www.oeko.de

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Erneuerbare Energien

#1 Ausbauziele und Funktionsweise

Charlotte Loreck

Online-Seminar im Grundkurs Energiewende 2.0
9. Mai 2023

Agenda Teil 1 - Technik

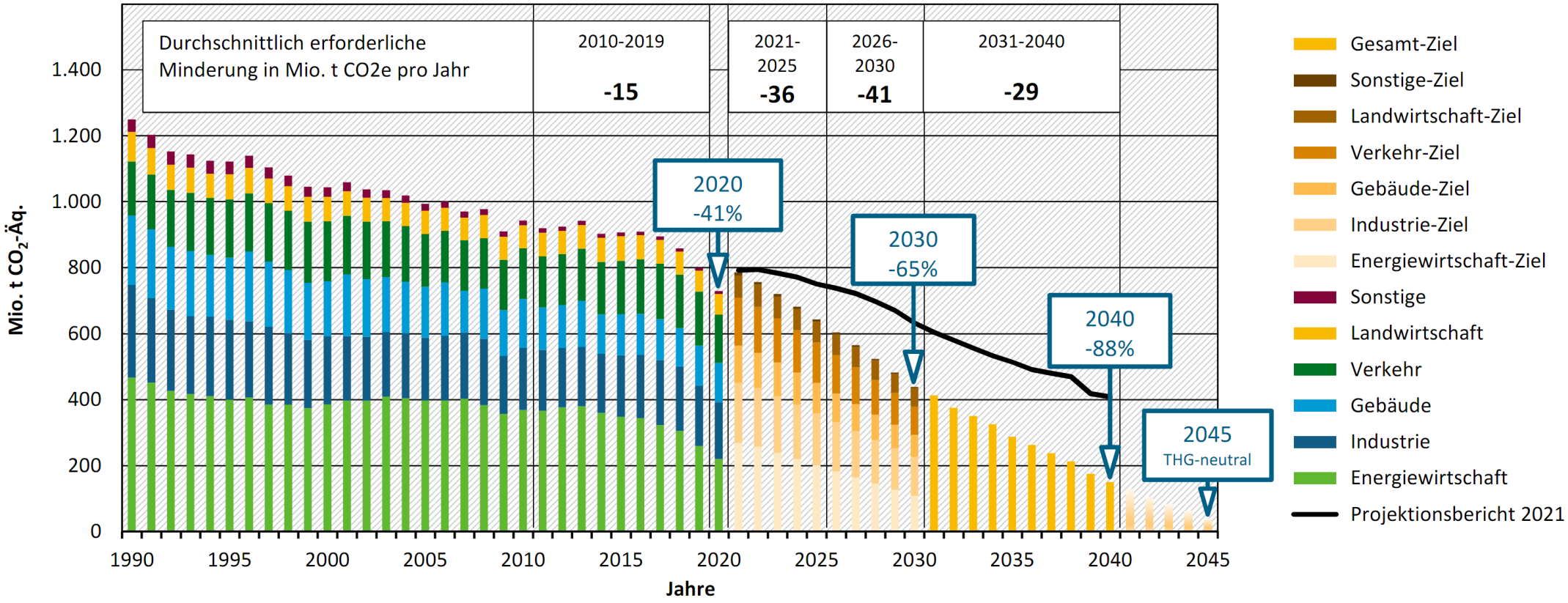
1. Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen
2. Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?
3. Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?
4. Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?
5. Was heißt das für das Stromnetz?
6. Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?

Agenda Teil 1 - Technik

1. **Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen**
2. Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?
3. Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?
4. Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?
5. Was heißt das für das Stromnetz?
6. Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?

Klimaschutzziele in Deutschland

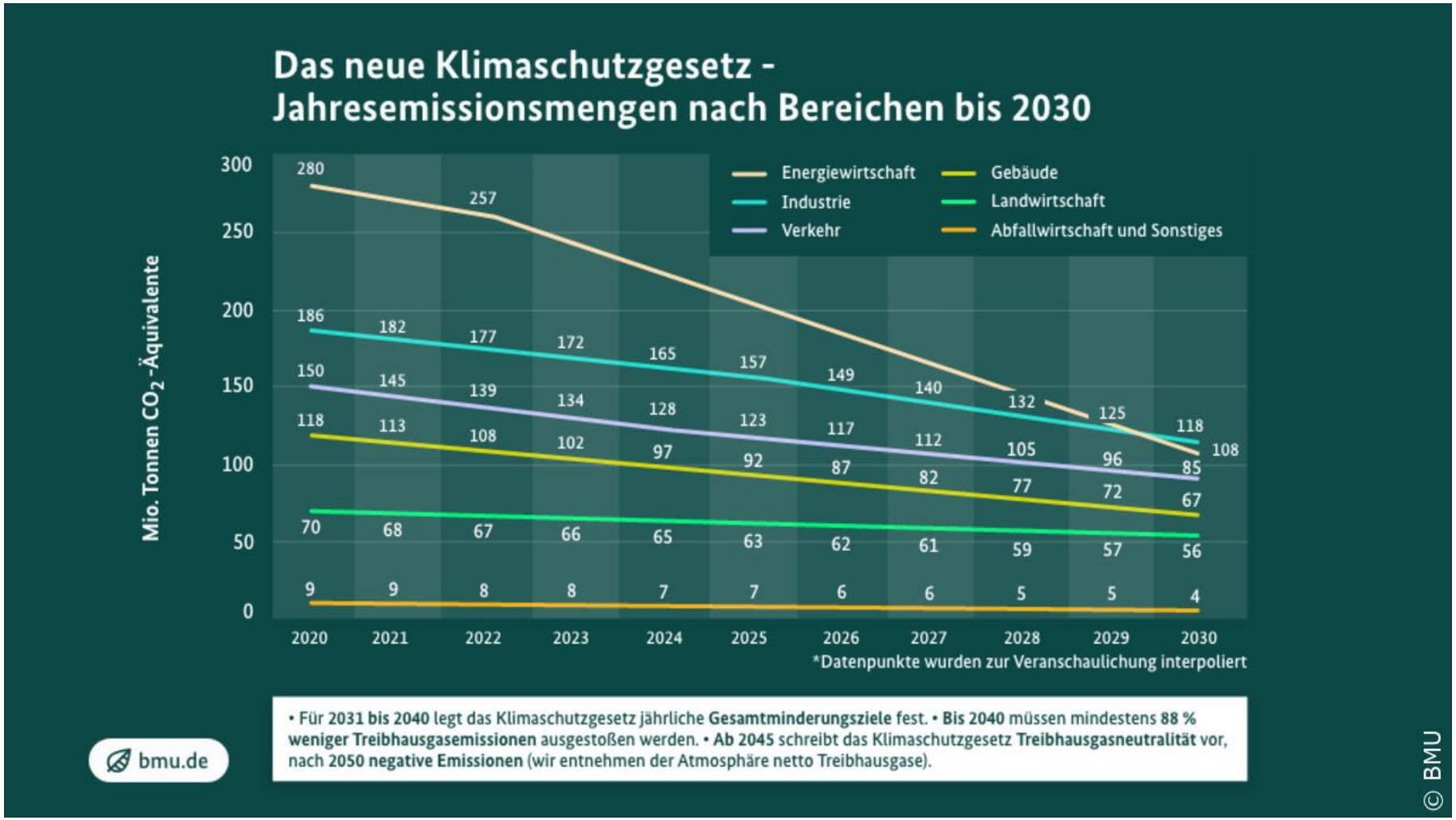
Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen (1990–2045)



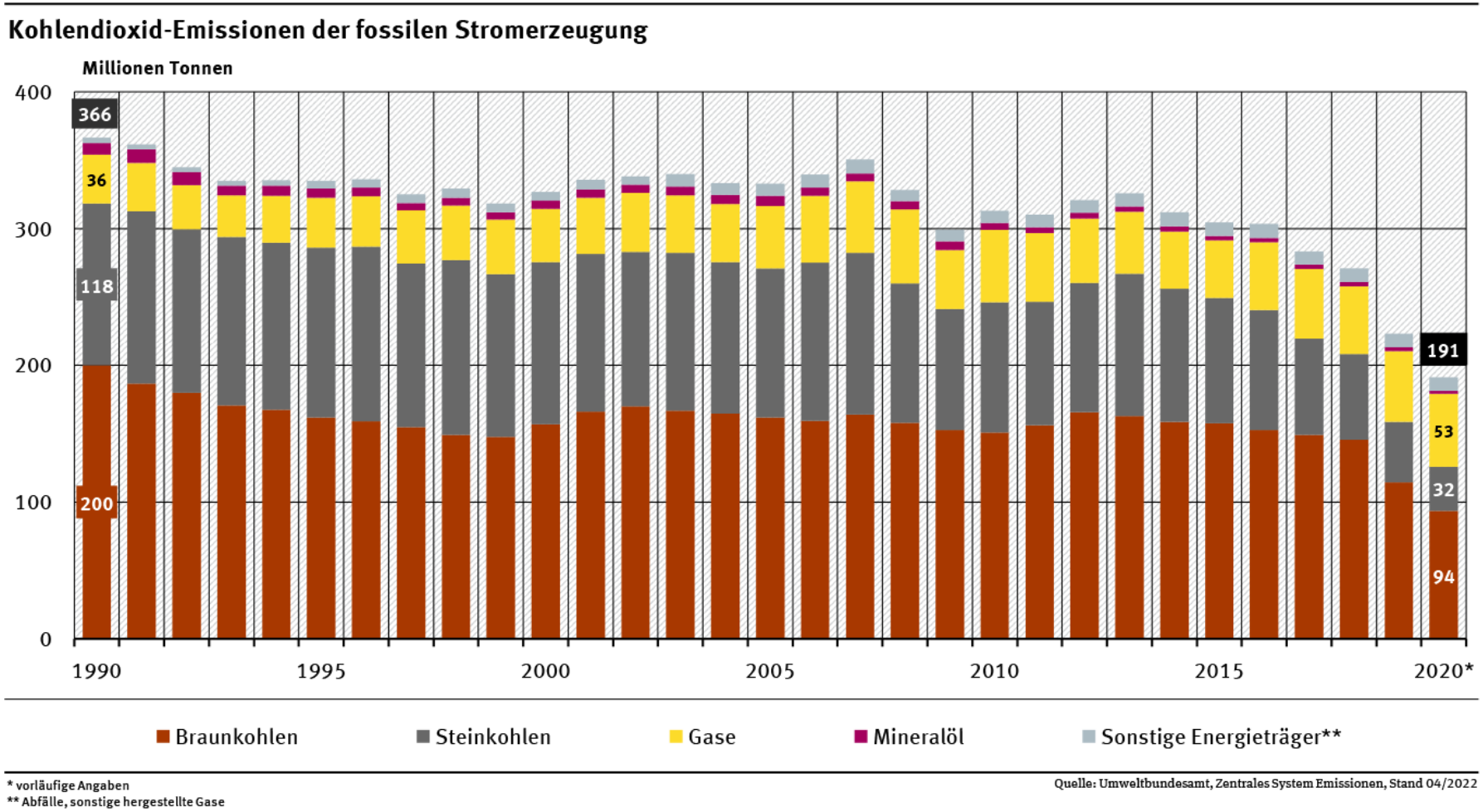
Quelle: Historische Daten Umweltbundesamt THG-Inventar; Projektion Öko-Institut/Fraunhofer-ISI/IREES

Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-fuer-die-klimaschutz-energiepolitik/integrierte-energie-treibhausgasprojektionen

Sektorziele



CO_2-Emissionen der **Stromerzeugung** in Deutschland 1990 - 2020

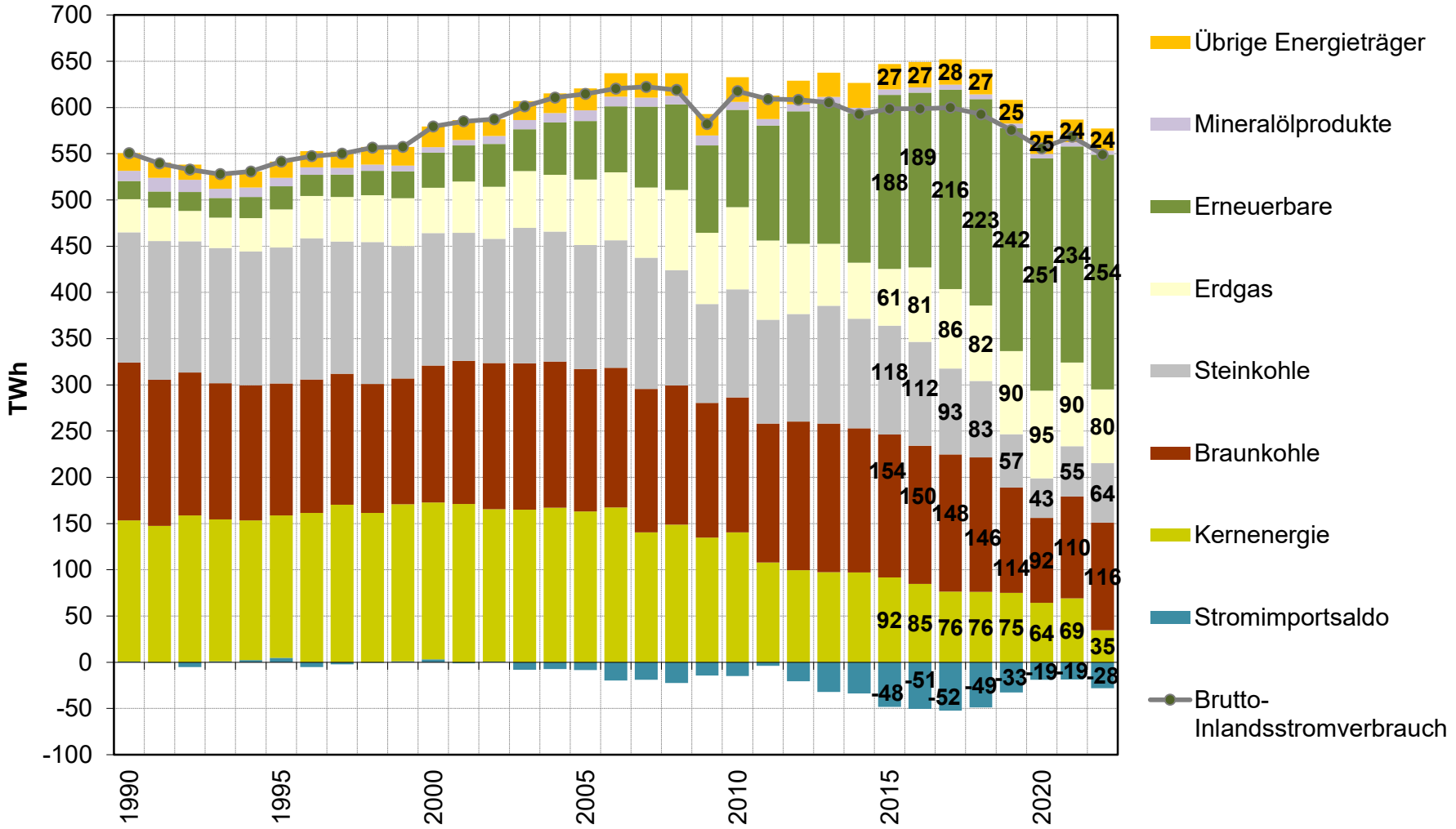


Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-kohlendioxid-emissionen-durch-stromerzeugung

Agenda Teil 1 - Technik

1. Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen
2. **Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?**
3. Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?
4. Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?
5. Was heißt das für das Stromnetz?
6. Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?

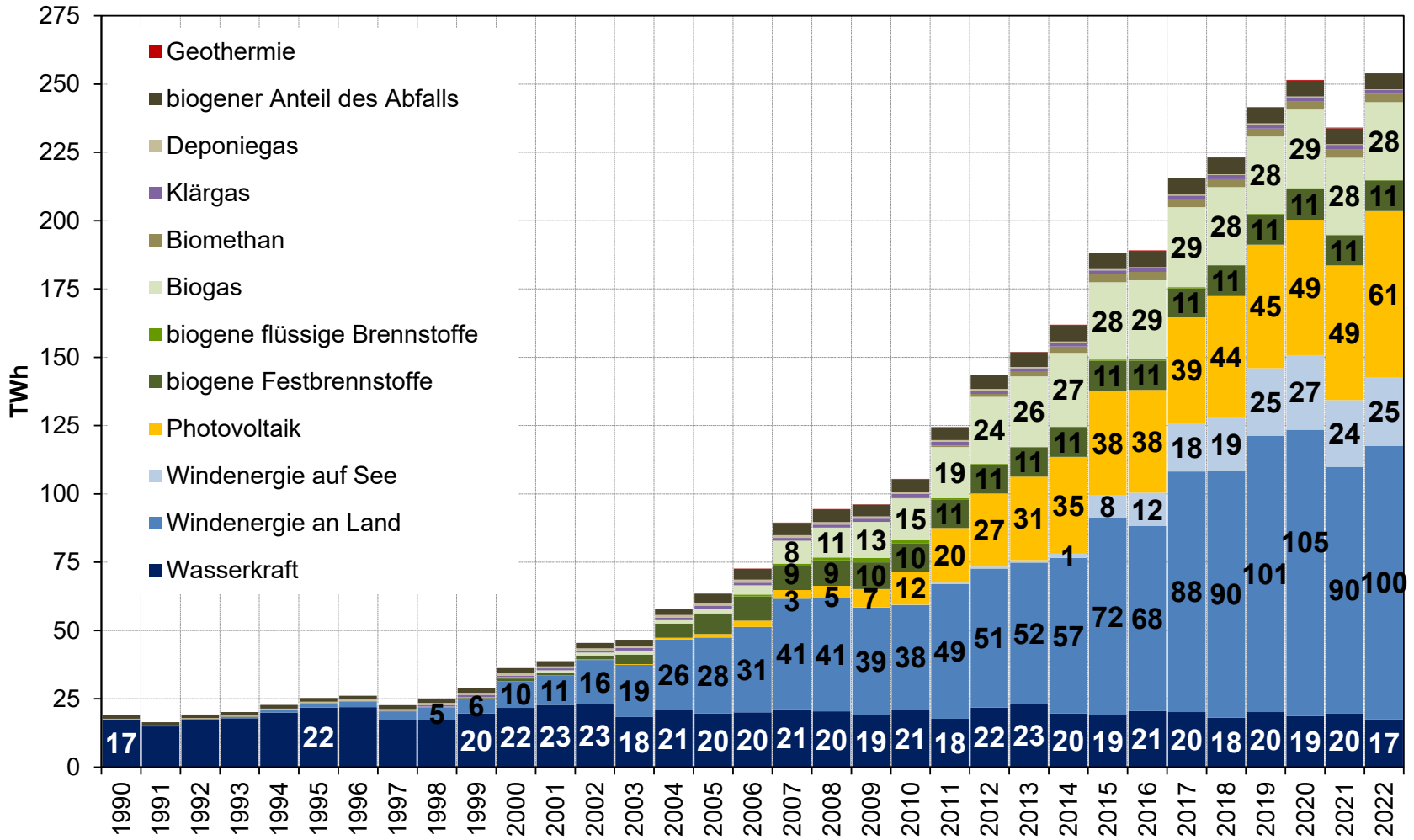
Bruttostromerzeugung in Deutschland 1990 - 2022



2022:
EE-Anteil:
45% (ohne PSW) bzw.
46% (inkl. PSW)
des
Bruttostromverbrauchs

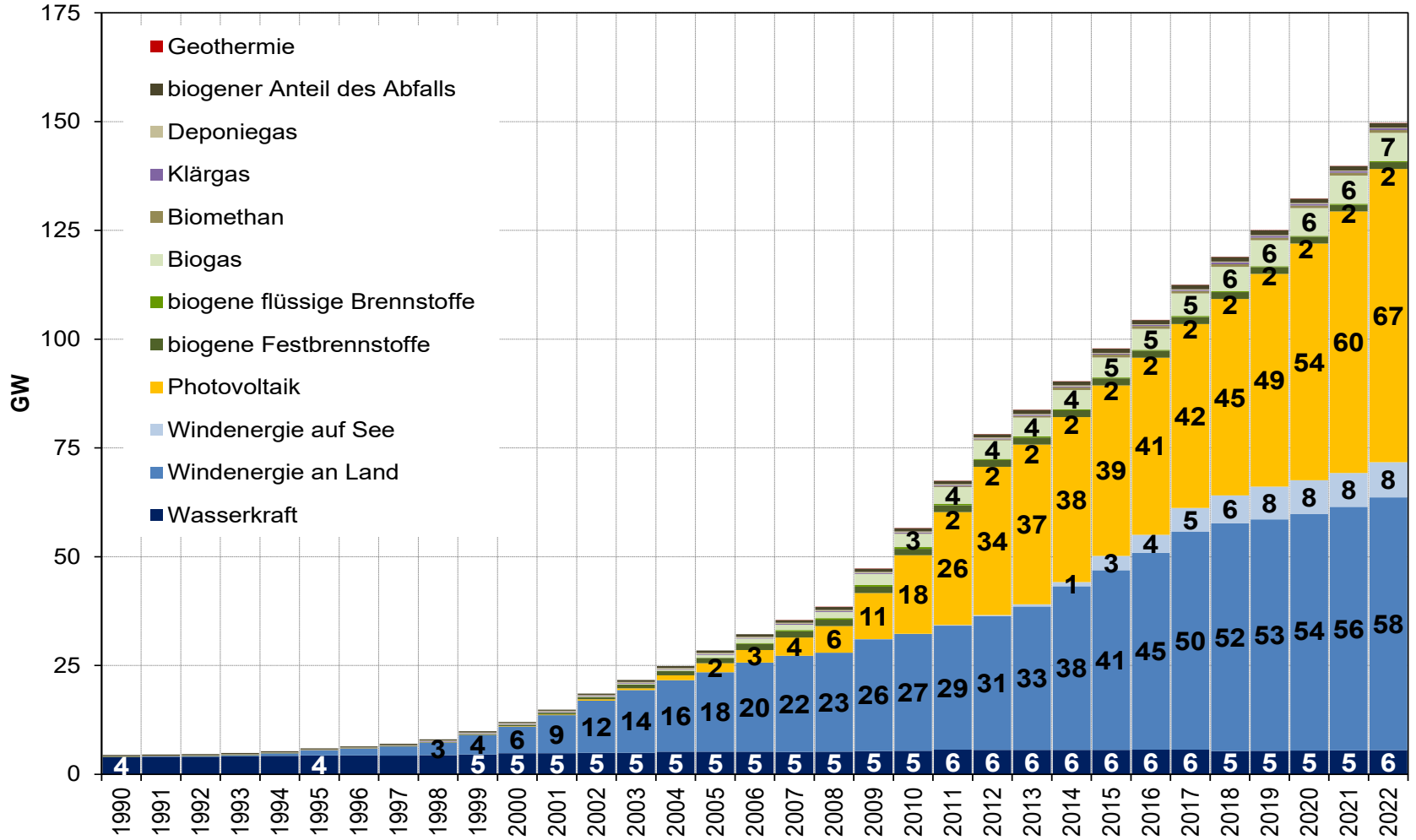
Quelle: Daten AG Energiebilanzen (https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/zusatzinformationen/), eigene Darstellung

Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 1990- 2022



Quelle: Daten AG EE Stat (https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html), eigene Darstellung

Installierte elektrische Leistung erneuerbarer Energien in Deutschland 1990 - 2022



Quelle: Daten AG EE Stat (https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html), eigene Darstellung

Agenda Teil 1 - Technik

1. Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen
2. Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?
3. **Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?**
4. Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?
5. Was heißt das für das Stromnetz?
6. Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?

