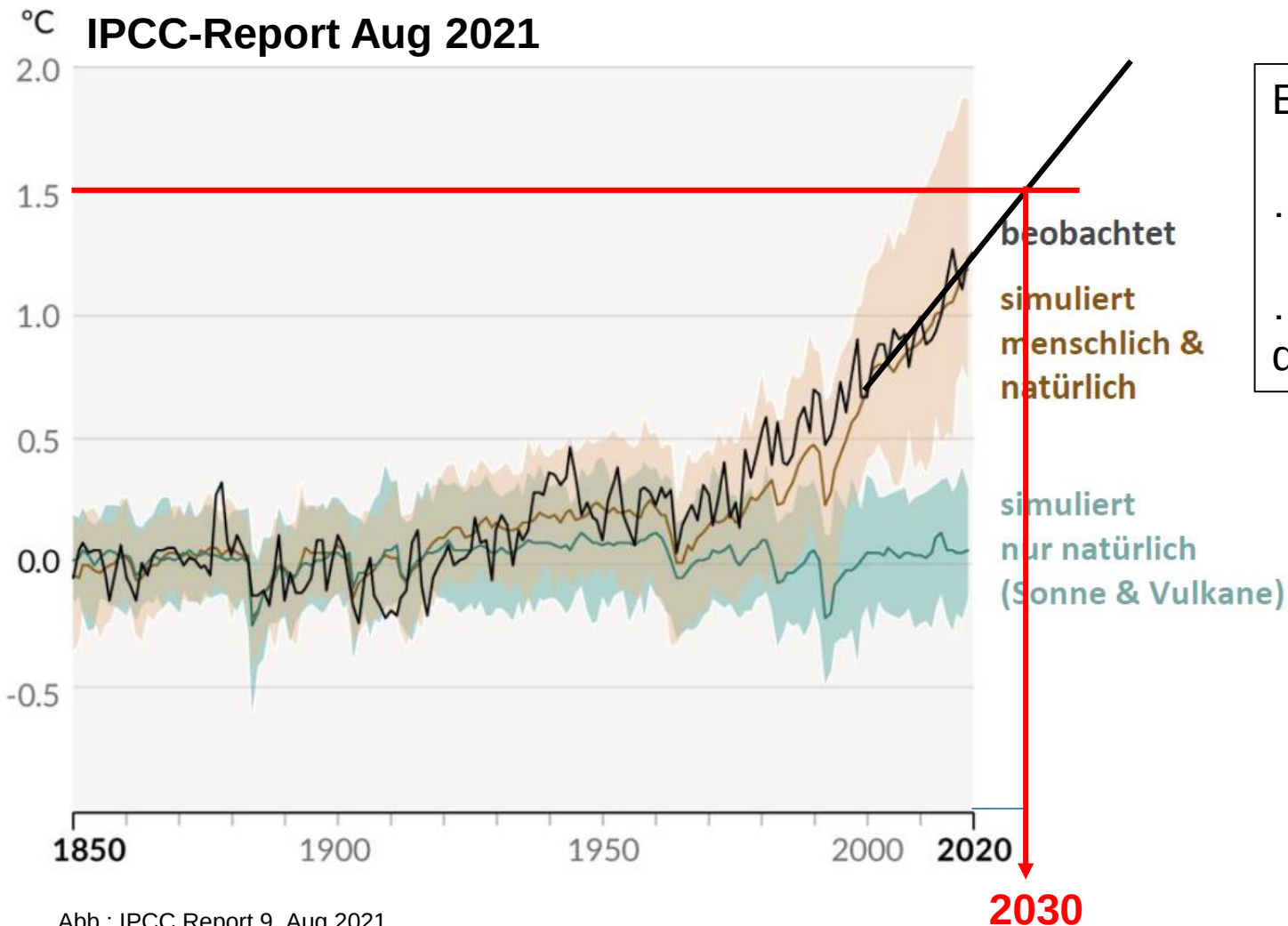


Erfolgreiche Wege zur CO₂ – ~~armen~~ freien Wärmeerzeugung im Quartier

1. Zeitliche Anforderungen um das 1,5 °C Ziel zu erreichen
2. Drei Bausteine für die Umsetzung der Energiewende
3. Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand
4. Anforderungen an die künftige erneuerbare Stromerzeugung
5. Sektorenkopplung
6. Beispiele von CO₂ –freien Quartieren

Zeitliche Anforderungen um das 1,5 °C Ziel zu erreichen

IPCC-Report 2018: Begrenzung **auf 1,5°C** erforderlich, um unumkehrbare Klimaveränderungen mit bereits verheerenden Folgen zu vermeiden.



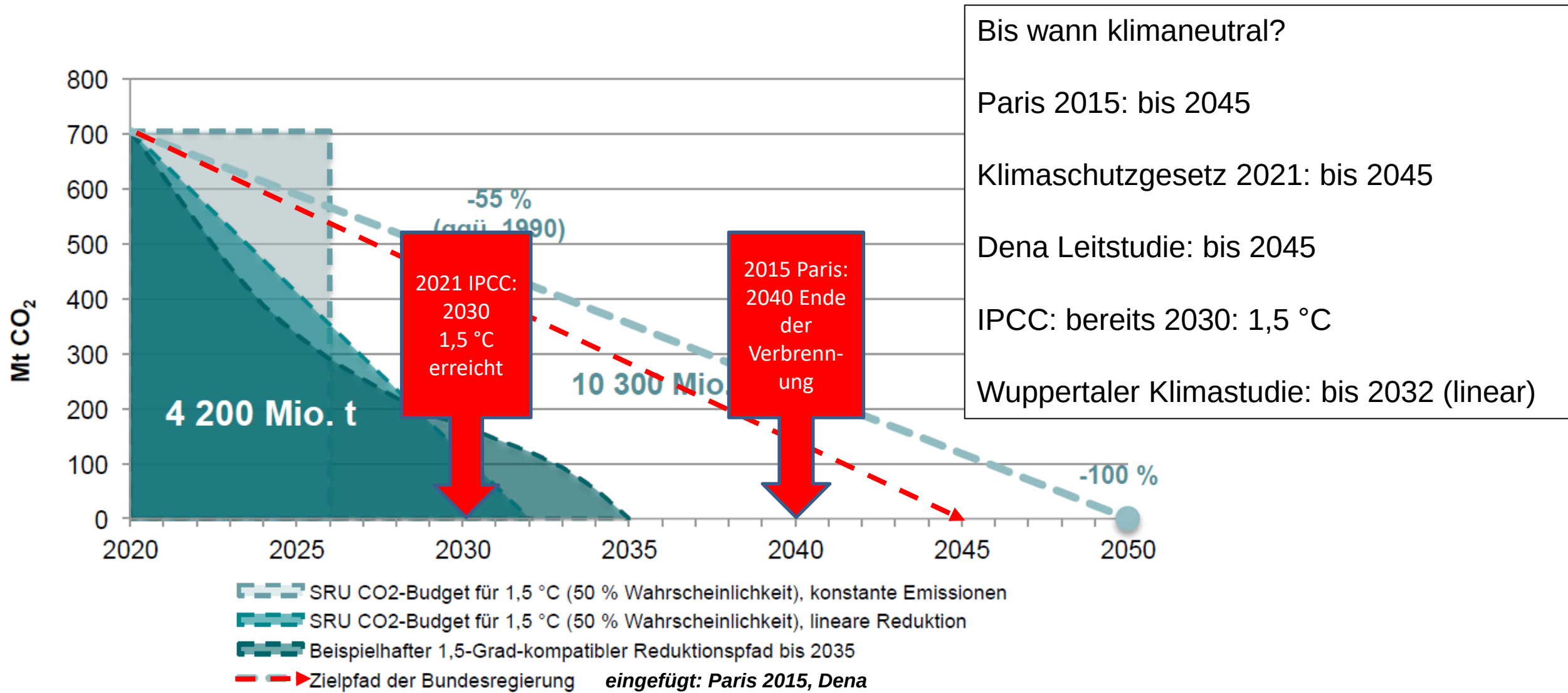
Bereits 2030: 1,5 °C

... „zehn Jahre früher, als 2018 prognostiziert“

... „Erderwärmung ist dabei eindeutig durch den Menschen verursacht“

“ Ohne eine sofortige, rasche und umfassende Reduktion der Treibhausgasemissionen wird eine Begrenzung der Erwärmung auf 1,5°C nicht einzuhalten sein.

Zeitliche Anforderungen um das 1,5 °C Ziel zu erreichen



Quelle: Wuppertal Institut: Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5-°C-Budgets, inkl. aktueller Ziele der Bundesregierung

Drei Bausteine für die Energiewende

1. Energiebedarf senken

1. Bauphysik (Passivhaus, thermische Sanierung)
2. Verbraucherverhalten (langlebige Produkte, Reisen in Region, Wohnfläche/Person)

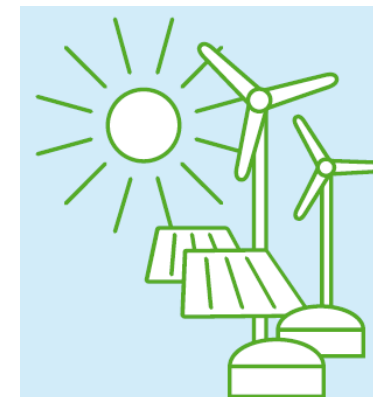


2. Nutzung der effizientesten Technologie

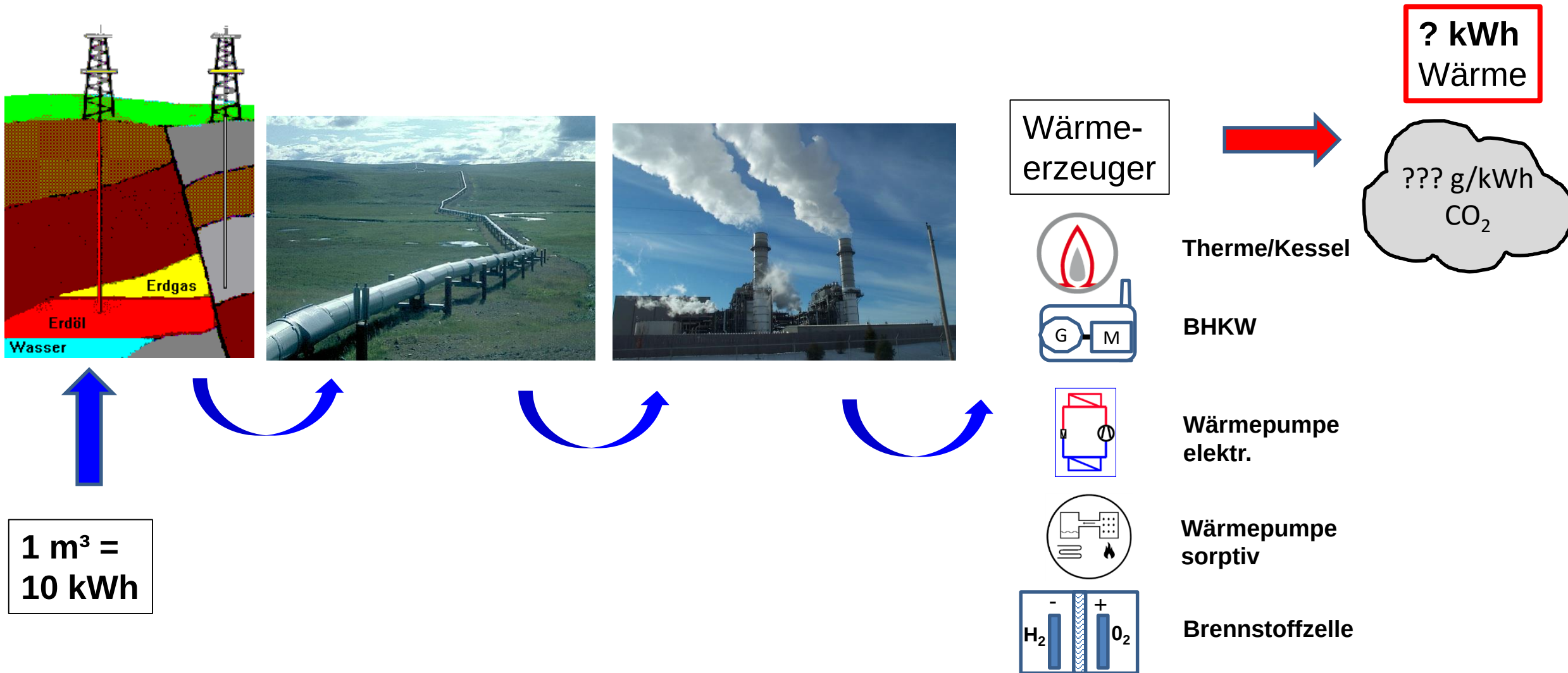
- Welche Mobilität?
- Produktionstechniken?
- Welche Wärme-und Kälteerzeugung?



