

GP JOULE

TRUST YOUR ENERGY.



MACHBARKEITSSTUDIE

Erneuerbare Stromversorgung

Donauwörth

20.06.2024

1

Ausgangssituation

Pfade zur Klimaneutralität

Status Quo

Strombedarfsprognose

2

Konzeptentwicklung

Technologieübersicht

Varianten

Zusammenfassung

3

Zielpfad 2040

Energie- und THG-Bilanzen

Handlungsempfehlungen

1

Ausgangssituation
Pfade zur Klimaneutralität
Status Quo
Strombedarfsprognose

2

Konzeptentwicklung
Technologieübersicht
Varianten
Zusammenfassung

3

Zielpfad 2040
Energie- und THG-Bilanzen
Handlungsempfehlungen

1. Ausgangssituation: Pfade zur Klimaneutralität

Entwicklung von Pfaden zur Klima- bzw. THG-Neutralität im Rahmen von verschiedenen, wissenschaftlichen **Leitstudien**:

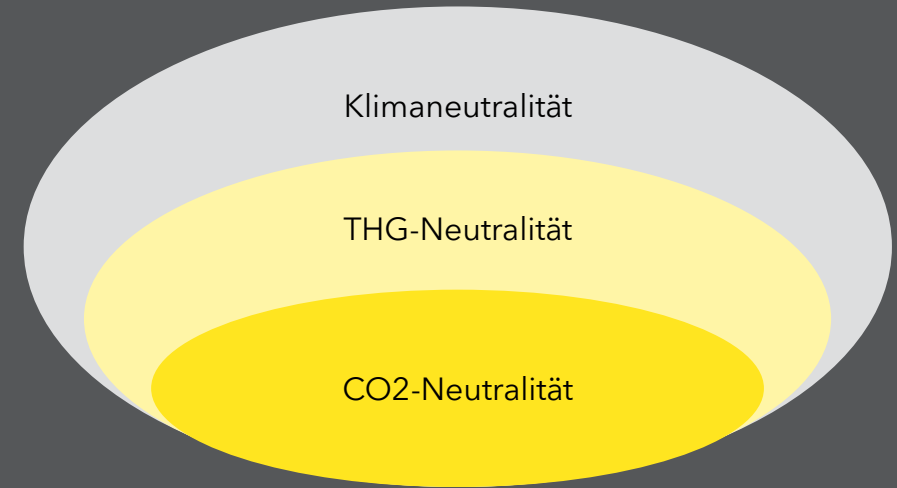
- Klimaneutrales Deutschland 2045
- Ariadne-Projekte: Szenarien & Pfade
- Langfristszenarien: THG-Neutralität 2045

Vergleich von Szenarien mit den folgenden Schwerpunkten und ihren spezifischen Entwicklungen:

- Elektrifizierung
- Wasserstoff
- Synthetische Kraftstoffe

Fazit: Präferenz für Szenario „Elektrifizierung“

1. Geringerer Endenergieverbrauch
2. Schnellere Reduktion der THG-Emissionen
3. Kostenoptimum durch zügigen EE-Ausbau (Wind + PV)
4. Resilienz durch hohe Energieproduktion
5. Geringere Abhängigkeit von Energieimporten



Netto-Neutralität, inklusive weiterer klimawirksamer Effekte (z.B. Albedo-Effekt)

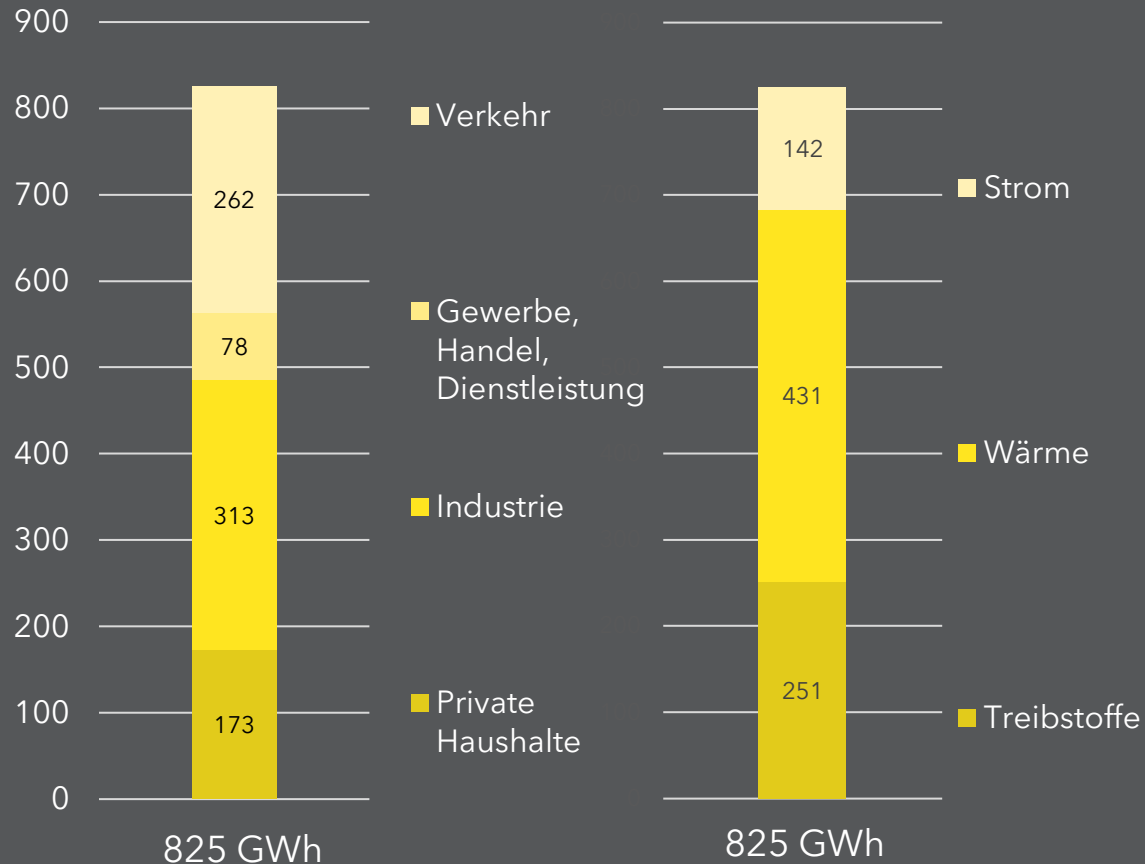
Netto-Neutralität von THG-Emissionen und -Senken

Netto-Neutralität von CO2-Emissionen und -Senken

1. Ausgangssituation:

Status Quo - Endenergieverbrauch 2019

Endenergieverbrauch [GWh]



Sektoren

- Sektoren **Industrie** und **Verkehr** sind mit jeweils über 30% des Endenergieverbrauchs die dominanten Energieverbraucher
- Sektor **Private Haushalte** mit 21% weiterhin signifikant

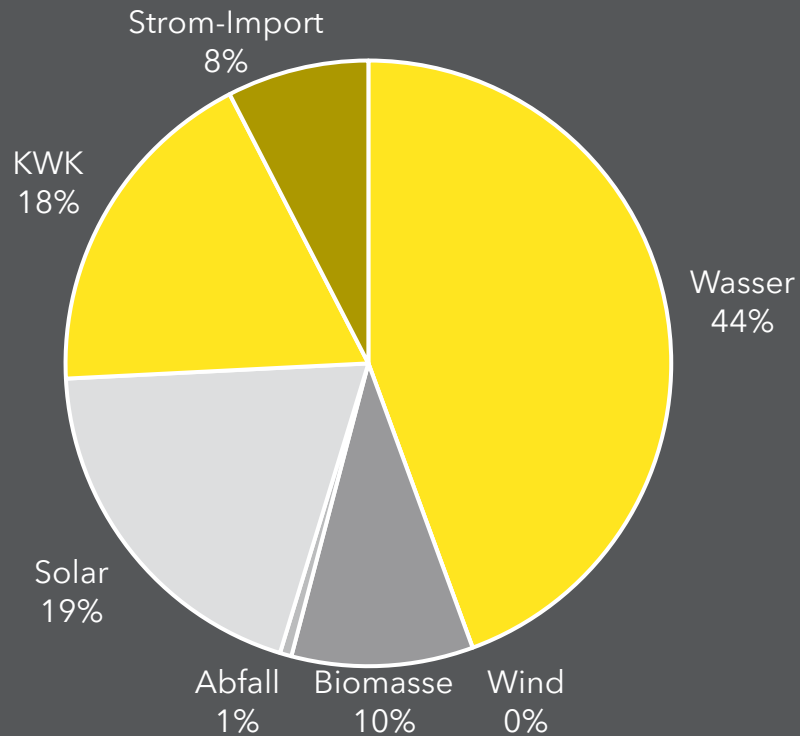
Energieform

- **Wärme ist signifikanter Anteil** am Endenergieverbrauch in den Sektoren:
 - Private Haushalte: 86% (14% Strom)
 - Industrie: 72% (28% Strom)
 - GHD: 79% (21% Strom)
- Im Sektor Verkehr dominieren **fossile Treibstoffe** mit 91% den Endenergieverbrauch

1. Ausgangssituation:

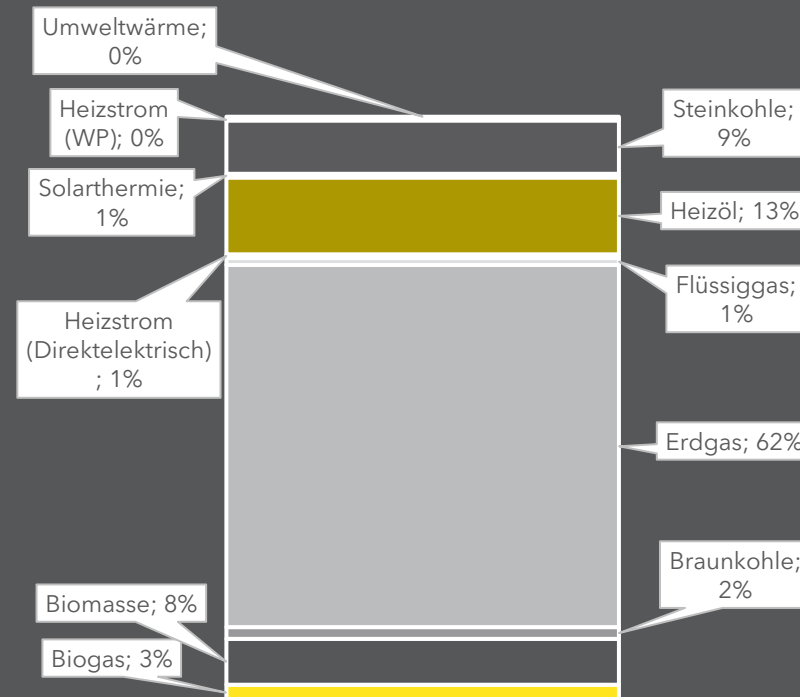
Status Quo - Endenergieverbrauch 2019

Stromerzeugung



Die Stromerzeugung (132 GWh) ist dominiert von **erneuerbaren Energieträgern**.