Ziele für erneuerbare Energien im Stromsektor

Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)

§ 1 Ziel des Gesetzes

(1) Ziel dieses Gesetzes ist insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes die **Transformation zu einer nachhaltigen und treibhausgasneutralen Stromversorgung, die vollständig auf erneuerbaren Energien** beruht.

(2) Zur Erreichung des Ziels nach Absatz 1 soll der **Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch** im Staatsgebiet der Bundesrepublik Deutschland einschließlich der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (Bundesgebiet) auf **mindestens 80 Prozent im Jahr 2030** gesteigert werden.

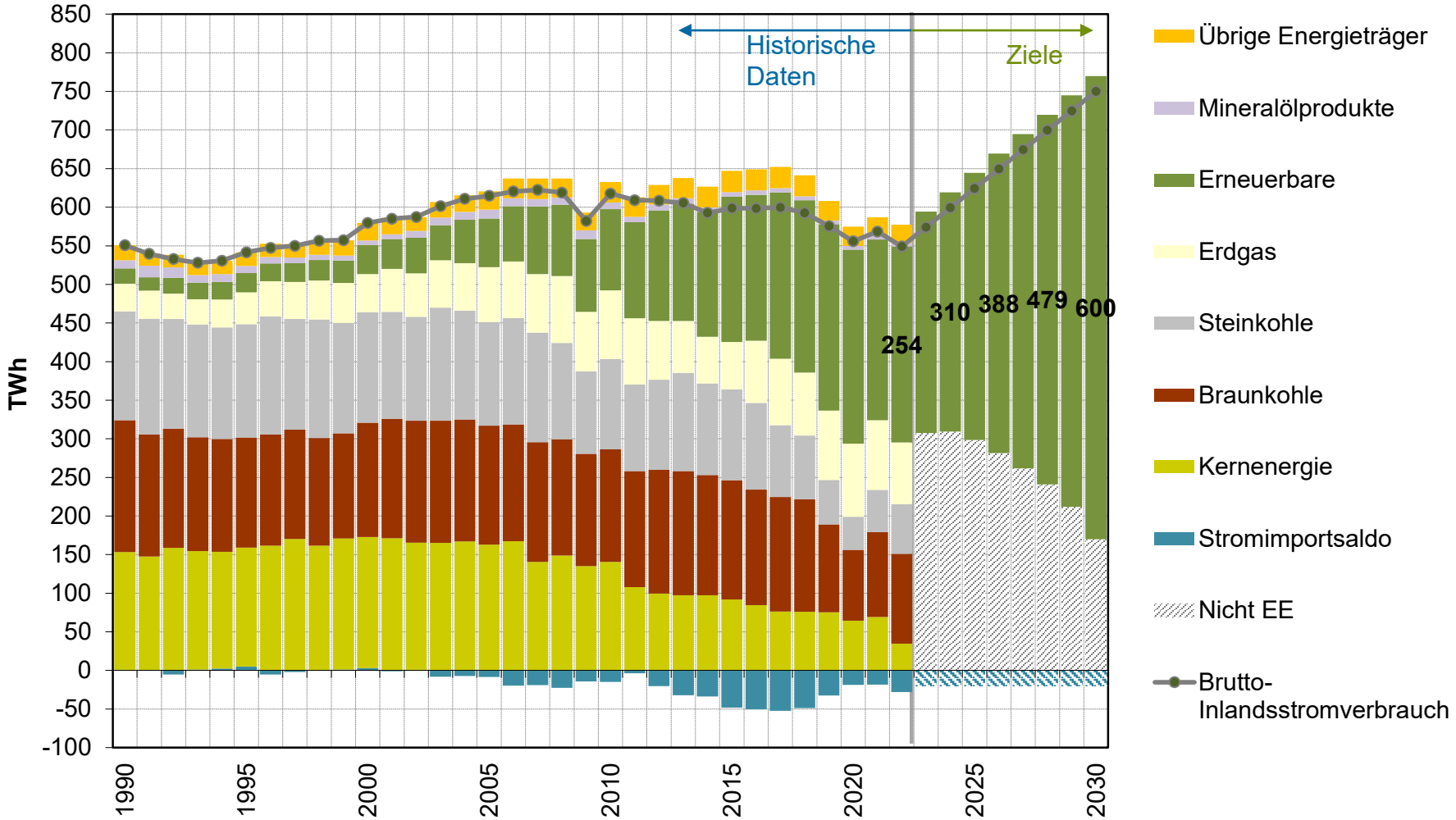
Ziele für EE-Strommengen (EEG)

§ 4a Strommengenpfad

Um überprüfen zu können, ob die erneuerbaren Energien in der für die Erreichung des Ziels nach § 1 Absatz 2 erforderlichen Geschwindigkeit ausgebaut werden, werden folgende Zwischenziele als Richtwerte für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien festgelegt:

1. 287 Terawattstunden im Jahr 2023,
2. 310 Terawattstunden im Jahr 2024,
3. 346 Terawattstunden im Jahr 2025,
4. 388 Terawattstunden im Jahr 2026,
5. 433 Terawattstunden im Jahr 2027,
6. 479 Terawattstunden im Jahr 2028,
7. 533 Terawattstunden im Jahr 2029 und
8. 600 Terawattstunden im Jahr 2030.

Ziele für EE-Strommengen bis 2030



Ziele 2030:

- EE-Anteil: 80% des Bruttostromverbrauchs
- 600 TWh aus EE

Ziele Wind an Land (EEG)

§ 4 Ausbaupfad

Die Ziele nach § 1 sollen erreicht werden durch

1. eine Steigerung der installierten Leistung von **Windenergieanlagen an Land** auf

a) 69 Gigawatt im Jahr 2024,

b) 84 Gigawatt im Jahr 2026,

c) 99 Gigawatt im Jahr 2028,

d) 115 Gigawatt im Jahr 2030,

e) 157 Gigawatt im Jahr 2035 und

f) 160 Gigawatt im Jahr 2040

sowie den Erhalt dieser installierten Leistung nach dem Jahr 2040,

Ziele Wind auf See (WindSeeG)

§ 1 Zweck und Ziel des Gesetzes

(2) Ziel dieses Gesetzes ist es, die installierte Leistung von **Windenergieanlagen auf See**, die an das Netz angeschlossen werden,

auf insgesamt mindestens 30 Gigawatt bis zum Jahr 2030,

auf insgesamt mindestens 40 Gigawatt bis zum Jahr 2035

und auf insgesamt mindestens 70 Gigawatt bis zum Jahr 2045

zu steigern.

Ziele PV (EEG)

§ 4 Ausbaupfad

Die Ziele nach § 1 sollen erreicht werden durch

3. eine Steigerung der installierten Leistung von **Solaranlagen** auf

a) 88 Gigawatt im Jahr 2024,

b) 128 Gigawatt im Jahr 2026,

c) 172 Gigawatt im Jahr 2028,

d) 215 Gigawatt im Jahr 2030,

e) 309 Gigawatt im Jahr 2035 und

f) 400 Gigawatt im Jahr 2040

sowie den Erhalt dieser Leistung nach dem Jahr 2040

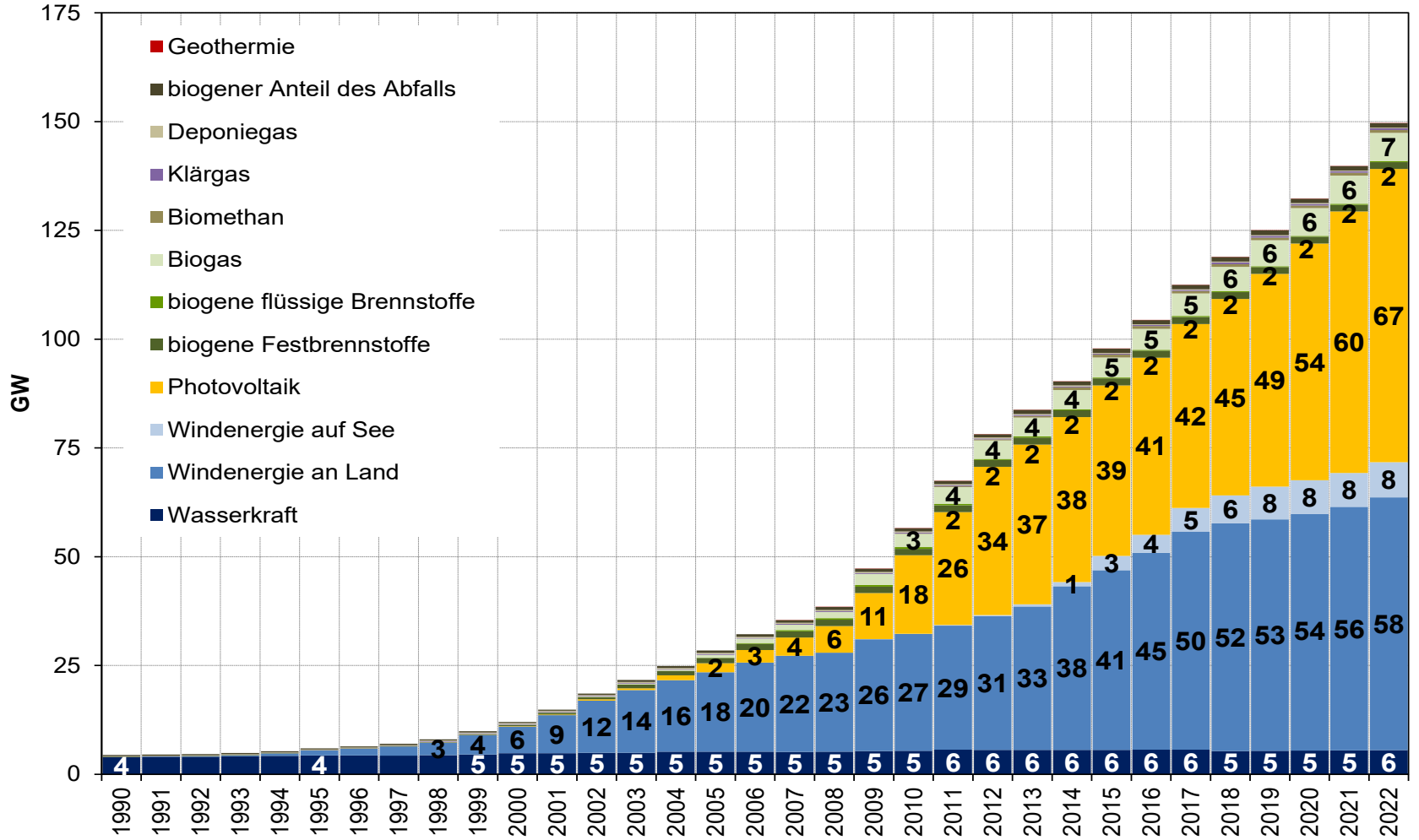
Ziele Biomasse (EEG)

§ 4 Ausbaupfad

Die Ziele nach § 1 sollen erreicht werden durch

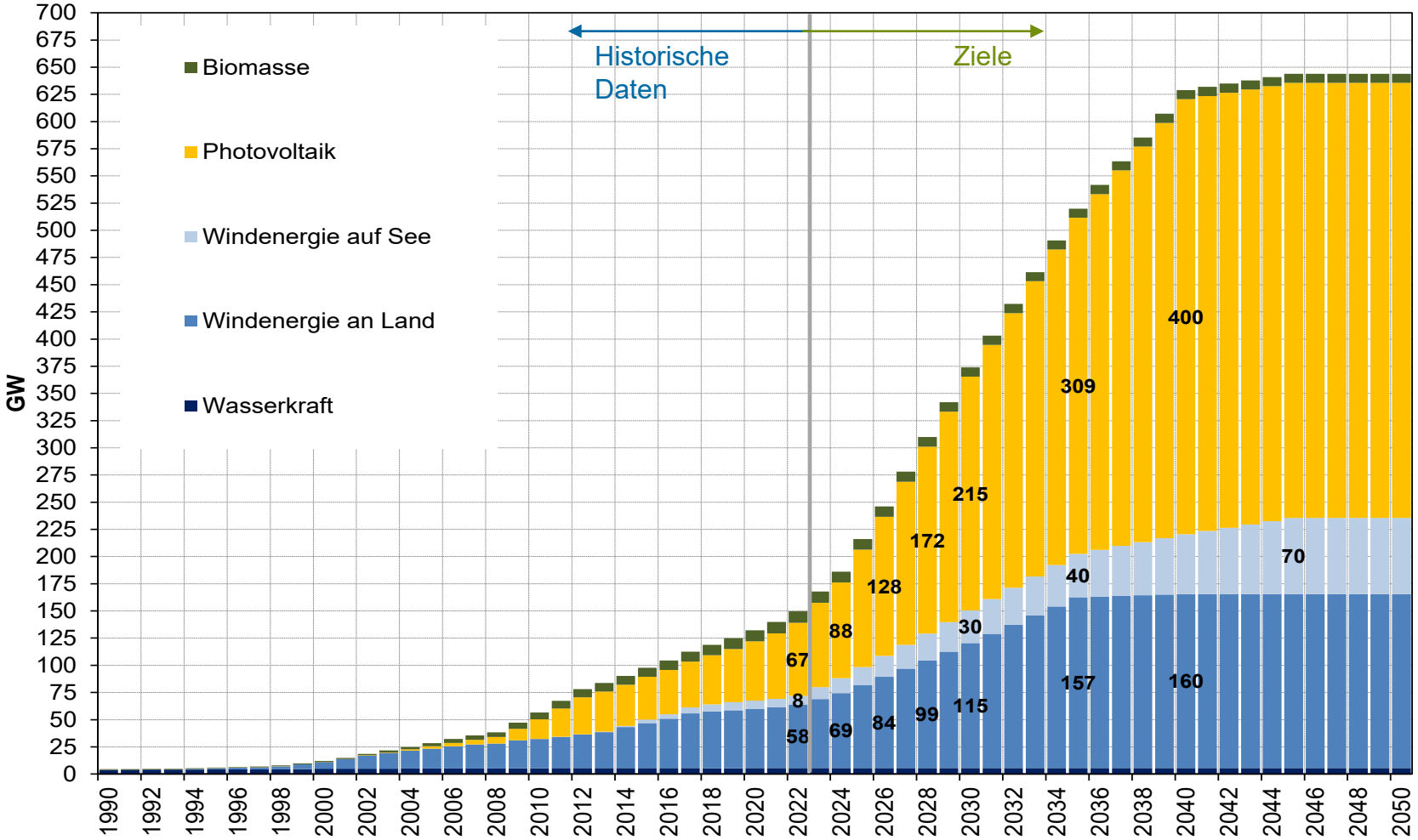
4. eine installierte Leistung von Biomasseanlagen von 8 400 Megawatt im Jahr 2030.

Installierte elektrische Leistung erneuerbarer Energien in Deutschland 1990 – 2022 → **bisher**



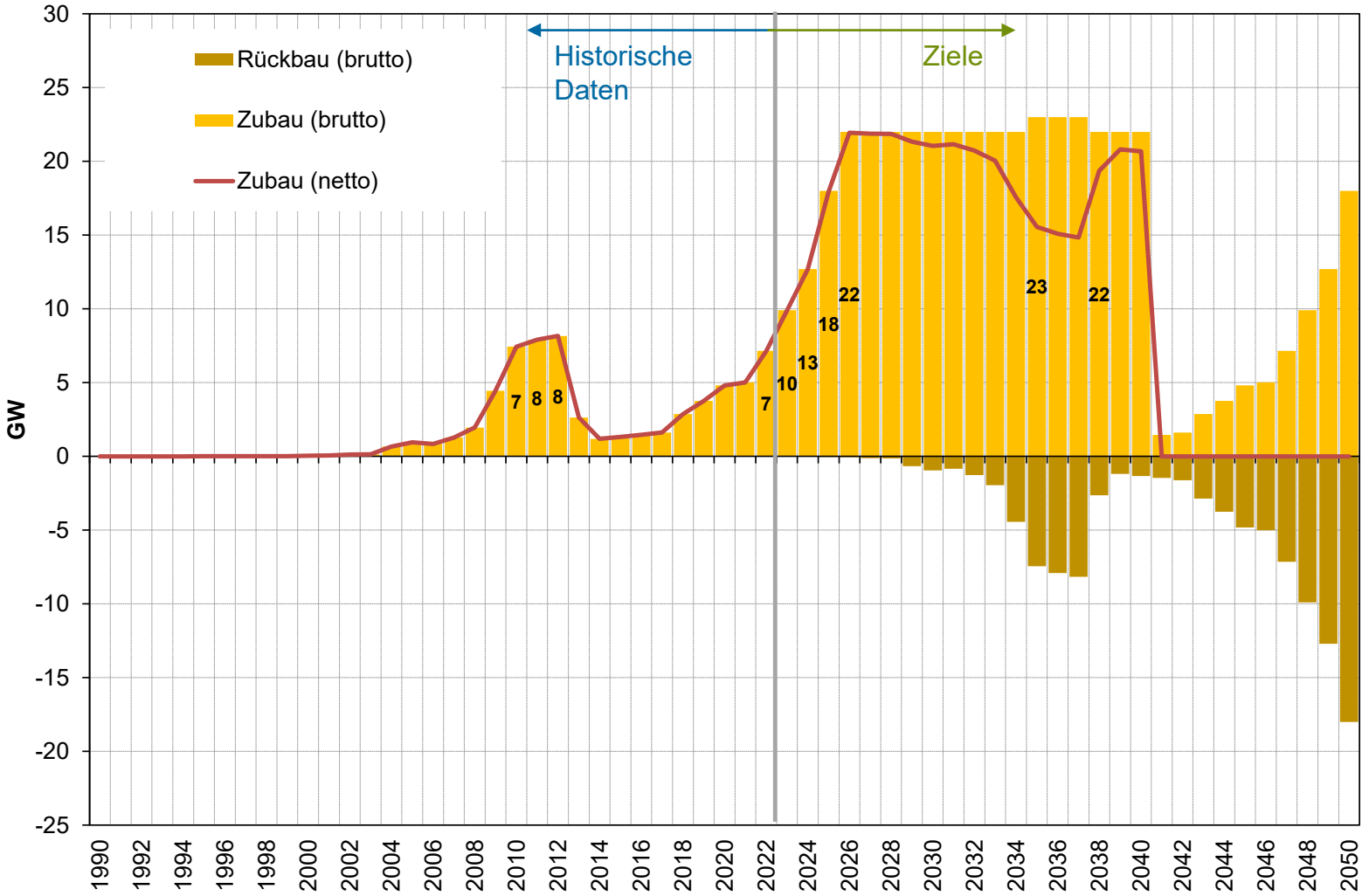
Quelle: Daten AG EE Stat (https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html), eigene Darstellung