3. Erneuerbare Energieerzeugung statt Verbrauch begrenzter fossiler Energie



Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand



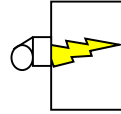
Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

Mit fossilen Energieträgern – nicht nachhaltig

Primärenergie Erdgas



Gastherme 100 %



9 kWh

233 g/kWh



Kraft-Wärme-Kopplung
52% therm., 38% elektr.



4,7 kWh

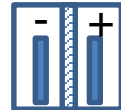


11,5 kWh

183 g/kWh



Brennstoffzelle
51 % therm., 37 % elektr.



4,7 kWh

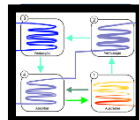


11,3 kWh

186 g/kWh



Wärmepumpe
Gas $\beta = 1,5$

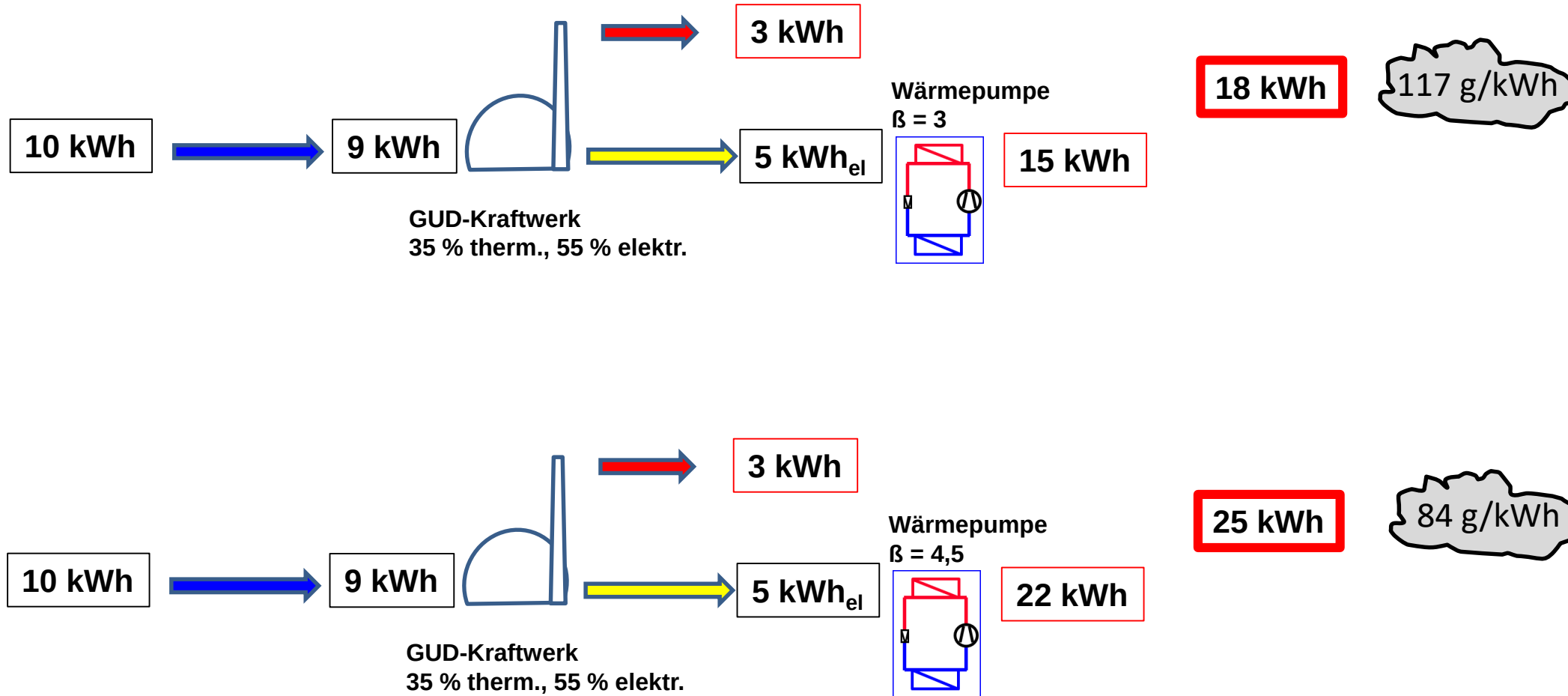


13,5 kWh

135 g/kWh

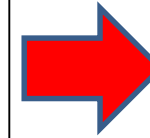
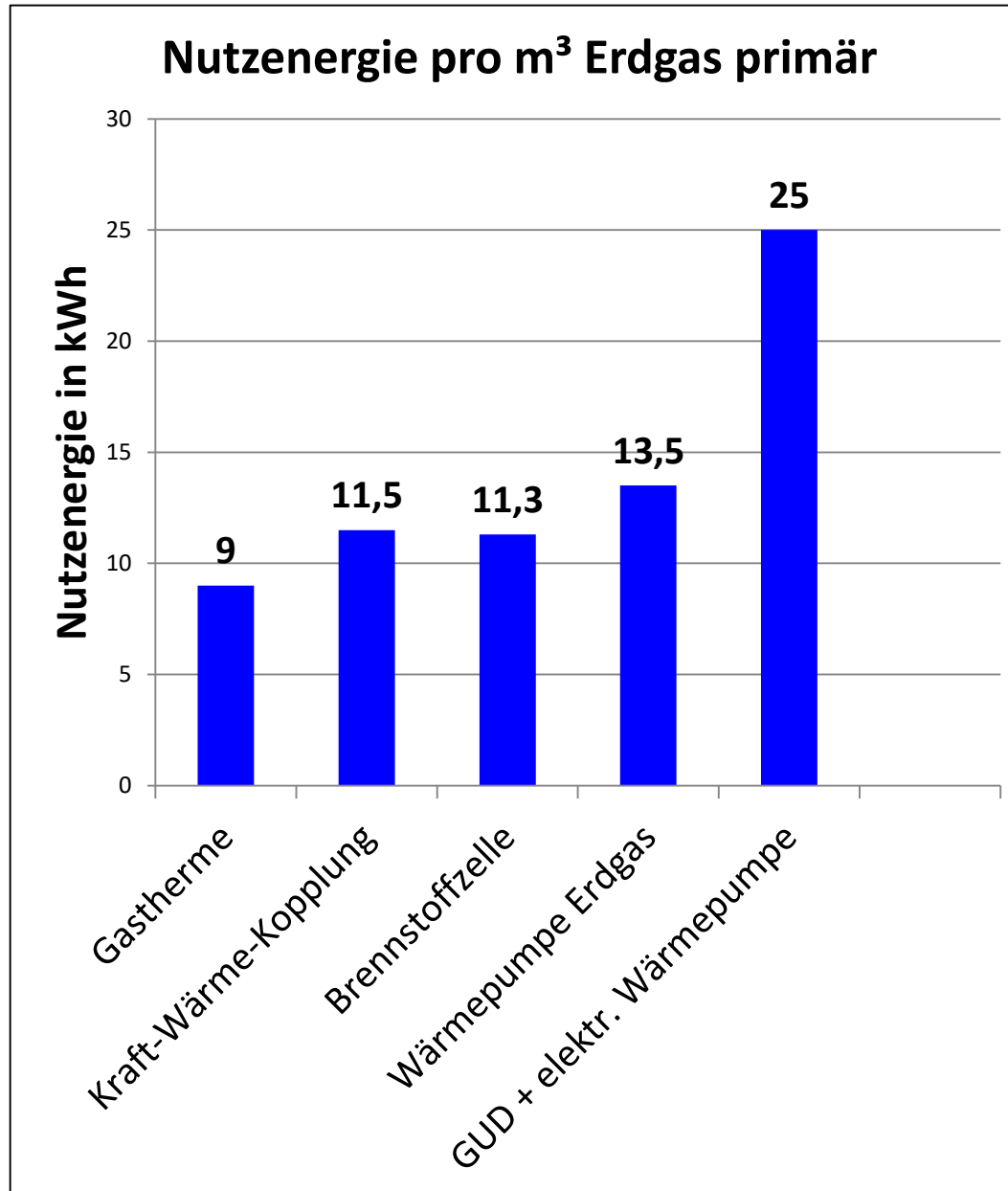
Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

Mit fossilen Energieträgern – nicht nachhaltig



Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

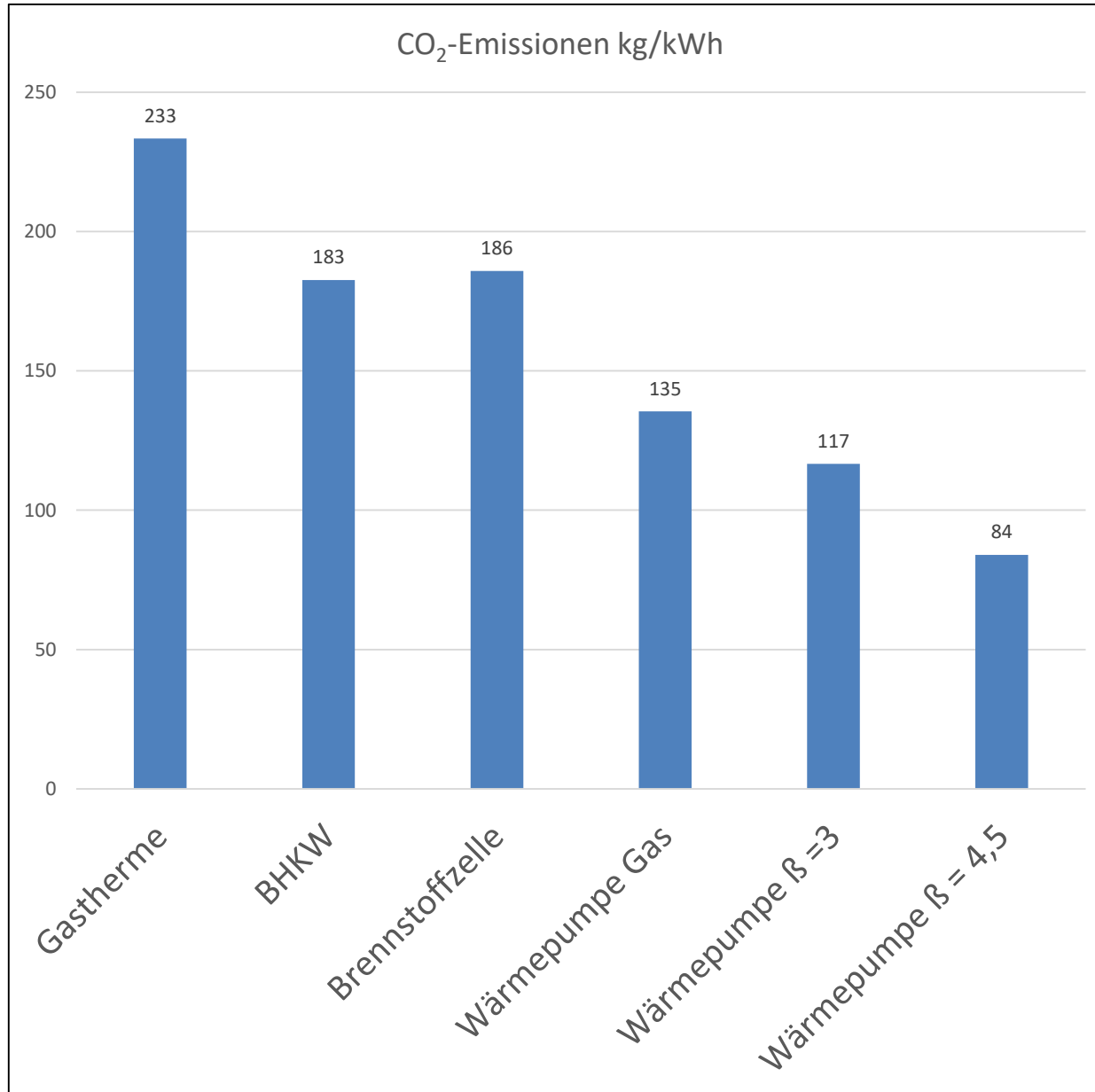
Mit fossilen Energieträgern – nicht nachhaltig



