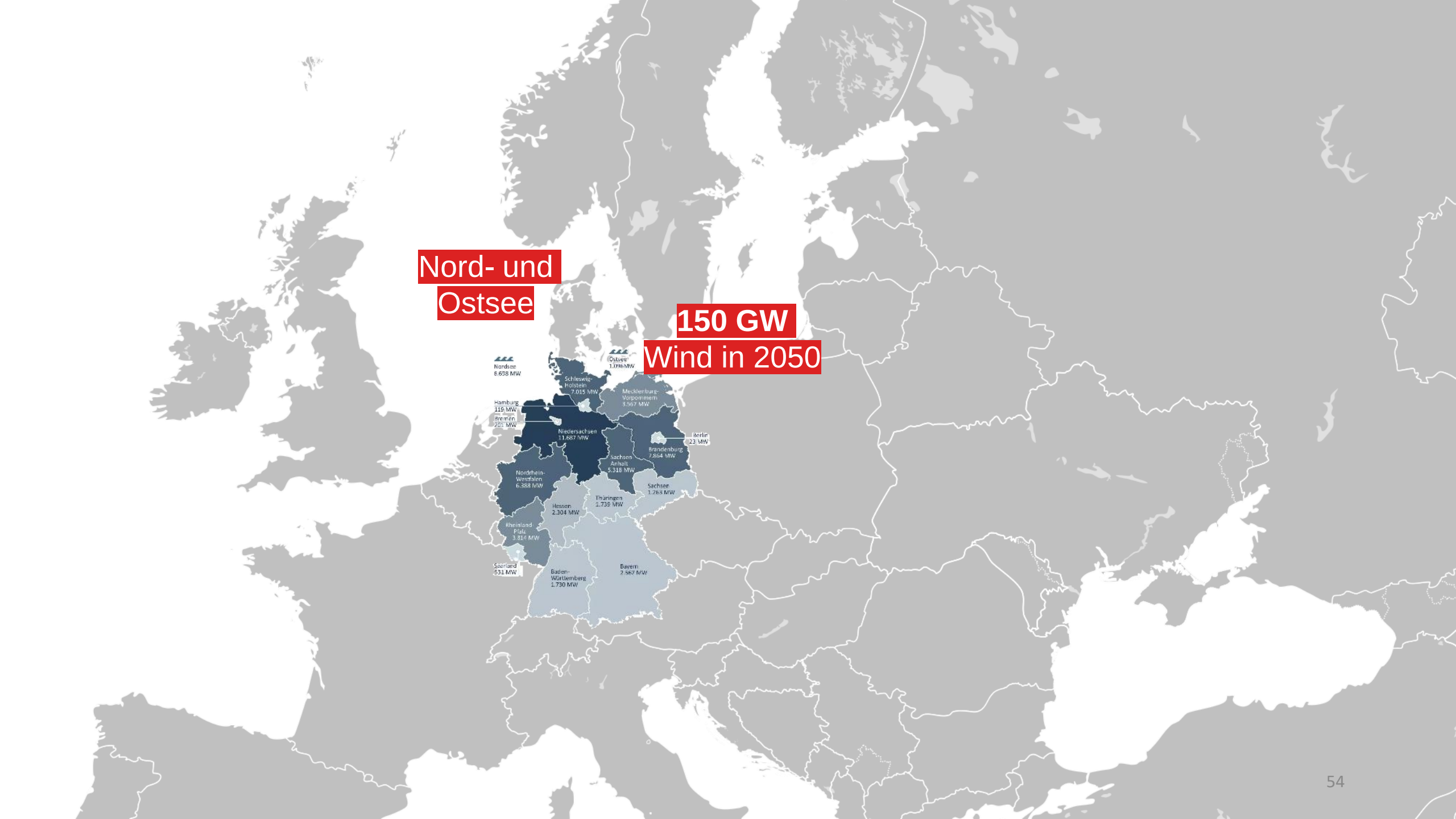
23 **Prozent**
Anteil an der deutschen Stromproduktion [Netto]

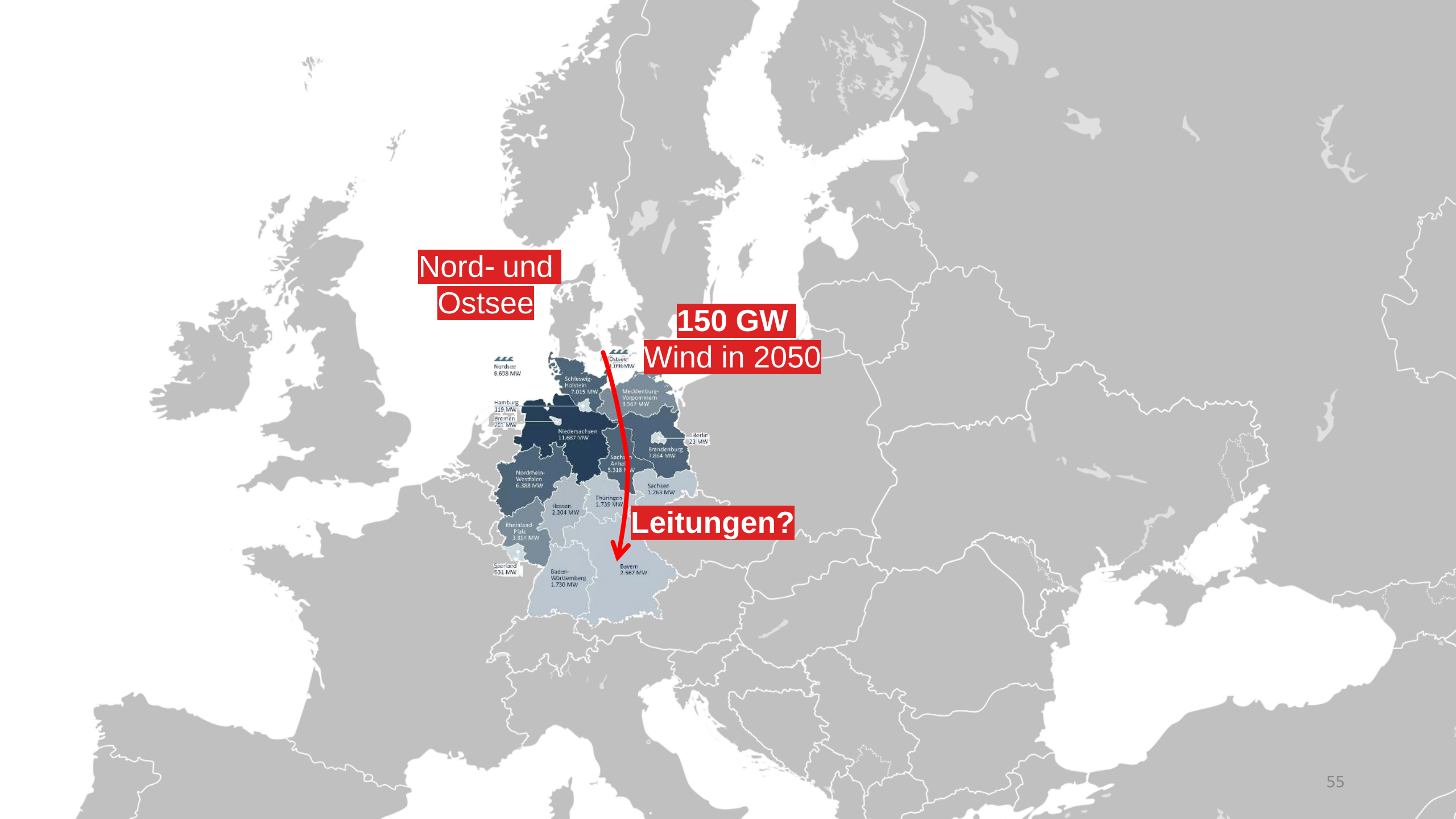
Durchschnittliche Anlage 2021
Leistung 3.978 kW
Gesamthöhe 206 m
Rotordurchmesser 133 m