Ausbauziele für die installierte Leistung erneuerbarer Energien



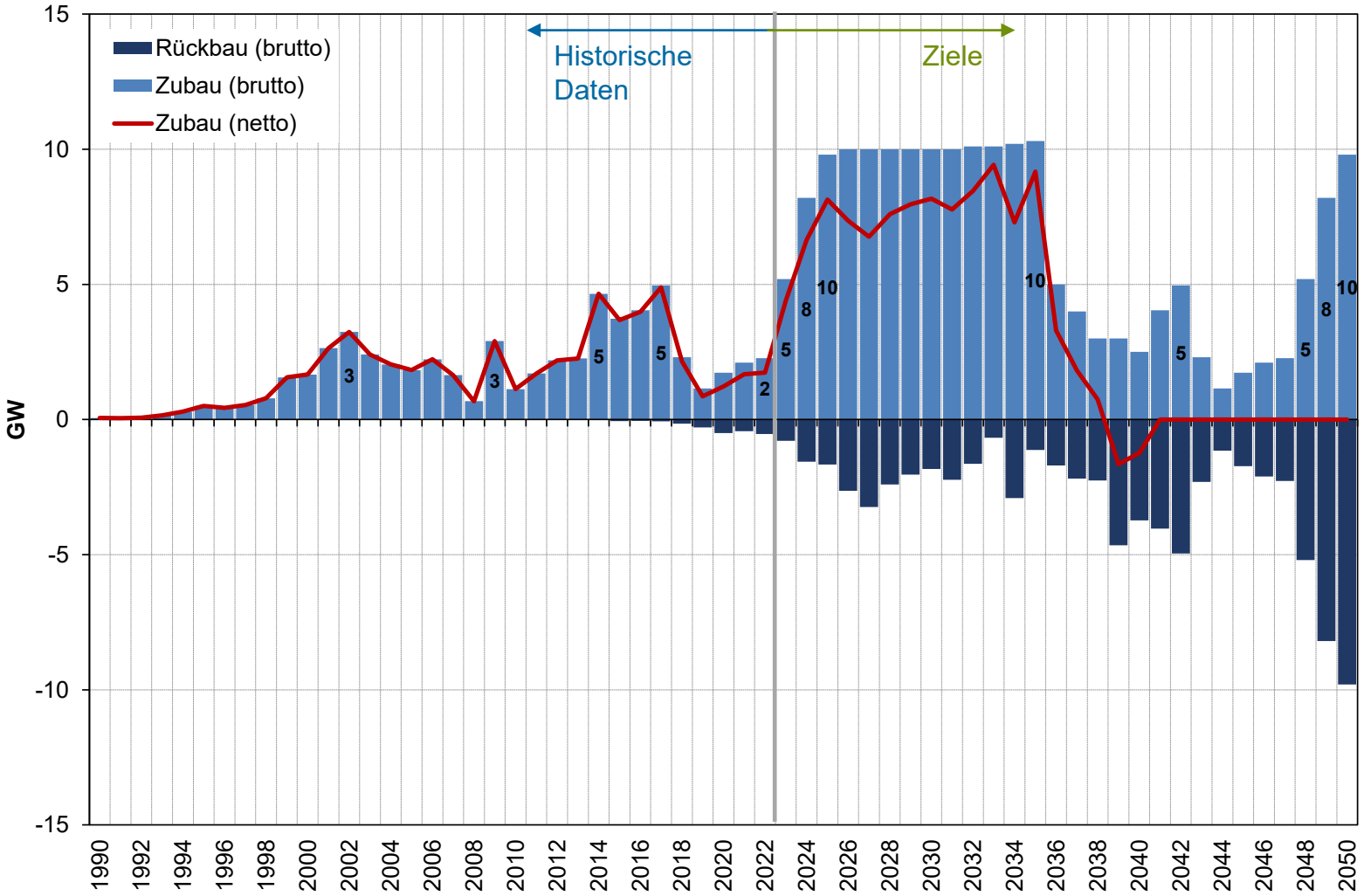
Quelle: Daten: AG EE Stat, EEG; eigene Darstellung

Solarenergie:
Größenordnung des notwendigen jährlichen Zubaus um Ziele zu erreichen



Annahme:
durchschnittliche Lebensdauer 25 Jahre

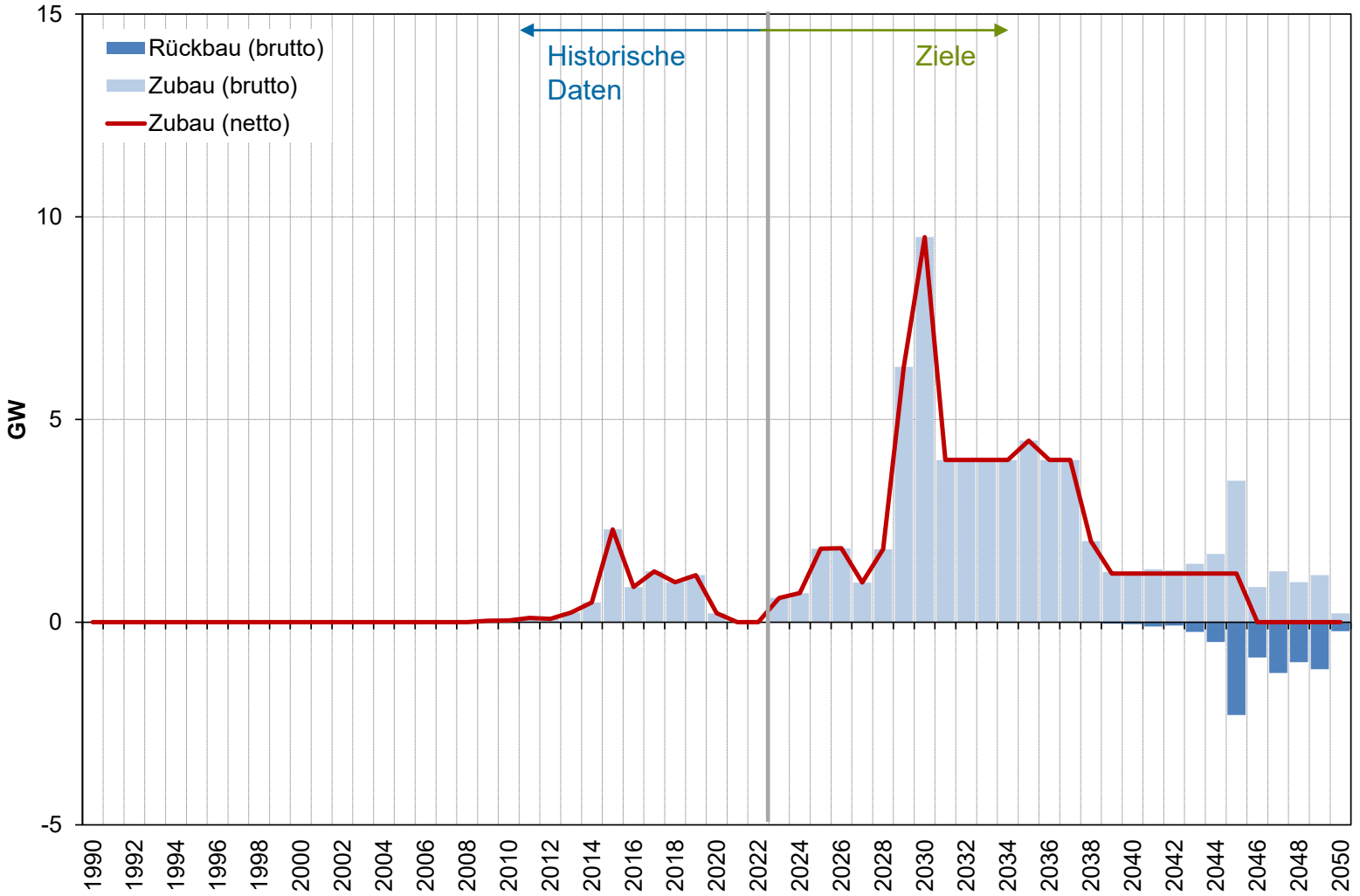
Wind an Land:
Größenordnung des notwendigen jährlichen Zubaus um Ziele zu erreichen



Annahme:
durchschnittliche Lebensdauer 25 Jahre

Wind auf See:

Größenordnung des notwendigen jährlichen Zubaus um Ziele zu erreichen / Zubau nach Flächenentwicklungsplan



Annahme:
durchschnittliche Lebensdauer 30 Jahre

Agenda Teil 1 - Technik

1. Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen
2. Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?
3. Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?
4. **Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?**
5. Was heißt das für das Stromnetz?
6. Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?

Wie funktioniert das Gesamtsystem?

- Stromspeicher sind begrenzt (und verlustbehaftet)

→ Strom muss (überwiegend) im selben Moment produziert wie verbraucht werden

→ In einem konventionellen System: Produktion an Verbrauch anpassen

→ In einem erneuerbaren System:

  → Verbrauch verstärkt an Produktion anpassen

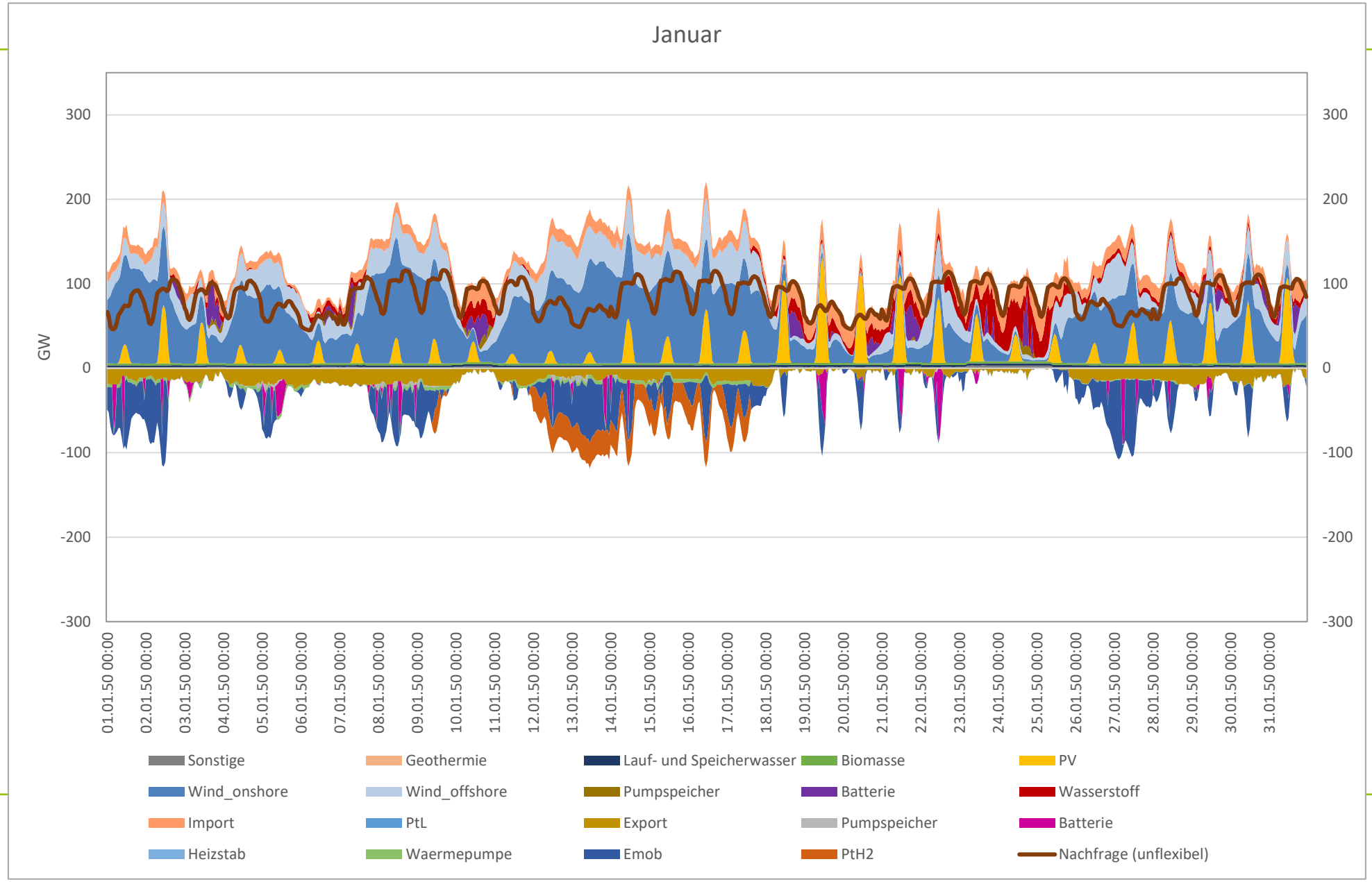
  → Mehr überregionalen Ausgleich ermöglichen