**Maximale Nutzung
Energie:**
GuD-Kraftwerk +
elektrische Wärmepumpe

Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

Mit fossilen Energieträgern – nicht nachhaltig



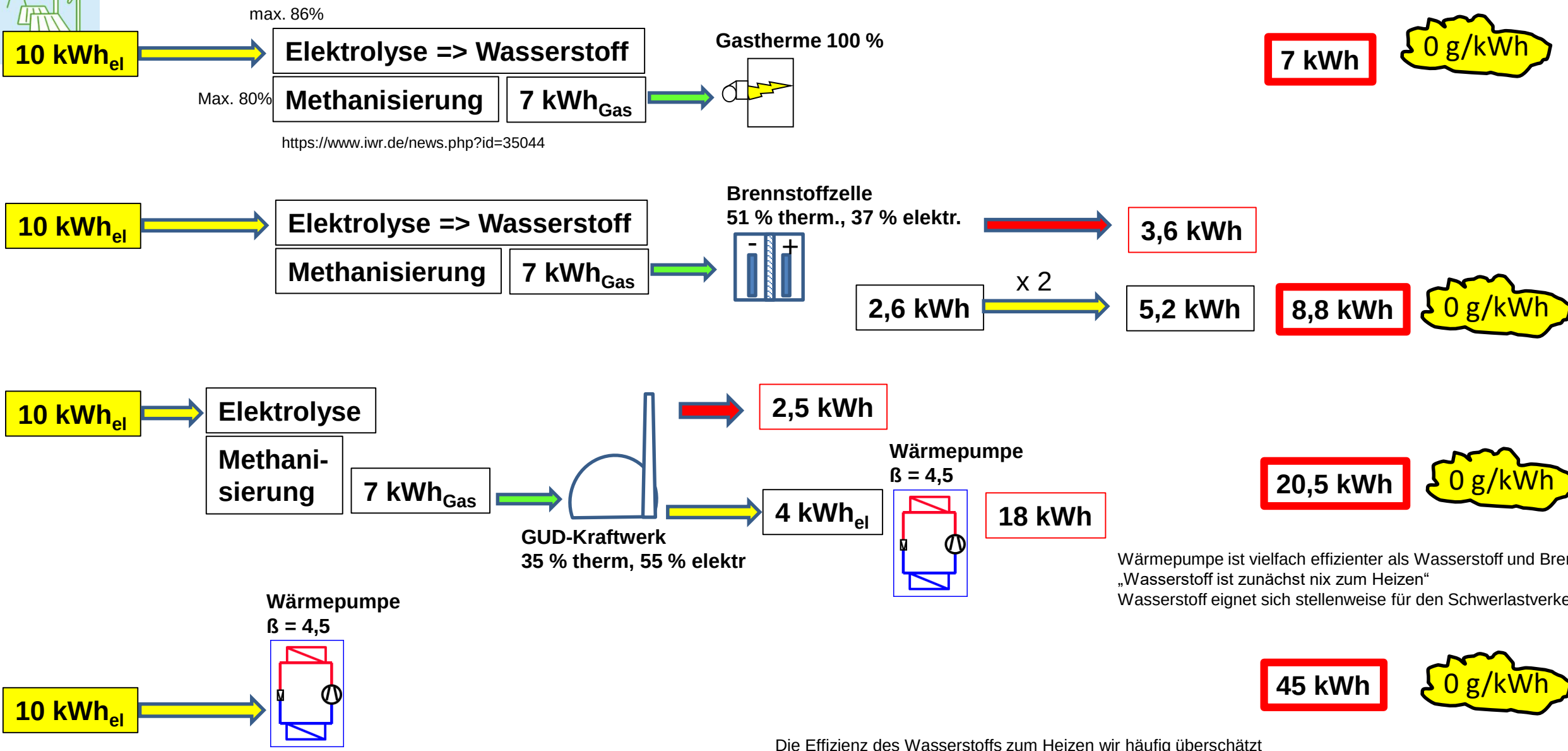
233 g/kWh

84 g/kWh

Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand



Mit erneuerbarer elektrischer Energie



Wärmepumpe ist vielfach effizienter als Wasserstoff und Brennstoffzelle
„Wasserstoff ist zunächst nix zum Heizen“
Wasserstoff eignet sich stellenweise für den Schwerlastverkehr

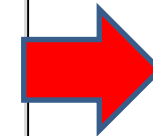
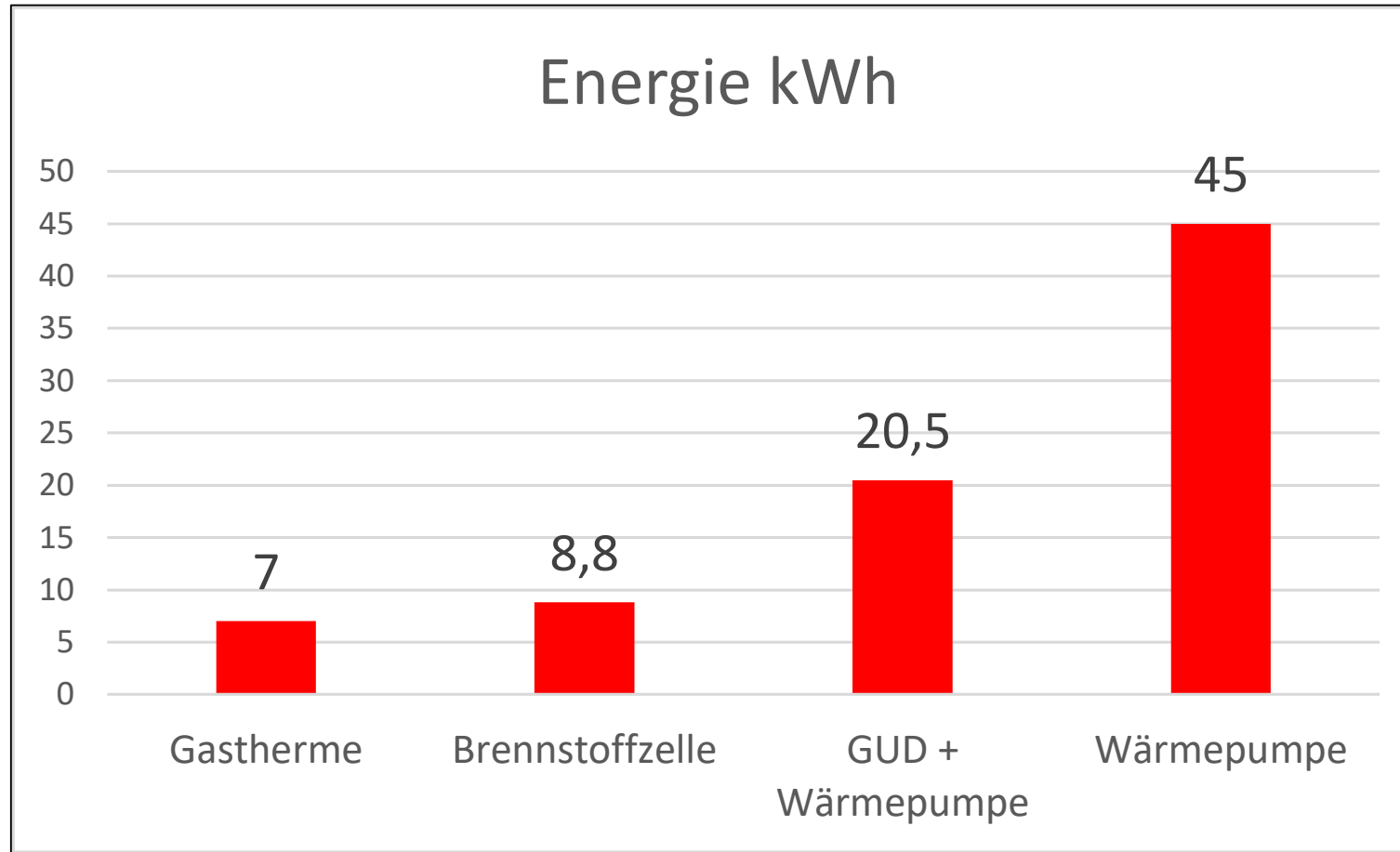
Die Effizienz des Wasserstoffs zum Heizen wird häufig überschätzt
Wasserstoff eignet sich stellenweise für den Schwerlastverkehr

Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

Mit erneuerbarer elektrischer Energie



10 kWh_{el}



**Maximale Nutzung
Energie:**

elektrische Wärmepumpe

Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

Mit erneuerbarer elektrischer Energie



Bj. 2000

Wärmeschutzverordnung gültig bis 2002

Büro: 2.100 m²
Heizlast: 93 kW
44 W/m²

Spezifische Heizlast?



Bj. 2020

EnEV - Anforderung ~ **GEG**-Anforderung

Büro: 1.200 m²
Heizlast: 59,5 kW
50 W/m²

keine Nebenanforderung –
nur Höchstwerte der mittleren
Wärmeübertragungskoeffizienten $\bar{U}$

Effiziente Technologien zur Wärmeerzeugung auf dem Prüfstand

Mit erneuerbarer elektrischer Energie



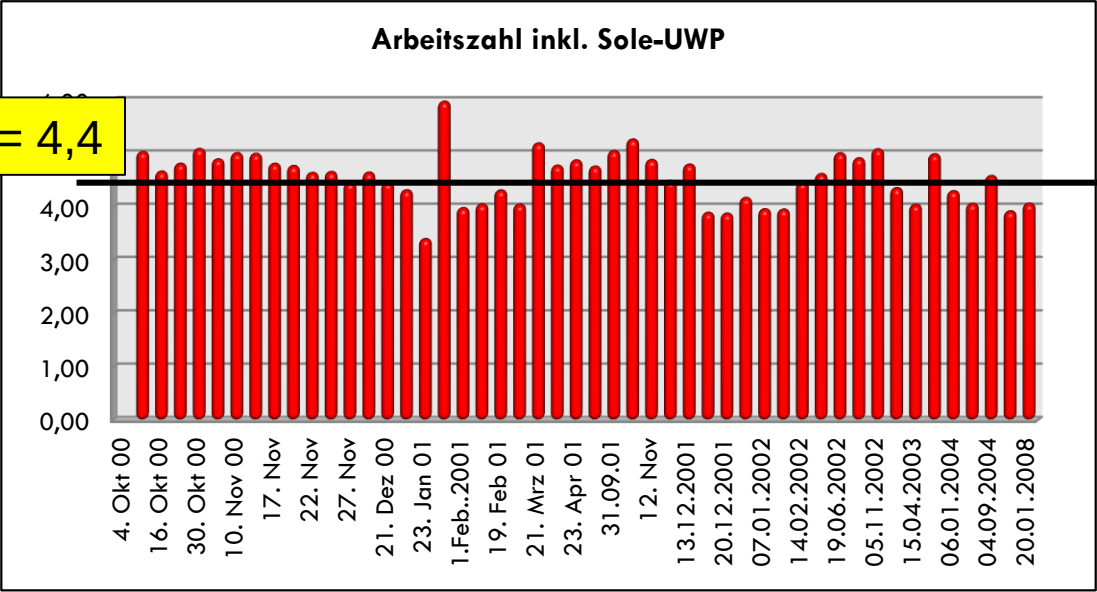
Arbeitszahl?