Terawattstunde TWh
= 1.000 GWh
= 1 Mio. MWh
= 1 Mrd. kWh

Nord- und Ostsee

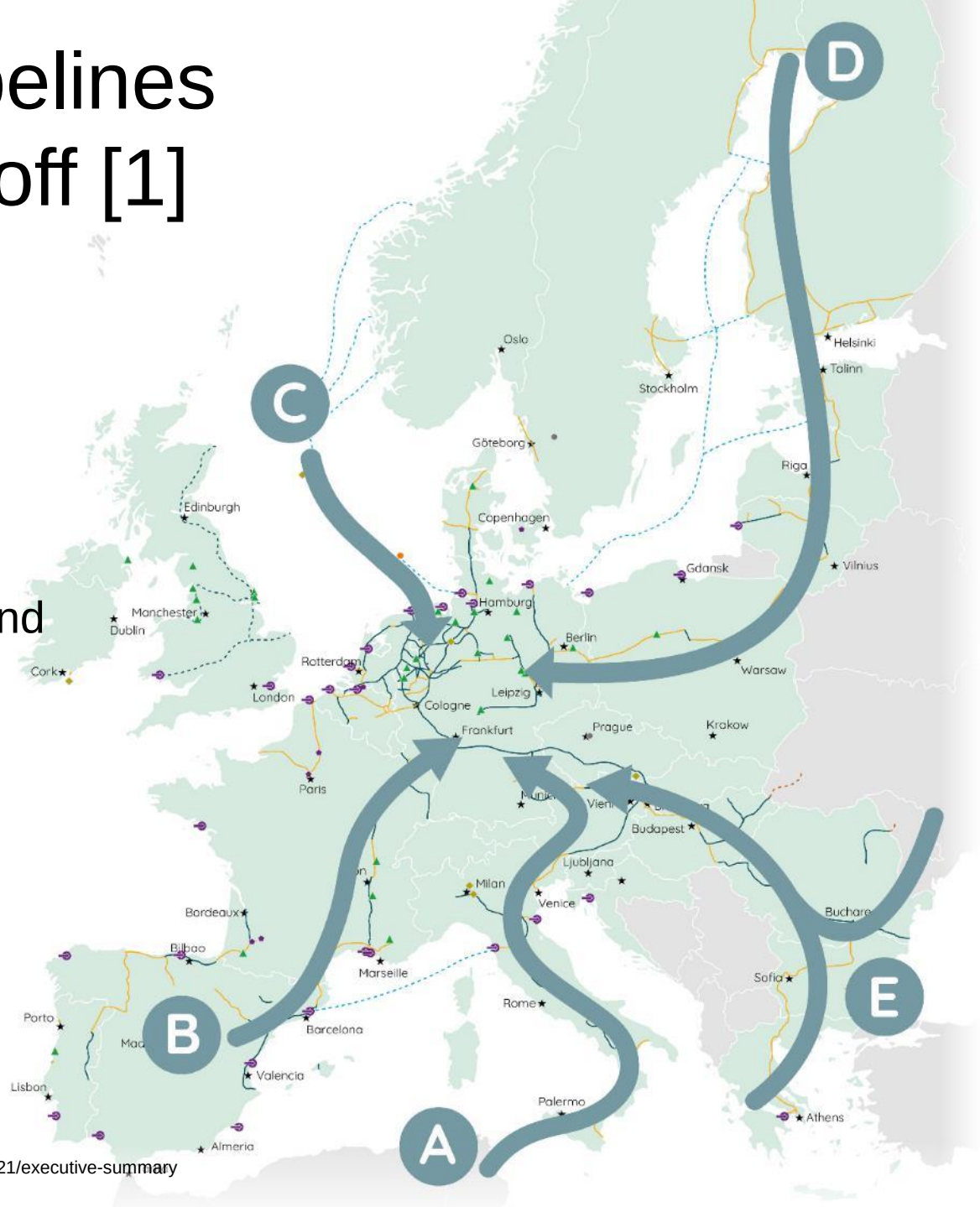



Nord- und Ostsee
150 GW
Wind in 2050
Nordsee 6.658 MW
Ostsee 1.096 MW
Schleswig-Holstein 7.015 MW
Mecklenburg-Vorpommern 3.567 MW
Hamburg 119 MW
Bremen 285 MW
Niedersachsen 11.687 MW
Berlin 23 MW
Brandenburg 7.864 MW
Sachsen-Anhalt 5.318 MW
Nordrhein-Westfalen 6.388 MW
Sachsen 1.263 MW
Thüringen 1.739 MW
Hessen 2.304 MW
Rheinland-Pfalz 3.814 MW
Saarland 531 MW
Baden-Württemberg 1.730 MW
Bayern 2.567 MW


Nord- und
Ostsee
150 GW
Wind in 2050
Leitungen?
Nordsee
6.658 MW
Ostsee
Schleswig-
Holstein
7.015 MW
Mecklenburg-
Vorpommern
3.567 MW
Hamburg
119 MW
Bremen
Niedersachsen
11.687 MW
Berlin
23 MW
Brandenburg
7.864 MW
Nordrhein-
Westfalen
6.388 MW
Sachsen
1.263 MW
Thüringen
1.739 MW
Hessen
2.304 MW
Rheinland-
Pfalz
3.814 MW
Saarland
531 MW
Baden-
Württemberg
1.730 MW
Bayern
2.567 MW

Geplante Pipelines für Wasserstoff [1]

Produktionskosten von grünem Wasserstoff im benachbarten Ausland unter 0,07 EUR/kWh in 2030 [2]



A: Nordafrika und Südeuropa
B: Südwesteuropa und Nordafrika
C: Nordsee
D: Skandinavien und Baltikum
E: Ost- und Südosteuropa