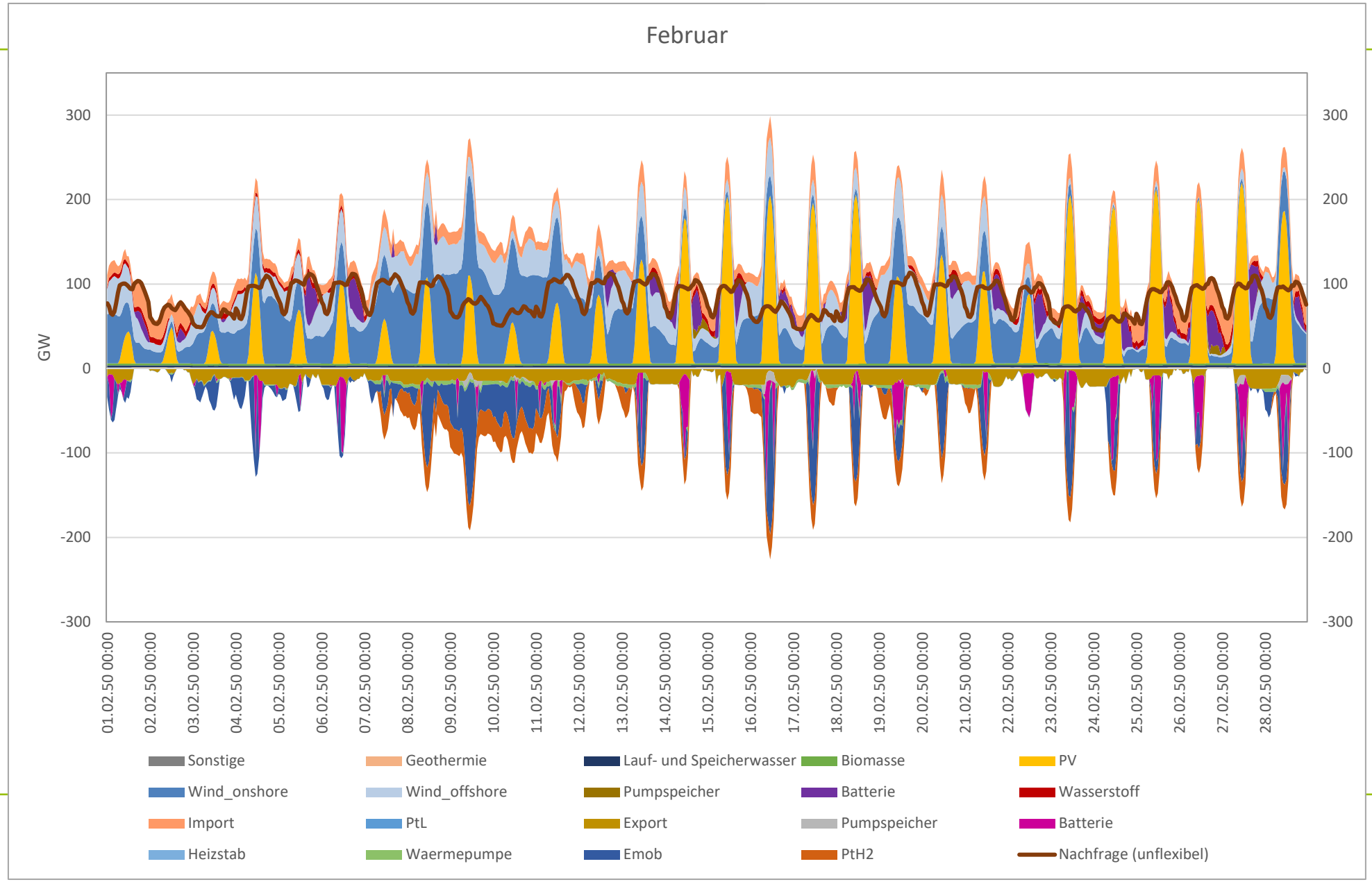
  → Viel mehr Speicher bauen

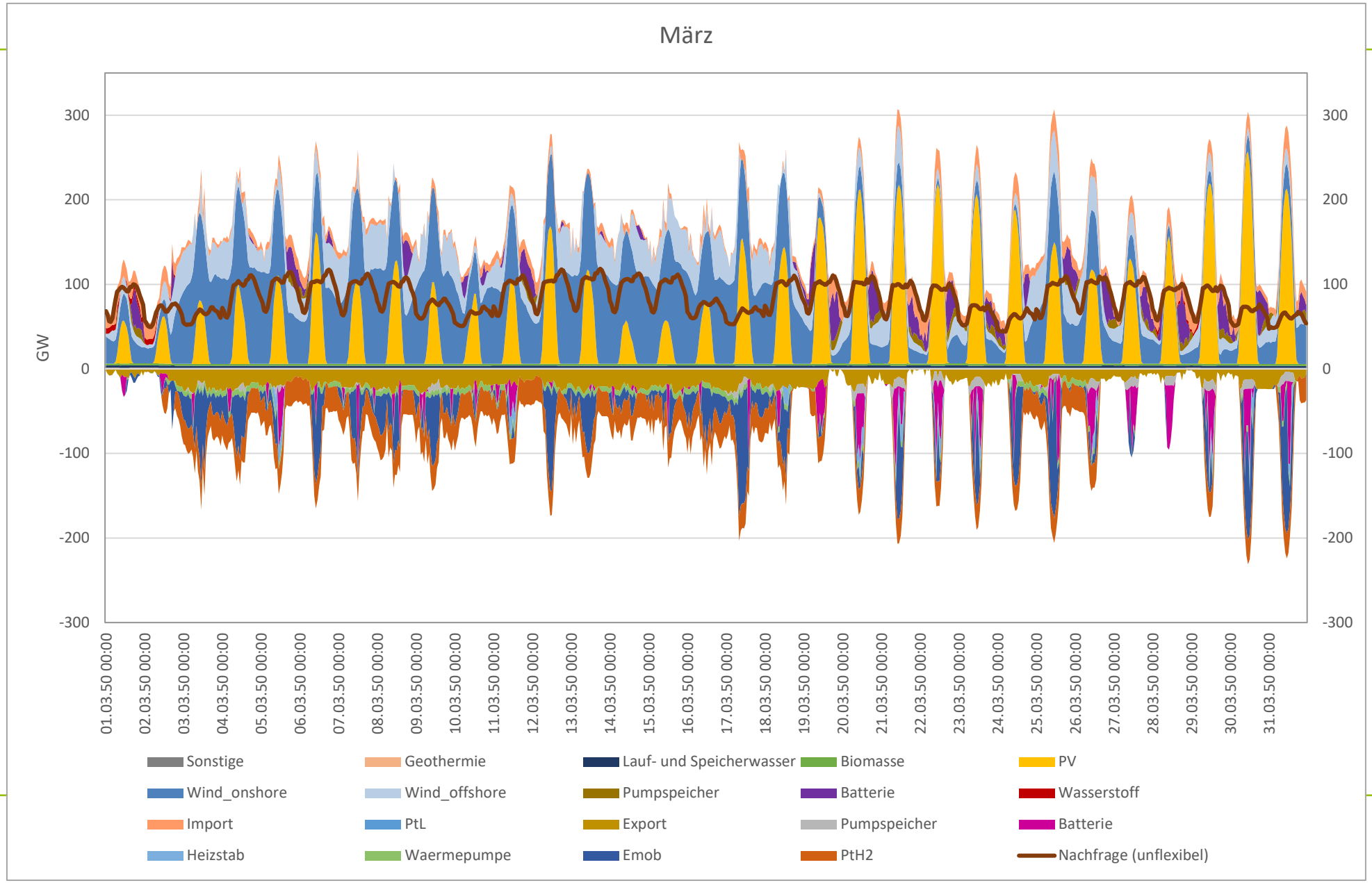
- Strom ist leitungsgebunden

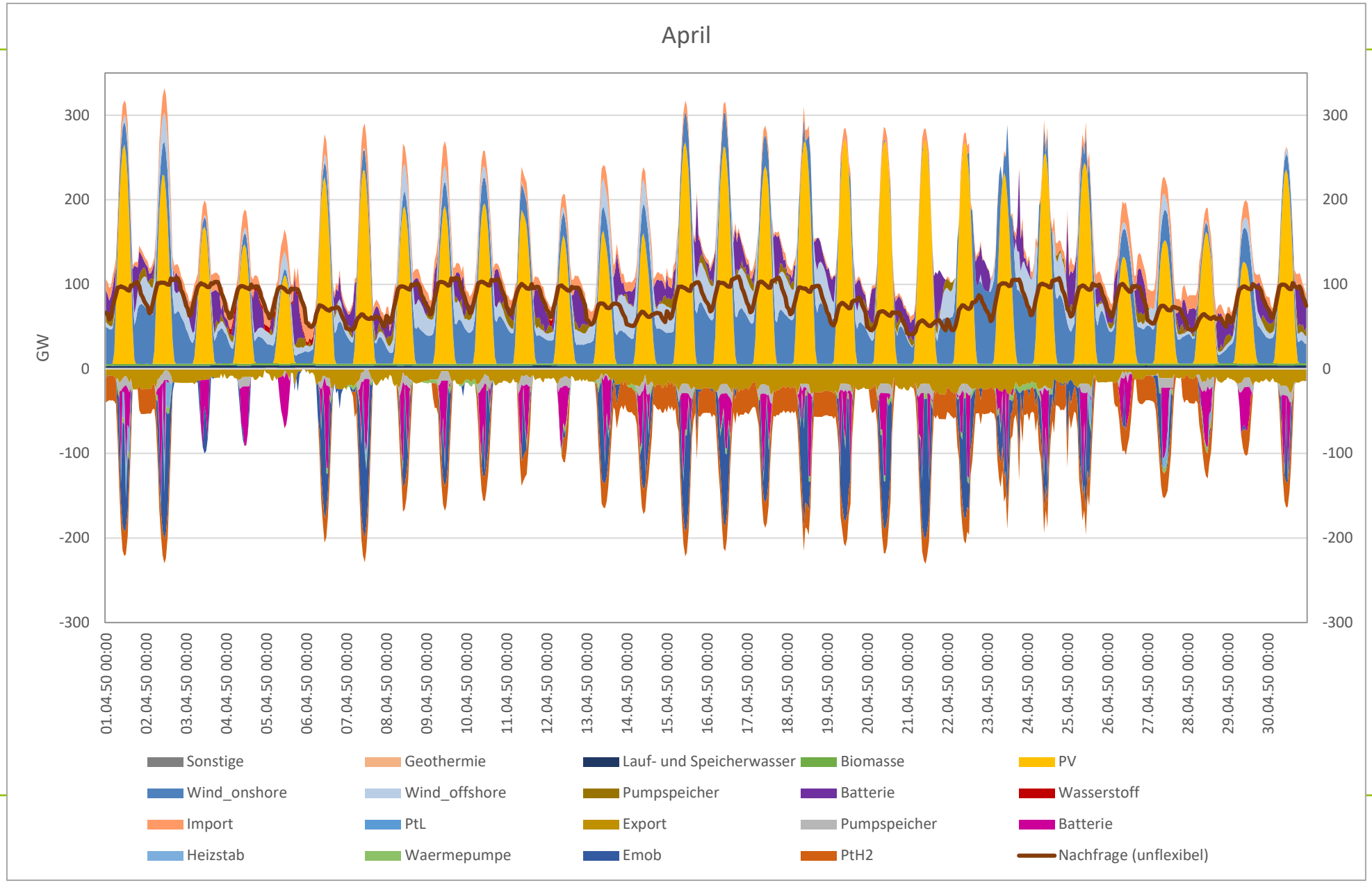
→ Stromnetz muss verändert werden

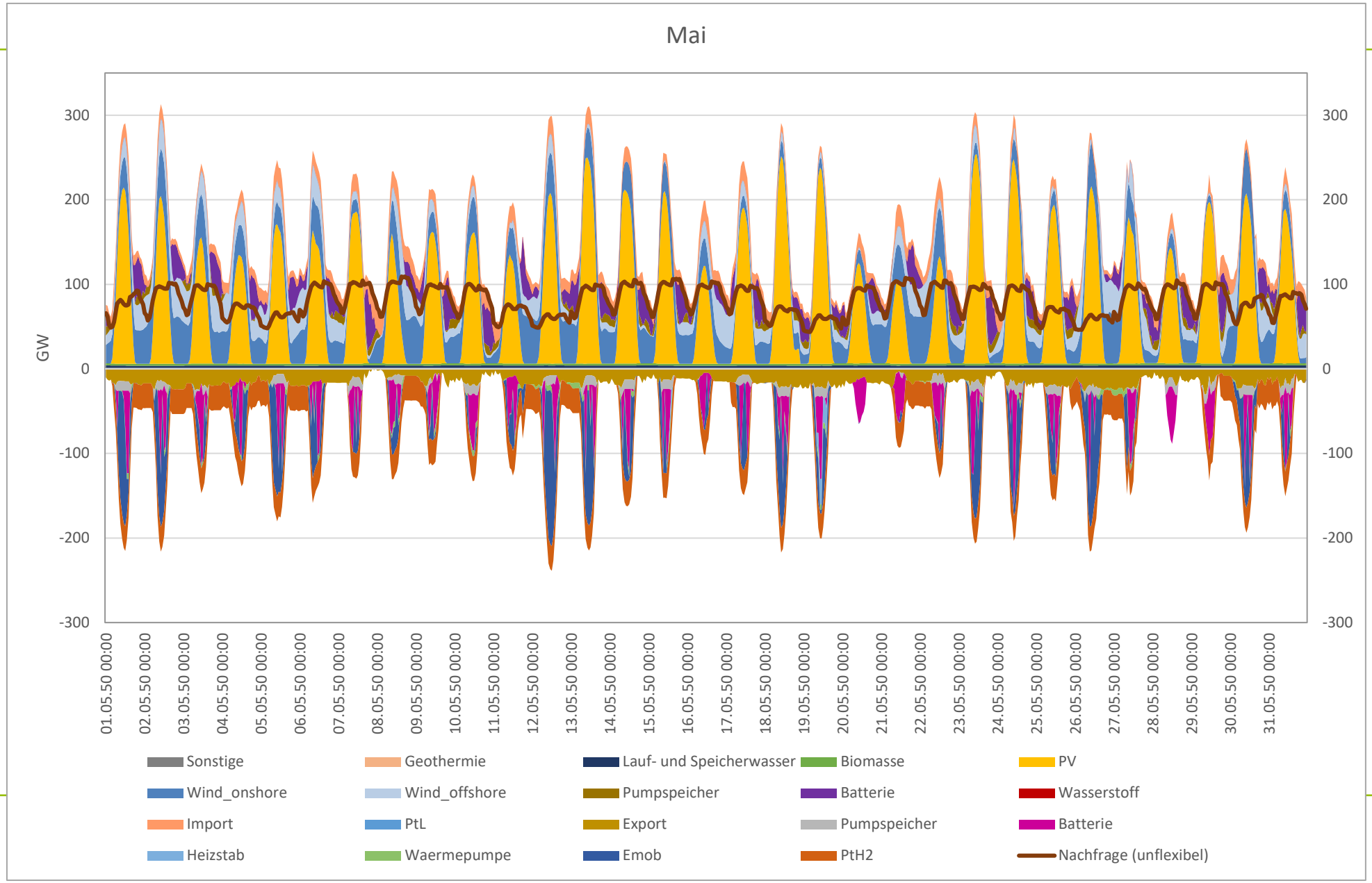
Stundenscharfe Modellierung von Stromerzeugung und -verbrauch

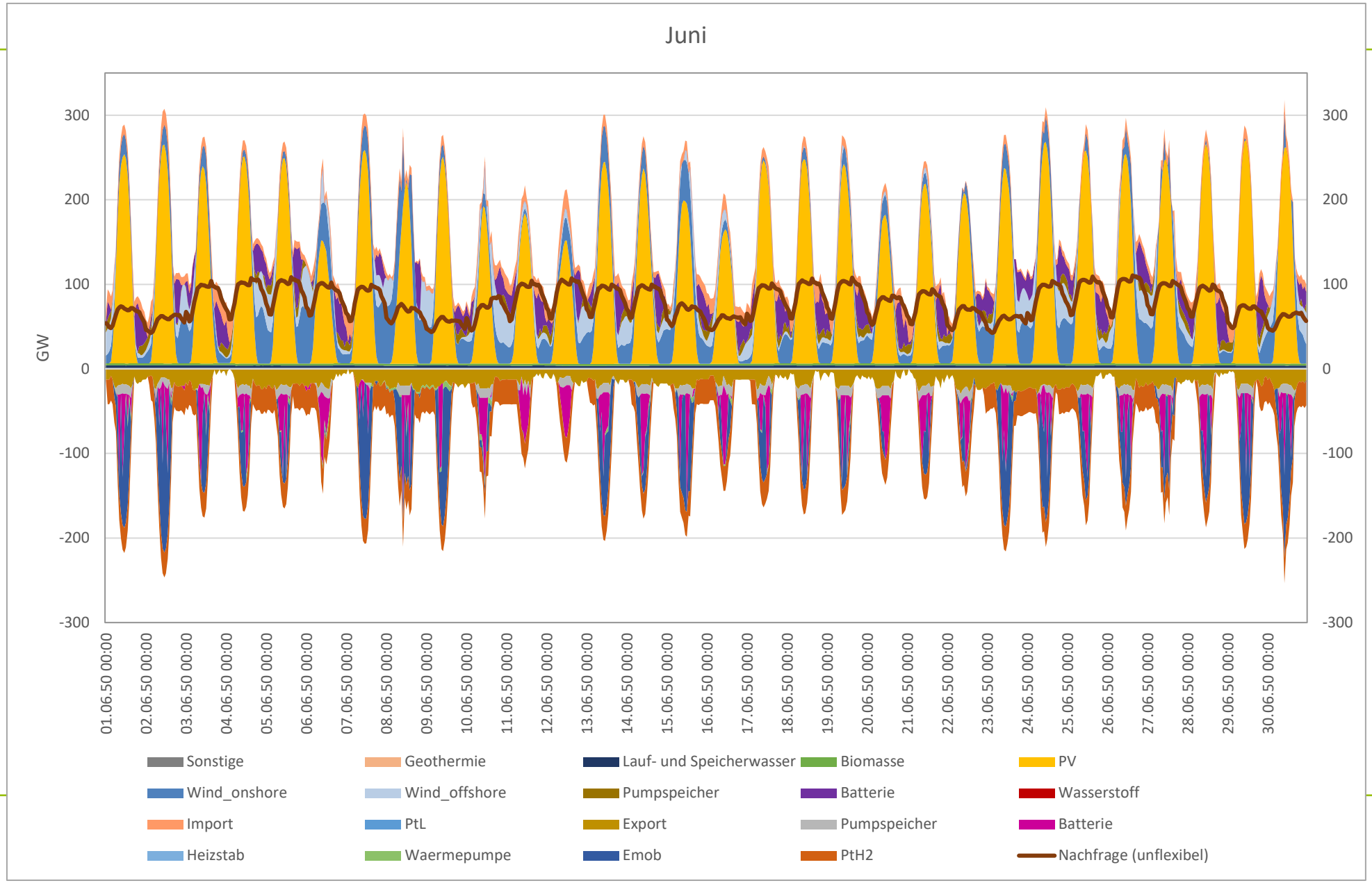


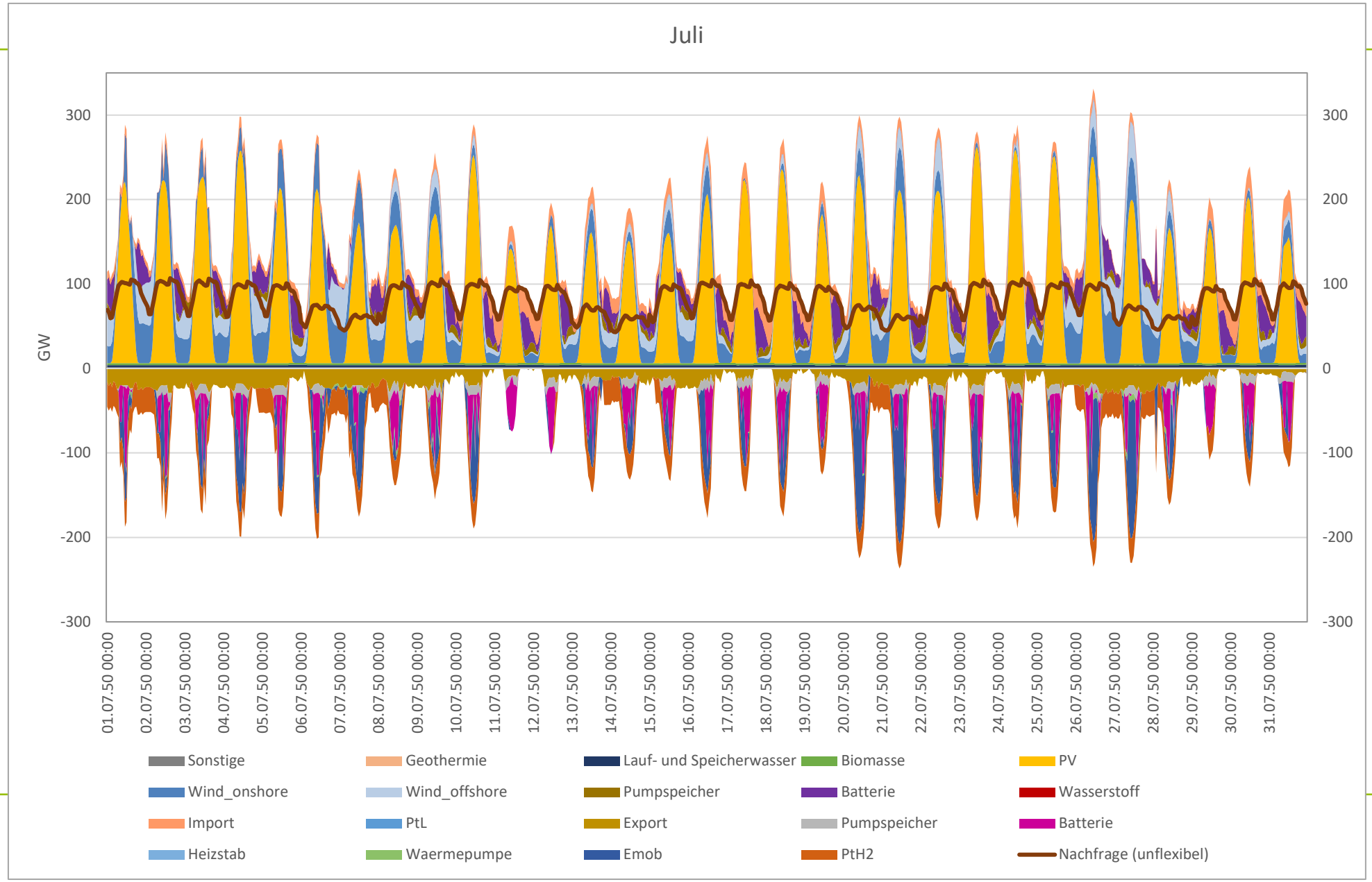

Februar
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.02.50 00:00
02.02.50 00:00
03.02.50 00:00
04.02.50 00:00
05.02.50 00:00
06.02.50 00:00
07.02.50 00:00
08.02.50 00:00
09.02.50 00:00
10.02.50 00:00
11.02.50 00:00
12.02.50 00:00
13.02.50 00:00
14.02.50 00:00
15.02.50 00:00
16.02.50 00:00
17.02.50 00:00
18.02.50 00:00
19.02.50 00:00
20.02.50 00:00
21.02.50 00:00
22.02.50 00:00
23.02.50 00:00
24.02.50 00:00
25.02.50 00:00
26.02.50 00:00
27.02.50 00:00
28.02.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)

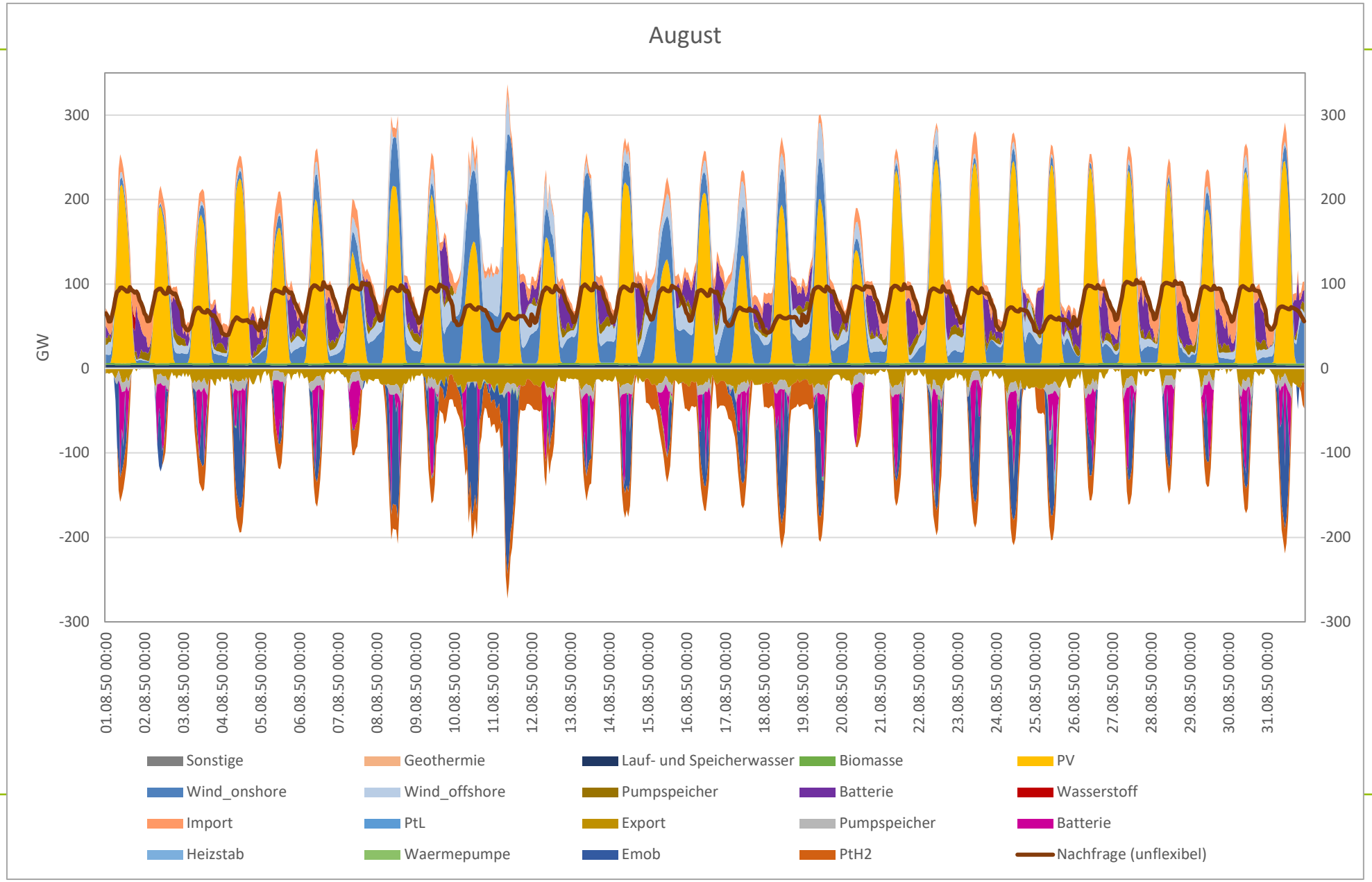

März
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.03.50 00:00
02.03.50 00:00
03.03.50 00:00
04.03.50 00:00
05.03.50 00:00
06.03.50 00:00
07.03.50 00:00
08.03.50 00:00
09.03.50 00:00
10.03.50 00:00
11.03.50 00:00
12.03.50 00:00
13.03.50 00:00
14.03.50 00:00
15.03.50 00:00
16.03.50 00:00
17.03.50 00:00
18.03.50 00:00
19.03.50 00:00
20.03.50 00:00
21.03.50 00:00
22.03.50 00:00
23.03.50 00:00
24.03.50 00:00
25.03.50 00:00
26.03.50 00:00
27.03.50 00:00
28.03.50 00:00
29.03.50 00:00
30.03.50 00:00
31.03.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)

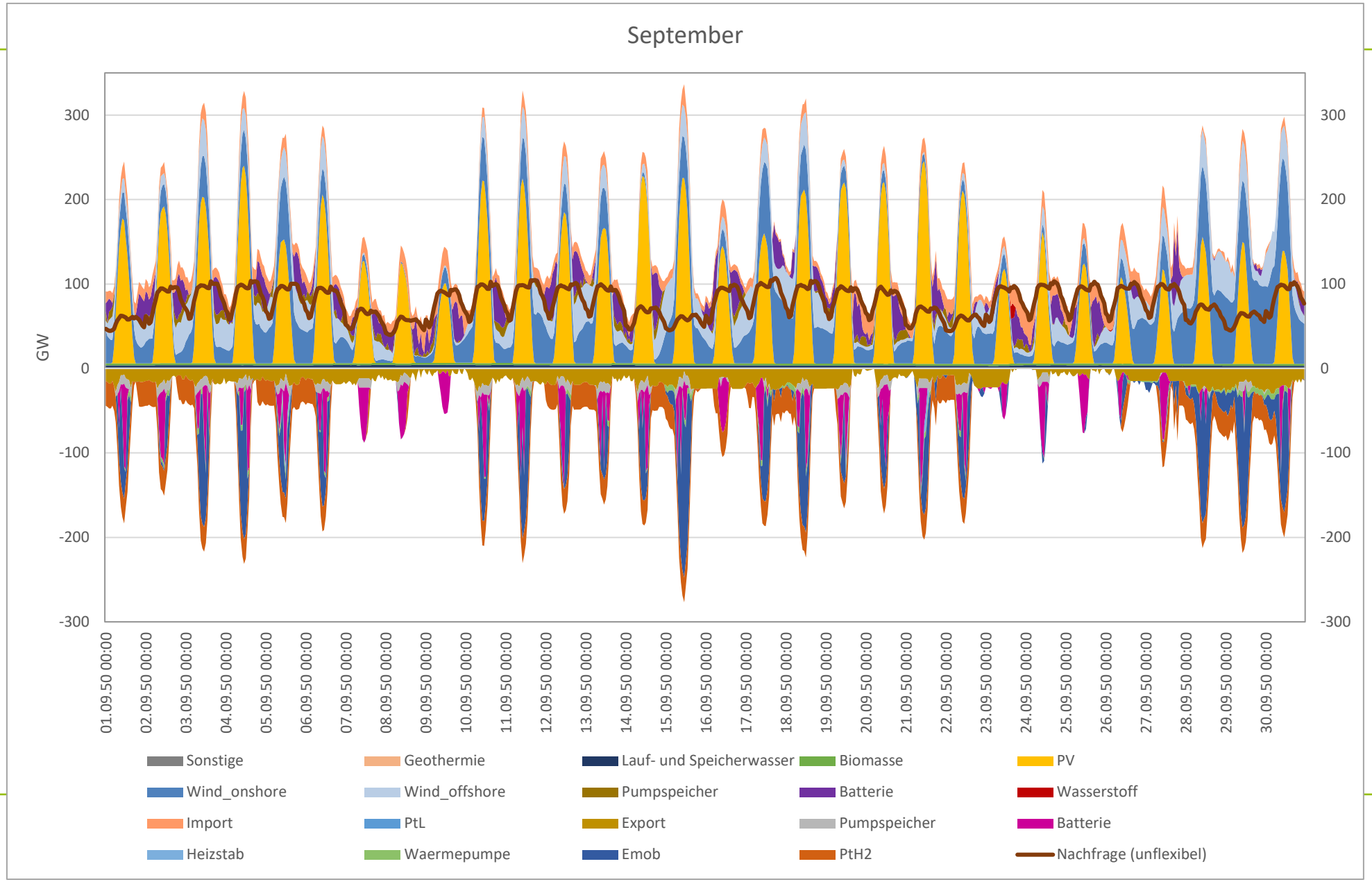

April
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.04.50 00:00
02.04.50 00:00
03.04.50 00:00
04.04.50 00:00
05.04.50 00:00
06.04.50 00:00
07.04.50 00:00
08.04.50 00:00
09.04.50 00:00
10.04.50 00:00
11.04.50 00:00
12.04.50 00:00
13.04.50 00:00
14.04.50 00:00
15.04.50 00:00
16.04.50 00:00
17.04.50 00:00
18.04.50 00:00
19.04.50 00:00
20.04.50 00:00
21.04.50 00:00
22.04.50 00:00
23.04.50 00:00
24.04.50 00:00
25.04.50 00:00
26.04.50 00:00
27.04.50 00:00
28.04.50 00:00
29.04.50 00:00
30.04.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)