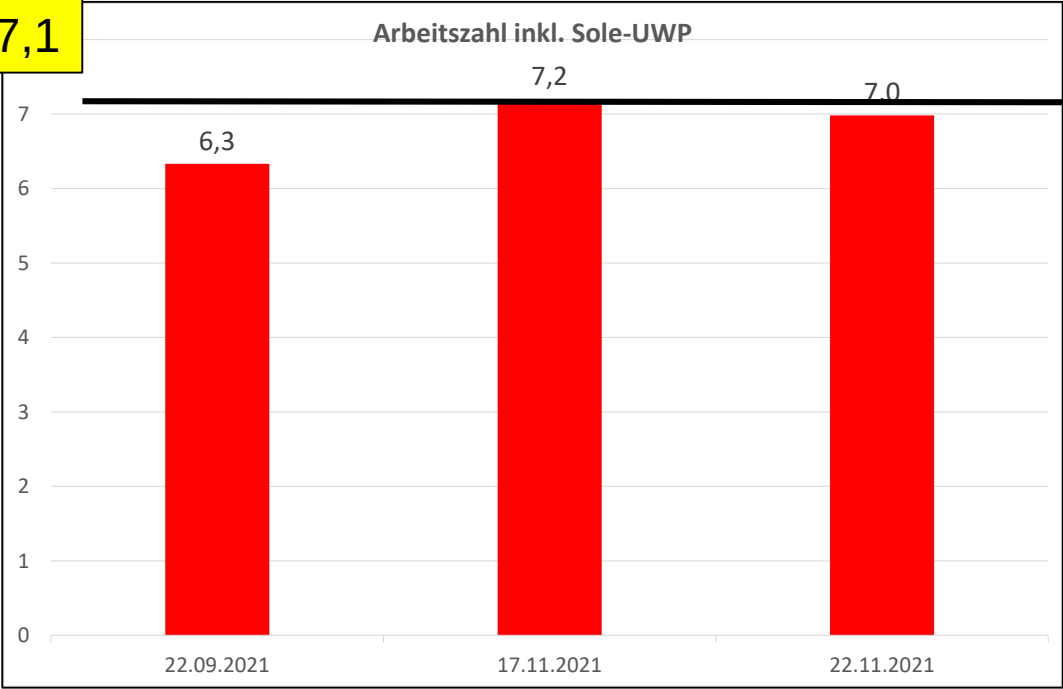
AZ Kühlen Sept. Okt. Nov:

$$\frac{4.280 \text{ kWh}}{41 \text{ kWh}} = 104$$

JAZ = 4,4



JAZ = 7,1



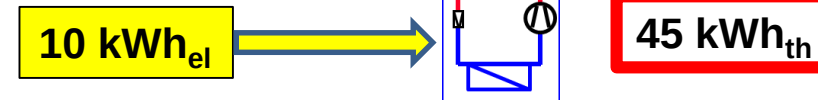
Anforderungen an künftige erneuerbare Stromerzeugung

100 % regenerative elektrische Energieerzeugung für:

1. Deckung des aktuellen elektrischen Energiebedarfs
2. Elektrische Energie für Ersatz fossiler Heizungen durch Wärmepumpe



Wärmepumpe

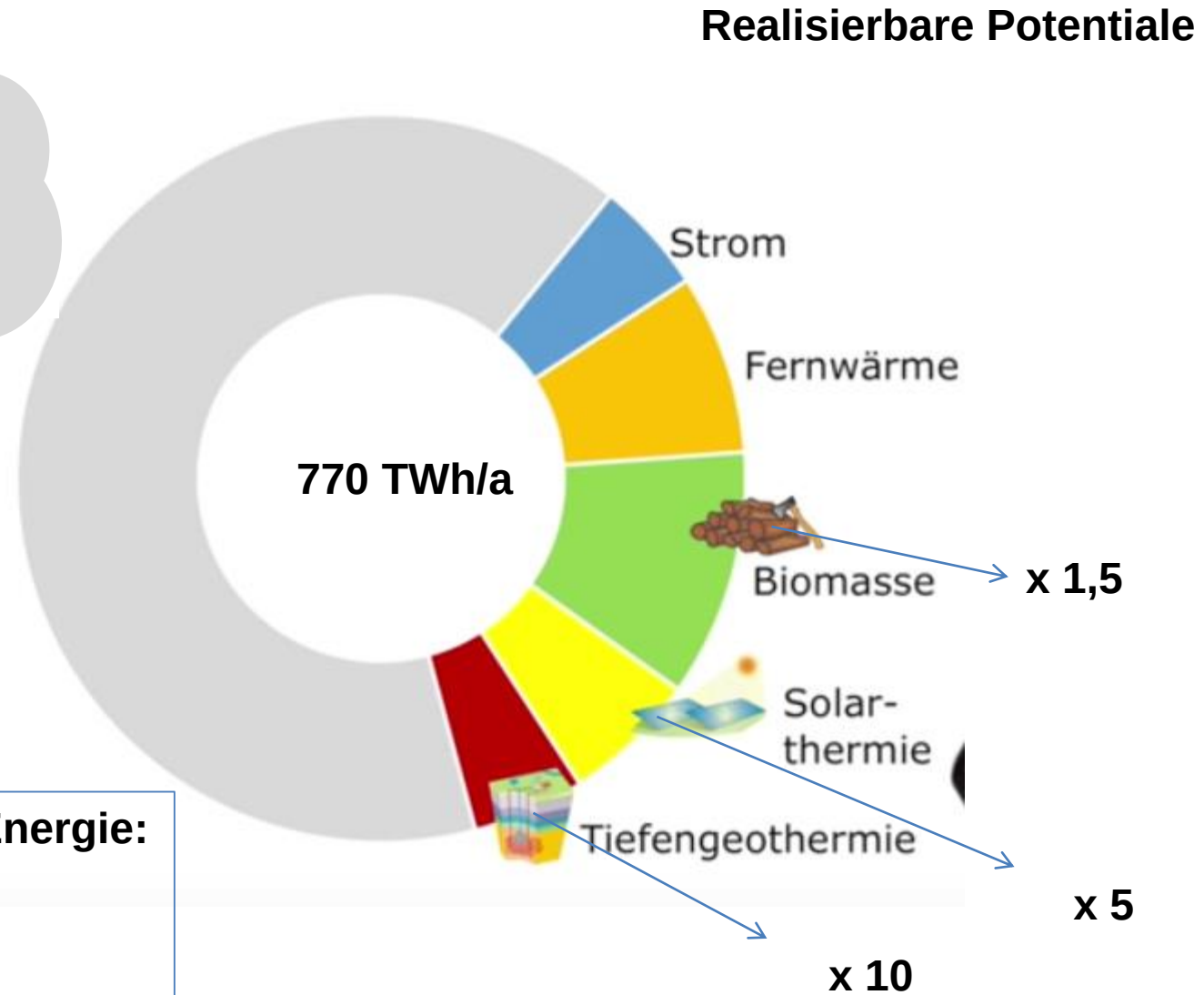


3. Elektrische Energie für Mobilität ohne fossile Verbrennung
 1. Strom für Bahn, E-Mobil
 2. Grünes Gas
 3. Wasserstoff



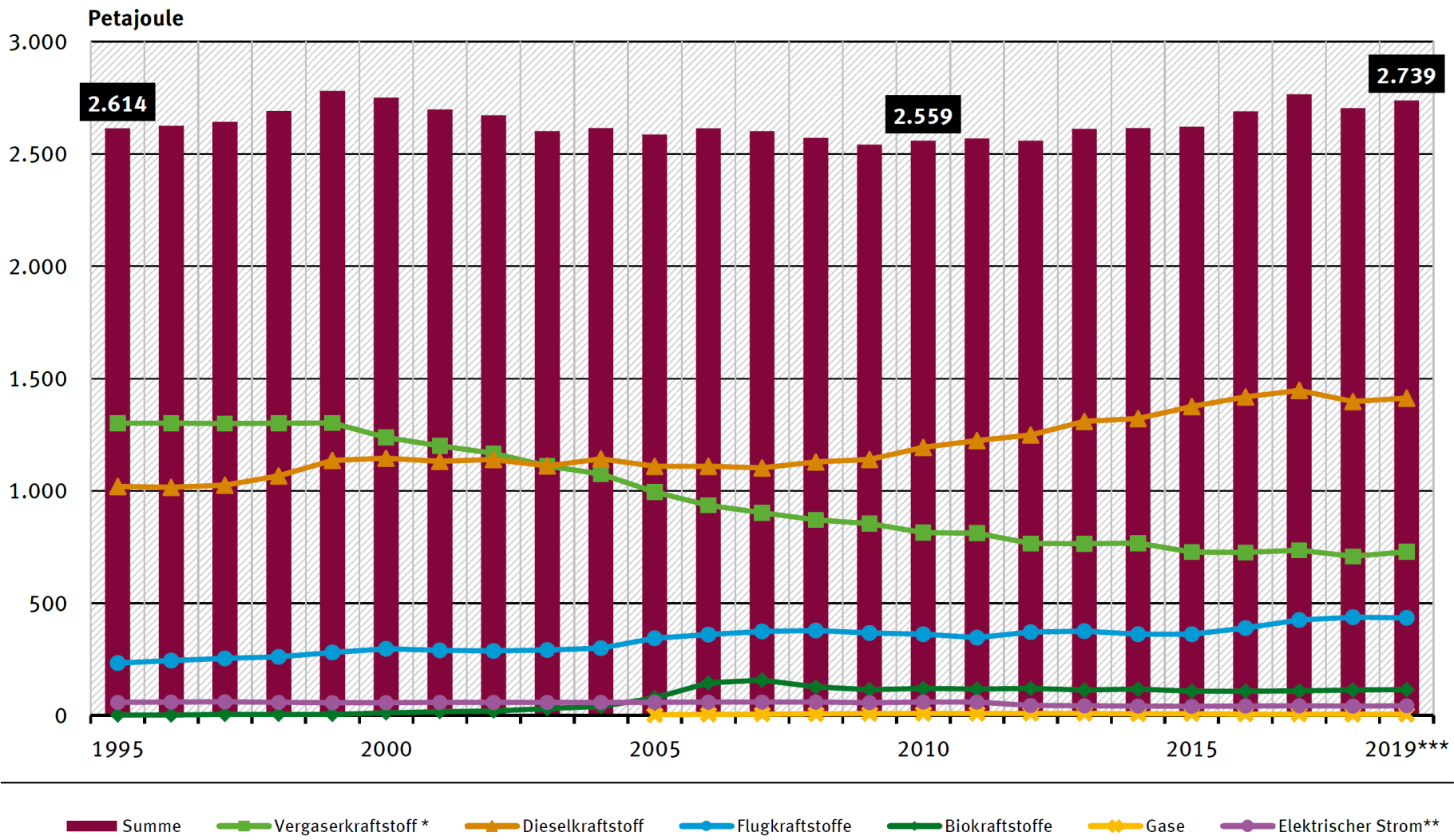
500 TWh/a Wärme
von fossilen
Energieträgern

Zusätzlicher Bedarf elektrischer Energie:
(bei Deckung durch Wärmepumpe)
 $500 \text{ TWh/a} : 4,5$
= 111 TWh_{el}/a