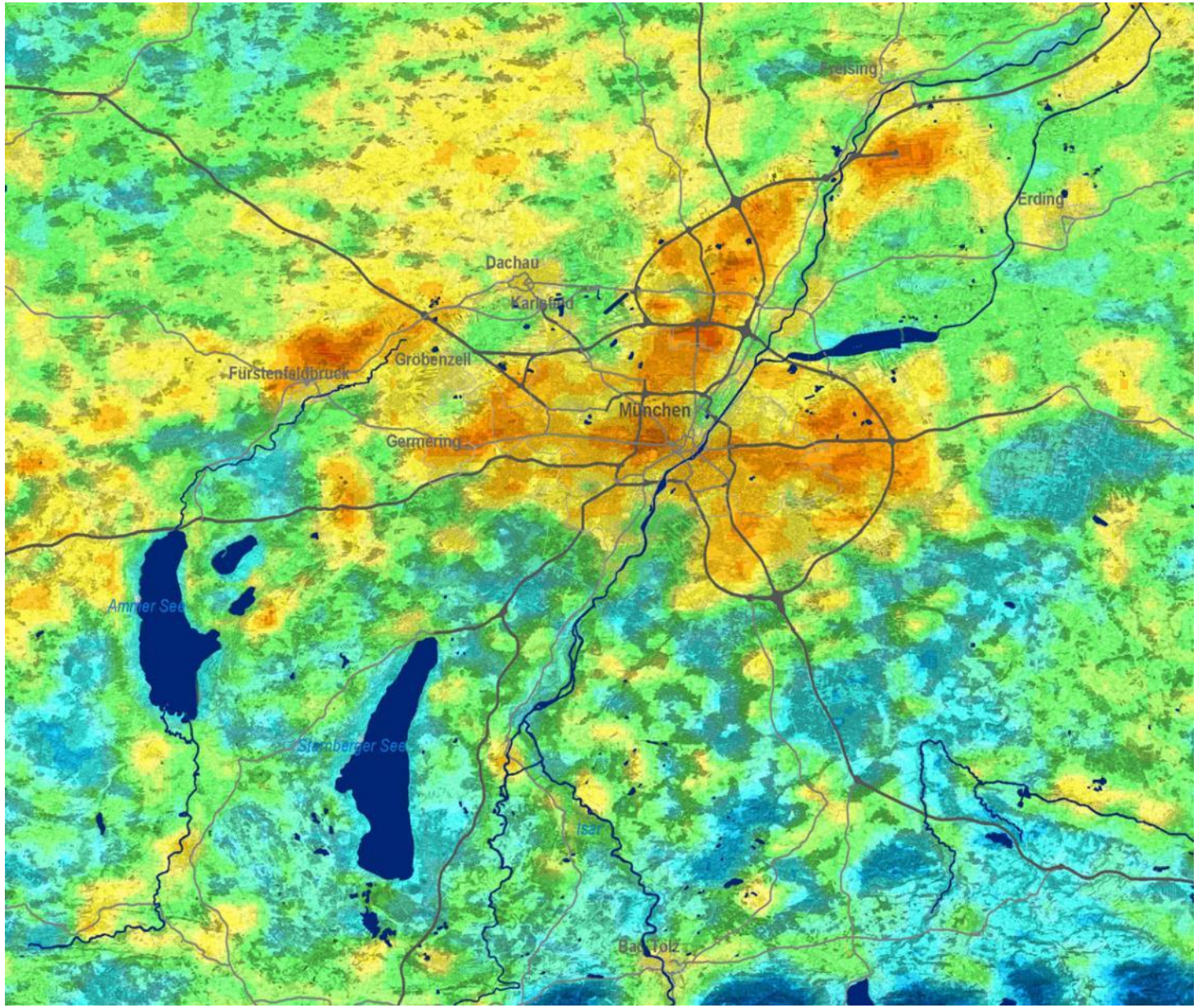
[1] European Hydrogen Backbone https://ehb.eu/
[2] https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021/executive-summary

Vermeidung von Energiebedarf für Kühlung

Hitzeinsel München

Relevanz für:

- Ermittlung **Klimatisierungs-bedarf**
- Einfluss von **Grünflächen** auf **Stadtklima**
- Wärmeeintrag durch **Abwärme**



25. Juni 2006
14:06 Uhr

Blau	≈20 °C
Rot	<50 °C

Quelle: DLR, 2016, Hitzeinsel München;
www.dlr.de/caf/desktopdefault.aspx/tabid-5565/9079_read-19779/

Typisches Straßenbild einer deutschen Innenstadt

Bild: BMW Group

Vision von BMW für Straße der Zukunft

Bild: BMW Group

Einflüsse auf Energiebilanz für einen Stadtteil

Bild: BMW Group

- Reduzierter Wärmeeintrag durch effiziente Elektromobilität

- Mehr Grünflächen
  - Höhere Verdunstung
  - Höhere Verschattung

  ➔Reduktion Klimatisierungsbedarf

Nicht im Bild:

- Höherer Reflexionsgrad der Hausdächer (z.B. durch Photovoltaik)

- Reduktion der Stromzufuhr durch Photovoltaikdächer

- Wasserführung und -speicherung usw.

Grüne Dächer und Fassaden

Beispiel für Vermeidung von Energiebedarf für Kühlung

Dachgarten in New York City

Foto: Annie Schlechter

Welche Zwecke haben Dachgärten?

- Kühlere Dachfläche durch Verdunstung, Verschattung und thermische Trägheit
- Zurückhaltung von Regenwasser im Erdreich auf dem Dach ➔Vermeidung Überlastung der Kanalisation bei Starkregen
- Erhöhte Biodiversität
- z.T. Reduktion von Feinstaub
- Naherholung
- Wertsteigerung der Immobilie
- …

Abschätzung der Kühlleistung eines Baumes

durch Verdunstung von Wasser

Baumart	Verdunstung $\dot{V}_W$[1]	Kühlleistung $\dot{Q}_{Kühl}$ durch Verdunstung (Rechnung siehe unten)
Fichte	≈10 Liter/Tag	≈0,6 kW
Buche	≈30 Liter/Tag	≈1,7 kW
Eiche	**≈40 Liter/Tag**	**≈2,3 kW**
Birke	>100 Liter/Tag (an heißen Tagen)	≈5,8 kW

nach Prof. Rupert Wimmer, Holzwissenschaftler
der Universität für Bodenkultur, Wien

Eiche

$\dot{Q}_{Kühl} \approx 2{,}3\ \mathrm{kW}$

LG Klimaanlage P09EN

$\dot{Q}_{Kühl,max} = 2{,}5\ \mathrm{kW}$

1: Wimmer (2006): 100 Liter am Tag - Der Wassertransport im Baum, Link: http://www.proholz.at/zuschnitt/22/100-liter-am-tag/; Bilder: Eggert Baumschulen; LG Electronics

Abschätzung der Kühlleistung eines Baumes

durch Verdunstung von Wasser

Baumart	Verdunstung V_W[1]	Kühlleistung $\dot{Q}_{Kühl}$ durch Verdunstung (Rechnung siehe unten)
Fichte	≈10 Liter/Tag	≈0,6 kW
Buche	≈30 Liter/Tag	≈1,7 kW
Eiche	**≈40 Liter/Tag**	**≈2,3 kW**
Birke	>100 Liter/Tag (an heißen Tagen)	≈5,8 kW

nach Prof. Rupert Wimmer, Holzwissenschaftler
der Universität für Bodenkultur, Wien

Masse des verdunsteten Wassers m_W, Dichte ρ_W für flüssiges Wasser, Verdampfungsenthalpie Δh_V

$$\dot{Q}_{Kühl} = \frac{Q_{Kühl}}{\tau} = \frac{m_W \cdot \Delta h_V}{\tau} = \frac{V_W \cdot \rho_W \cdot \Delta h_V}{\tau}$$

Rechnung für eine Eiche - für alle Bäume wurde angenommen, dass das Wasser tagsüber innerhalb von $\tau = 12\ \mathrm{h}$ verdunstet.

$$\dot{Q}_{Kühl} = \frac{V_W \cdot \rho_W \cdot \Delta h_V}{\tau} = \frac{40\ \mathrm{Liter} \cdot 1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{Liter}} \cdot 2500\ \mathrm{kJ/kg}}{12\ \mathrm{h} \cdot 3600\ \mathrm{s/h}} \approx 2{,}3\ \mathrm{kW}$$

1: Wimmer (2006): 100 Liter am Tag - Der Wassertransport im Baum, Link: http://www.proholz.at/zuschnitt/22/100-liter-am-tag/

Biergarten

Entla‘s Keller
Erlangen

darum stehen dort Bäume – häufig Kastanien – und weniger Sonnenschirme

Zusammenfassung

Welches Heizsystem für welchen Fall?