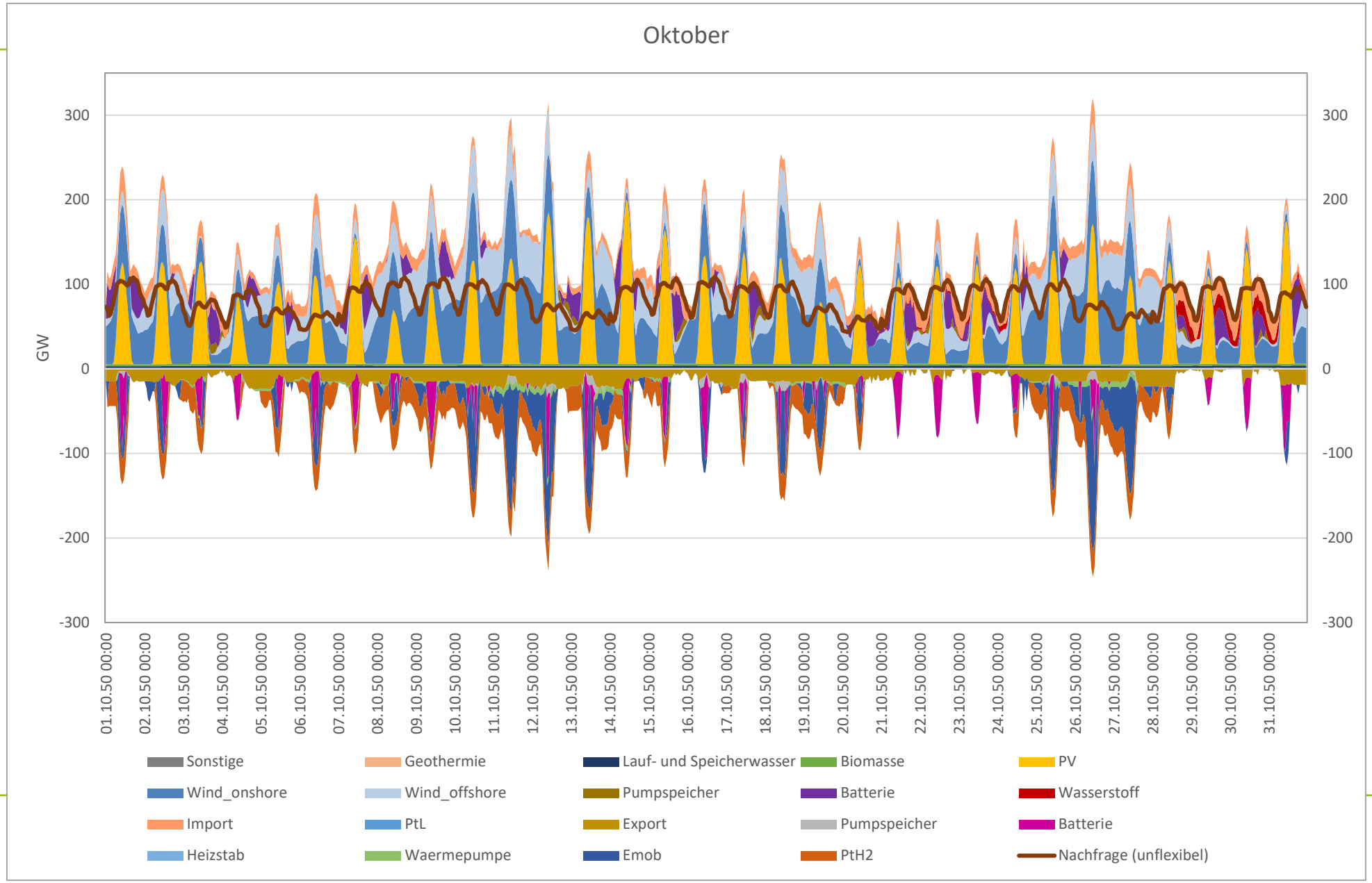

Mai
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.05.50 00:00
02.05.50 00:00
03.05.50 00:00
04.05.50 00:00
05.05.50 00:00
06.05.50 00:00
07.05.50 00:00
08.05.50 00:00
09.05.50 00:00
10.05.50 00:00
11.05.50 00:00
12.05.50 00:00
13.05.50 00:00
14.05.50 00:00
15.05.50 00:00
16.05.50 00:00
17.05.50 00:00
18.05.50 00:00
19.05.50 00:00
20.05.50 00:00
21.05.50 00:00
22.05.50 00:00
23.05.50 00:00
24.05.50 00:00
25.05.50 00:00
26.05.50 00:00
27.05.50 00:00
28.05.50 00:00
29.05.50 00:00
30.05.50 00:00
31.05.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)

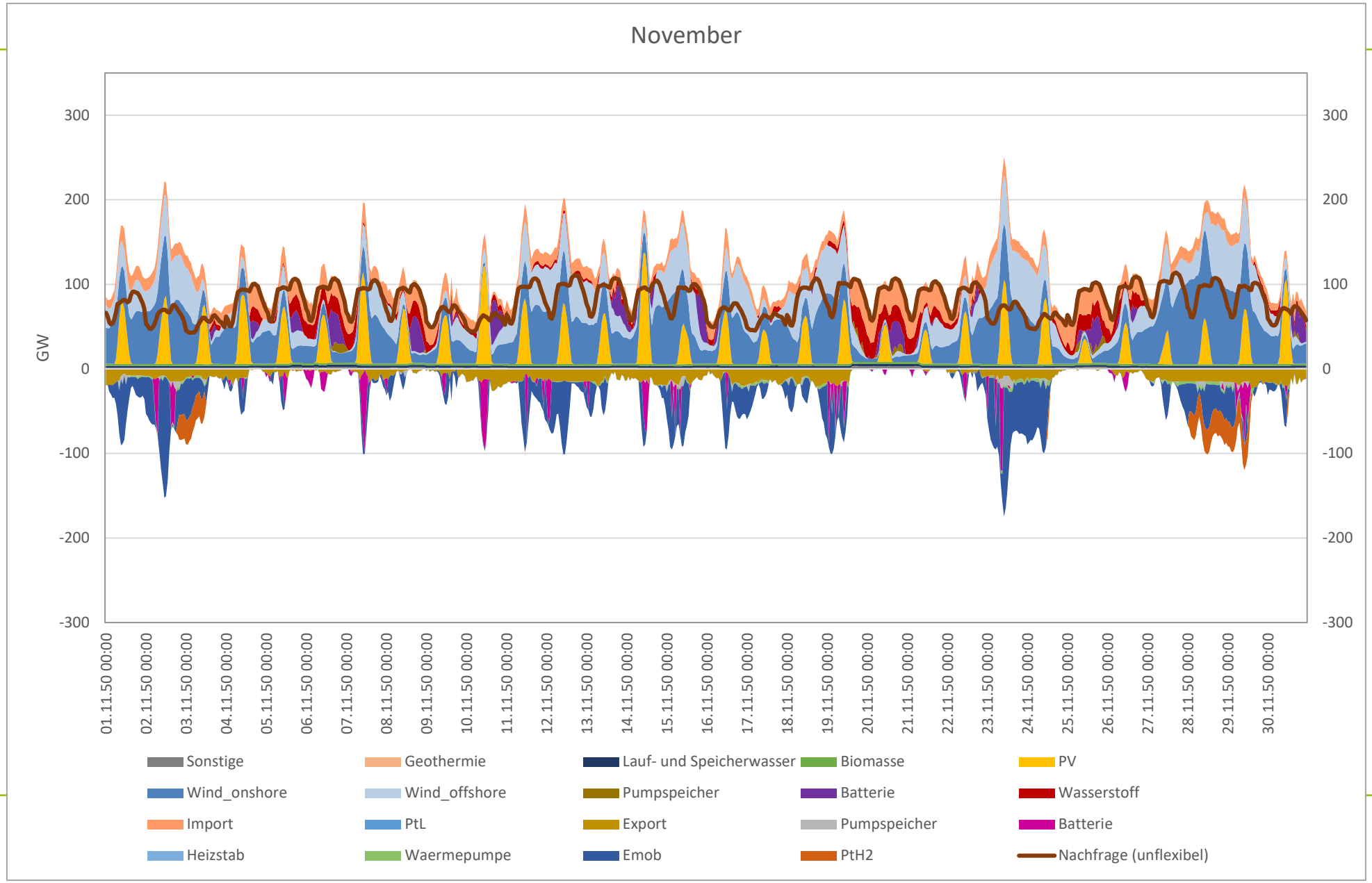

Juni
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.06.50 00:00
02.06.50 00:00
03.06.50 00:00
04.06.50 00:00
05.06.50 00:00
06.06.50 00:00
07.06.50 00:00
08.06.50 00:00
09.06.50 00:00
10.06.50 00:00
11.06.50 00:00
12.06.50 00:00
13.06.50 00:00
14.06.50 00:00
15.06.50 00:00
16.06.50 00:00
17.06.50 00:00
18.06.50 00:00
19.06.50 00:00
20.06.50 00:00
21.06.50 00:00
22.06.50 00:00
23.06.50 00:00
24.06.50 00:00
25.06.50 00:00
26.06.50 00:00
27.06.50 00:00
28.06.50 00:00
29.06.50 00:00
30.06.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)

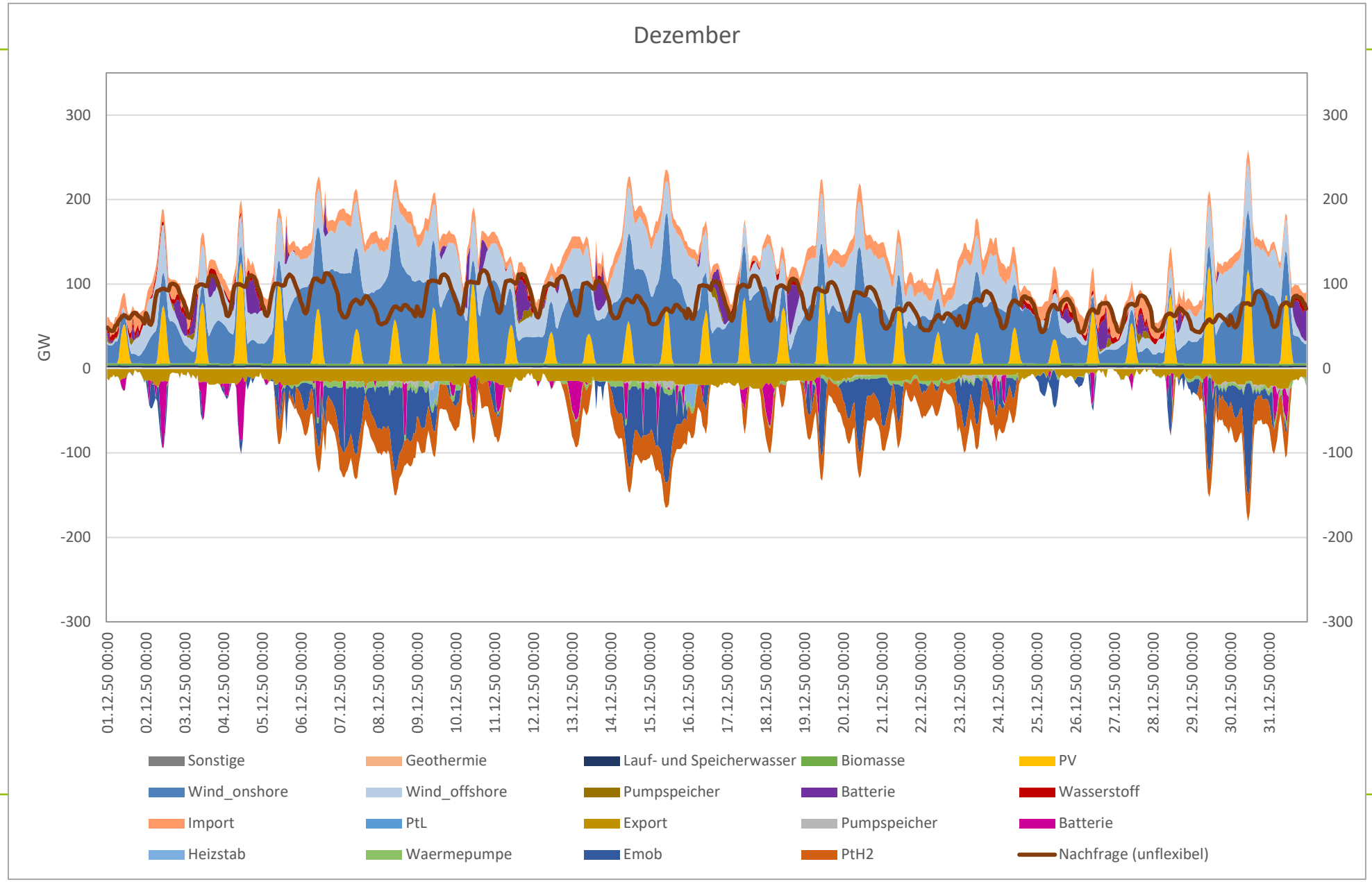

Juli
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.07.50 00:00
02.07.50 00:00
03.07.50 00:00
04.07.50 00:00
05.07.50 00:00
06.07.50 00:00
07.07.50 00:00
08.07.50 00:00
09.07.50 00:00
10.07.50 00:00
11.07.50 00:00
12.07.50 00:00
13.07.50 00:00
14.07.50 00:00
15.07.50 00:00
16.07.50 00:00
17.07.50 00:00
18.07.50 00:00
19.07.50 00:00
20.07.50 00:00
21.07.50 00:00
22.07.50 00:00
23.07.50 00:00
24.07.50 00:00
25.07.50 00:00
26.07.50 00:00
27.07.50 00:00
28.07.50 00:00
29.07.50 00:00
30.07.50 00:00
31.07.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)


August
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.08.50 00:00
02.08.50 00:00
03.08.50 00:00
04.08.50 00:00
05.08.50 00:00
06.08.50 00:00
07.08.50 00:00
08.08.50 00:00
09.08.50 00:00
10.08.50 00:00
11.08.50 00:00
12.08.50 00:00
13.08.50 00:00
14.08.50 00:00
15.08.50 00:00
16.08.50 00:00
17.08.50 00:00
18.08.50 00:00
19.08.50 00:00
20.08.50 00:00
21.08.50 00:00
22.08.50 00:00
23.08.50 00:00
24.08.50 00:00
25.08.50 00:00
26.08.50 00:00
27.08.50 00:00
28.08.50 00:00
29.08.50 00:00
30.08.50 00:00
31.08.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)


September
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.09.50 00:00
02.09.50 00:00
03.09.50 00:00
04.09.50 00:00
05.09.50 00:00
06.09.50 00:00
07.09.50 00:00
08.09.50 00:00
09.09.50 00:00
10.09.50 00:00
11.09.50 00:00
12.09.50 00:00
13.09.50 00:00
14.09.50 00:00
15.09.50 00:00
16.09.50 00:00
17.09.50 00:00
18.09.50 00:00
19.09.50 00:00
20.09.50 00:00
21.09.50 00:00
22.09.50 00:00
23.09.50 00:00
24.09.50 00:00
25.09.50 00:00
26.09.50 00:00
27.09.50 00:00
28.09.50 00:00
29.09.50 00:00
30.09.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)


Oktober
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.10.50 00:00
02.10.50 00:00
03.10.50 00:00
04.10.50 00:00
05.10.50 00:00
06.10.50 00:00
07.10.50 00:00
08.10.50 00:00
09.10.50 00:00
10.10.50 00:00
11.10.50 00:00
12.10.50 00:00
13.10.50 00:00
14.10.50 00:00
15.10.50 00:00
16.10.50 00:00
17.10.50 00:00
18.10.50 00:00
19.10.50 00:00
20.10.50 00:00
21.10.50 00:00
22.10.50 00:00
23.10.50 00:00
24.10.50 00:00
25.10.50 00:00
26.10.50 00:00
27.10.50 00:00
28.10.50 00:00
29.10.50 00:00
30.10.50 00:00
31.10.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)


November
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.11.50 00:00
02.11.50 00:00
03.11.50 00:00
04.11.50 00:00
05.11.50 00:00
06.11.50 00:00
07.11.50 00:00
08.11.50 00:00
09.11.50 00:00
10.11.50 00:00
11.11.50 00:00
12.11.50 00:00
13.11.50 00:00
14.11.50 00:00
15.11.50 00:00
16.11.50 00:00
17.11.50 00:00
18.11.50 00:00
19.11.50 00:00
20.11.50 00:00
21.11.50 00:00
22.11.50 00:00
23.11.50 00:00
24.11.50 00:00
25.11.50 00:00
26.11.50 00:00
27.11.50 00:00
28.11.50 00:00
29.11.50 00:00
30.11.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)


Dezember
GW
300
200
100
0
-100
-200
-300
01.12.50 00:00
02.12.50 00:00
03.12.50 00:00
04.12.50 00:00
05.12.50 00:00
06.12.50 00:00
07.12.50 00:00
08.12.50 00:00
09.12.50 00:00
10.12.50 00:00
11.12.50 00:00
12.12.50 00:00
13.12.50 00:00
14.12.50 00:00
15.12.50 00:00
16.12.50 00:00
17.12.50 00:00
18.12.50 00:00
19.12.50 00:00
20.12.50 00:00
21.12.50 00:00
22.12.50 00:00
23.12.50 00:00
24.12.50 00:00
25.12.50 00:00
26.12.50 00:00
27.12.50 00:00
28.12.50 00:00
29.12.50 00:00
30.12.50 00:00
31.12.50 00:00
Sonstige
Geothermie
Lauf- und Speicherwasser
Biomasse
PV
Wind_onshore
Wind_offshore
Pumpspeicher
Batterie
Wasserstoff
Import
PtL
Export
Pumpspeicher
Batterie
Heizstab
Waermepumpe
Emob
PtH2
Nachfrage (unflexibel)

Agenda Teil 1 - Technik

1. Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen
2. Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?
3. Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?
4. Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?
5. **Was heißt das für das Stromnetz?**
6. Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?