Verkehr: aktueller Endenergieverbrauch

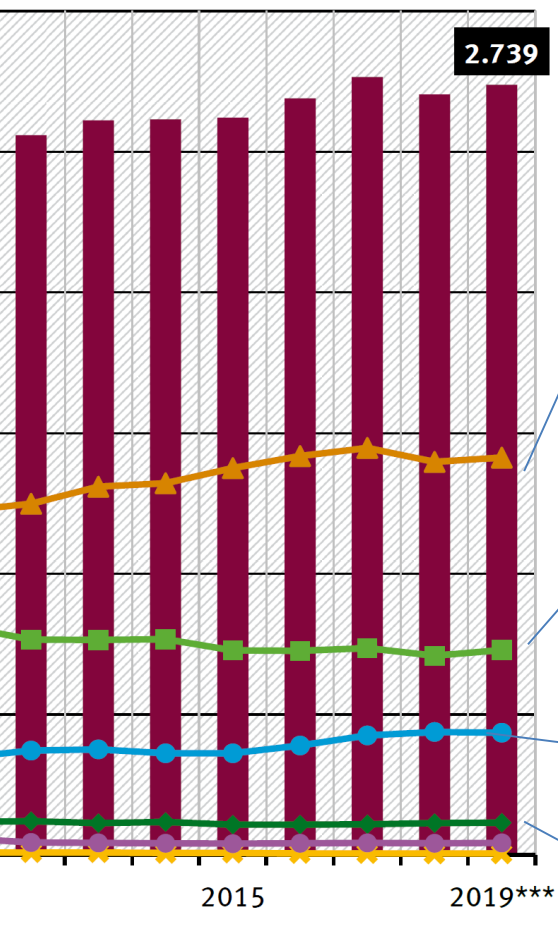
Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Kraftstoffarten



* einschließlich Flüssiggas (2016: 19 Petajoule, 2017 und 2018: 14 Petajoule, 2019: 17 Petajoule)
** Werte für den Stromverbrauch des Schienenverkehrs wurden ab 2012 revidiert
Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.),
Verkehr in Zahlen 2020/2021, S. 304

Verkehr: künftiger Bedarf elektrische Energie

: 5



stoffe ♦ Gase — Elektrischer Strom**

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.),
Verkehr in Zahlen 2020/2021, S. 304

Diesel: 400 TWh/a

200 TWh/a Ersatz Elektro: statt 100 kWh (=10 l)/100 km → 20 kWh_{el}/100 km
→ Strom 40 TWh_{el}/a

200 TWh/a Ersatz Wasserstoff/CH₄: →* Strom: 360 TWh_{el}/a

Benzin: 200 TWh/a

100 TWh/a Ersatz Elektro: statt 100 kWh (=10 l)/100 km → 20 kWh_{el}/100 km
→ Strom 20 TWh_{el}/a

100 TWh/a Ersatz Wasserstoff/CH₄: →* Strom: 180 TWh_{el}/a

Flugkraftstoffe:
120 TWh/a:

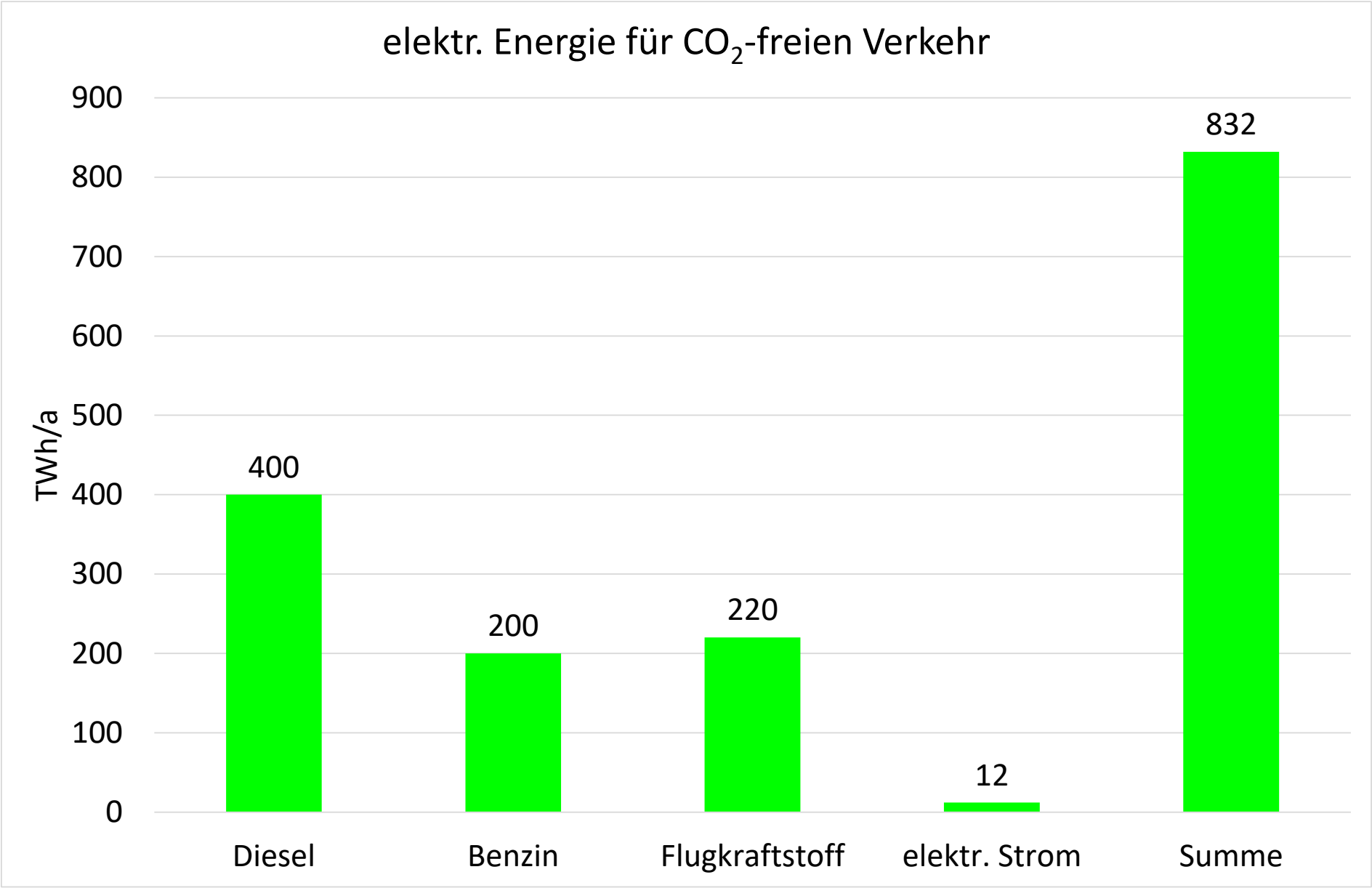
Wasserstoff mit Strom *
→ Strom: 220 TWh/a

Strom (Bahn):

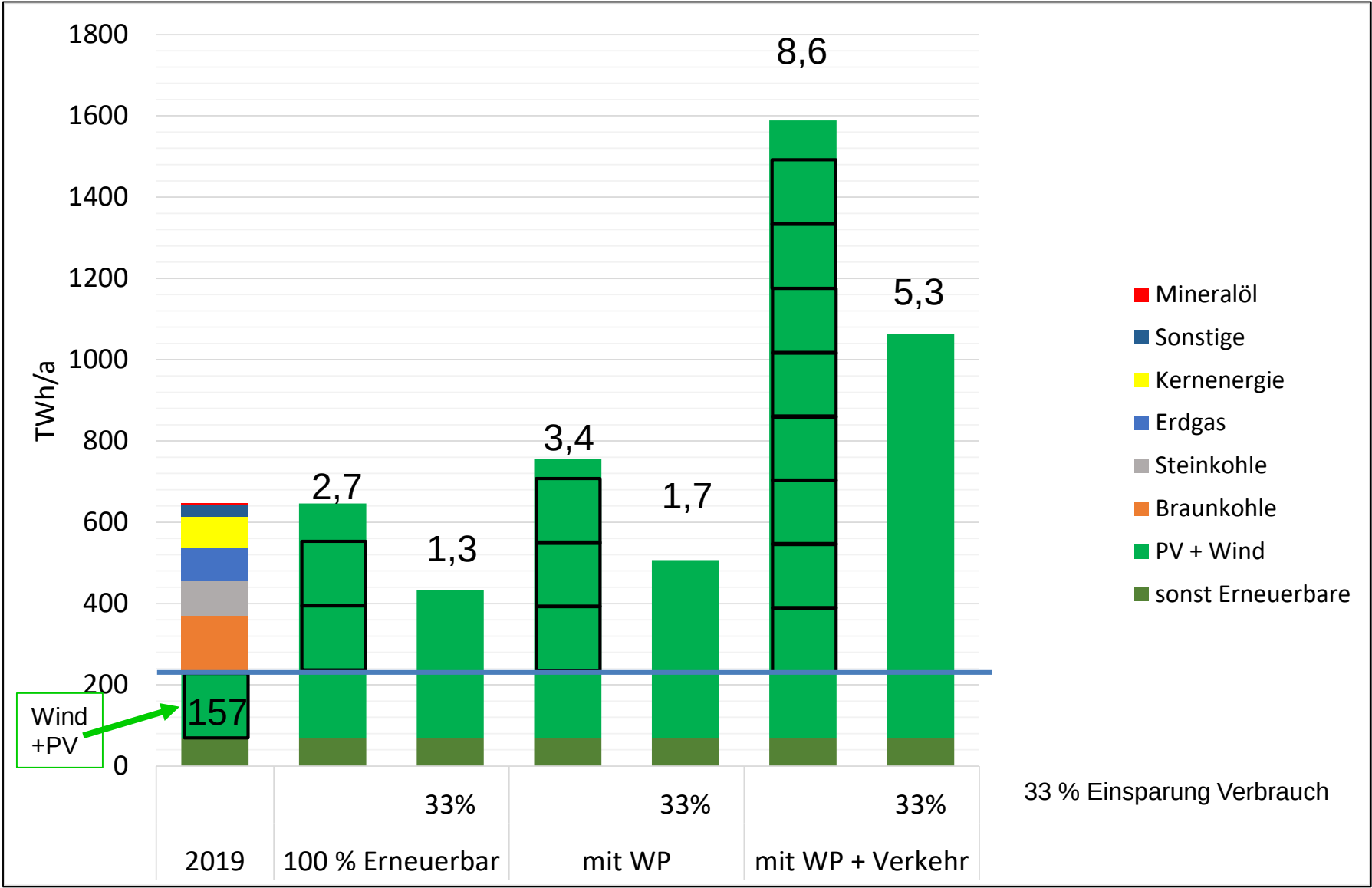
→ Strom: 12 TWh/a

* Für vereinfachte Umrechnungen:
Umwandlungswirkungsgrad Strom-Wasserstoff/CH₄: 55 %

Verkehr: künftiger elektrischer Energiebedarf



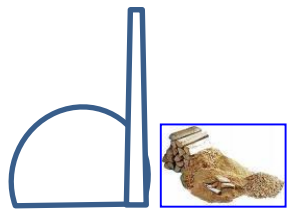
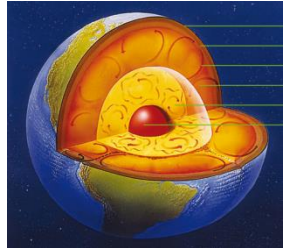
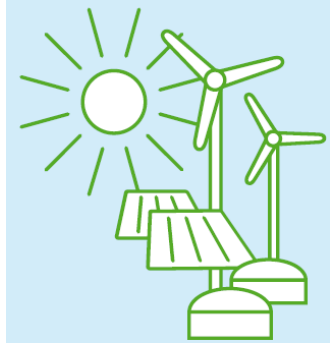
Elektrische Energie: künftige Erzeugung