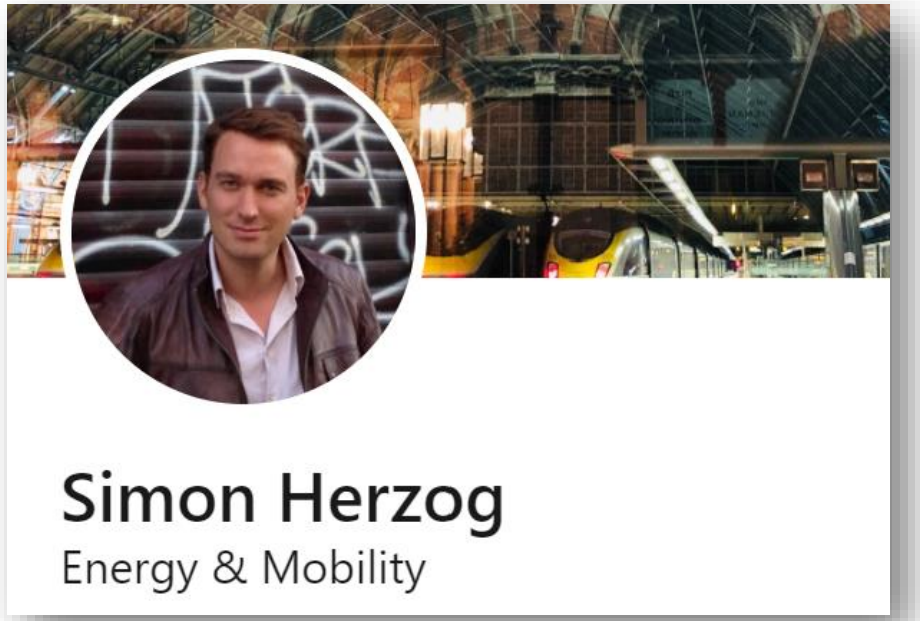
Heizung

- **Wärmepumpen optimal** für **Neubauten und Gebäude** mit **Flächenheizsystemen**
- Wärmepumpen optimal in Verbindung mit günstigem Strom**, z.B. bei eigener Photovoltaik**
- Falls Wärmepumpen nicht geeignet sind, etwa bei **Altbauten** oder **historischen Gebäuden**, **Fernwärme, elektrische Direktheizung** oder **erneuerbare Brennstoffe** eine Möglichkeit, **z.B. Holz** oder **Wasserstoff**
- **Wärmepumpen weniger gut** geeignet für **selten genutzte Gebäude** wegen hoher Investition
- **Fernwärme** bringt auch **erneuerbare Energien**, z.B**. „Windstrom“** oder **Tiefengeothermie**

Kühlung

- Ein **mittelgroßer Laubbaum** hat einen besseren Kühleffekt als eine Klimaanlage
- **„Grüne Infrastruktur“:** Kühlung ohne Klimaanlage durch günstige **Quartiersgestaltung**

LinkedIn



Instagram

Danke für die Aufmerksamkeit!

Lesetipps:

- Handelsblatt (10.02.2023): Was kostet die Wärmepumpe langfristig im Vergleich?
- BayWa Solardachplaner
- Google Project Sunroof https://sunroof.withgoogle.com/

Anhang

Leistungsbedarf für eine elektrische Zukunft

10 % der Pkw laden zur gleichen Zeit, Hälfte der Wärmepumpen läuft gleichzeitig

Annahmen

- **40 Mio. e-Pkw**
- 10% der Fahrzeuge Laden zur gleichen Zeit, z.B. vor den Weihnachtsfeiertagen
- 11 kW Ladeleistung (wie bei vielen Stadtwerken)

- **18 Mio. Wärmepumpen**
- 50% der Wärmepumpen laufen gleichzeitig, da kalte Wintertage
- 2 kW elektrische Leistung pro Wärmepumpe, d.h. 6-10 kW Heizleistung pro Haus

Gesamter Leistungsbedarf

$= 0{,}1 \times 40 \cdot 10^6 \times 11\ \text{kW} = 44 \cdot 10^6\ \text{kW}$
= **44 GW für Pkw-Laden**

$= 0{,}5 \times 18 \cdot 10^6 \times 2\ \text{kW} = 18 \cdot 10^6\ \text{kW}$
= **18 GW für Wärmepumpen**

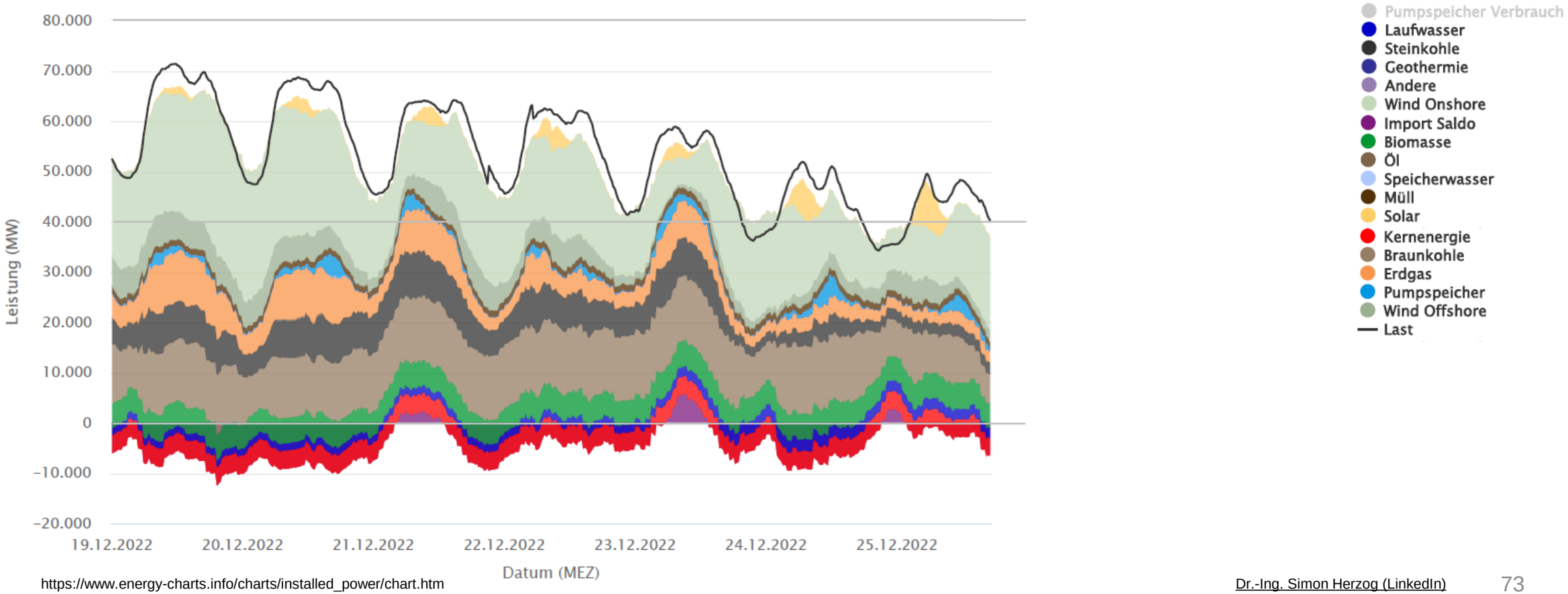
Pkw und Wärme: 44 GW + 18 GW = 62 GW

Wie viel sind **62 GW**?