Kraftwerke und Windleistung in Deutschland

Kraftwerke und Photovoltaikleistung in Deutschland

Energiewende:

geographische Veränderung der Erzeugungsstandorte

Quelle: UBA

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/bilder/dateien/kraftwerke-windleistung_2022_0.pdf

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/bilder/dateien/kraftwerke-photovoltaikleistung_2022_0.pdf

Stromnetz

Vom **Netzentwicklungsplan (NEP)** der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) zur Stromleitung

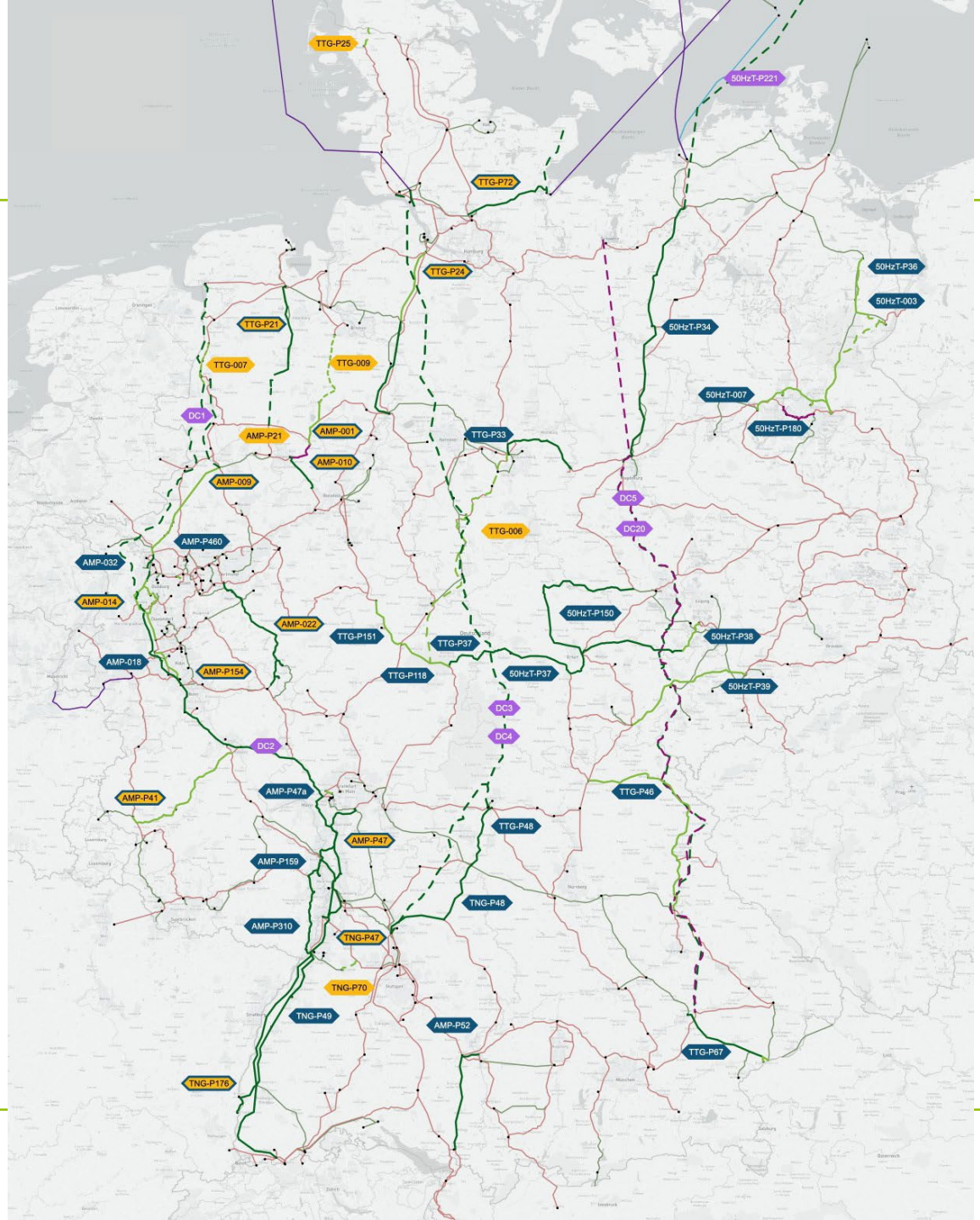
Der Prozess:

- ÜNB erarbeiten Szenariorahmen
- BNetzA organisiert Konsultation durch Interessierte
- BNetzA prüft und genehmigt Szenariorahmen
- ÜNB erarbeiten 1. Entwurf des Netzentwicklungsplans
- ÜNB organisieren Konsultation durch Interessierte
- ÜNB erarbeiten 2. Entwurf des Netzentwicklungsplans
- BNetzA prüft, bestätigt, legt Umweltbericht vor
- Bundesgesetzgeber erstellt Bundesbedarfsplan
- Bundesfachplanung / Raumordnungs- & Planfeststellungsverfahren
- Bauliche Umsetzung

Öko-Institut e.V.

NEP 2023

Deutsches Höchstspannungsnetz mit Startnetz * / nur Leitungsprojekte



Stand der Umsetzung

- Vorbereitung Planungs- und Genehmigungsverfahren
- Im Raumordnungsverfahren / Bundesfachplanung
- Im Genehmigungsverfahren
- Genehmigt / in Bauvorbereitung / im Bau
- Realisiert

- Netzverstärkung
- Neubaumaßnahmen

- Anlagen
- AC 380 kV
- AC 220 kV
- AC 150 kV
- DC

- Netzverstärkung
- Netzausbau
- Verstärkung und Ausbau
- DC

*Die Darstellung der Neubauprojekte zeigt die Anfangs- und Endpunkte, aber keine konkreten Trassenverläufe. Diese werden erst in nachgelagerten Genehmigungsverfahren festgelegt.

Quelle: Übertragungsnetzbetreiber / Kartengrundlage © Mapbox, © OpenStreetMap (ODbL)

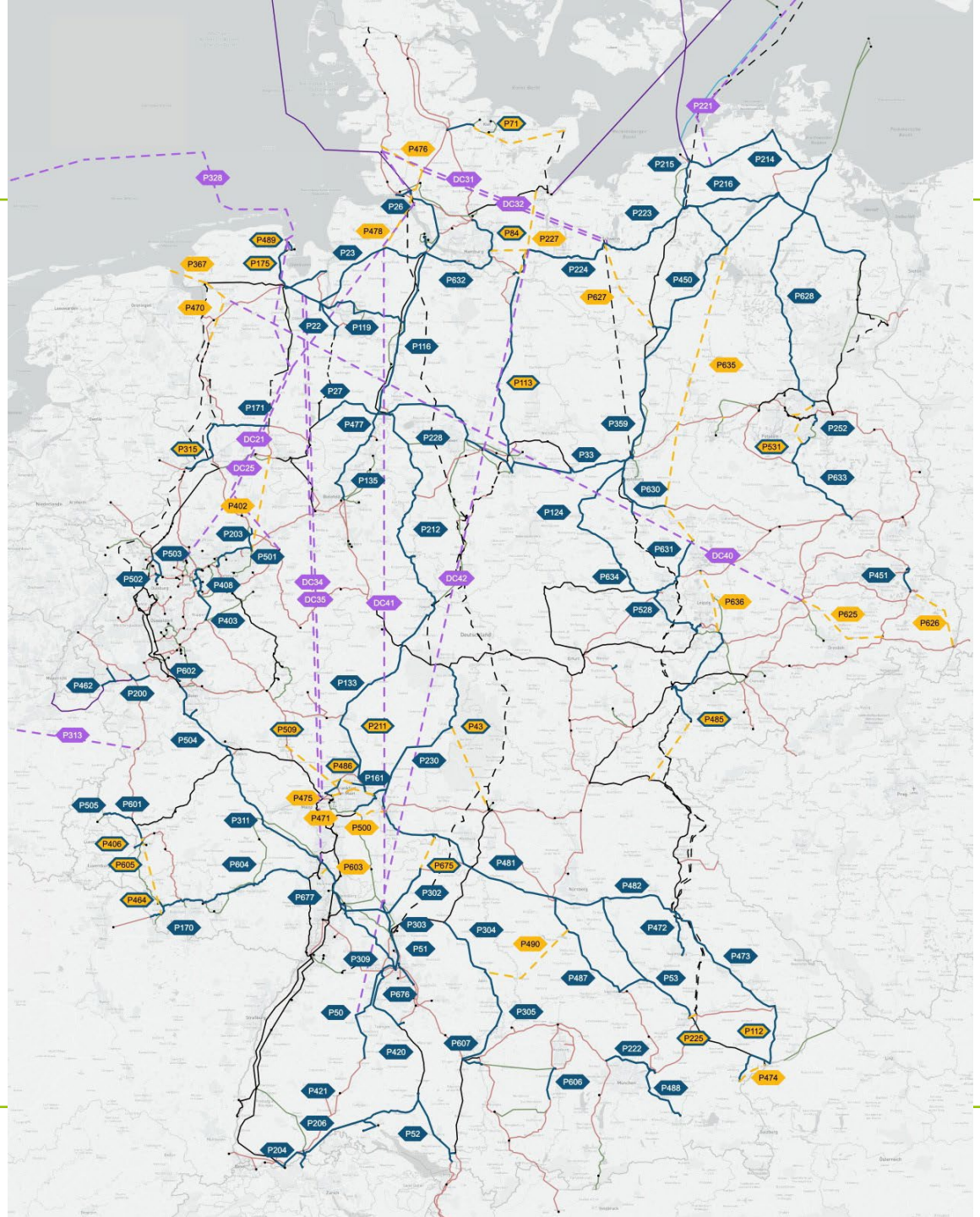
Quelle: Übertragungsnetzbetreiber, Netzentwicklungsplan Strom
https://www.netzentwicklungsplan.de/nep-aktuell/netzentwicklungsplan-20372045-2023

Öko-Institut e.V.

NEP 2023

Onshore-Zubaunetz

Szenario B 2037 / A / B / C 2045 / nur Leitungsprojekte*



- AC-Netzverstärkung
- DC-Netzverstärkung
- AC-Netzausbau
- DC-Netzausbau
- Netzverstärkung im Startnetz
- Netzausbau im Startnetz

- Anlagen
- AC 380 kV
- AC 220 kV
- AC 150 kV
- DC
- Netzverstärkung
- Netzausbau
- Verstärkung und Ausbau
- DC

*Die Darstellung der Neubauprojekte zeigt die Anfangs- und Endpunkte, aber keine konkreten Trassenverläufe. Diese werden erst in nachgelagerten Genehmigungsverfahren festgelegt.

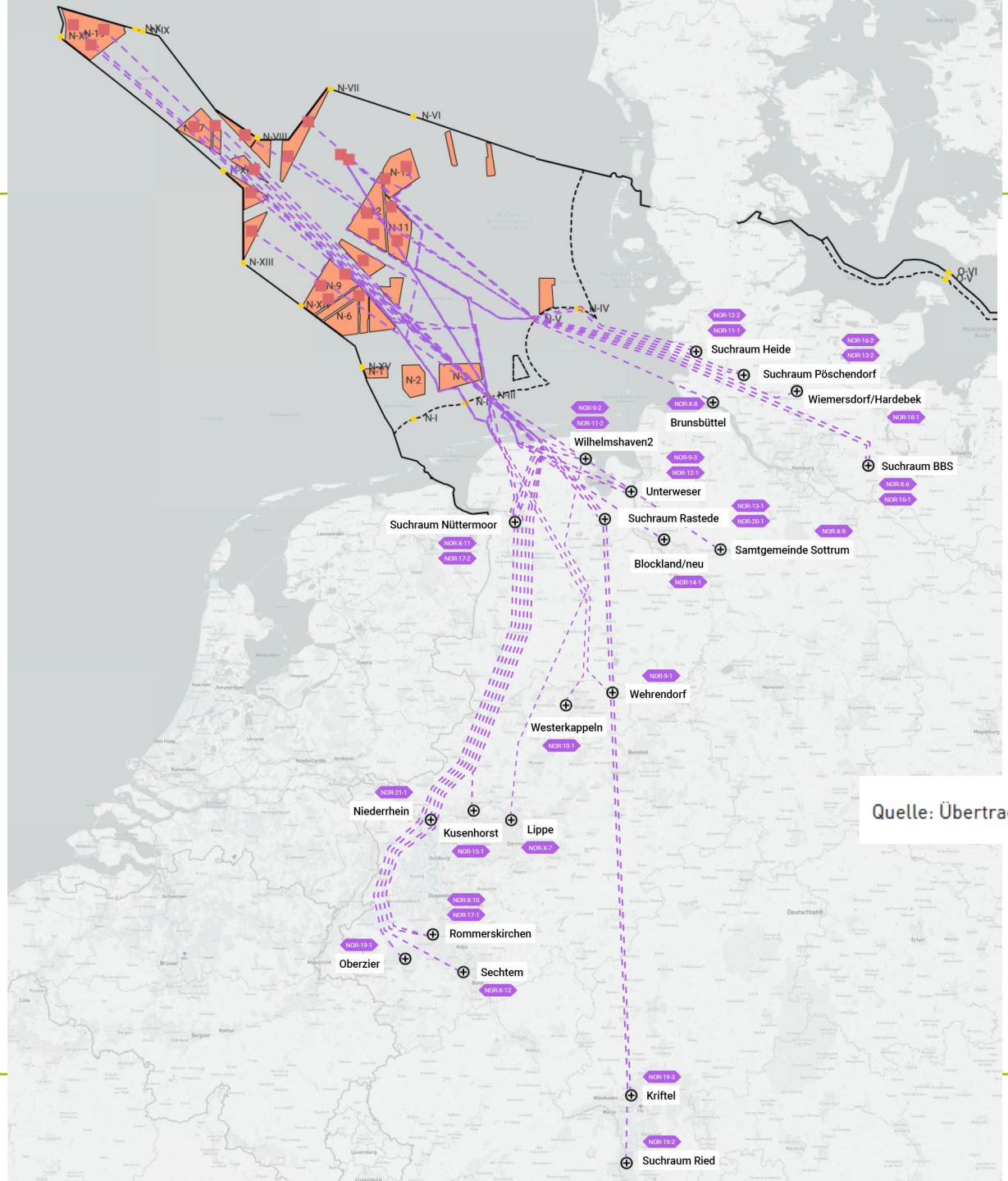
Quelle: Übertragungsnetzbetreiber / Kartengrundlage © Mapbox, © OpenStreetMap (ODbL)

Quelle: Übertragungsnetzbetreiber, Netzentwicklungsplan Strom
https://www.netzentwicklungsplan.de/nep-aktuell/netzentwicklungsplan-20372045-2023

Öko-Institut e.V.

NEP 2023

Maßnahmen des Offshore-Zubaunetzes der Nordsee in den Szenarien A / B / C 2045



DC-Netzausbau
AC-Netzausbau
Projektname

Offshore-Windpark-Gebiet
Konverterplattform
Umspannplattform
Netzverknüpfungspunkt
Grenzkorridor
Grenze des Küstenmeeres
Grenze der ausschließlichen Wirtschaftszone

Quelle: Übertragungsnetzbetreiber / Kartengrundlage © Mapbox, © OpenStreetMap (ODbL), BSH (© GeoSeaPortal)

Quelle: Übertragungsnetzbetreiber, Netzentwicklungsplan Strom https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-03/NEP%20kompakt_2037_2045_V2023_1E.pdf

Längenangaben Start- und Zubaunetz im NEP 2023

Onshore - Netz

Angaben in km	AC-Verstärkung		DC-Verstärkung		AC-Neubau	DC-Neubau	Summe
	Zu-/Umbeseilung	Ersatz-/ Parallelneubau	Zu-/Umbeseilung	Ersatz-/ Parallelneubau			
Startnetz	897	2.079	321	560	603	2.466	6.925
Zubaunetz							
B 2037 / A/B/C 2045	2.571	3.786	0	640	1.692	3.742	12.430
Start- und Zubaunetz							
B 2037 / A/B/C 2045	3.468	5.865	321	1.200	2.294	6.207	19.355

Überblick der Trassenkilometer und Investitionen des Zubaunetzes in den Szenarien A/B/C 2045

	Trassenlänge in km	Investitionsvolumen in Mrd. Euro
Offshore	13.310	145,1
Onshore	12.430	94,6
Summe	25.740	239,7

Quelle: Übertragungsnetzbetreiber

Quelle: Übertragungsnetzbetreiber, NEP 2023, https://www.netzentwicklungsplan.de/

Agenda Teil 1 - Technik

1. Klimaschutzziele – warum wir erneuerbare Energien brauchen
2. Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt?
3. Welchen Ausbau brauchen wir, um die Ziele zu erreichen?
4. Wie funktioniert ein System mit 100% Erneuerbaren?
5. Was heißt das für das Stromnetz?
6. **Exkurs: Wie funktionieren Windkraftanlagen und PV-Anlagen eigentlich?**

Exkurs: Wie funktioniert eine Windkraftanlage? (1)

… im Prinzip wie ein Fahrraddynamo!

→ Wenn man elektrische Leiter durch ein Magnetfeld bewegt, entsteht Strom!

(Lorentz-Kraft: Bewegt sich eine elektrische Ladung senkrecht zu den Magnetfeldlinien eines Magnetfelds, so wirkt das Magnetfeld die sogenannte Lorentzkraft auf die Ladung aus.)

Drehbewegung: Im Generator induzieren drehende Magnetfelder Strom in Spulen.

Exkurs: Wie funktioniert eine Windkraftanlage? (2)

… und wie ein Flugzeug!

Auftrieb am Tragflügelprofil:

- Oberseite ist länger als Unterseite → Luft strömt oben schneller als unten.
- Mit zunehmender Geschwindigkeit sinkt statische Druck

→ Über dem Tragflügel ist weniger Druck, unter dem Tragflügel mehr → Auftrieb
→ Rotor dreht sich

Exkurs: Wie funktioniert eine Photovoltaik-Anlage?

- Halbleiter: Material, das mit steigender Temperatur, Licht leitfähig wird

  Zum Beispiel Silizium: Photonen „schießen“ gebundene Elektronen aus ihren Bindungen

- Elektrisches Feld:

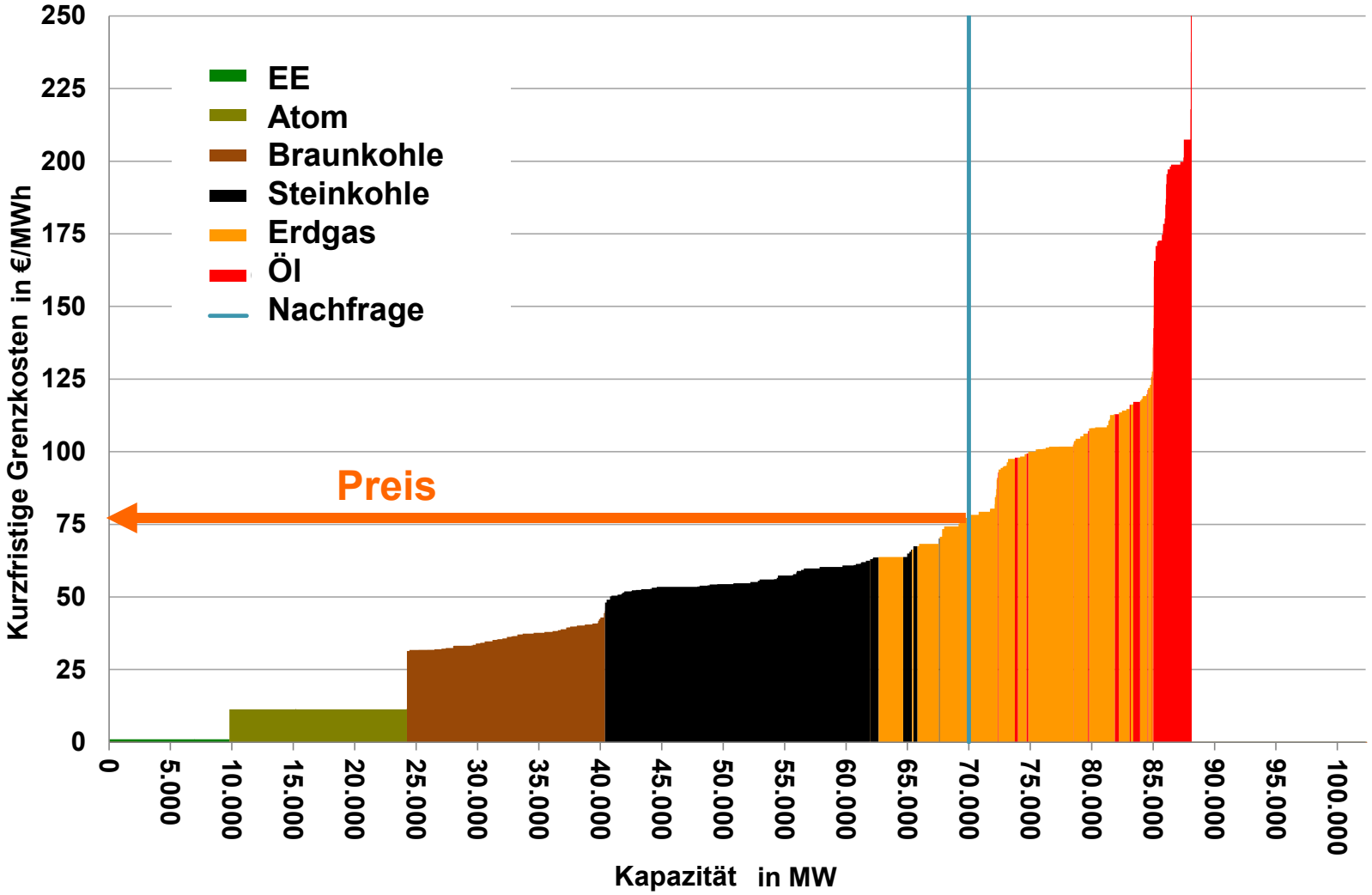
  Solarzelle ist wie Sandwich: oben positiv geladene Schicht, unten negativ geladene Schicht

→ Licht „befreit“ Elektron, elektrisches Feld bewegt Elektron in der Solarzelle nach oben, dort wird es eingesammelt und über Verbraucher zurückgeleitet auf die untere Seite

Agenda Teil 2 - Finanzierung

1. **Wie funktioniert der Strommarkt?**
2. Wie finanzieren sich EE?
3. Wie werden sich die Kosten für EE entwickeln?
4. Wie muss der Strommarkt der Zukunft aussehen?