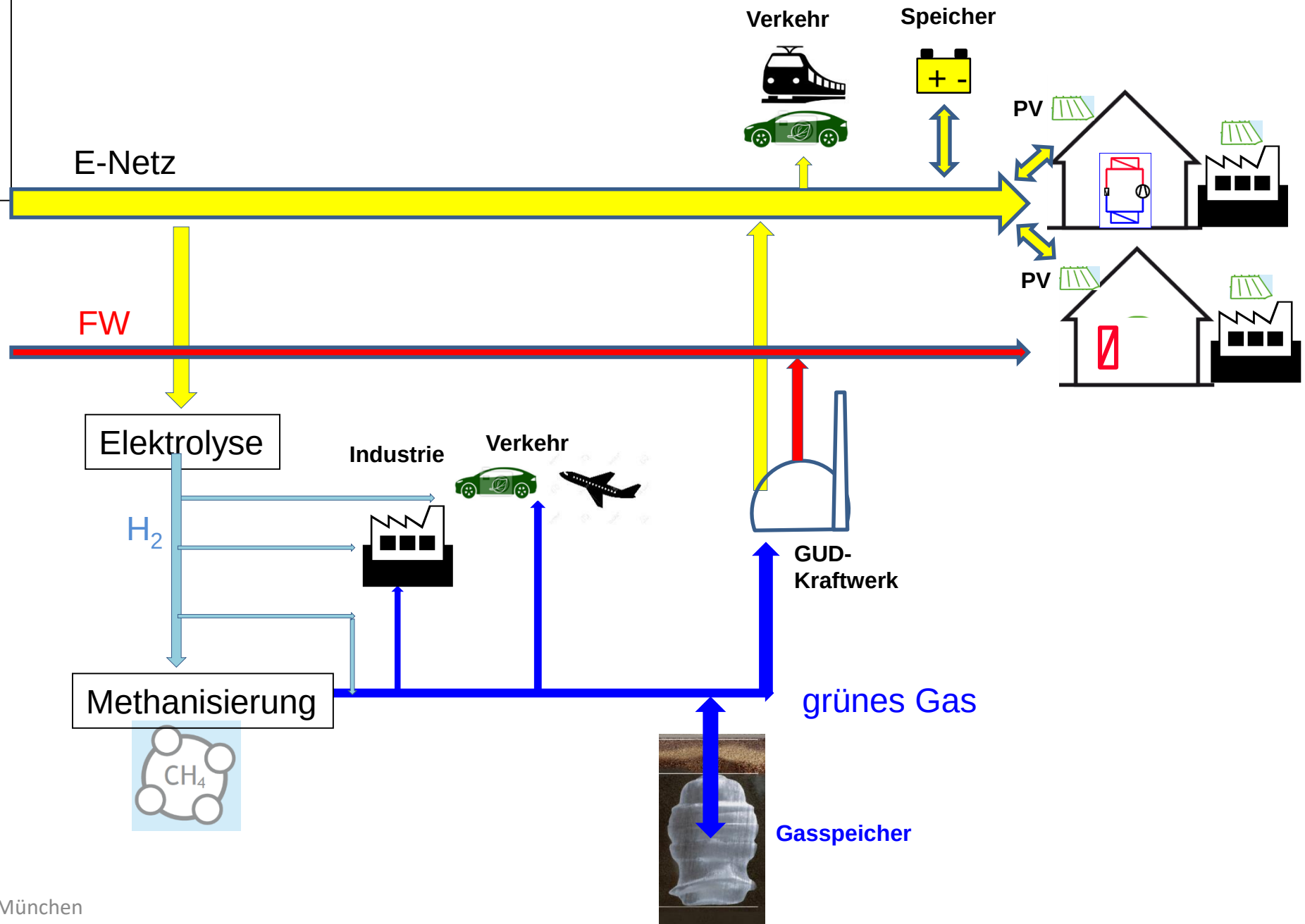
Erklärung „33 %“: Einsparung in Bereichen Verkehr, Produktion, Konsum, Heizung

Wärme, Strom und Verkehr - Sektorenkopplung

Wind
PV
Wasser
Tiefengeothermie
Biomasse

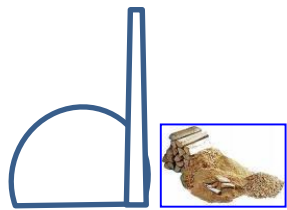
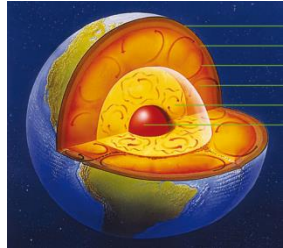
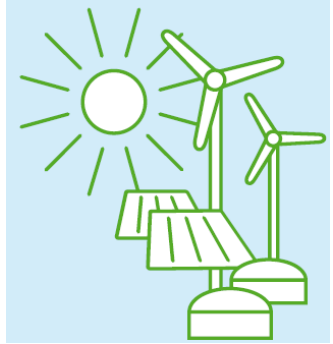