Quelle: Eigene Darstellung

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

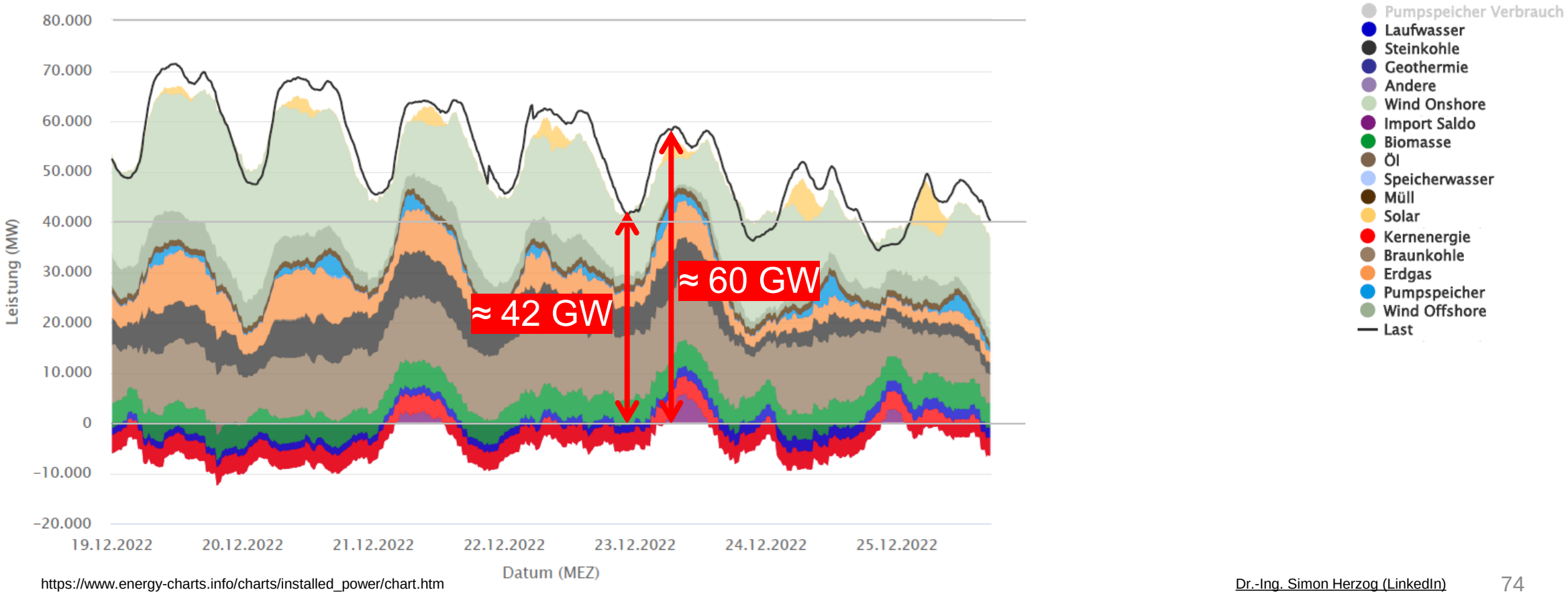
Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022



https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022

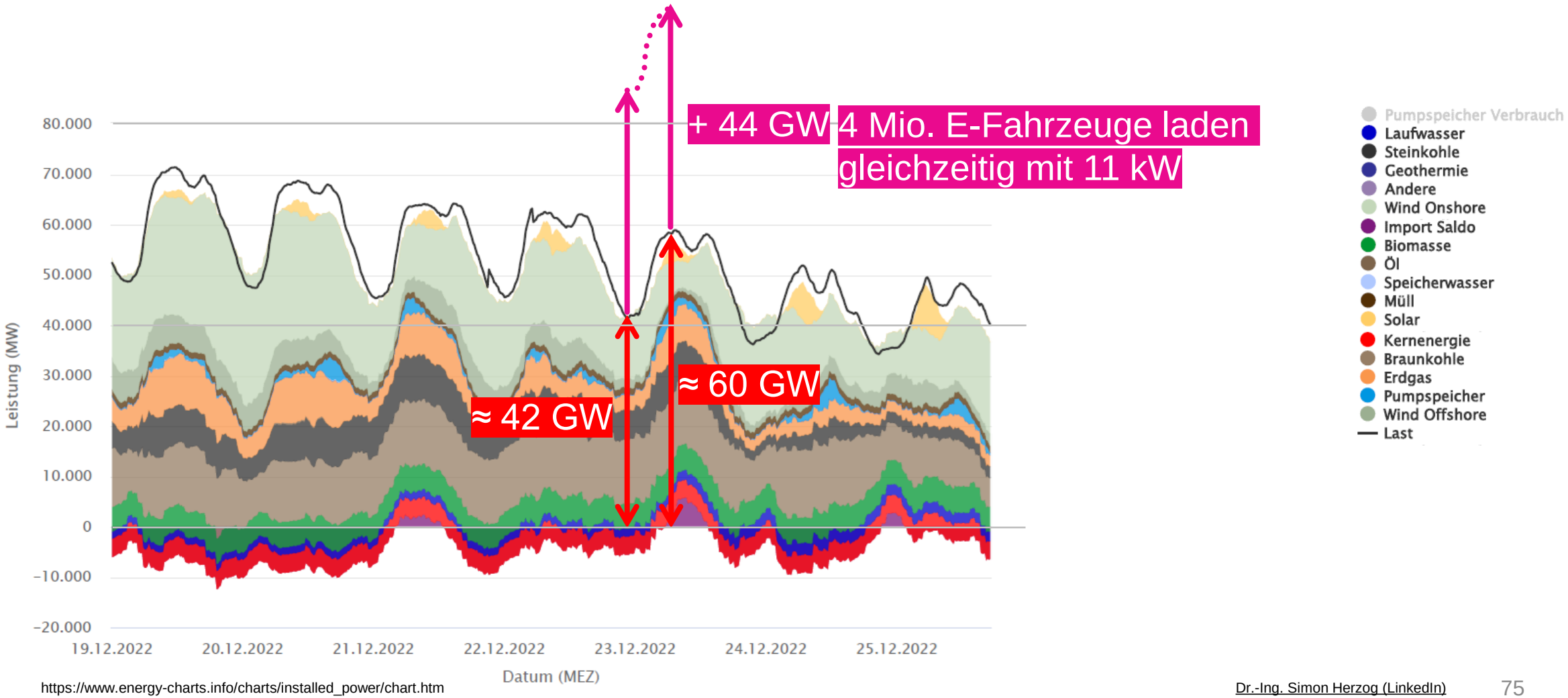


https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

Dr.-Ing. Simon Herzog (LinkedIn)