Der Großhandelsmarkt für Strom



Quelle: eigene Darstellung

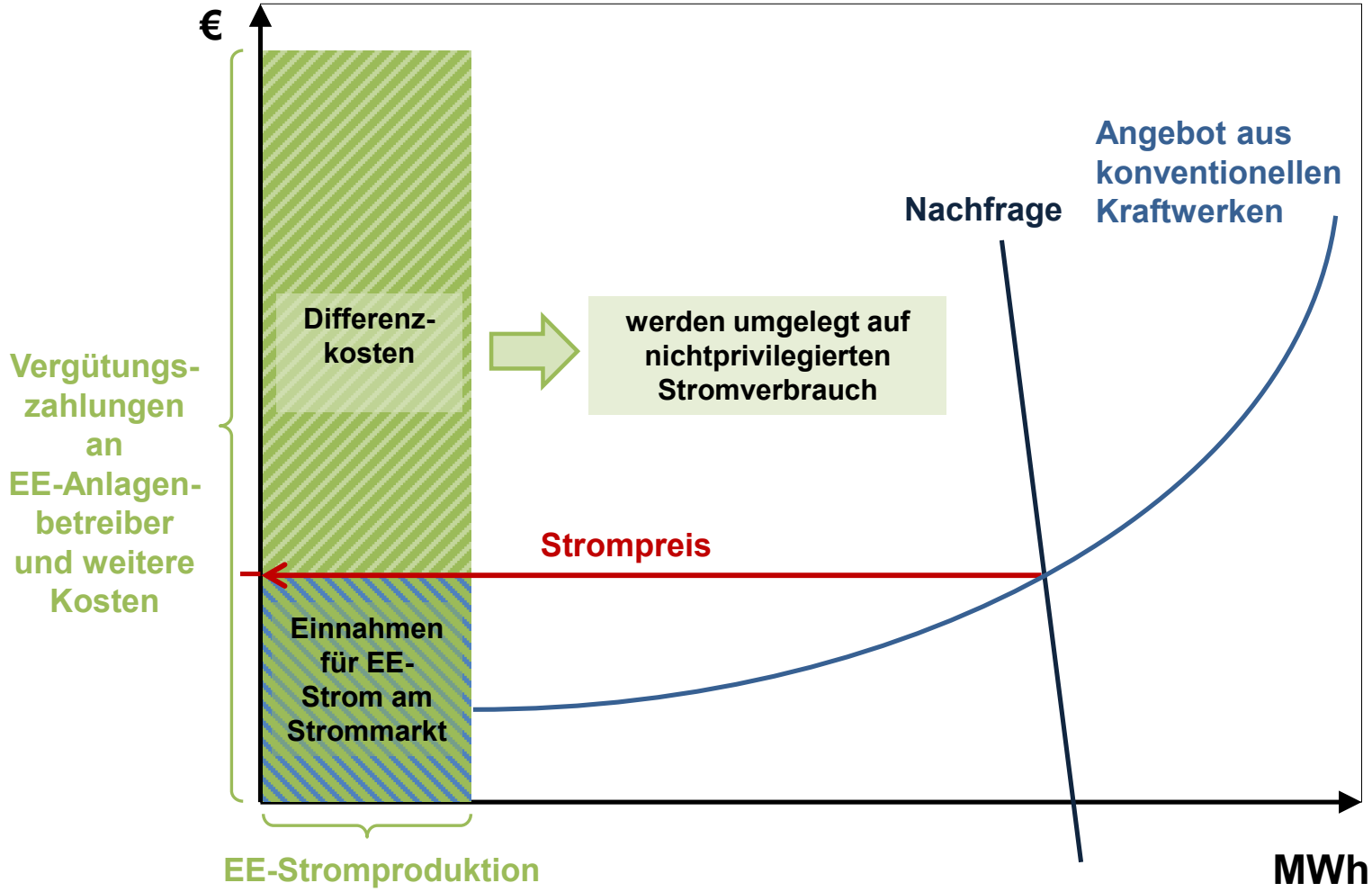
Agenda Teil 2 - Finanzierung

1. Wie funktioniert der Strommarkt?
2. **Wie finanzieren sich EE?**
3. Wie werden sich die Kosten für EE entwickeln?
4. Wie muss der Strommarkt der Zukunft aussehen?

Das EEG

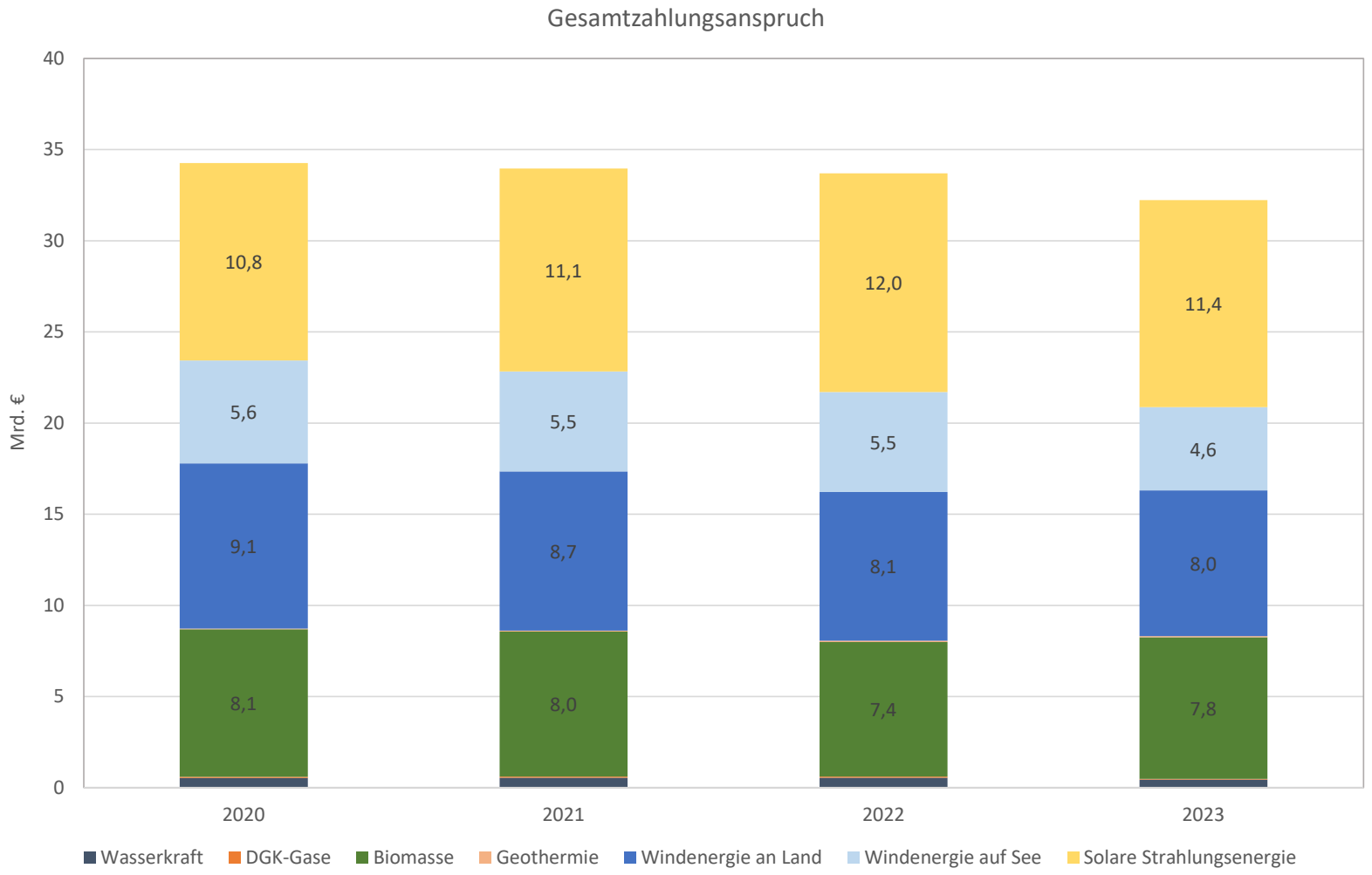
- Wichtigstes Instrument für den Ausbau der EE
- Anlagenbetreiber*innen erhalten Geld („Einspeisevergütung“ / „Marktprämie“) für eingespeisten Strom
- Geld früher durch „EEG-Umlage“ von Stromverbraucher*innen,
  heute aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ aus dem Bundeshaushalt

Qualitative Darstellung der Bildung der Differenzkosten



Quelle: eigene Darstellung

Gesamtkosten aus den Prognosen der ÜNBs

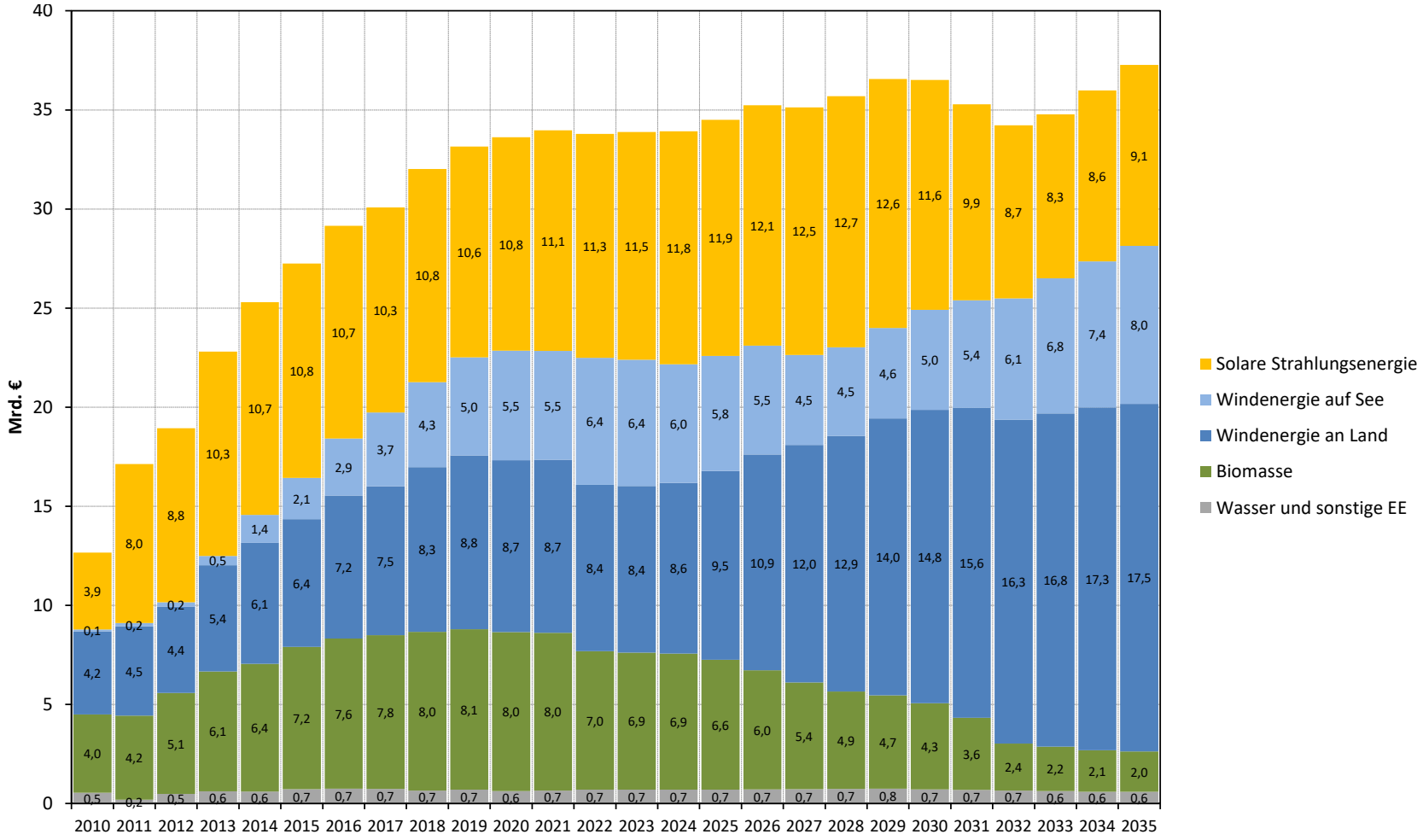


Quelle: Daten Übertragungsnetzbetreiber, https://www.netztransparenz.de/EEG/EEG-Finanzierung; eigene Darstellung

Agenda Teil 2 - Finanzierung

1. Wie funktioniert der Strommarkt?
2. Wie finanzieren sich EE?
3. **Wie werden sich die Kosten für EE entwickeln?**
4. Wie muss der Strommarkt der Zukunft aussehen?

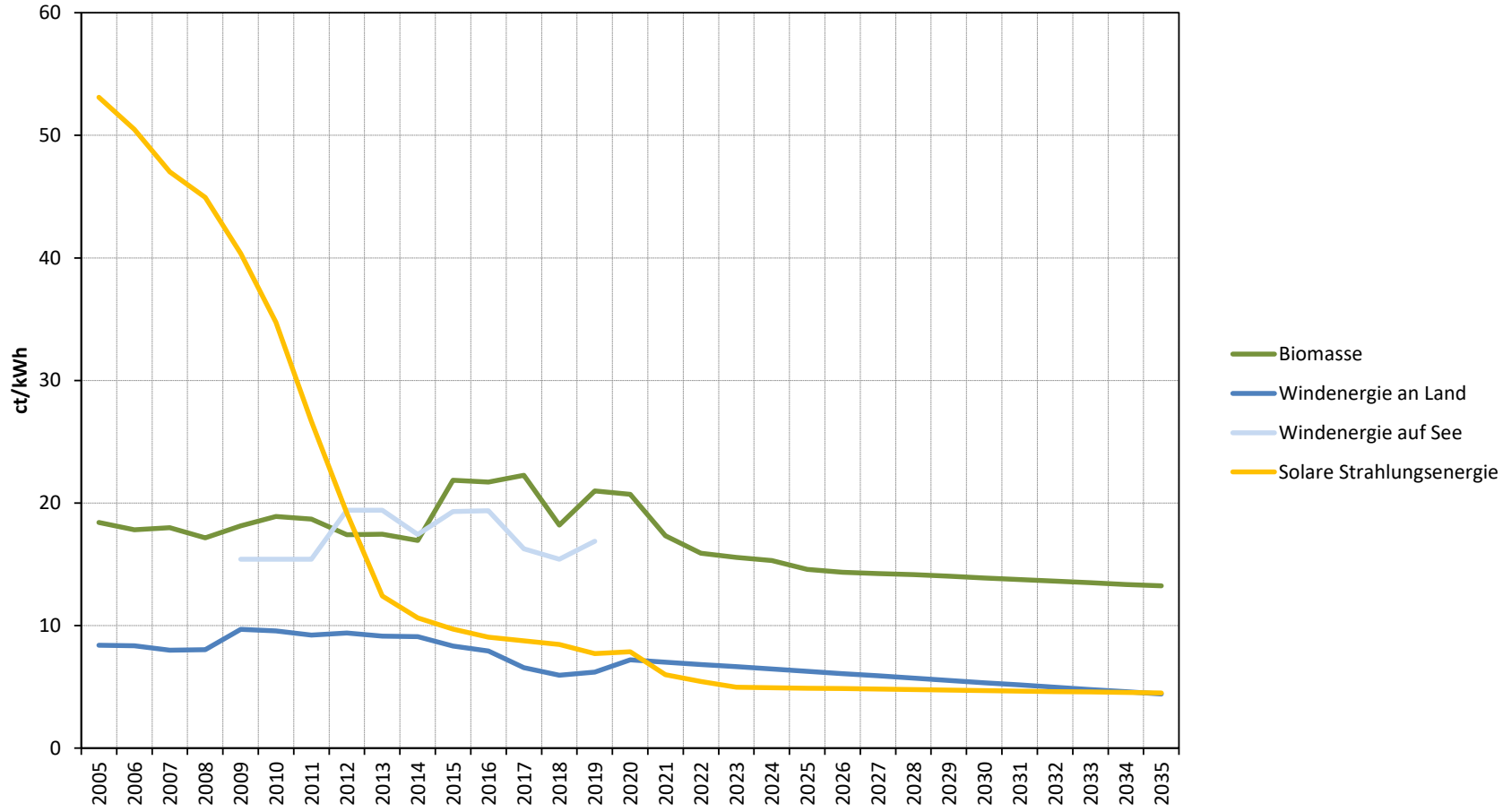
Gesamtkosten EE-Anlagen nach (ungefährem) Zielszenario



Quelle: eigene Berechnungen

Erneuerbare Energien werden immer preiswerter

Anzulegender Wert



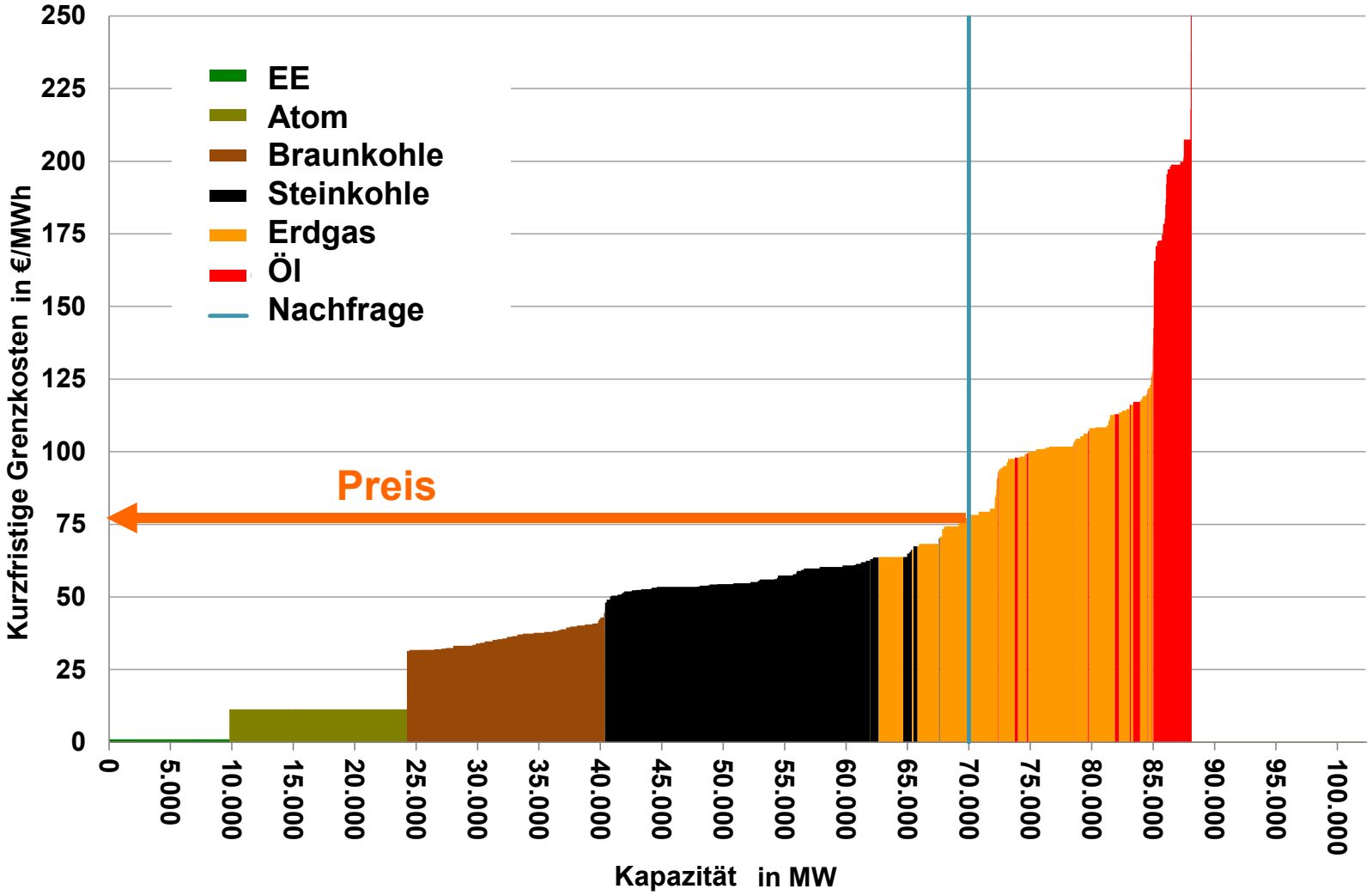
Quelle: eigene Berechnungen

Agenda Teil 2 - Finanzierung

1. Wie funktioniert der Strommarkt?
2. Wie finanzieren sich EE?
3. Wie werden sich die Kosten für EE entwickeln?
4. **Wie muss der Strommarkt der Zukunft aussehen?**

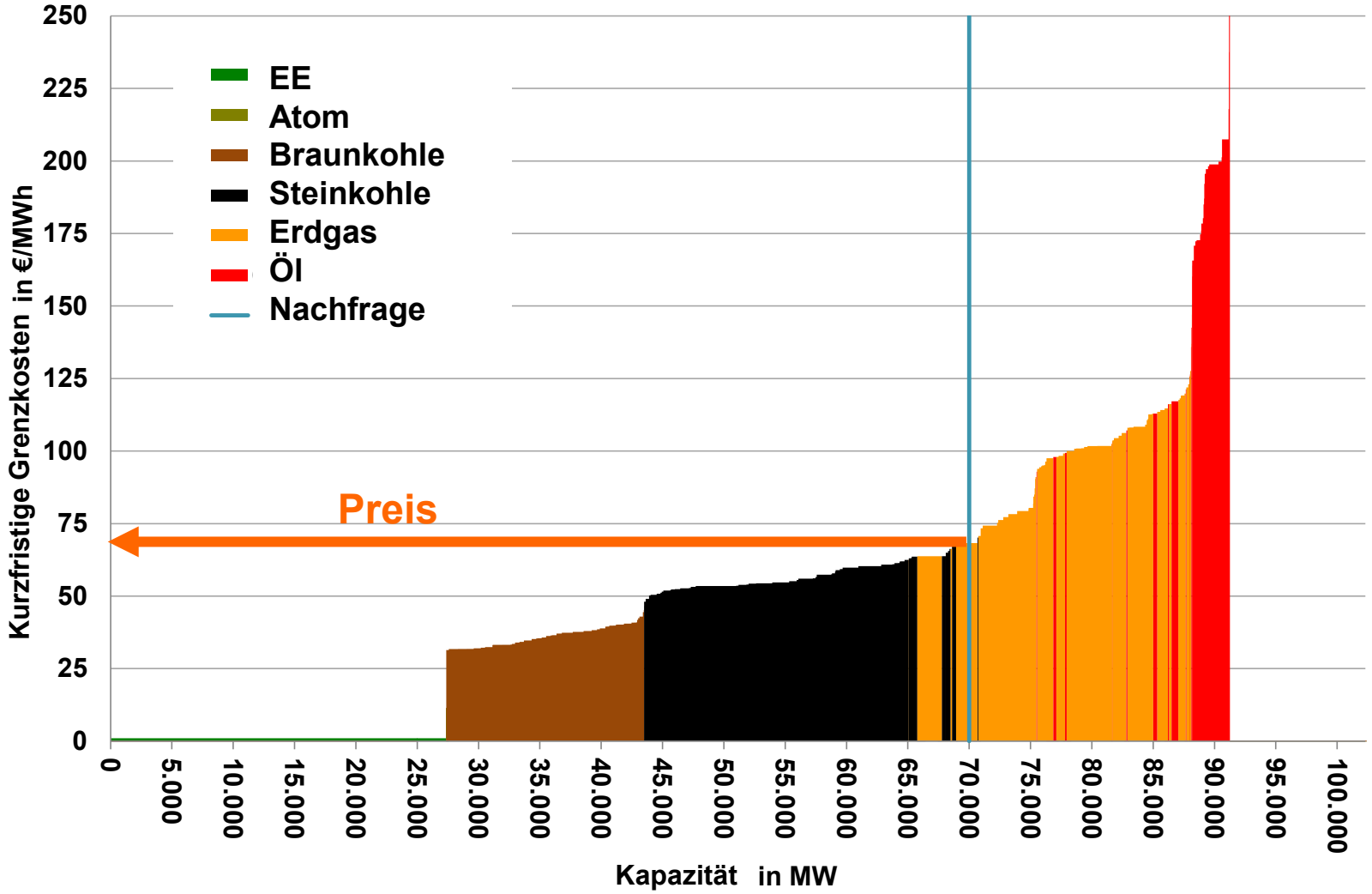
Können sich EE überhaupt „am Markt“ finanzieren?