Holzvergaser
Biogas



Wärme, Strom und Verkehr - Sektorenkopplung

Wind
PV
Wasser
Tiefengeothermie
Biomasse



Holzvergaser
Biogas

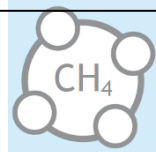
E-Netz

FW

Elektrolyse

H₂

Methanisierung



Industrie

Verkehr

Verkehr

Speicher

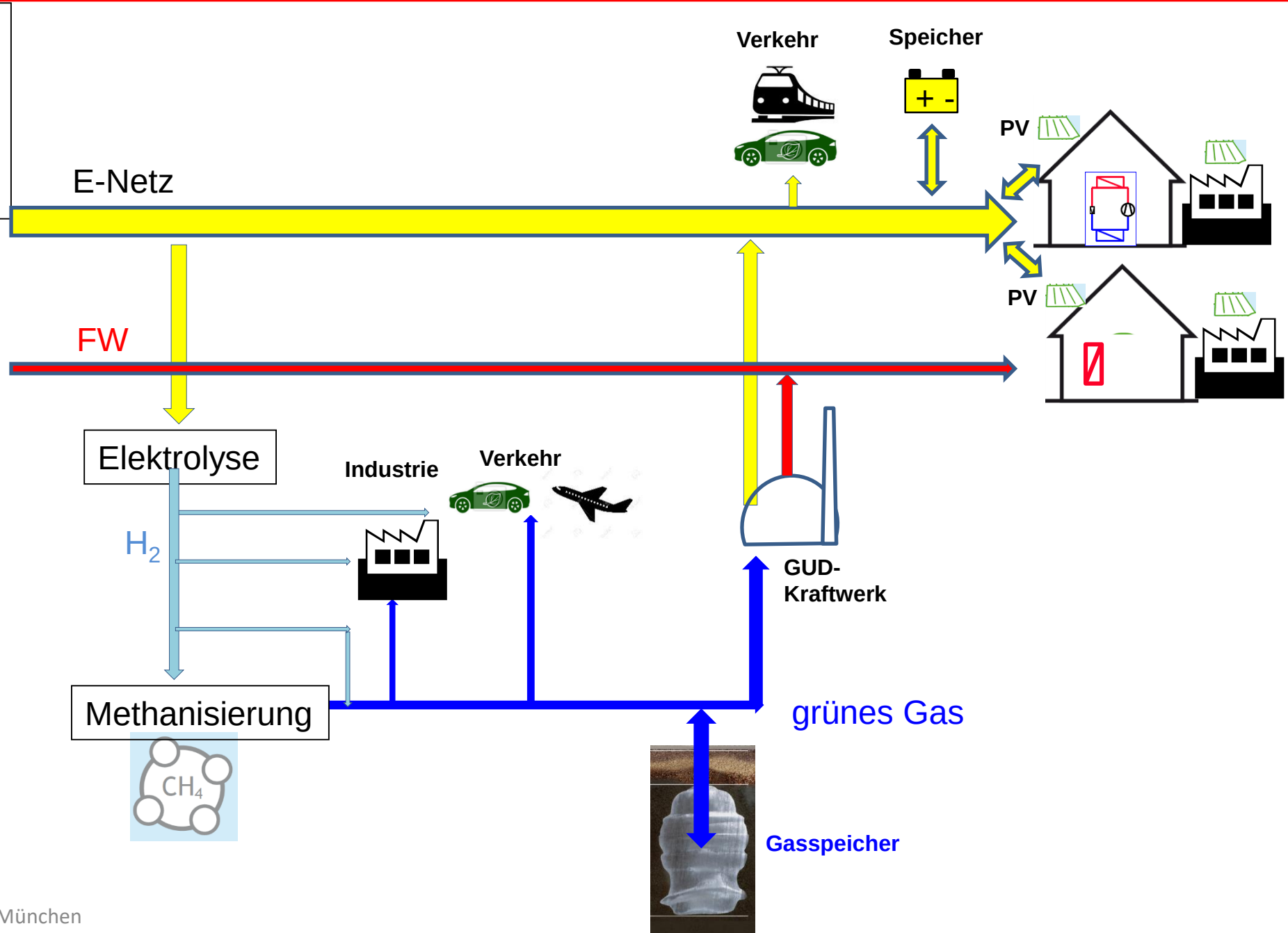
PV

PV

GUD-
Kraftwerk

grünes Gas

Gasspeicher



Memmingen: CO₂ –freie Wohnanlage mit Grundwasser-Wärmepumpenanlage + PV

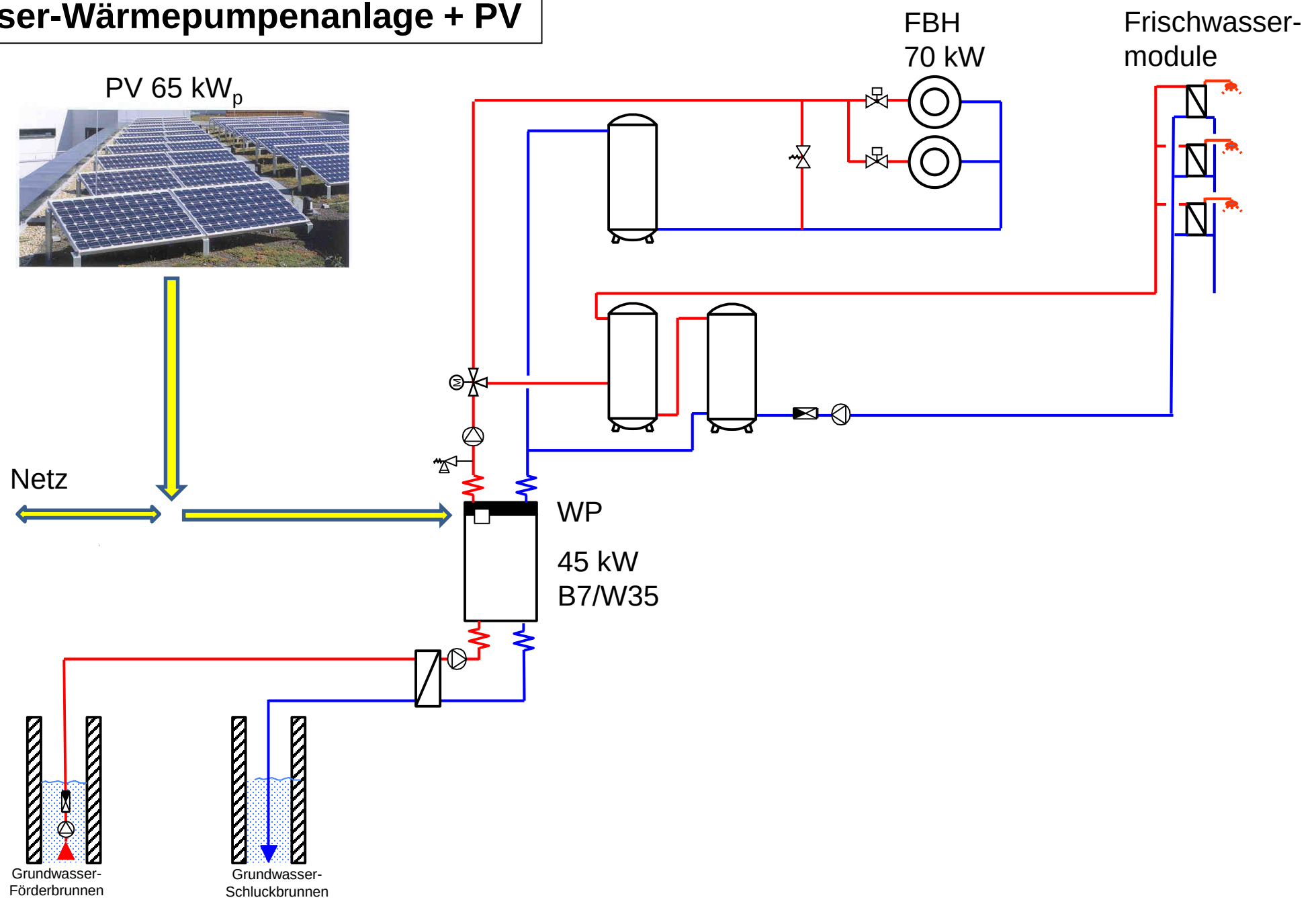


Beheizte Fläche. 2.000 m²
Wohnungen: 21
Heizlast: 70 kW

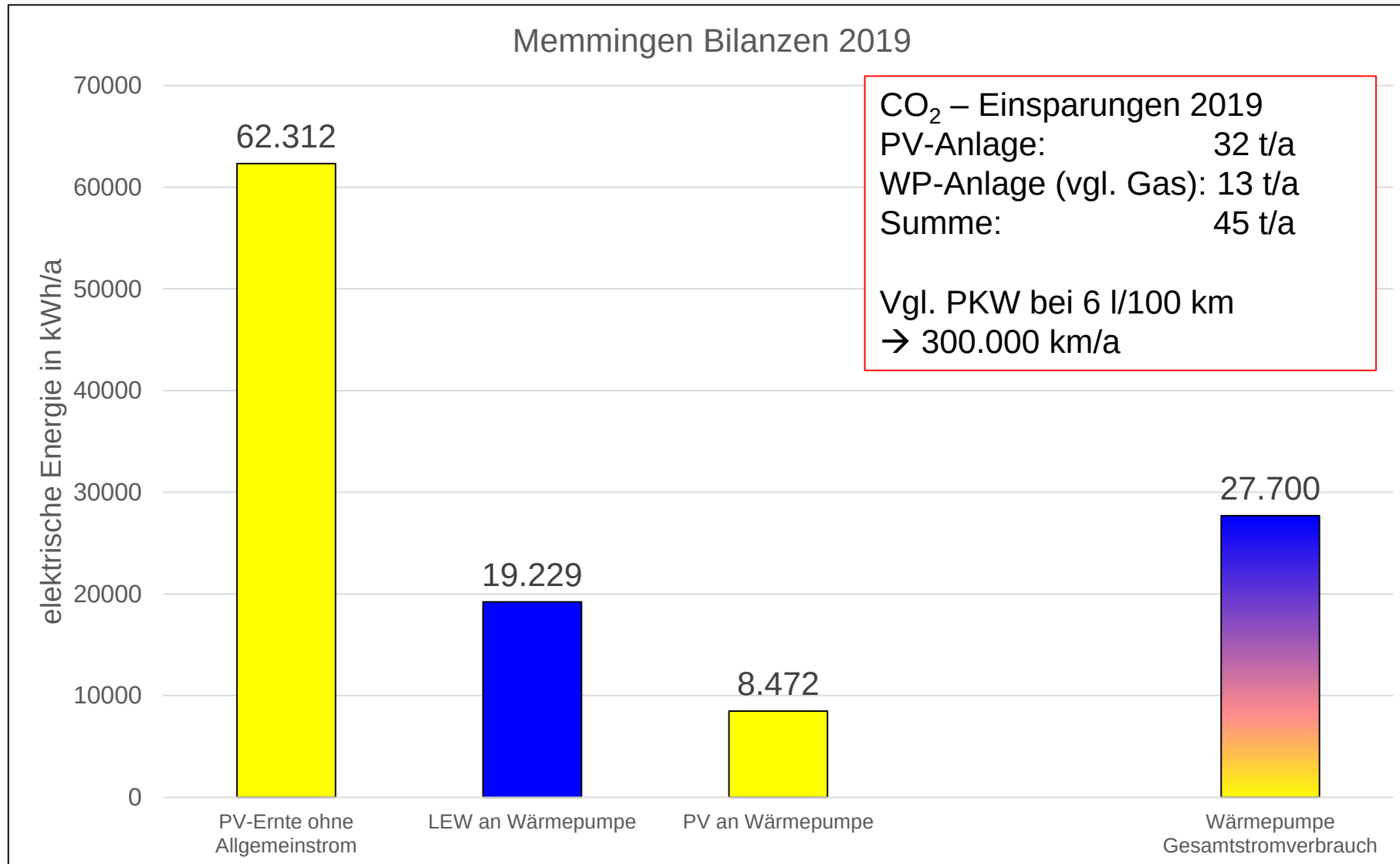


PV 65 kW_p
Ost - West

Grundwasser-Wärmepumpenanlage + PV



Grundwasser-Wärmepumpenanlage + PV



München Quartier Am Oberwiesenfeld
100.000 m²

		OPES Wohn Pflege Super
Fläche	m²	60000
Heizleistung	kW	2000
Kälteleistung	kW	1200

		Quartier
Fläche	m²	104000
Heizleistung	kW	4010
Kälteleistung	kW	3557



		OPES Tower M 78
Fläche	m²	24000
Heizleistung	kW	960
Kälteleistung	kW	890

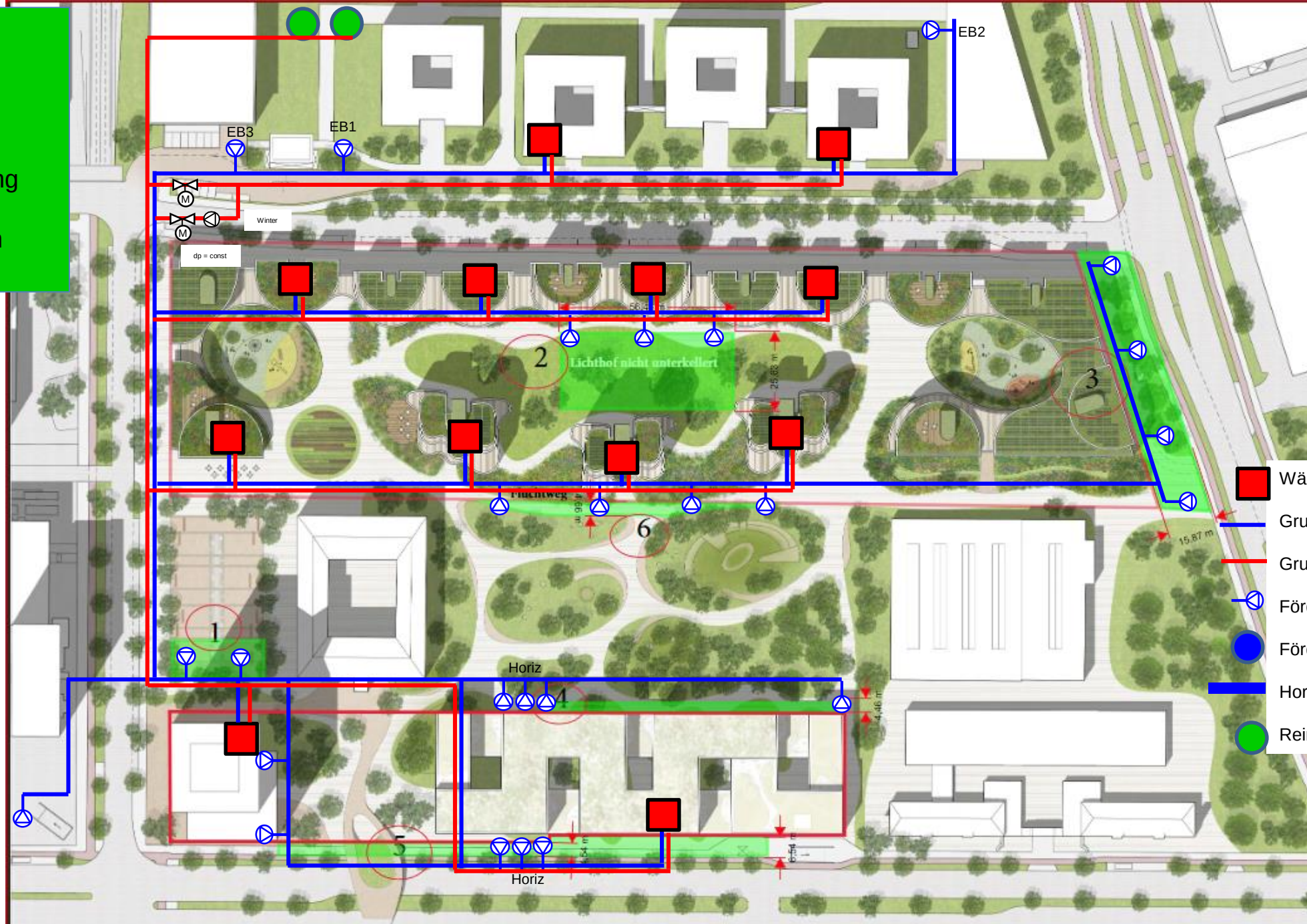
		OPES Campus M 70
Fläche	m²	20000
Heizleistung NT	kW	800
Heizleistung HT	kW	250