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022

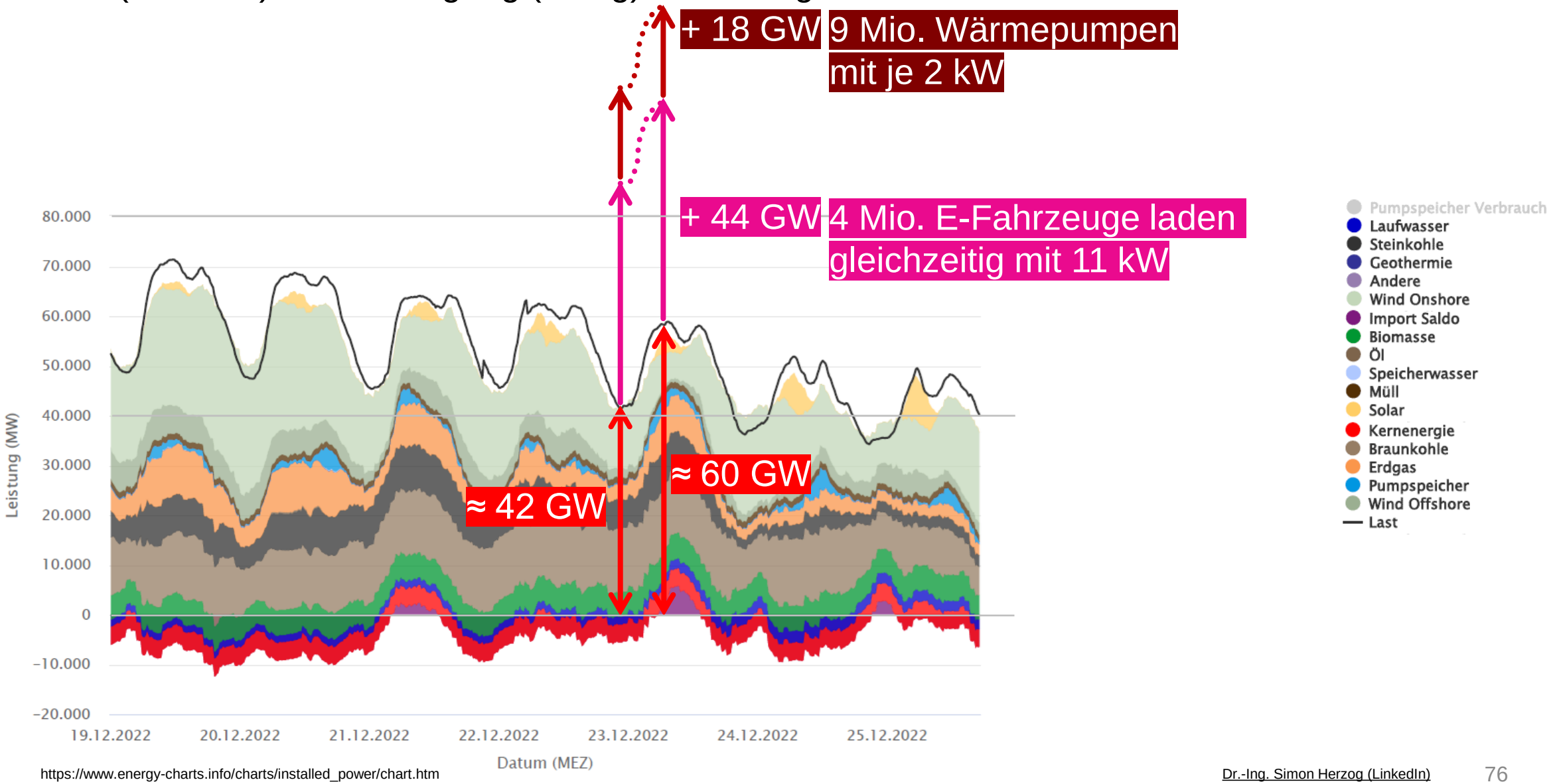


https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

Dr.-Ing. Simon Herzog (LinkedIn)

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022

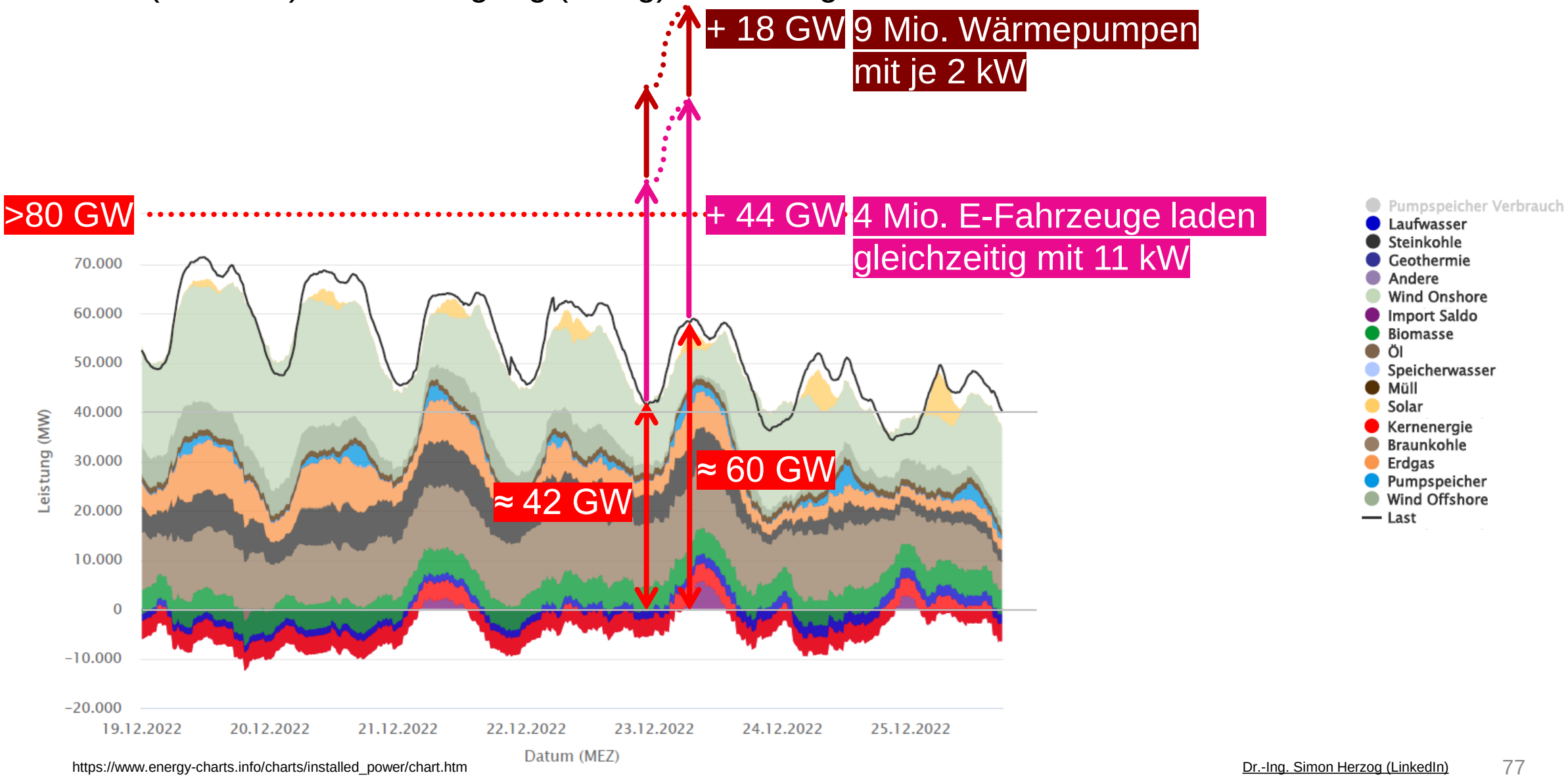


https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

Dr.-Ing. Simon Herzog (LinkedIn)