Wärmeerzeugung



Die Wärmeerzeugung (435 GWh) basiert zu 87% auf **fossilen Energieträgern**.

1. Ausgangssituation:

Status Quo – Energieträger und Kosten

*Ableitung aus Bilanz

Energieträger	Anteil 2019	Preis	Bewertung
Erdgas	33%	4,4 ct/kWh*	Status Quo: 12 ct/kWh in 2024 (Marktpreis)
Kraftstoffe	30%	13,5 ct/kWh*	Status Quo: 17-20 ct/kWh (Marktpreis)
Strom	17%	18,1 ct/kWh*	Verweis: Stromkosten in „Konzept“
Heizöl	7%	6,5 ct/kWh*	Status Quo: 10 ct/kWh in 2024 (Marktpreis)
Wasserstoff	-	unsicher	Verfügbarkeit und Konditionen unsicher
E-Fuels	-	Unsicher	Verfügbarkeit und Konditionen unsicher
EU-ETS	-	24,7 €/t CO ₂ e	Zertifikatpreis steigt bis 2040 voraussichtlich auf 160€/t CO ₂ e und verteuert fossile Brennstoffe. ETS II ab 2027 (Gebäude und Verkehr).

In 2019 besteht eine signifikante **Abhängigkeit von fossilen Energieträgern**, die voraussichtlich in Zukunft weitere Preissteigerungen erfahren werden (siehe BMWK) und eine starke Importabhängigkeit manifestieren.

In Zukunft sollten lokale, **erneuerbare Energieträger** priorisiert werden, um die **Resilienz** und **lokale Wertschöpfung** zu fördern.

1. Ausgangssituation:

Energiebedarfsprognose – Sektor Strom

Beschreibung

Stromverbrauch für mechanische Energie, Beleuchtung, IKT (nicht für Wärme)

Annahme

- Private Haushalte:
Anstieg der Haushaltsanzahl, Durchsetzung von Effizienz-Technologien
- Industrie und GHD:
Anstieg der Bruttowertschöpfung, Investitionen in Effizienz-Technologien, Elektrifizierung

Prognose

Strom [GWh]	2019	2030	2040	2019-2030	2019-2040
Private Haushalte	24	22	19	-8%	-20%
Industrie	87	83	81	-5%	-8%
Gewerbe, Handel, Dienstleitung	17	16	16	-3%	-5%
Gesamt	128	122	116	-5%	-10%

1. Ausgangssituation:

Energiebedarfsprognose - Sektor Wärme I

Beschreibung

Energieverbrauch für die Bereitstellung von Gebäudewärme und Prozesswärme.

Annahme

- COP:
Konservativer COP von durchschnittlich 2
- Gebäudewärme:
Steigerung der Sanierungsraten und -tiefen (1,5 - 2% p.a. bis 2030) sowie Substitution fossiler Energieträger durch Wärmepumpe und Fernwärme
- Prozesswärme:
Steigerung der Bruttowertschöpfung und Effizienzeffekte durch Substitution der fossilen Energieträger (Elektrifizierung)
- Fernwärme

Anteile	2030	2040
Methan	5%	0%
Biomasse	5%	0%
Heizstrom	30%	33%
Umweltwärme	60%	67%

Exkurs: Wasserstoff

1. Priorisierung

Verwendung von Wasserstoff für Prozesse, die komplex zu dekarbonisieren sind (Stahl-, Chemie-, Zementindustrie).

2. Gebäudewärme

Das niedrige Temperaturniveau (<100°C) ermöglicht eine effizientere Versorgung mit Fernwärme und Wärmepumpen.

3. Prozesswärme

Die vorhandene Industrie kann ihren Bedarf an Prozesswärme und -dampf effizient und kostengünstiger durch direkte Elektrifizierung sichern.

1. Ausgangssituation:

Energiebedarfsprognose - Sektor Wärme II

Prognose

Wärme [GWh]	2019	2030	2040	2019-2030	2019-2040
Heizstrom	4	18	35	+408%	+881%
Sonstige Wärme	145	112	71	-23%	-51%
Private Haushalte	149	130	106	-13%	-29%
Wärme [GWh]	2019	2030	2040	2019-2030	2019-2040
Heizstrom	0	45	96	-	-
Sonstige Wärme	225	165	89	-27%	-60%
Industrie	225	210	185	-7%	-18%
Wärme [GWh]	2019	2030	2040	2019-2030	2019-2040
Heizstrom	0	8	15	-	-
Sonstige Wärme	61	46	29	-25%	-53%
GHD	61	53	44	-13%	-29%

*Heizstrom entspricht
Energieverbrauch für:
- Wärmepumpen
- Heizstäbe
- Elektrifizierung in Fernwärme

Sonstige Wärme

- In 2019 setzt sich die sonstige Wärme vor allem aus fossilen Energieträgern (Gas, Heizöl, Kohle) zusammen. In den Szenarien-Jahren wird eine schnelle Dekarbonisierung angenommen und in 2040 wird Umgebungswärme und ein geringer Anteil Biomasse verwendet.

1. Ausgangssituation:

Energiebedarfsprognose – Sektor Verkehr

Beschreibung

Energieträgerverbrauch für die Versorgung der Antriebstechnologien

Annahme

- Verkehrsleistung:
Rückgang der Personenverkehrsleistung (-2%), Anstieg der Güterverkehrsleistung (+30%)
- Substitution:
Elektrifizierung der PKW, E-Fuels/H₂ für Teile des Güterverkehrs
- Mobilitätsverhalten:
Steigerung der Anteile von ÖPNV, Fahrrad und Fußweg am Modal Split

Prognose

Energieträger [GWh]	2019	2030	2040	2019-2030	2019-2040
(Bio-) Benzin	77	45	9	-42%	-88%
(Bio-) Diesel	172	93	11	-46%	-94%
Methan	2	2	0	0%	-100%
Strom	10	50	85	+390%	+739%
E-Fuel / H ₂	0	15	5	-	-
Gesamt	262	205	110	-22%	-58%

Exkurs: Wasserstoff + E-Fuels

1. Effizienz

Die direkte Elektrifizierung vom Verkehr bedarf weniger Endenergie als der Szenario-Pfad über die Produktion von synthetischen Kraftstoffen.

2. Kosten

Ein PKW, der mit synthetischen Kraftstoffen betrieben wird kostet aktuell pro 100km mehr als doppelt so viel wie ein E-Auto.

THG-Neutralität aufgrund von Durchgangsverkehr und deutschen Klimazielen nicht realistisch

1. Ausgangssituation: Strombedarfsprognose

Strom [GWh]	2019	2030	2040	2019-2030	2019-2040
Private Haushalte	28	41	55	+46%	+97%
Industrie	88	129	177	+47%	+101%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	17	24	31	+44%	+85%
Verkehr	10	50	85	+390%	+739%
Gesamt	142	243	347	+71%	+144%
(davon Heizstrom)	(4)	(71)	(146)	-	-

Entwicklung der Strommenge bis 2040

- Reduktion: Effizienz-Technologie für Mechanische Energie, Beleuchtung und IKT
- Anstieg: **Elektrifizierung von Gebäude- und Prozesswärme**
- Fazit: **Strombedarf steigt um 144%** an und entspricht mit **347 GWh** rund 250% des Bedarfs von 2019

Bewertung der Stromerzeugung für 2040

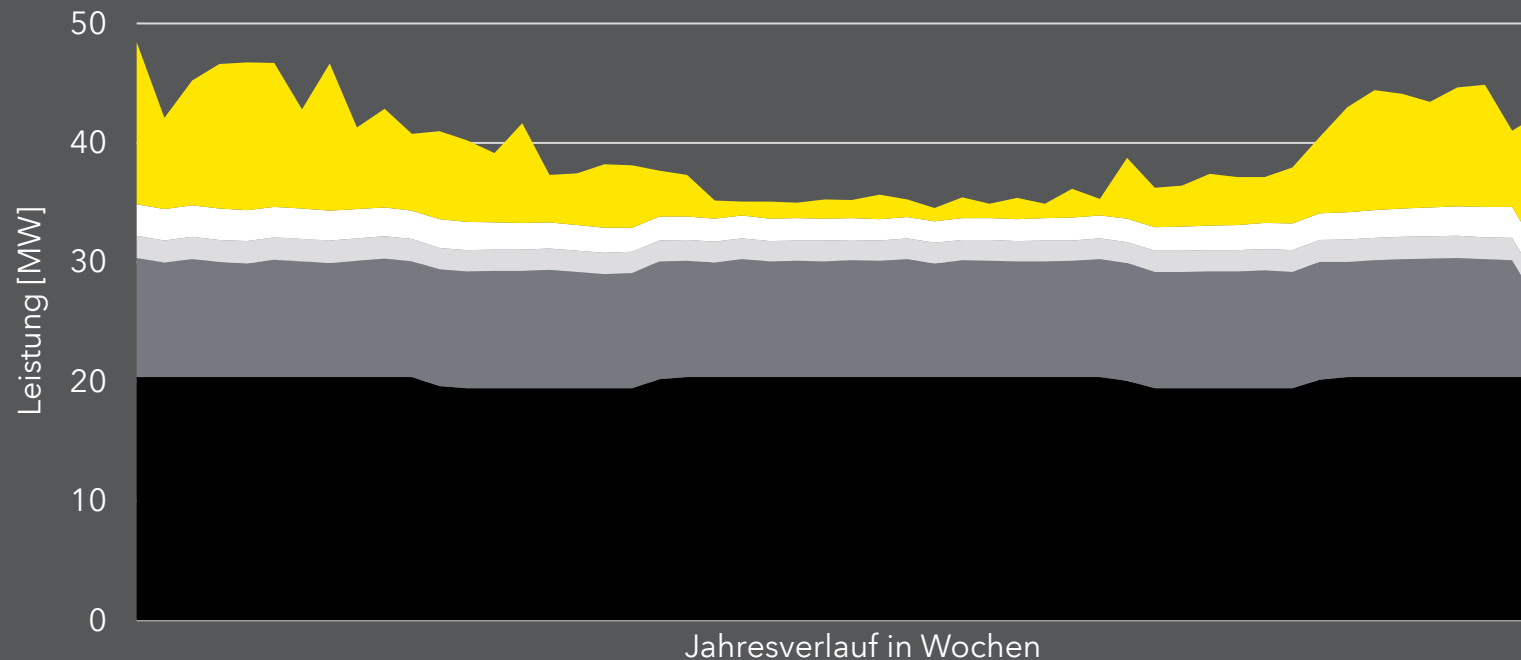
- **85 GWh** des Strombedarfs werden bereits durch erneuerbare Energieträger gedeckt (Wasserkraft, Solar & Abfall) – Biomasse nicht berücksichtigt
- **38 GWh** Strom könnten durch Dachanlagen erzeugt werden