München Quartier Am Oberwiesenfeld 100.000 m²

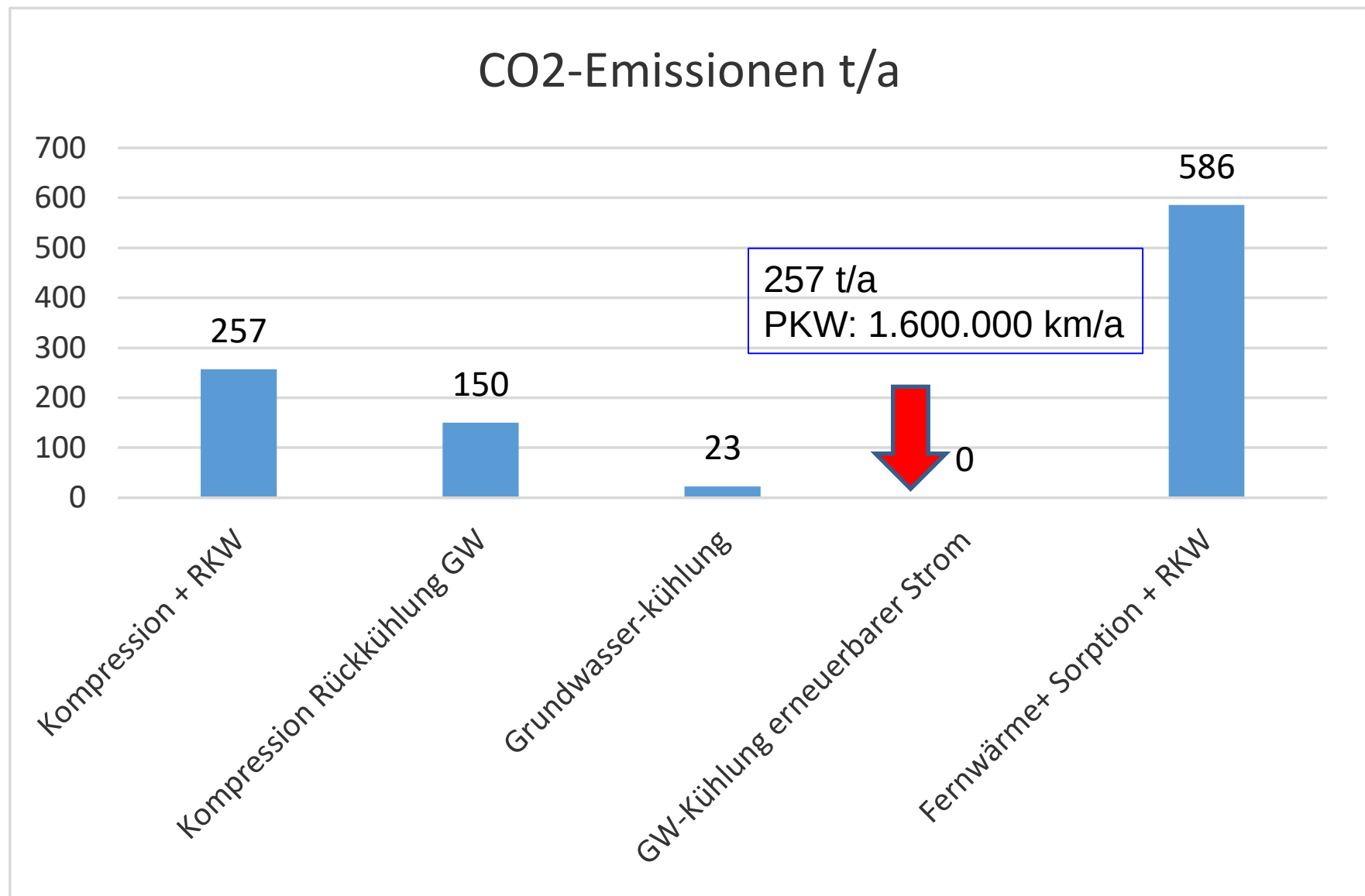


Konzept:
Gemeinsame
Förderleitung

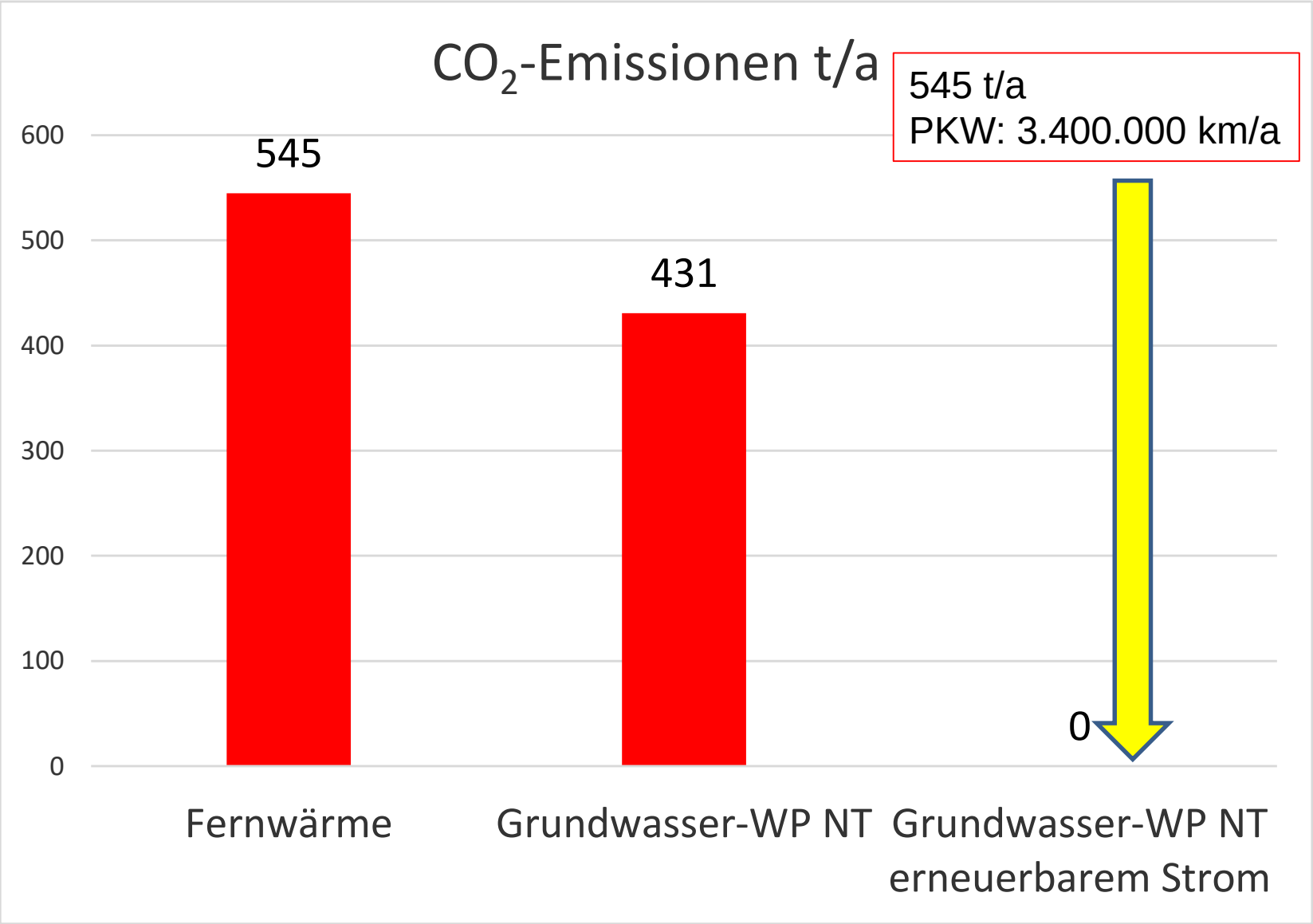
Hier mit
Doppelnutzung
des GW aus
Produktion im
Heizfall



- Wärme-Kälteerzeugung
- Grundwasser-Förderleitung
- Grundwasser-Reinjektionsleitung
- ⊕ Förderpumpe
- Förderbrunnen
- Horizontalbrunnen
- Reinjektionsbrunnen

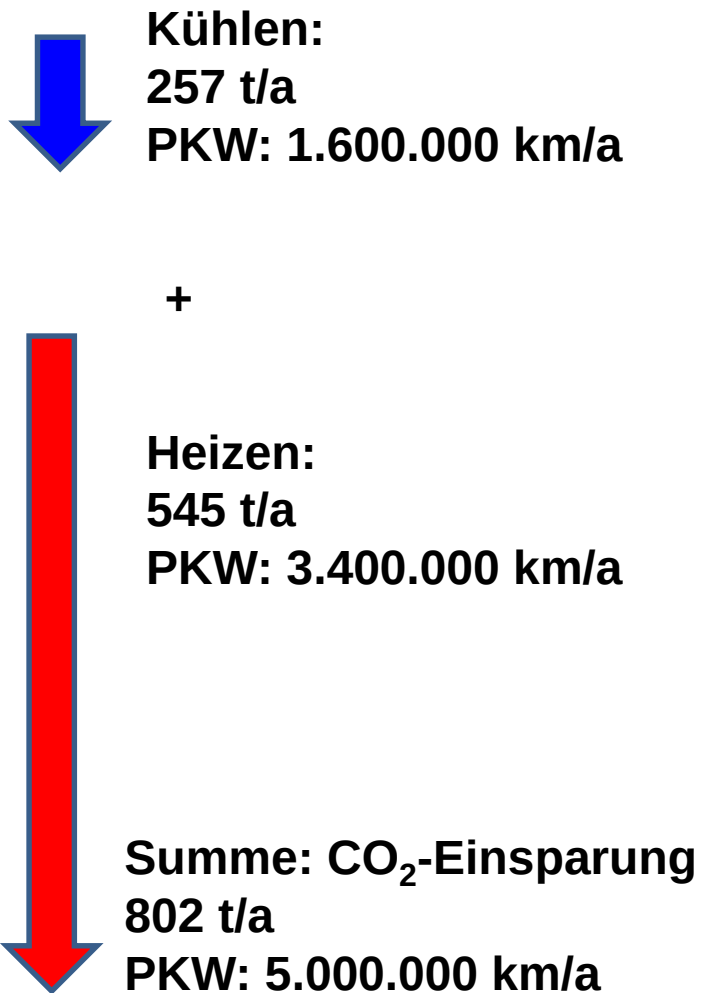


Wärmeeintrag ins
Grundwasser:
2.700.000 kWh/a

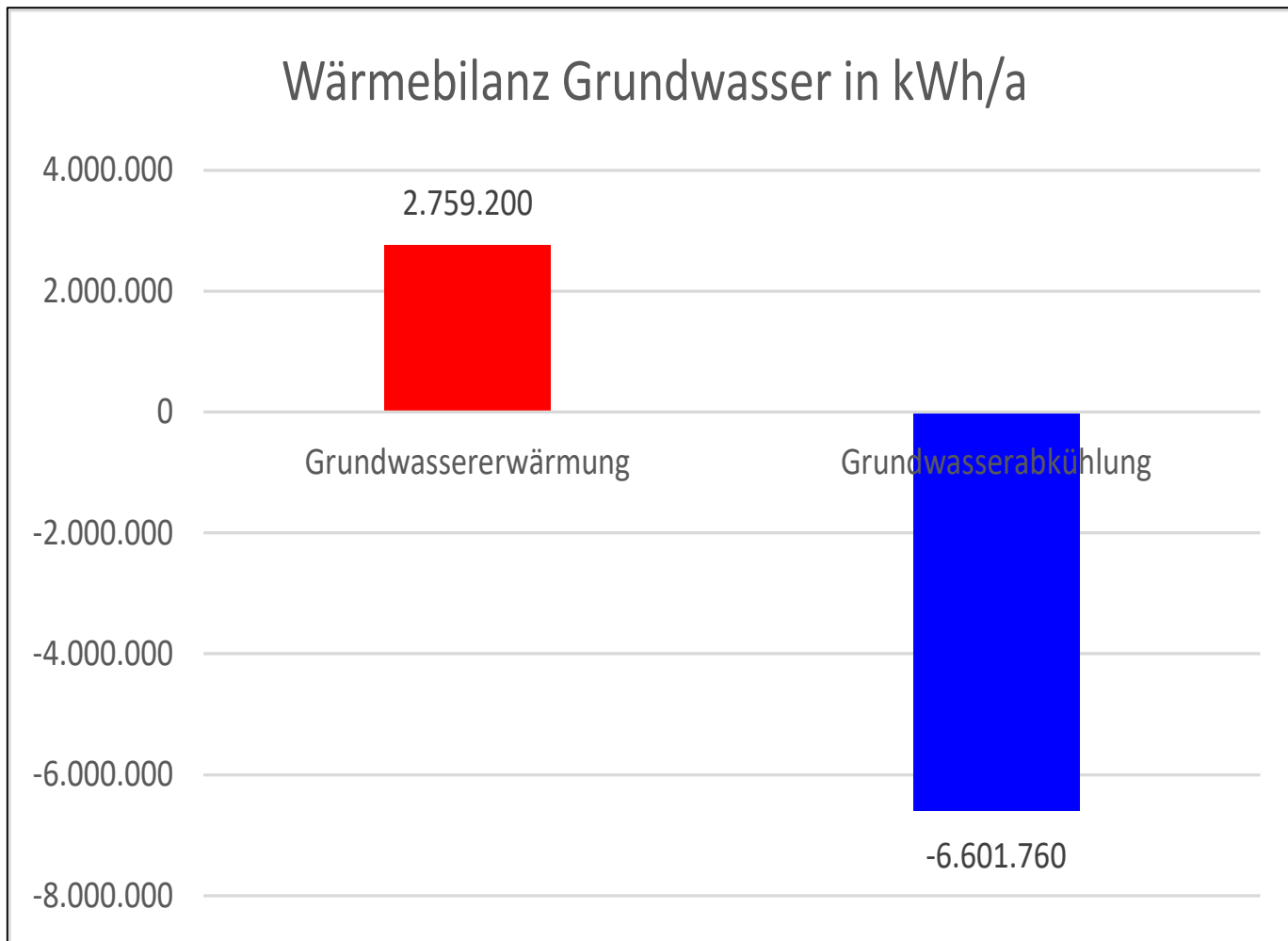


Wärmeentnahme aus
Grundwasser:
6.600.000 kWh/a

Reduktion CO₂-Emissionen:



Wärmebilanz Grundwasser:



Bilanz: 4.000.000 kWh/a Abkühlung

Zusammenfassung:

Erfolgreiche Wege zur CO₂ – freien Wärmeherzeugung im Quartier

1. Um das 1,5 °C – Ziel zu erreichen, dürfen ab sofort fossile Heizungen nicht mehr ausgeführt werden
2. Aktuelle Nutzung fossiler Energie: höchster Wärmeausbeute und niedrigsten CO₂-Emissionen mit Wärmepumpe
3. Künftige Nutzung erneuerbarer Energie: höchste Wärmeausbeute mit Wärmepumpe
4. Wärmepumpenanlagen werden in Quartieren genauso erfolgreich eingesetzt wie in EFH

Referenz bei Entscheidungsfindung:
„Welches System schlägt
Wärmepumpe + PV“?