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022

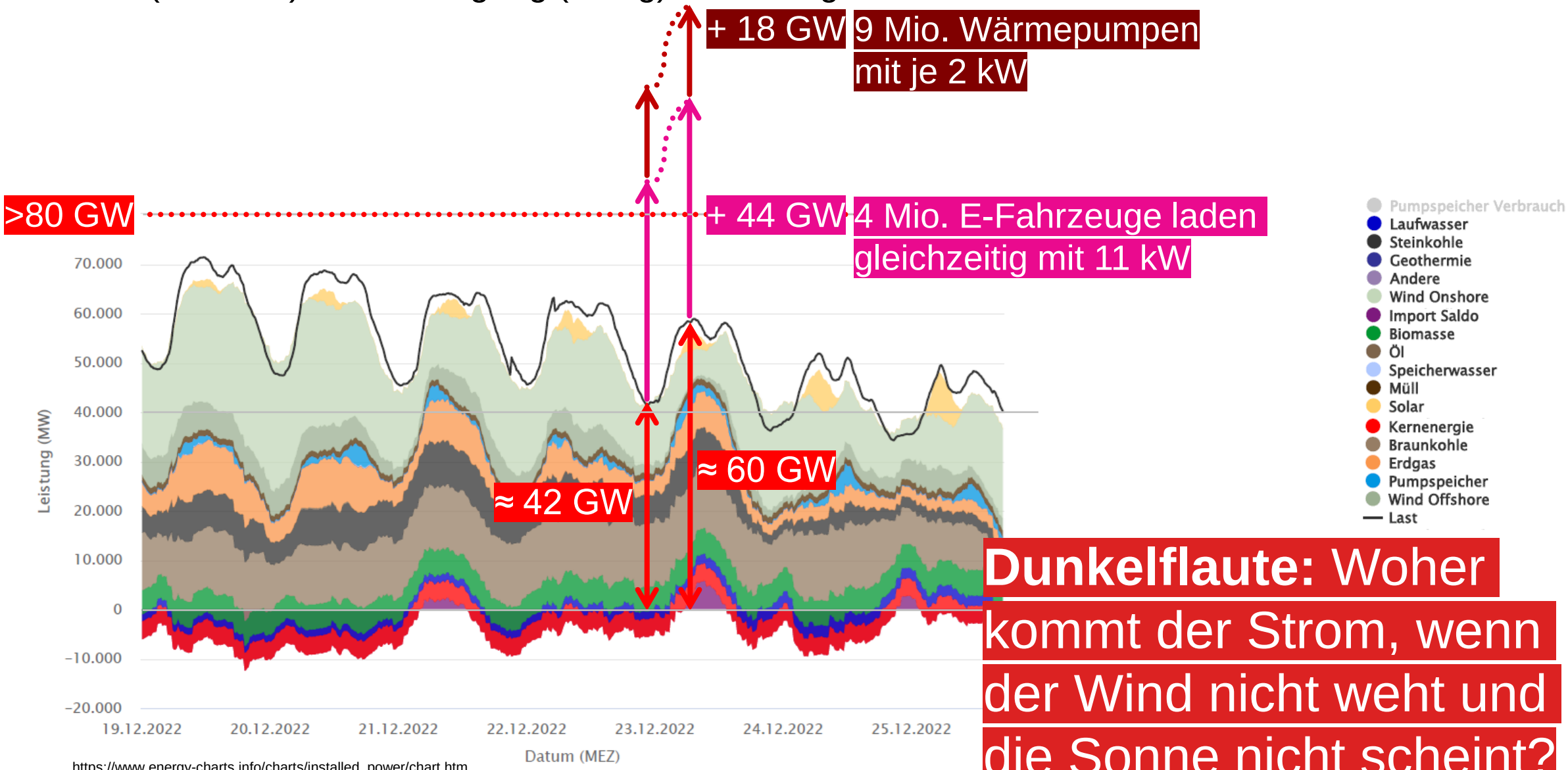


https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

Dr.-Ing. Simon Herzog (LinkedIn)

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022

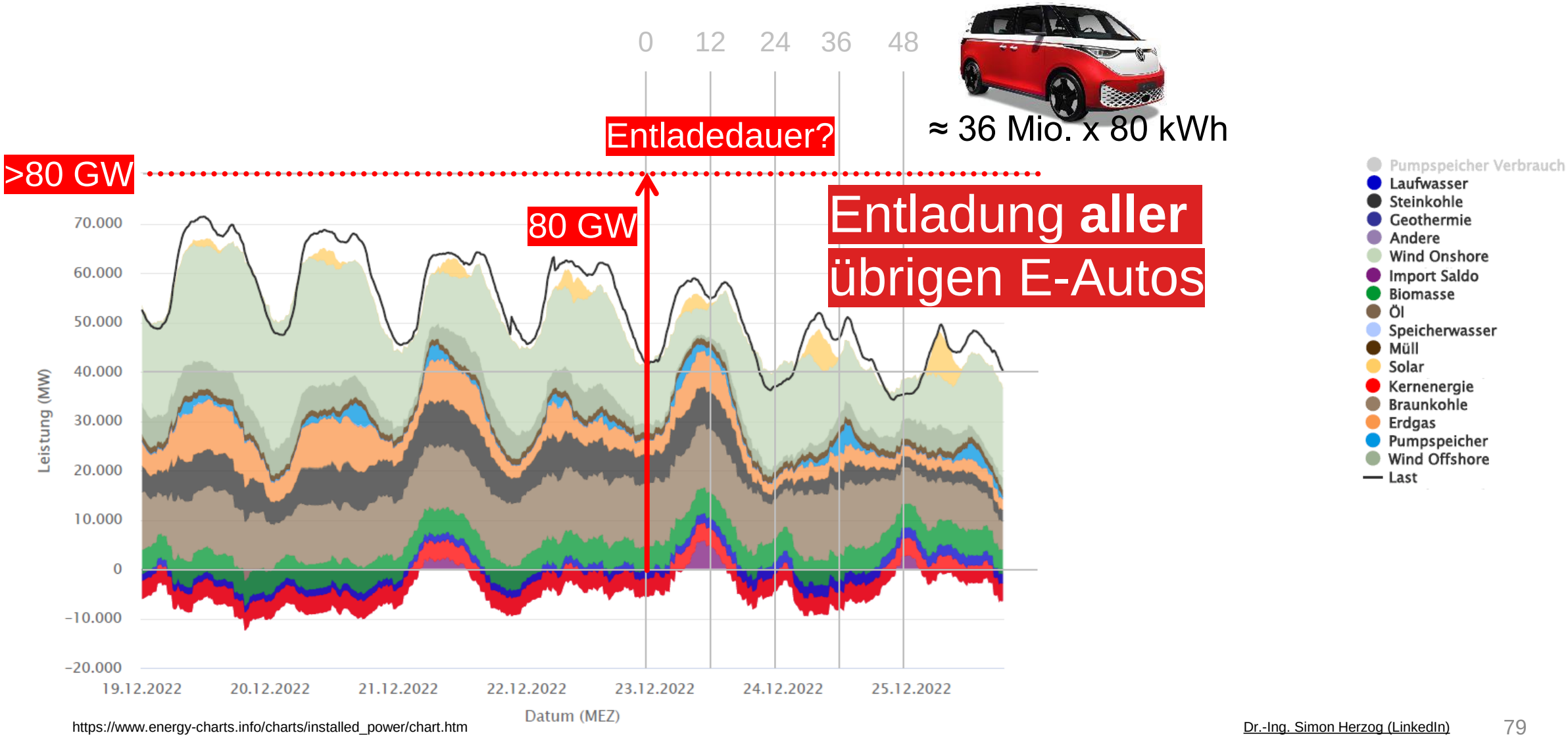


Dunkelflaute: Woher kommt der Strom, wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint?