 2040 werden **224 GWh EE-Strom** zusätzlich benötigt

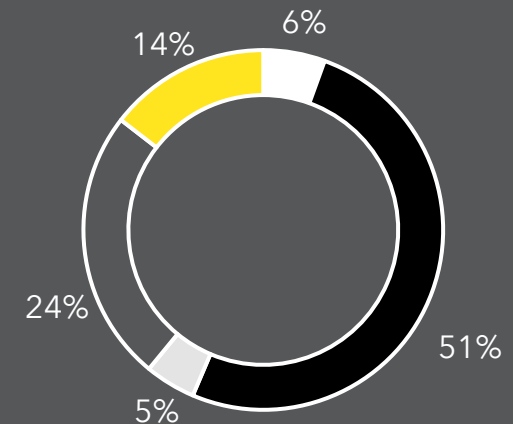
1. Ausgangssituation: Strombedarfsprognose

Entwicklung der Lastkurve

- Durch die Verwendung von Strom für die Erzeugung von Gebäude- und Prozesswärme wird Strom in 2040 zu anderen Zeiten abgerufen, dies führt zu einer **Veränderung des Lastprofils**



■ Industrie ■ Verkehr ■ Gewerbe, Handel, Dienstleistung ■ Private Haushalte ■ Heizstrom (Gebäudewärme)



1. Ausgangssituation:

Status Quo – Geografische Rahmenbedingungen

Gemeindefläche

- 7.700 ha

Landwirtschaftliche Nutzungsfläche

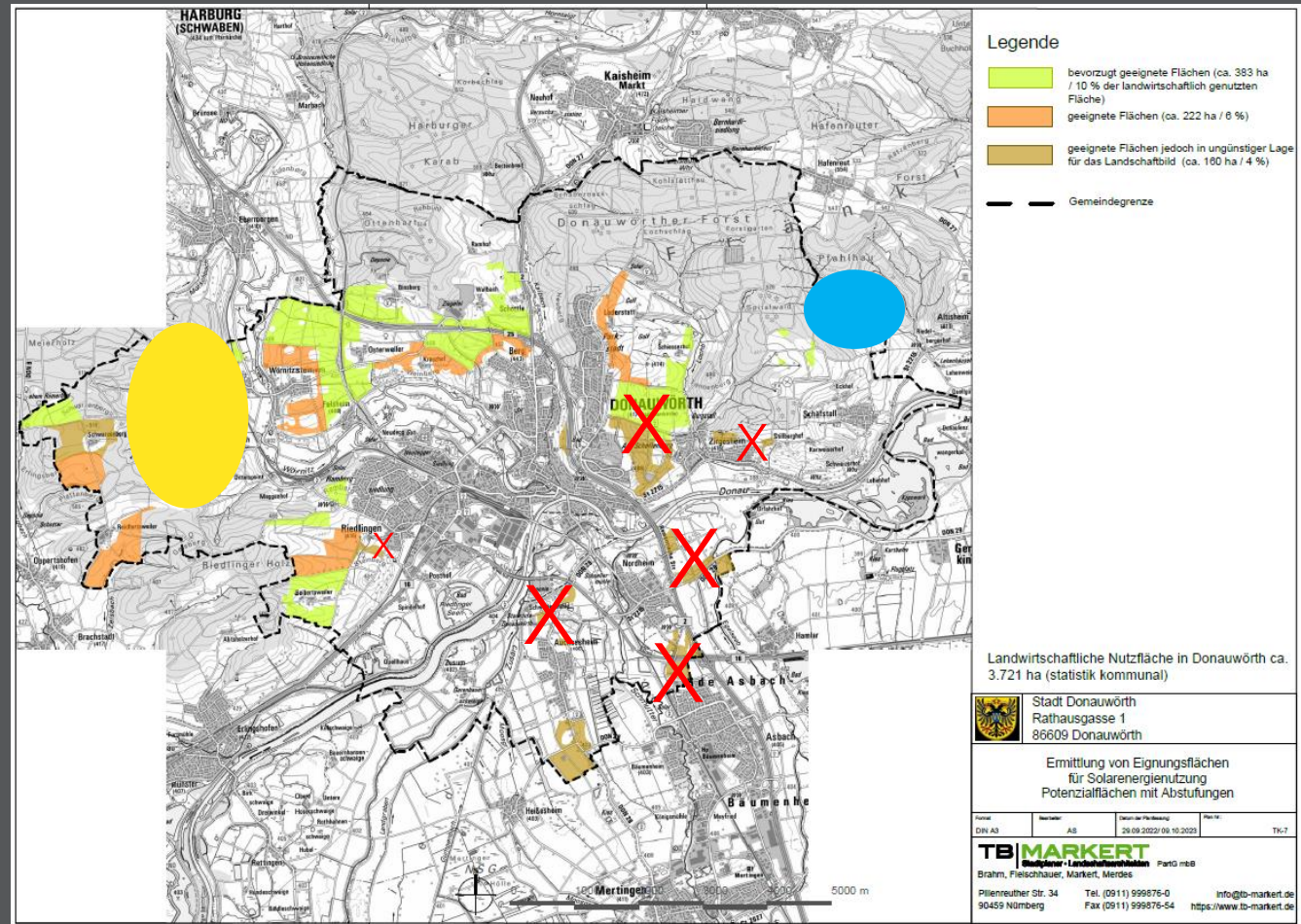
- 3.691 ha

Potentialgebiet-PV

- 855 ha geeignete Fläche unter Berücksichtigung von Topographie
- 383 ha bevorzugte Eignungsfläche mit geringem Konfliktpotential identifiziert (grün)
- 222 ha geeignete Flächen (orange)

Potentialgebiet-Wind

- 150 ha geeignetes Gebiet für Errichtung von Windkraftanlagen (gelb) - Leitbild
- Weiteres Potentialgebiet (blau) – GP JOULE Projects



1. Ausgangssituation:

Status Quo – Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Solarpaket I (EEG-Novelle):

Aufnahme der gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung als Schritt zum Energy-Sharing sowie Reduktion der bürokratischen Anforderung für Mieterstrommodelle

- Gute Voraussetzung zur Ausschöpfung von Dachanlagen-Potential

Benachteiligte Gebiete (landwirtschaftliche ertragsarme Flächen) sind grundsätzlich für den Bau von Freiflächen-PV zugelassen. Durch die „Opt-Out“-Regelung kann die Nutzung jedoch begrenzt werden (Mechanismus vorher genau andersrum)

- Allgemeine Vereinfachung der Planung von PV-Projekten (auch durch „naturschutzfachliche Mindestkriterien“)

WindBG - Windenergieflächenbedarfsgesetz:

In jedem Bundesland ist ein prozentualer Anteil der Landesfläche nach Maßgabe der Anlage (Flächenbeitragswert) für die Windenergie an Land auszuweisen.

Flächenbeitragswert in Bayern:

- 1,1% bis 2027
- 1,8% bis 2032

1

Ausgangssituation
Pfade zur Klimaneutralität
Status Quo
Strombedarfsprognose

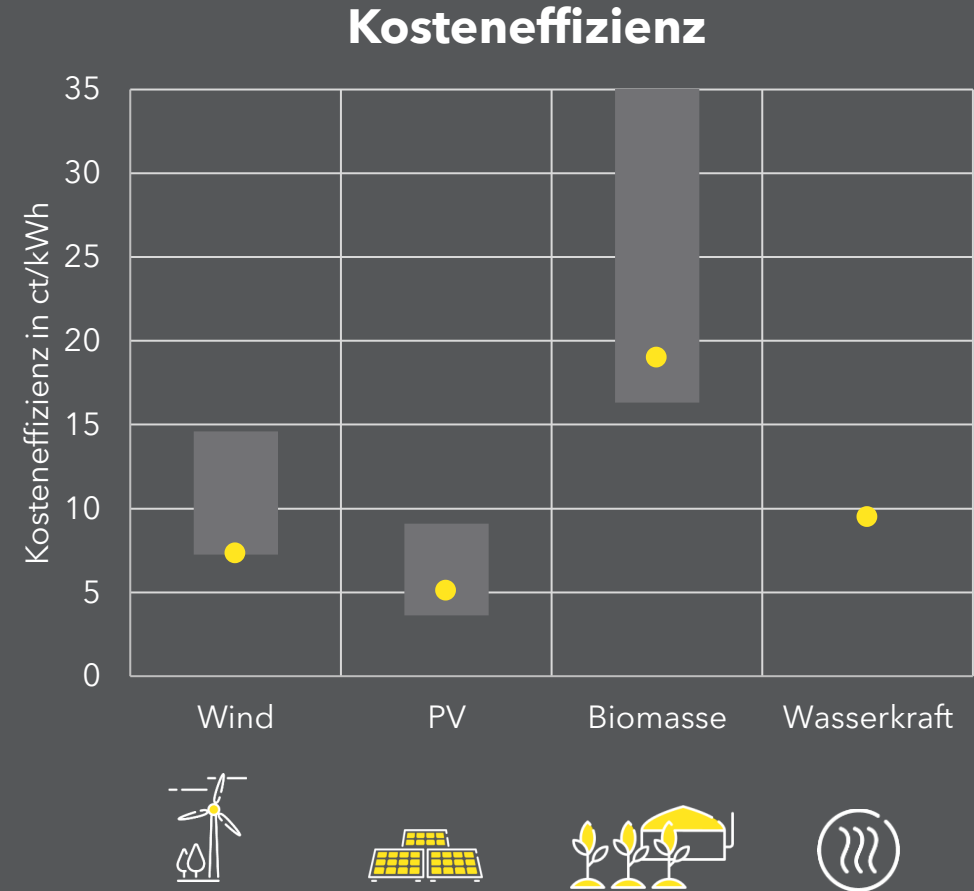
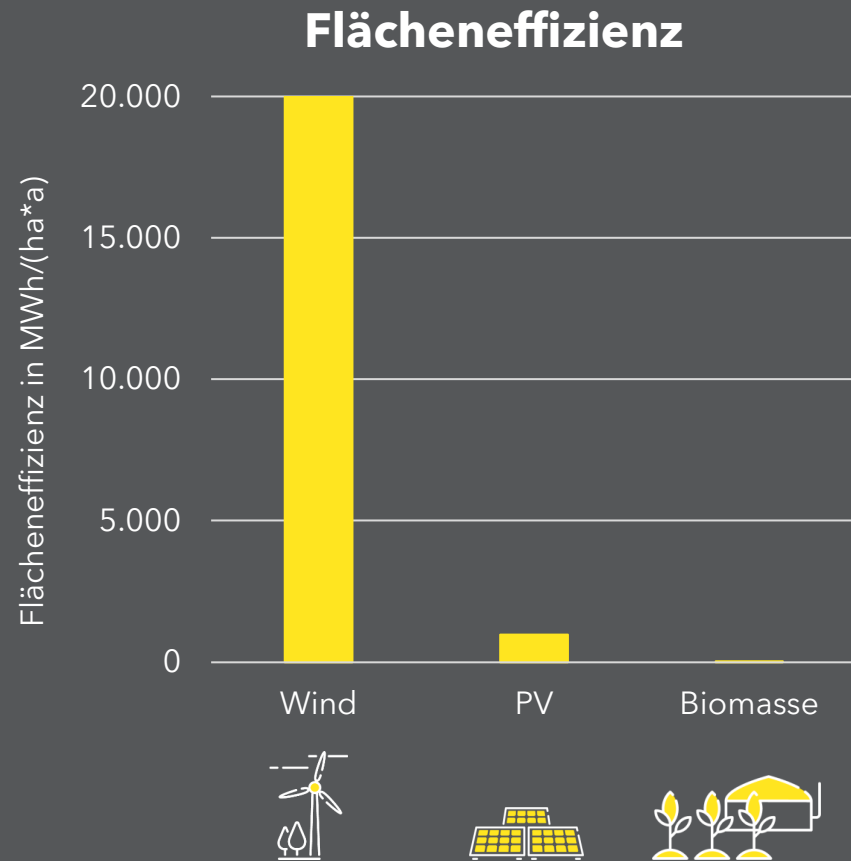
2

Konzeptentwicklung
Technologieübersicht
Varianten
Zusammenfassung

3

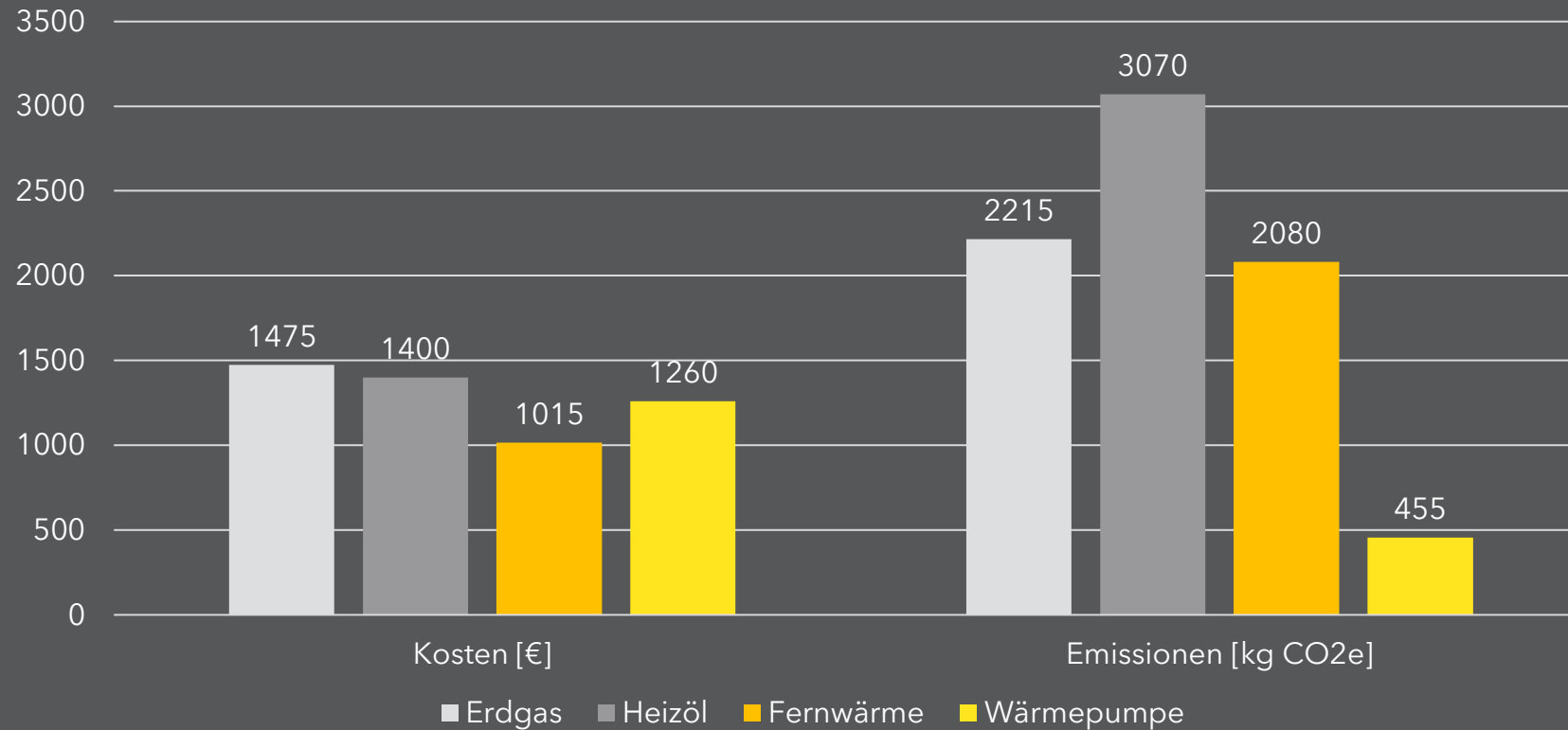
Zielpfad 2040
Energie- und THG-Bilanzen
Handlungsempfehlungen

2. Konzeptentwicklung: Technologieübersicht - Strom



2. Konzeptentwicklung: Technologieübersicht - Wärme

Vergleich von Heizkosten und Emissionen für die Gebäudewärme einer Wohnung (70qm)



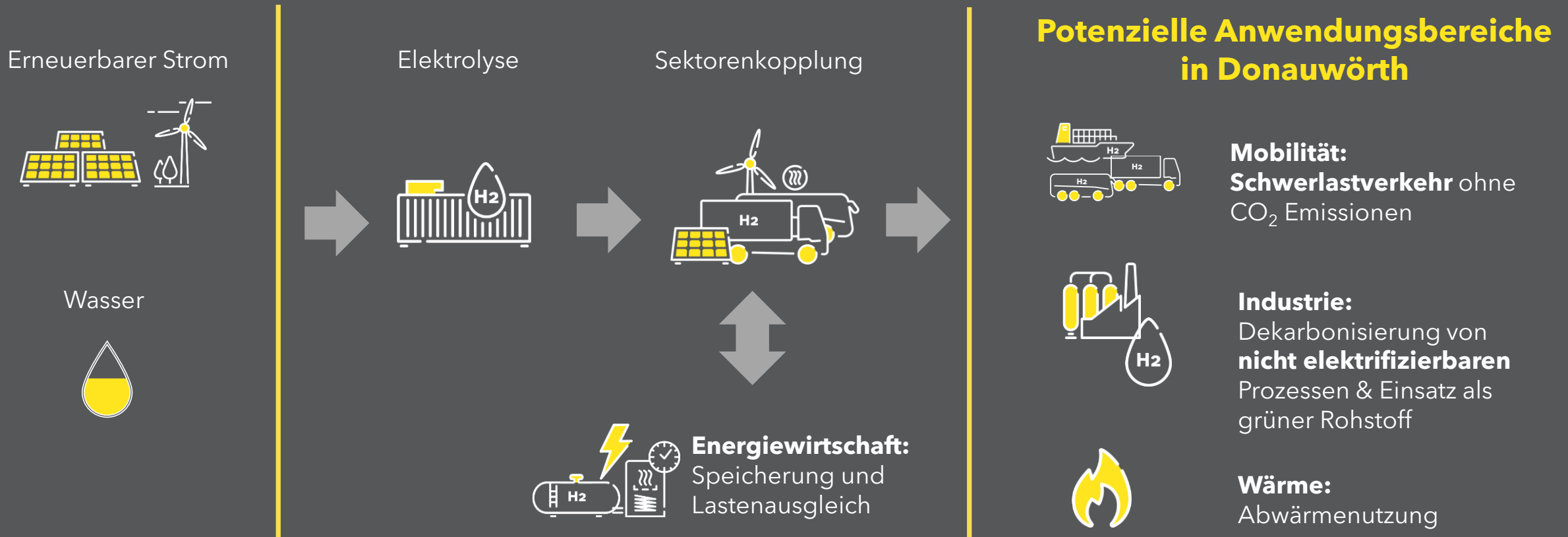
*Die Fernwärme wird zukünftig durch CO2-arme bzw. CO2-neutrale Energieträger erzeugt und hat somit das Potential von sehr geringen Emissionen für die Wärmeversorgung.