Der Großhandelsmarkt für Strom



Quelle: eigene Darstellung

Der Großhandelsmarkt für Strom



Quelle: eigene Darstellung

Die Zukunft der Finanzierung?

EEG

§ 1a Zeitliche Transformation

(1) Nach der Vollendung des Kohleausstiegs wird die Treibhausgasneutralität der Stromversorgung im Bundesgebiet angestrebt.

(2) Nach der Vollendung des Kohleausstiegs soll der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien marktgetrieben erfolgen. Zu diesem Zweck

1. legt dieses Gesetz **keine Ausschreibungsvolumen** und Gebotstermine für die Zeit **nach der Vollendung des Kohleausstiegs** fest und

2. sollen Zahlungen an Anlagen, deren anzulegender Wert gesetzlich bestimmt wird und die nach der Vollendung des Kohleausstiegs in Betrieb genommen werden, auf ein Niveau begrenzt werden, das **keine Förderung** darstellt. **Weitere Zahlungen sollen** insbesondere aufgrund der erwarteten Entwicklung im Europäischen Emissionshandelssystem und aufgrund des dadurch ermöglichten marktgetriebenen weiteren Ausbaus der erneuerbaren Energien **nicht erfolgen**.

(3) Die Bundesregierung evaluiert fortlaufend die Entwicklung des marktgetriebenen Ausbaus der erneuerbaren Energien und bewertet diese Entwicklung vor dem Hintergrund der Ausbauziele. **Sie legt rechtzeitig, spätestens bis zum 31. März 2024 einen Vorschlag vor, wie die Finanzierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien nach der Vollendung des Kohleausstiegs erfolgen soll**.

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Thank you for your attention!

Haben Sie noch Fragen?
Do you have any questions?

Charlotte Loreck
Senior Researcher

Öko-Institut e.V.
Borkumstraße 2
D-13189 Berlin

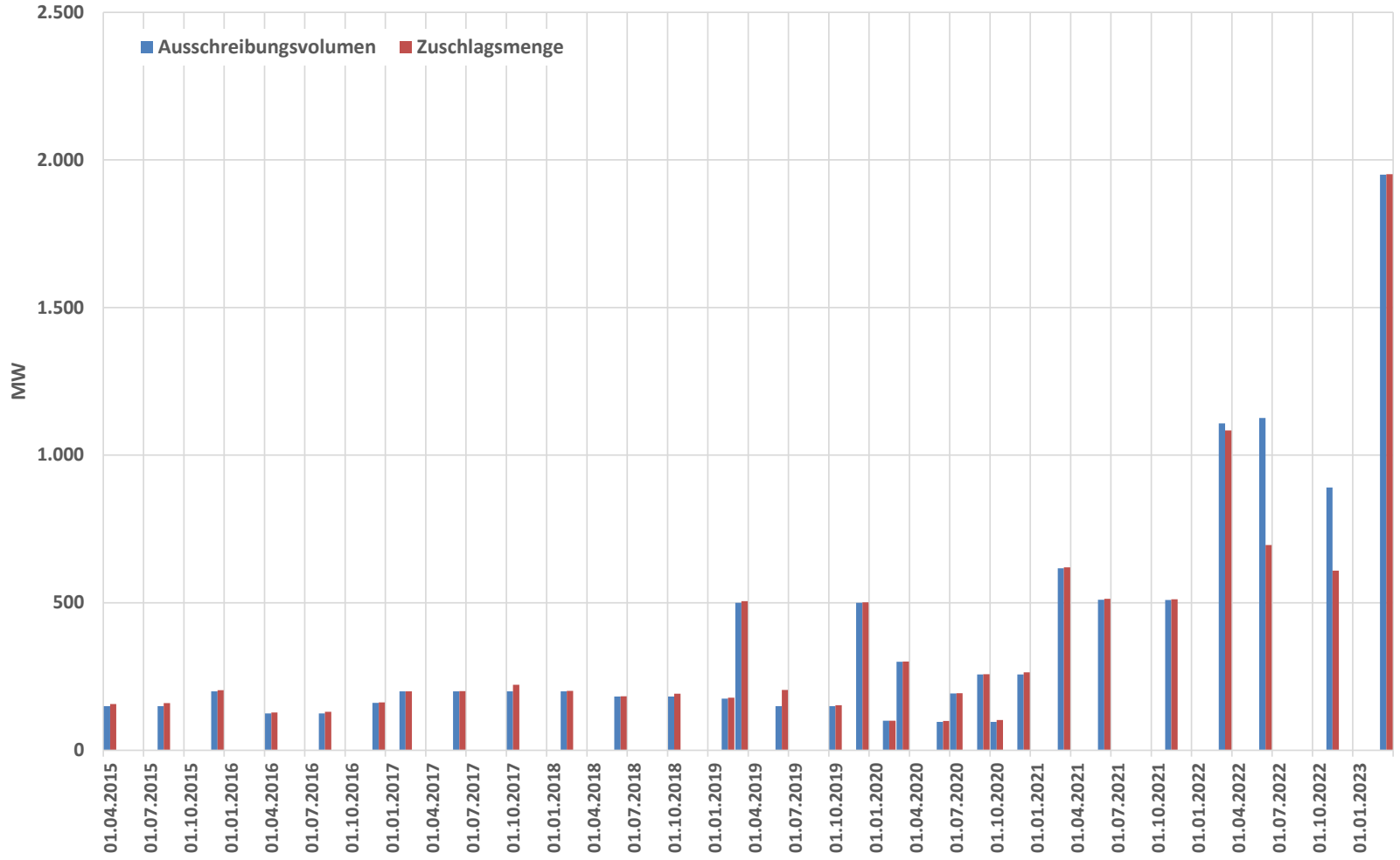
E-Mail: c.loreck@oeko.de

Backup

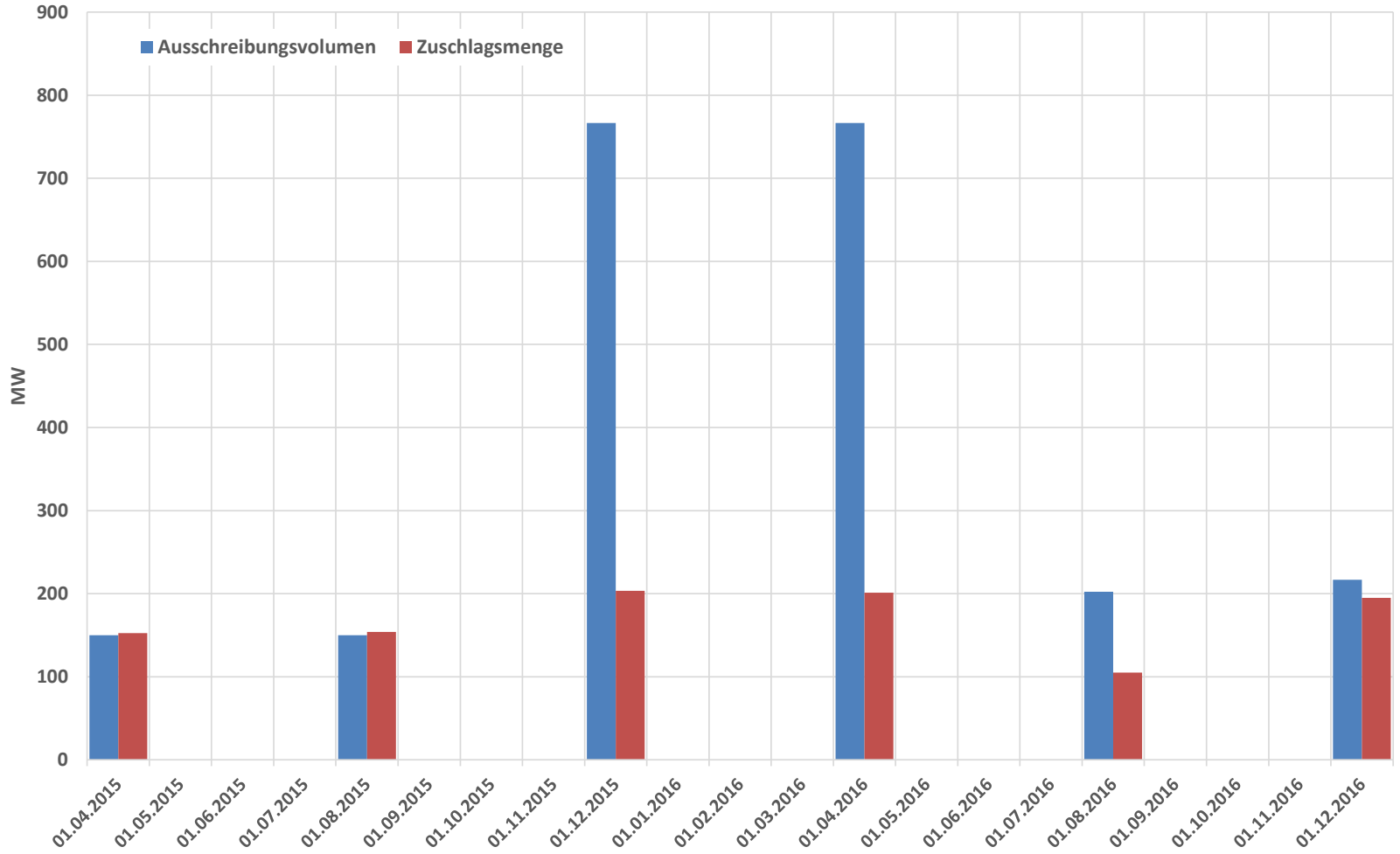
Aus der Ankündigung

- Wie hat sich der Erneuerbaren-Ausbau bisher entwickelt und welches Ausbautempo ist nötig, um die Klimaziele zu erreichen? Wie wird sich die Nachfrage nach erneuerbarem Strom entwickeln?
- Ist ein System aus 100% erneuerbaren Energien realistisch?
- Wie wird der Ausbau von erneuerbaren Energien in Deutschland finanziert?
- Wie muss das Stromnetz ausgebaut werden, um den wachsenden Anteil erneuerbarer Energien aufzunehmen und auf Klimaneutralität ausgerichtet zu sein?

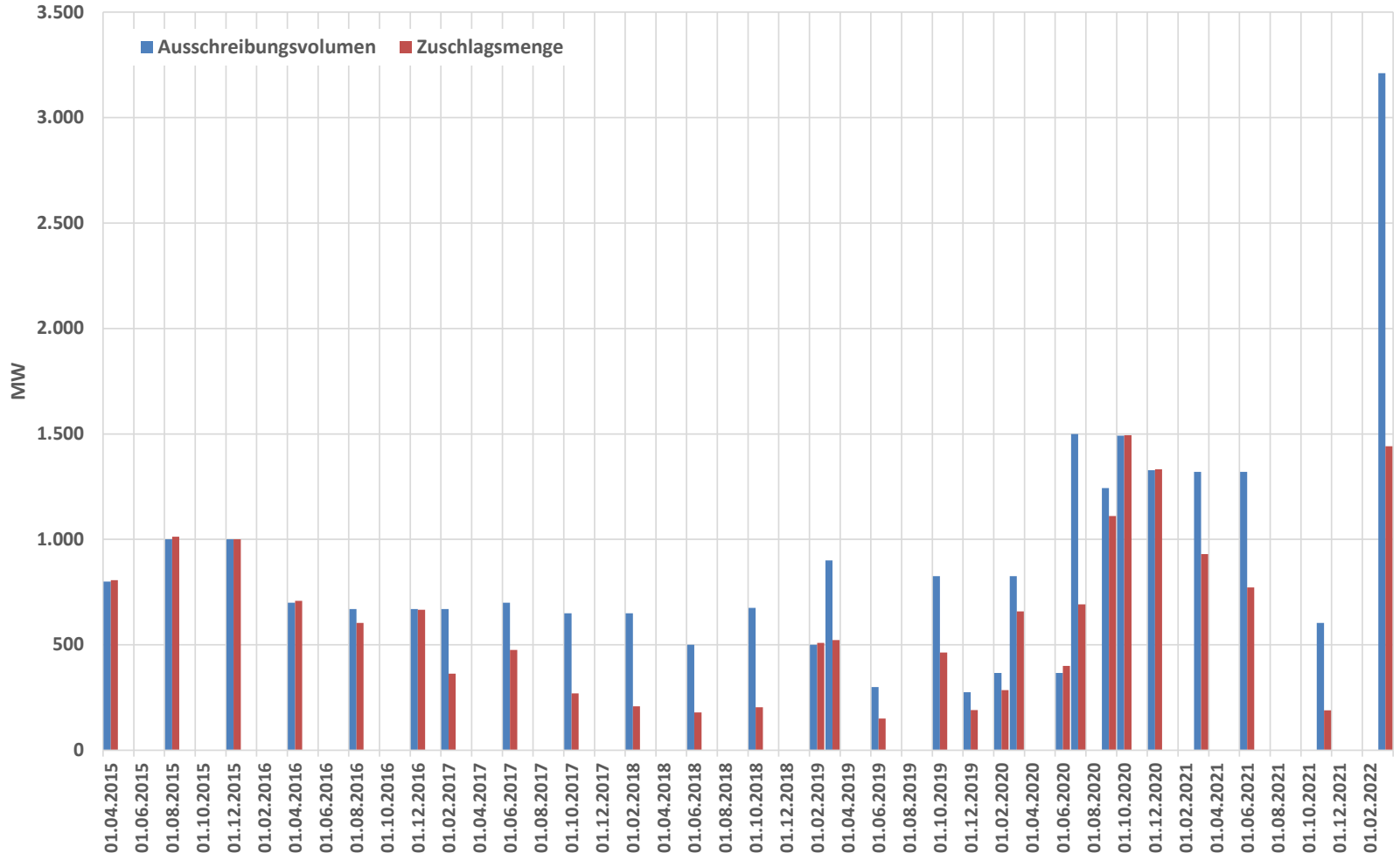
Sind wir on track?
Solarenergie Freiflächen: Ausschreibungsergebnisse



Sind wir on track?
Solarenergie Aufdachanlagen: Ausschreibungsergebnisse

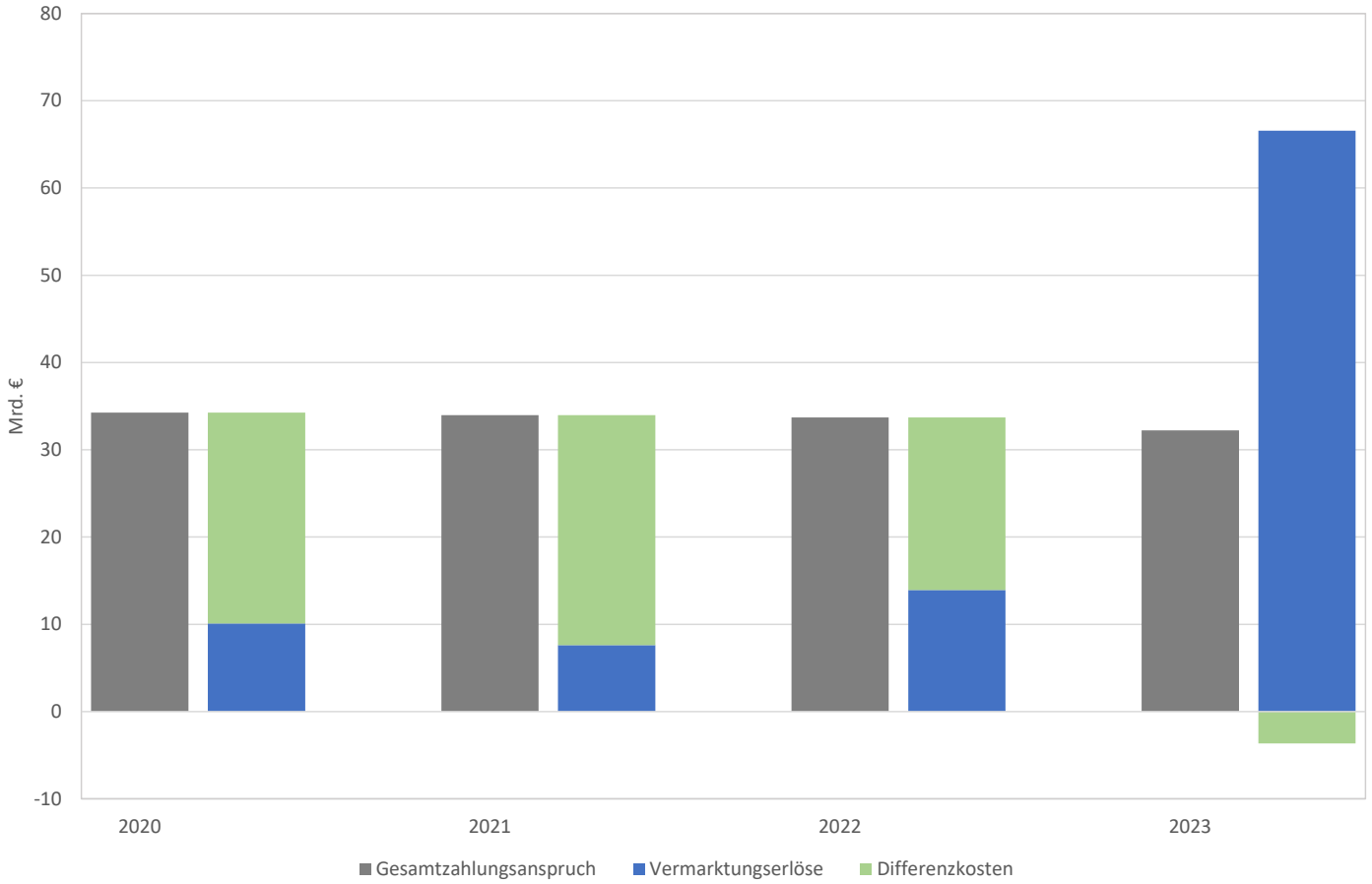


Sind wir on track?
Wind an Land: Ausschreibungsergebnisse



Aufteilung nach Vermarktungserlösen und Differenzkosten

Angenommene Börsenstrompreis: 49,34 €/MWh 40,74 €/MWh 78,40 €/MWh 425,61 €/MWh



Was ist das Startnetz? (NEP 2023)

„Im Einzelnen besteht das Startnetz neben dem Ist-Netz (Stand 31.12.2022) aus den EnLAG-Maßnahmen, den in der Planfeststellung befindlichen Maßnahmen, den in der Umsetzung befindlichen Netzausbaumaßnahmen (planfestgestellt bzw. in Bau) sowie den Maßnahmen aufgrund sonstiger Verpflichtungen (Kraftwerks-Netzanschlussverordnung (KraftNAV) bzw. Anschlusspflicht der Industriekunden).“

„Die Investitionen für die Netzmaßnahmen des Startnetzes belaufen sich auf **rund 49 Mrd. EUR.“**