https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

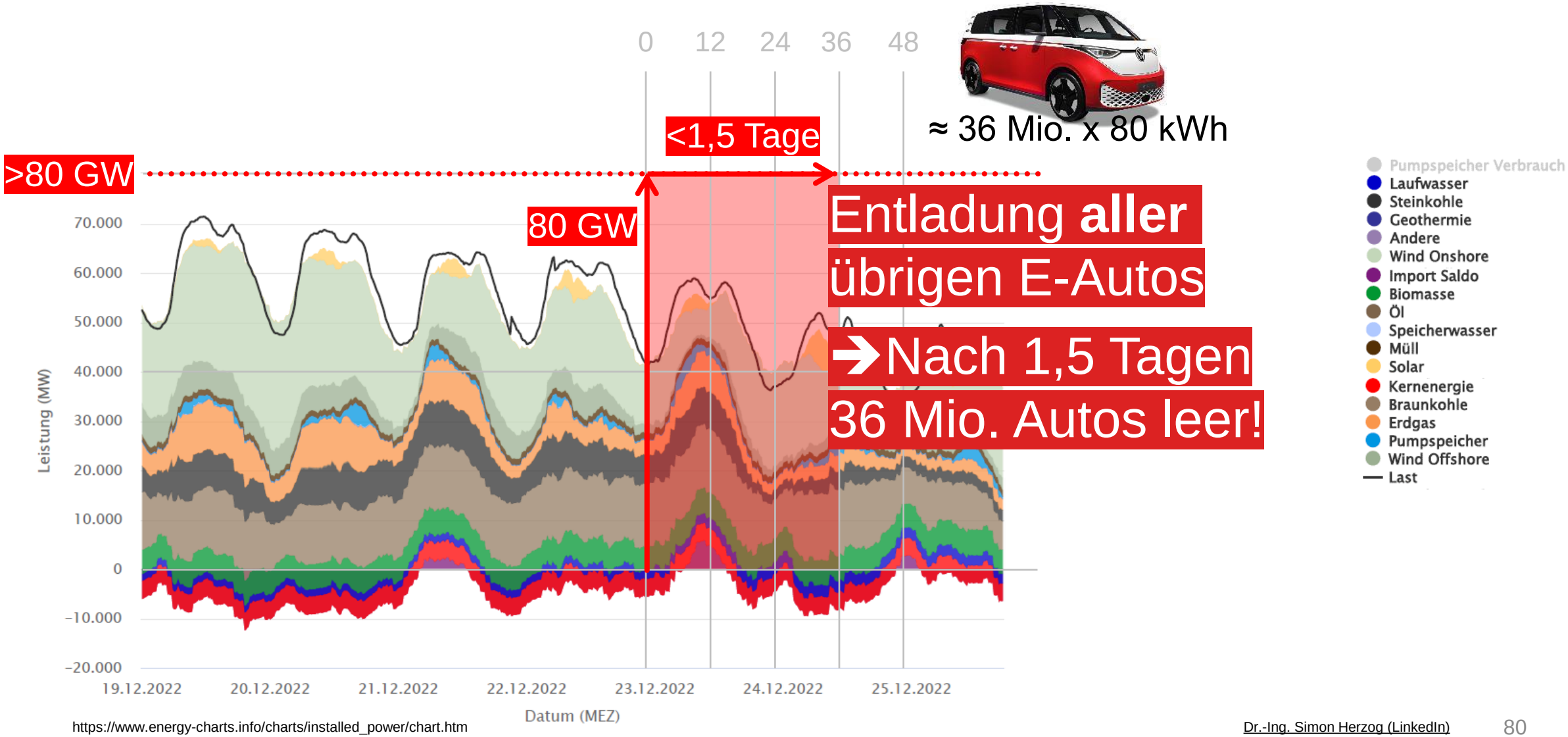
Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022



https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022

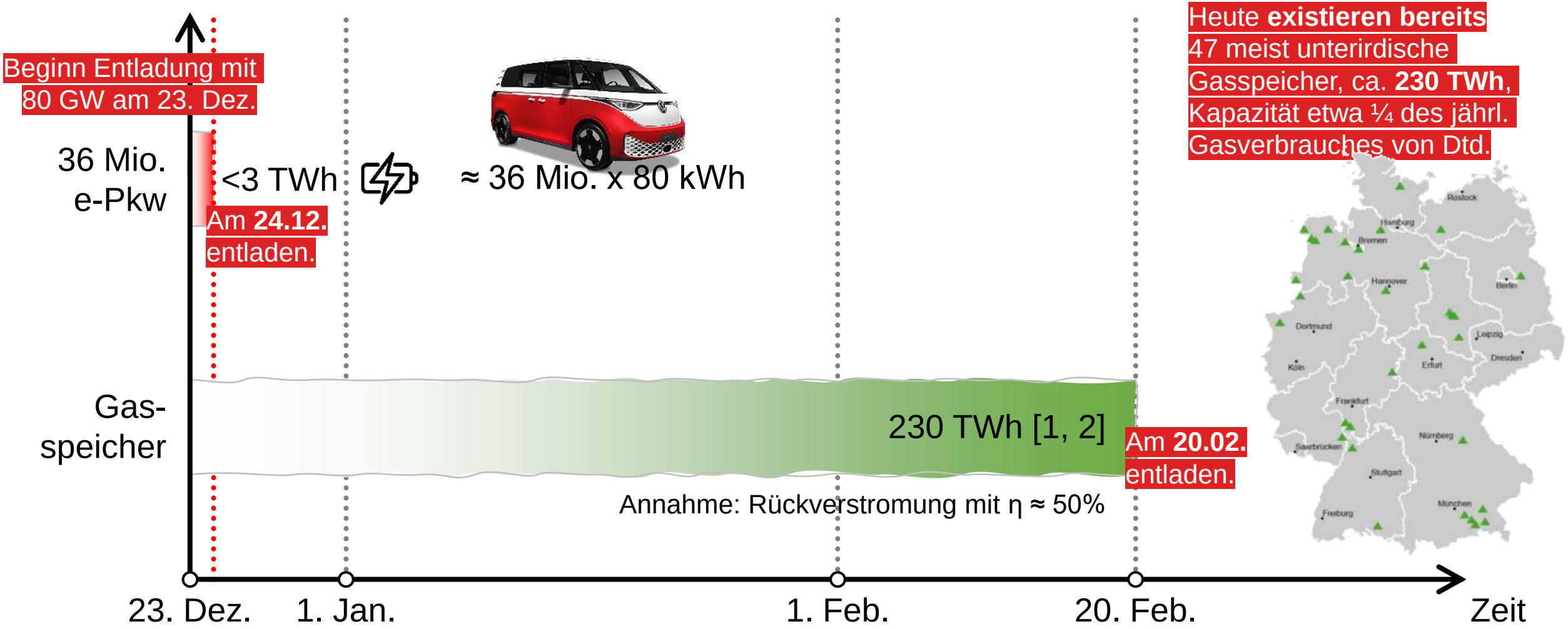


https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm

Dr.-Ing. Simon Herzog (LinkedIn)

Wie lange stützen e-Pkw bzw. Gasspeicher das Netz?

Entladedauer zwecks Überbrückung einer Dunkelflaute



[1] https://www.enbw.com/energie-entdecken/verteilung-und-transport/gasnetz/erdgasspeicher.html
[2] https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/gasspeicher-deutschland/