** Die Emissionen der Wärmepumpe basieren auf dem Emissionsfaktor für Strom, welcher zügig dekarbonisiert werden soll.

Quelle: <https://www.heizspiegel.de>

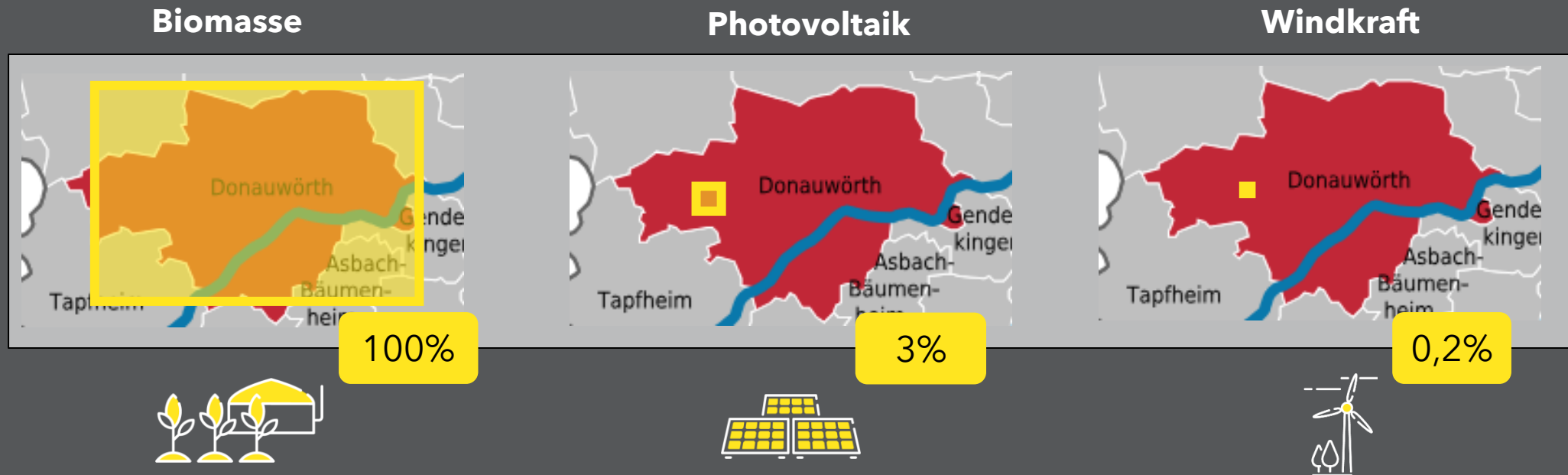
2. Konzeptentwicklung:

Exkurs: Wasserstoff ist zentraler Energieträger der Energiewende



- ➔ **Industrie- und Mobilitätskonzept** ermöglicht Quantifizierung des Potenzials in Donauwörth in den aufgeführten Anwendungsbereichen
- ➔ **Sektorkopplung** zum Wärmesektor durch Abwärmeauskopplung aus der Elektrolyse möglich
- ➔ **Elektrifizierbare Prozesse** (z.B. PKW-Verkehr, Heizungssysteme) werden aus **effizienzgründen** und dem ungewissen Ausbau des **Wasserstoff-Kernnetzes** nicht für Wasserstoff-Anwendungen empfohlen

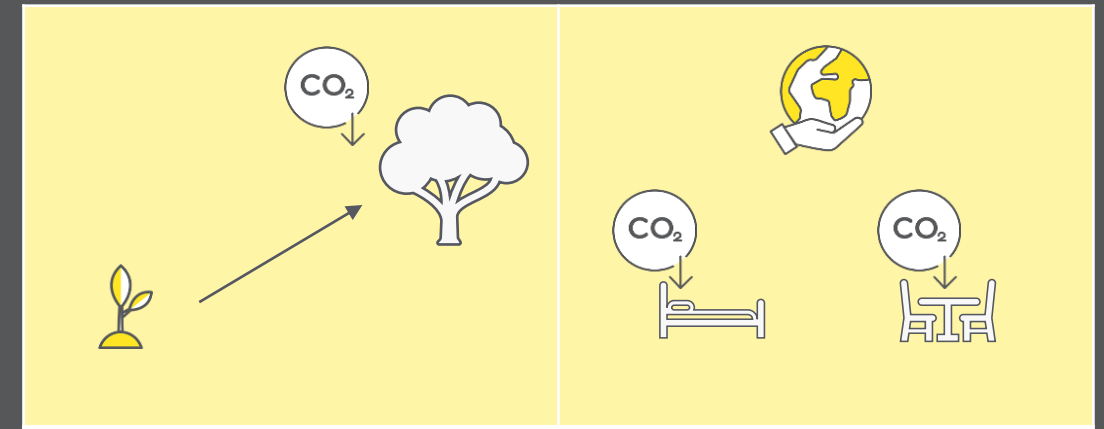
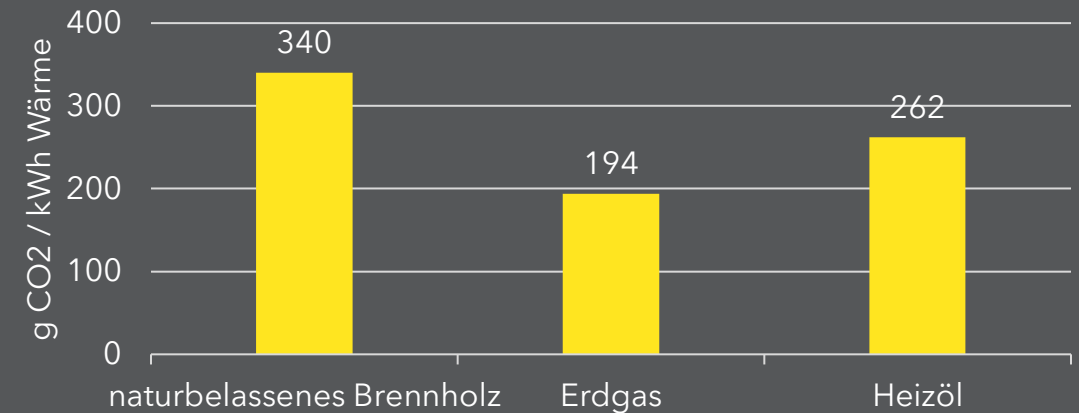
2. Konzeptentwicklung: Klima- und Umweltbilanz von Bioenergie



- Strombedarfsprognose für Donauwörth für 2040: **347 GWh/a** → Bedarf an zusätzlichem EE-Strom: **224 GWh/a**
- Bei **Biomasse** ist die **gleichzeitige Wärmebereitstellung** berücksichtigt
- Quadrate: Flächenbedarf, um mit dem jeweiligen Energiepfad diese **Strommenge** bereitzustellen
- Prozentangaben: Anteil der benötigten Fläche Donauwörths zur Deckung dieser Strommenge

2. Konzeptentwicklung: Klima- und Umweltbilanz von Bioenergie

- Bei der Verbrennung von Brennholz entstehen rund doppelt so viel CO₂-Emissionen wie bei Erdgas
- Das CO₂ wird zwar im Wachstumszyklus eines neuen Baumes wieder aus der Atmosphäre gezogen, dies dauert aber bis zu 50 Jahre
 - Voraussetzung: Nachhaltige Forstwirtschaft
- Bessere Verwendung für Holz: Langfristige Speicherung des gebundenen Kohlenstoffs in langlebigen Produkten wie Möbeln/Häusern, sofern möglich
- Potential vom Stadtwald Donauwörth
 - Fläche: 916,9 ha
 - Jährliche Zuwachsrate: 5,5 Festmeter / ha
 - Heizwert: 2.300 kWh / Festmeter
 - ~ **11,5 GWh Heizleistung / a**
 - ~ **3% des Heizbedarfs in 2040**



2. Konzeptentwicklung: Windkraft

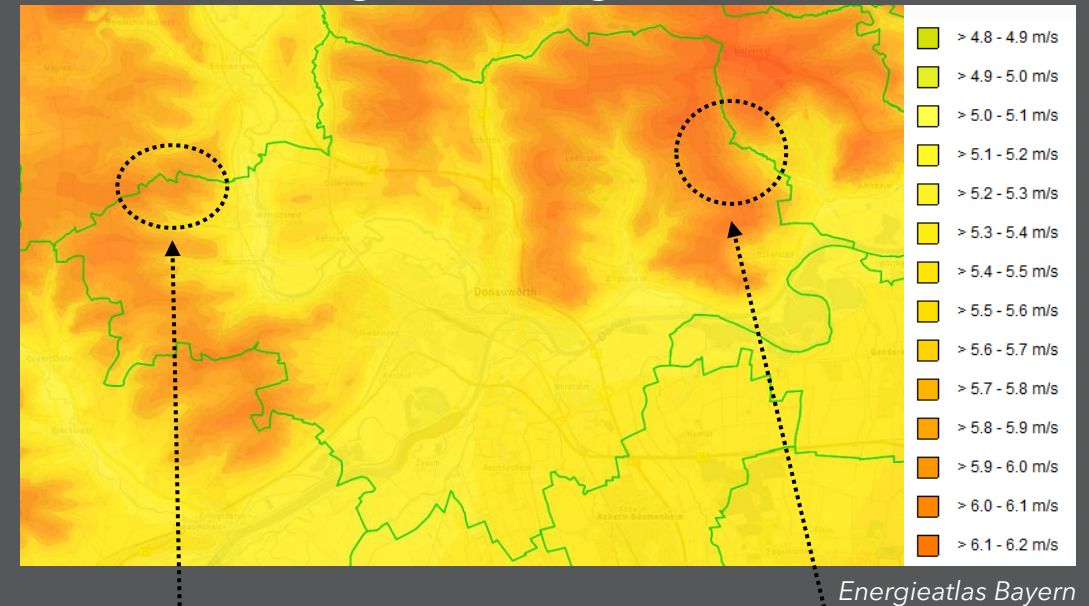
- Potenzialgebiete*: **bis zu 10 Windkraftanlagen** → davon **7 WKA** im Gemeindegebiet Donauwörth
- Mittlere Windgeschwindigkeit in den Potenzialgebieten: **~ 5,3 bis 6,25 m/s**
- Potenzieller Ertrag pro Windkraftanlage in den Potenzialgebieten: **~ 12 bis 14 GWh/a**

Windpotenzial in den Potenzialgebieten

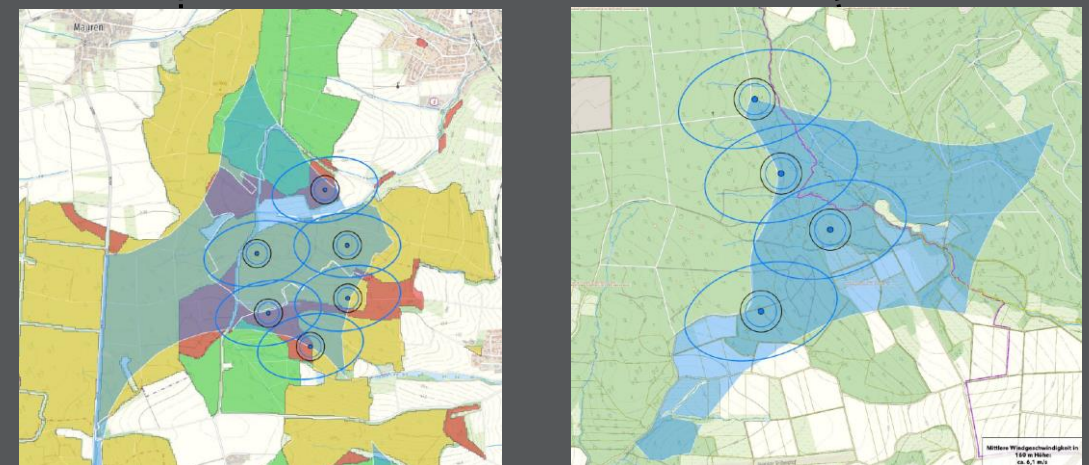
Leistung	~ 72 MW
Ertrag	~ 120 bis 140 GWh

➔ Das Windpotenzial reicht voraussichtlich **nicht** aus, um den **gesamten zusätzlichen EE-Strombedarf** Donauwörths 2040 mit **224 GWh** zu decken

Mittlere **Windgeschwindigkeit** in 160 m Höhe



Potenzialgebiete*



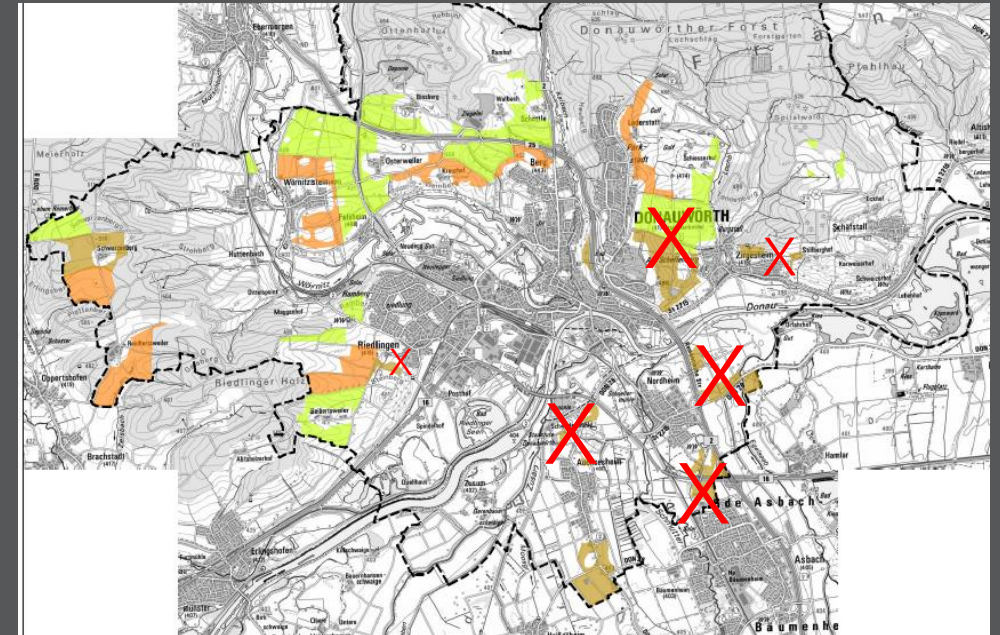
2. Konzeptentwicklung: Photovoltaik

- Potenzialgebiete*: **~625 ha**
→ Ergebnis des Solargutachtens und den gem. Leitbild ausgeschlossenen Flächen
- Mittlerer spezifischer Ertrag in den Potenzialgebieten: **1.133 MWh/ha**

PV-Potenzial in den Potenzialgebieten	
Leistung	~ 625 MWp
Ertrag	~ 708 GWh

➔ Das PV-Potenzial reicht bilanziell aus, um den **gesamten zusätzlichen EE-Strombedarf** Donauwörths 2040 mit **224 GWh** zu decken

Potenzialgebiete



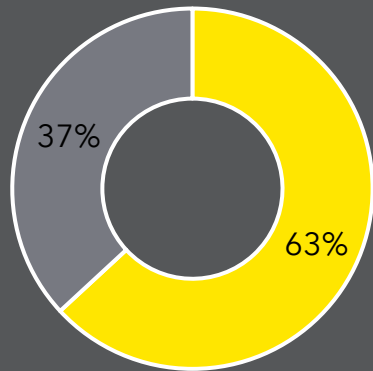
Leitbild Globalstrahlung in Bayern



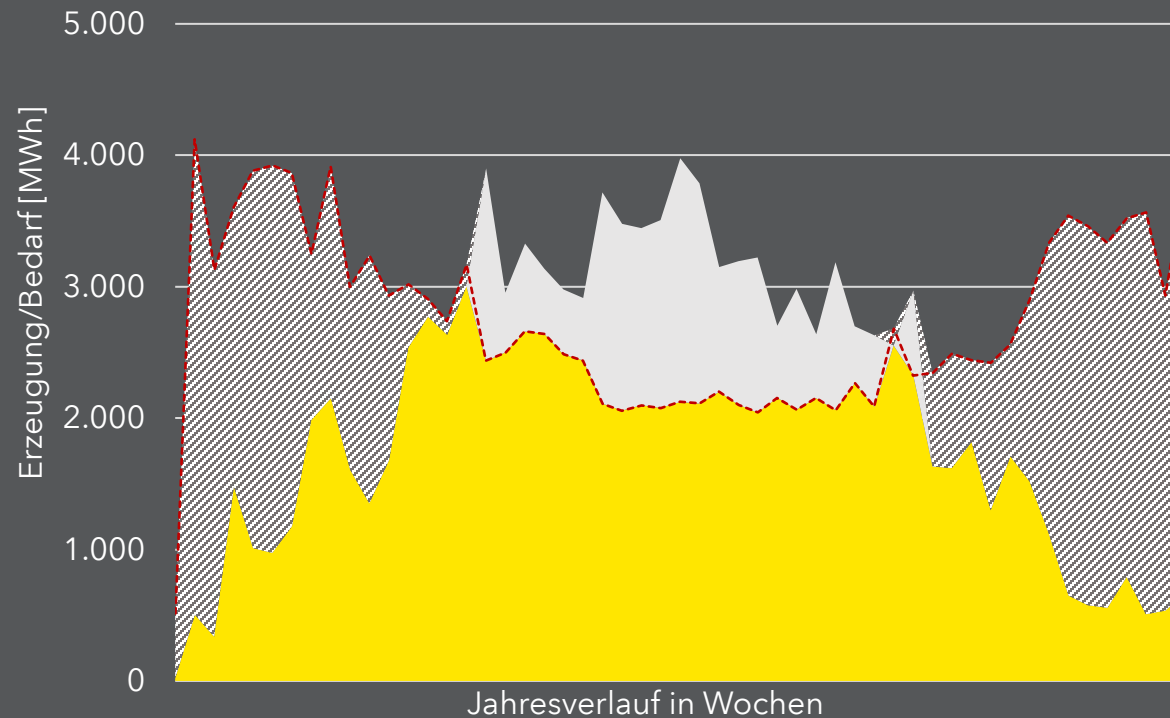
Energieatlas Bayern

2. Konzeptentwicklung: Lokaler PV-Strom und Heizstrombedarf 2040

Autarkiegrad

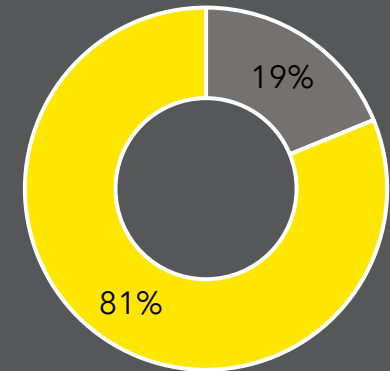


■ PV-Strom für Heizstrom
■ Netzstrom



■ PV-Strom für Heizstrom ■ Netzeinspeisung
■ Netzstrom für Heizstrom - - - Heizstrombedarf

Netzeinspeisung



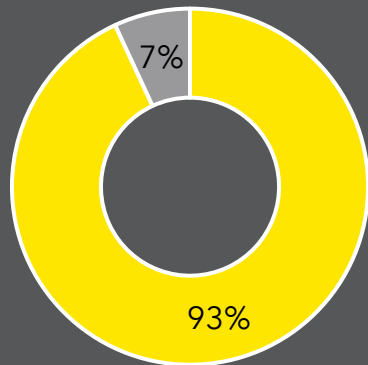
■ Netzeinspeisung
■ PV-Strom für Heizstrom

Szenario:

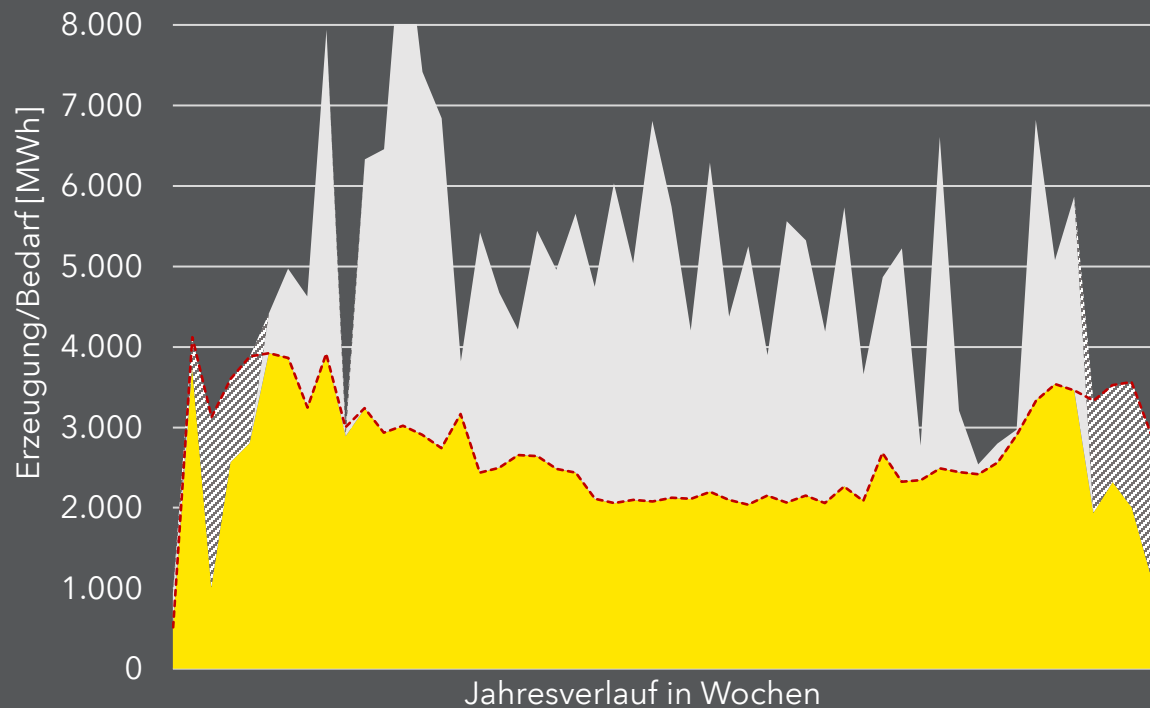
- 100 MWp PV (50% der max. Zielmarke für 2040 gem. Leitbild)
- 146 GWh Heizstrombedarf (50 GWh Gebäudewärme & 96 GWh Prozesswärme)

2. Konzeptentwicklung: Lokaler PV- & Windstrom und Heizstrombedarf 2040

Autarkiegrad

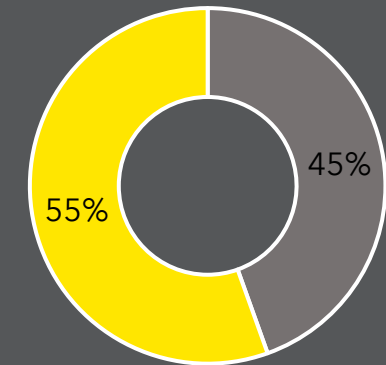


■ EE-Strom für Heizstrom



■ EE-Strom für Heizstrom ■ Netzeinspeisung
 ▨ Netzstrom für Heizstrom - - - Heizstrombedarf

Netzeinspeisung



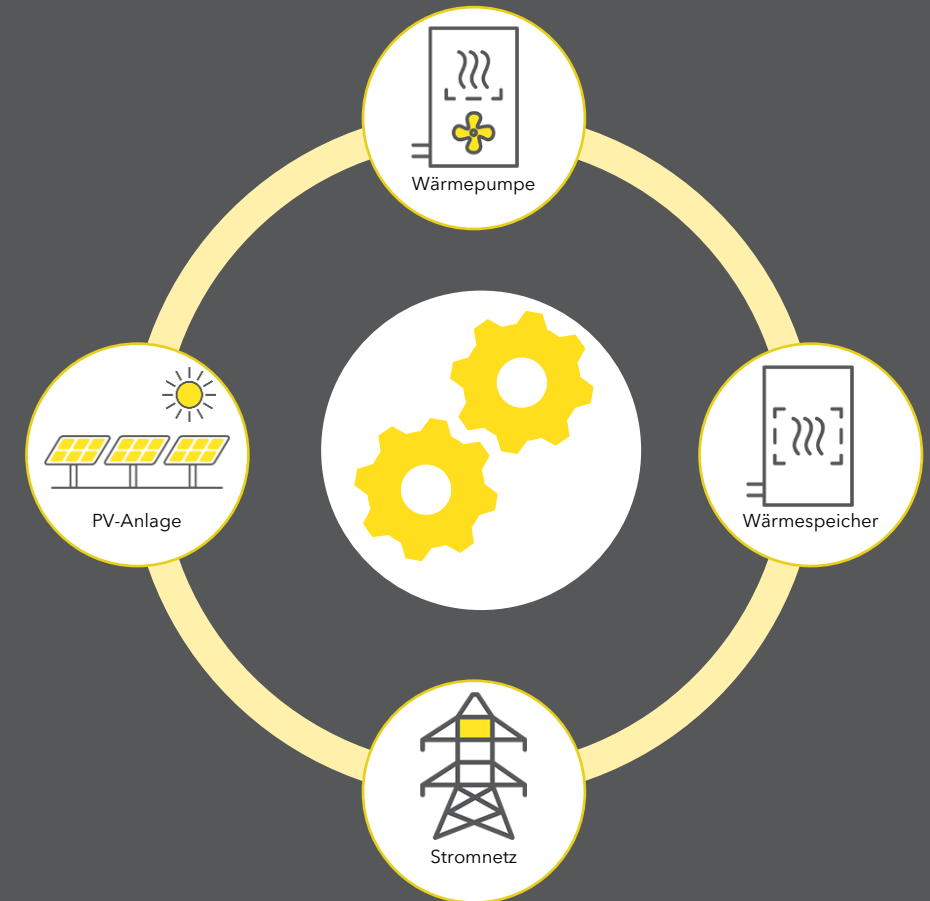
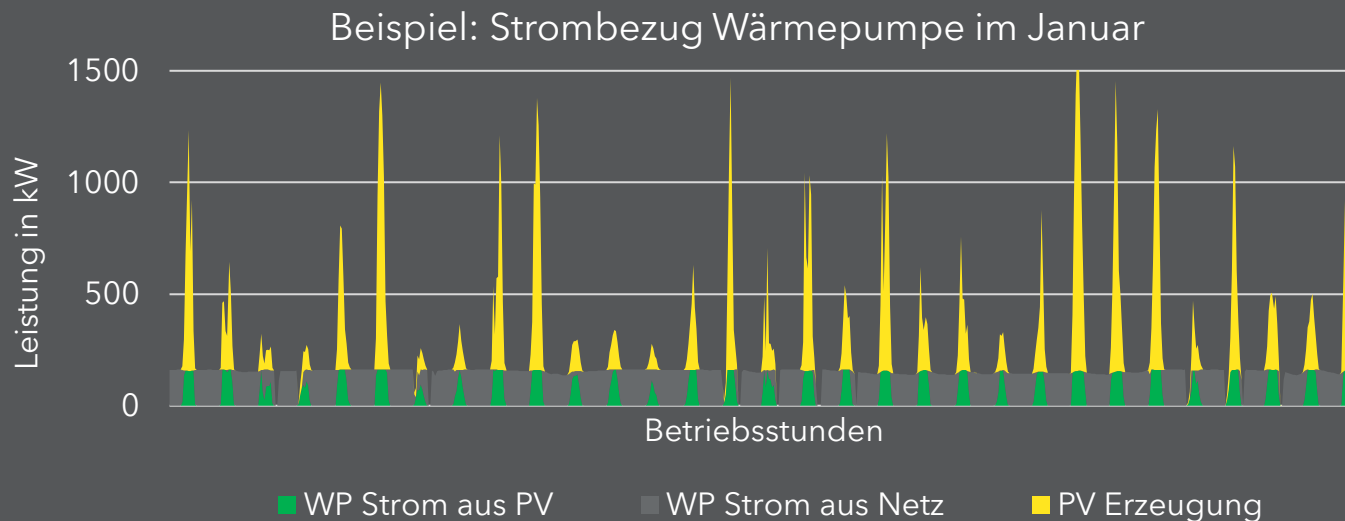
■ Netzeinspeisung
 ■ EE-Strom für Heizstrom

Szenario:

- 65 MW Wind (90% Bebauung des Potenzialgebiets)
- 100 MWp PV (50% der max. Zielmarke für 2040 gem. Leitbild)
- 146 GWh Heizstrombedarf (50 GWh Gebäudewärme & 96 GWh Prozesswärme)

2. Konzeptentwicklung: Power to Heat: Sektorenkopplung & Netzstabilisierung

- Wärmeproduktion bei **Stromüberschuss** im Netz
- **Einspeisen**, wenn wenig Strom im Netz vorhanden
- Wärmespeicher deutlich **günstiger** als Stromspeicher
- **Lokale** Stromerzeugung zur **lokalen** Wärmeversorgung



2. Konzeptentwicklung: Zusammenfassung



- **Wind & Photovoltaik** bieten **günstige** Gestehungskosten und hohe **Flächeneffizienz** im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern
- Durch die **Kombination** von Wind- und PV können **Synergiepotenziale** ausgenutzt werden
 - Netzstabilisierung
 - Langfristige Anpassung von Bedarf & Erzeugung
 - Reduzierung des Stromspeicherbedarfs
- **Flächenbedarf** für zusätzliche 224 GWh/a EE-Strom: **~95 ha**
- Davon **Wind: ~5 ha** (versiegelt)
 - entspricht der Erschließung der **Potenzialgebiete**
 - entspricht ~ 0,06% der Fläche Donauwörth
- Davon **PV: ~90 ha**
 - entspricht ~ 1,2% der Fläche Donauwörth
 - innerhalb der Zielmarke gem. Leitbild bis 2030 für den maximalen Zubau an Freiflächen PV (max. 100 ha)
- **Potenzialflächen** gemäß Solargutachten (855 ha) insgesamt **ausreichend** für die bilanzielle erneuerbare Stromversorgung Donauwörth, davon wurden im Leitbild von Donauwörth rund **625 ha zur Ausschreibung** kategorisiert.

1

Ausgangssituation
Pfade zur Klimaneutralität
Status Quo
Strombedarfsprognose

2

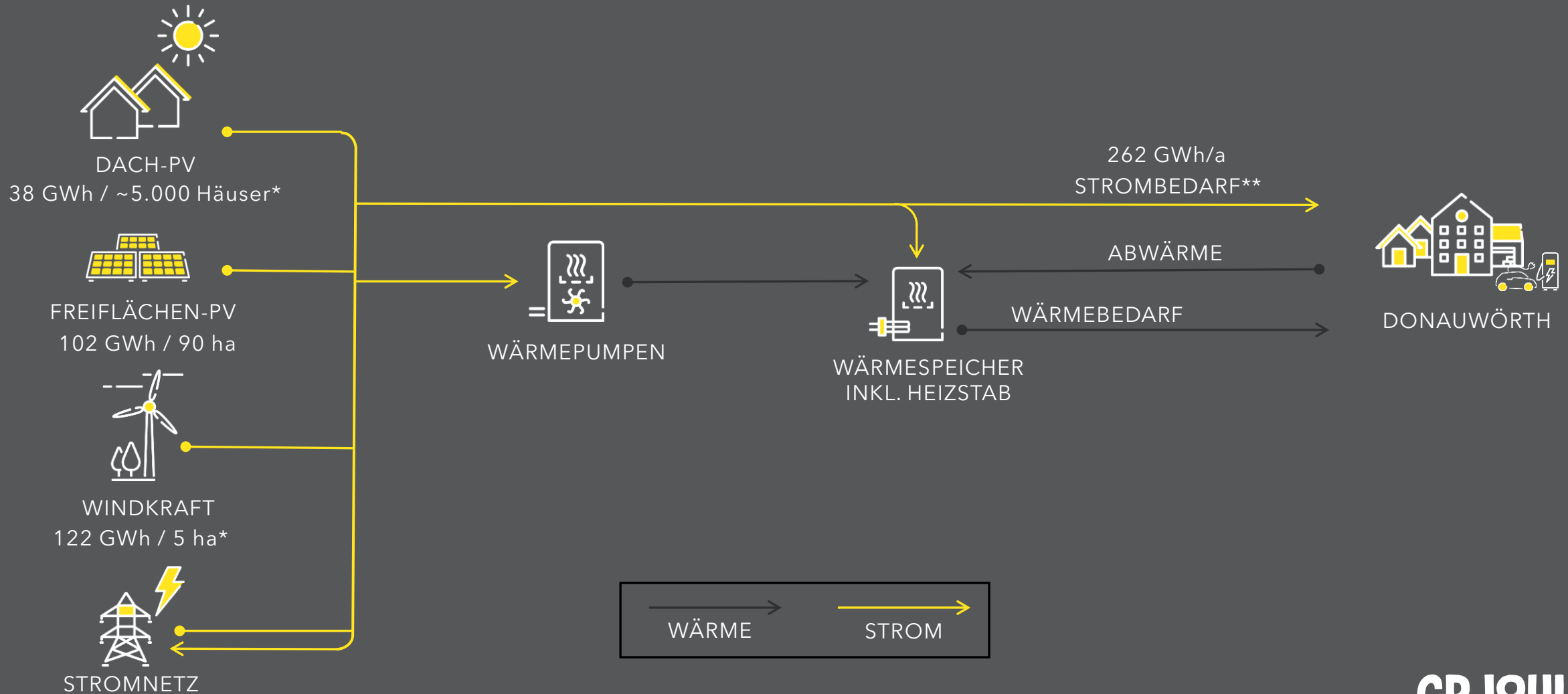
Konzeptentwicklung
Technologieübersicht
Varianten
Zusammenfassung

3

Zielpfad 2040
Energie- und THG-Bilanzen
Handlungsempfehlungen

3. Zielpfad 2040

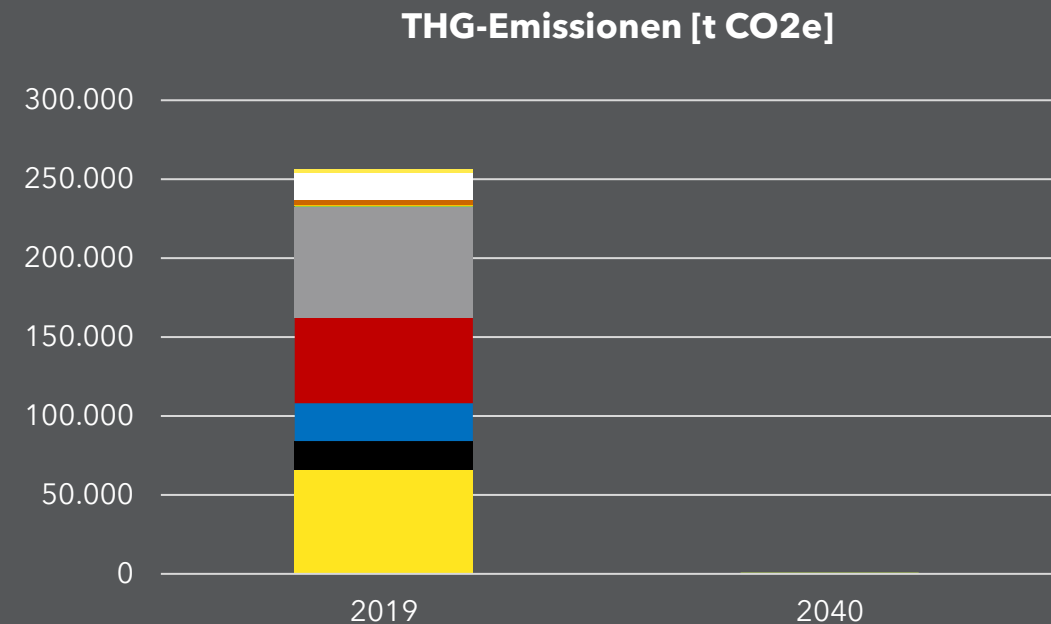
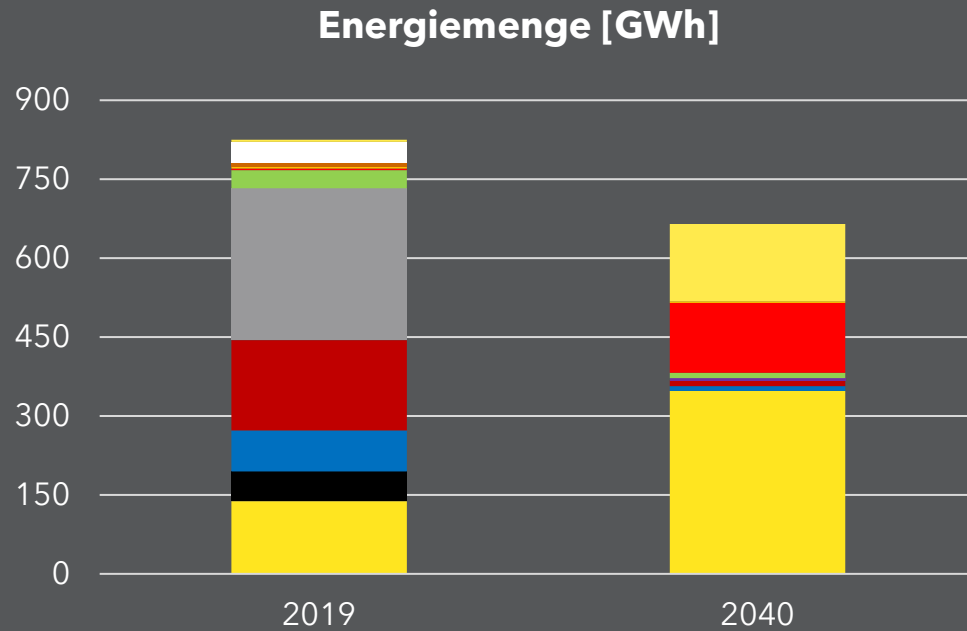
Integriertes Energiesystem - Donauwörth



*versiegelte Fläche

** Zusätzlicher Bedarf an EE-Strom bis 2024; Gesamtbedarf: 347 GWh/a

3. Zielpfad: Energie- und THG-Bilanzen



■ Strom ■ Heizöl ■ Benzin ■ Diesel ■ E-Fuel ■ Erdgas ■ Biomasse ■ Umweltwärme ■ Solarthermie ■ Braunkohle ■ Steinkohle ■ Heizstrom

664 GWh/a Energiebedarf
20% weniger als im Status Quo

829 tCO₂e/a
99% weniger als im Status Quo

*Annahme:
- Emissionsfaktoren von Strom und E-Fuels entsprechen 0 t CO₂e/kWh
- Anteil biologische Treibstoffe konstant

3. Zielpfad: Fokusthemen



Strom

- Erneuerbarer Strom als **Basis** für die **sektorübergreifende Dekarbonisierung**
- ➔ **Synergiepotenziale** von Wind & Photovoltaik nutzen
- ➔ Hohes Potential für **Sektorkopplung** zu Wärme und Mobilität



Wärme

- Status Quo: fast **vollständig fossile** Energieversorgung
 - Potenzial: Emissionseinsparungen durch **Elektrifizierung**
- ➔ **Industrie** als strategischer Partner für Dekarbonisierung



Mobilität

3. Zielpfad: Handlungsempfehlungen

Integration und Verstetigung von „Klima-Governance“ in die kommunale Verwaltung
(z.B. Verwaltungsstruktur, Entscheidungsvorlagen, Kampagne, Weiterbildung, Zusammenarbeit mit Kommunen)



3. Zielpfad:

Das sind die nächsten Schritte

- Gründung von Arbeitsgruppe Politik und Verwaltung + Stakeholder (Industrie vor Ort)
- Veranstaltung von Austausch mit Nachbar-Kommunen
- Organisation von Informations- und Beteiligungskonzept für die Bevölkerung
- ...



Strom

- Ausschreibung von Studie für Windkraft und Fokussierung auf Synergien mit PV
- Ausweisung von Potentialflächen in Regionalplanung
- (Ausschreibung von Studie zu Großbatteriespeichern)



Wärme

- Ausschreibung von Kommunalen Wärmeplanung
- Ausschreibung von BEW-Machbarkeitsstudien für konkrete Wärmenetze



Mobilität

- Ausschreibung für Mobilitätskonzept

Ihr Ansprechpartner



Dr. Christian Roßkopf
Geschäftsführer
c.rosskopf@gp-joule.de



TRUST YOUR ENERGY

Gestalten Sie mit uns
die Energiewende.

www.gp-joule.de

GP JOULE
TRUST YOUR ENERGY.