



# Betrachtungen zum Klimaschutz und zur Versorgungssicherheit der Bayerischen Stromversorgung im Jahr 2035

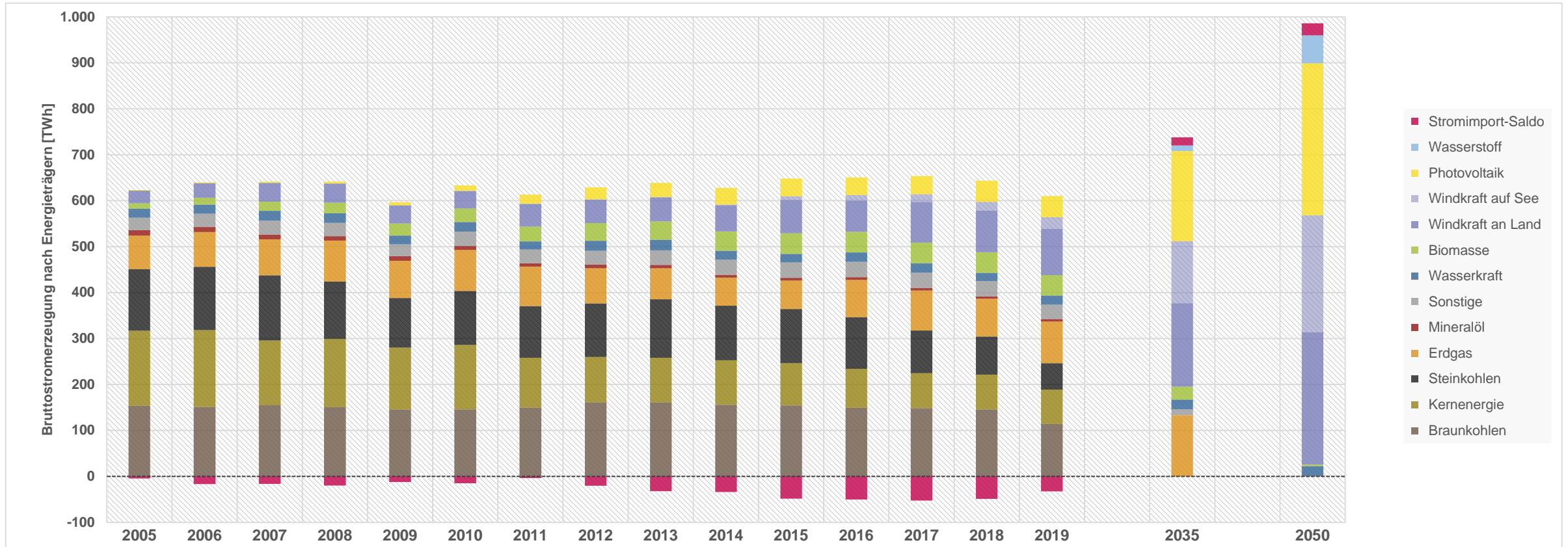
Grünes Online-Seminar: Eine sichere und saubere Zukunft für Bayerns Stromversorgung

Dr. Matthias Koch, Sebastian Palacios und Christof Timpe | 01.12.2020

## Hintergrund

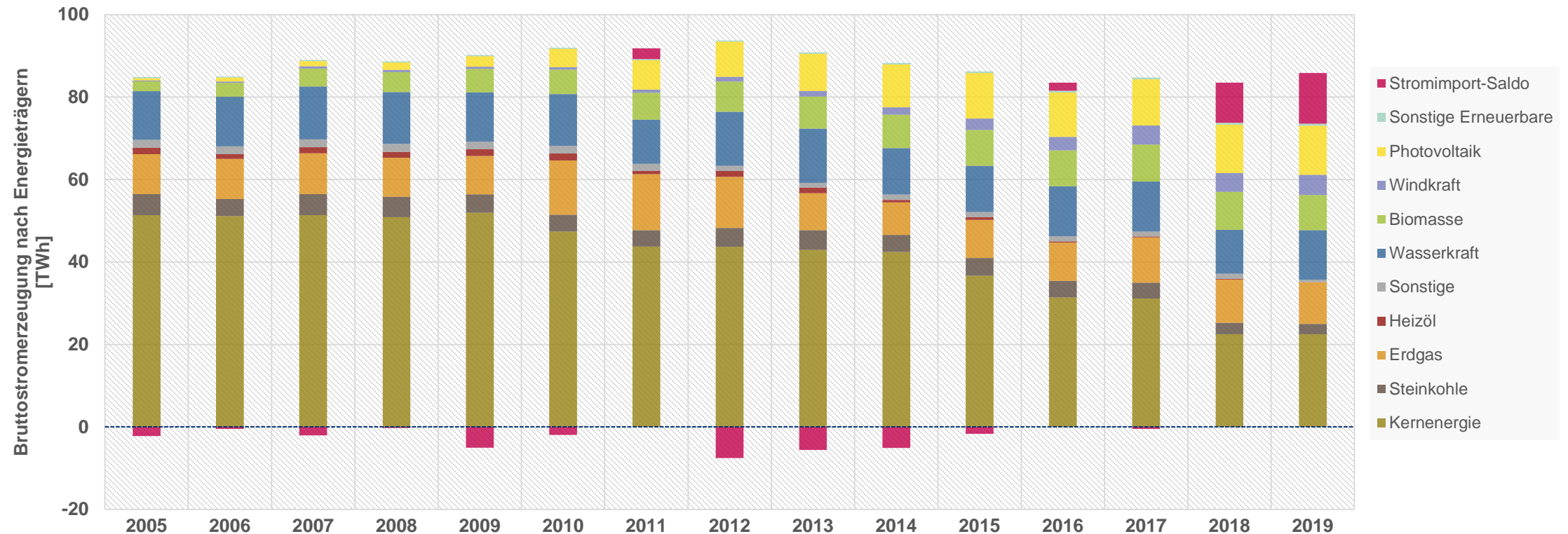
- **Ziel:** Erderwärmung auf einen Temperaturanstieg von höchstens 1,5°C bis 2°C begrenzen
- **Herausforderung:** Ausstoß an Treibhausgasen weltweit, schnell und drastisch zu reduzieren
  
- Politischer und gesetzlicher Rahmen
  - Deutschland und die Europäische Union: Treibhausgasneutralität bis 2050
  - Klimaschutzgesetz, Kohleausstiegsgesetz, EEG, Emissionshandel, ...
  
- Die Energiewende führt zu verschiedenen Effekten im deutschen Stromsystem:
  - Wechsel der Energieträger und damit auch Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen
  - Zunahme der Stromnachfrage durch Elektrifizierung in anderen Sektoren

# Bruttostromerzeugung nach Energieträger in Deutschland 2005 bis 2019 mit Ausblick auf 2035 und 2050



- Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland: rund **270 Millionen Tonnen** im Jahr 2018
- Der Energieträgermix entwickelt sich bis 2050 in Richtung Wind, PV und grünem Wasserstoff

# Bruttostromerzeugung nach Energieträger in Bayern 2005 bis 2019

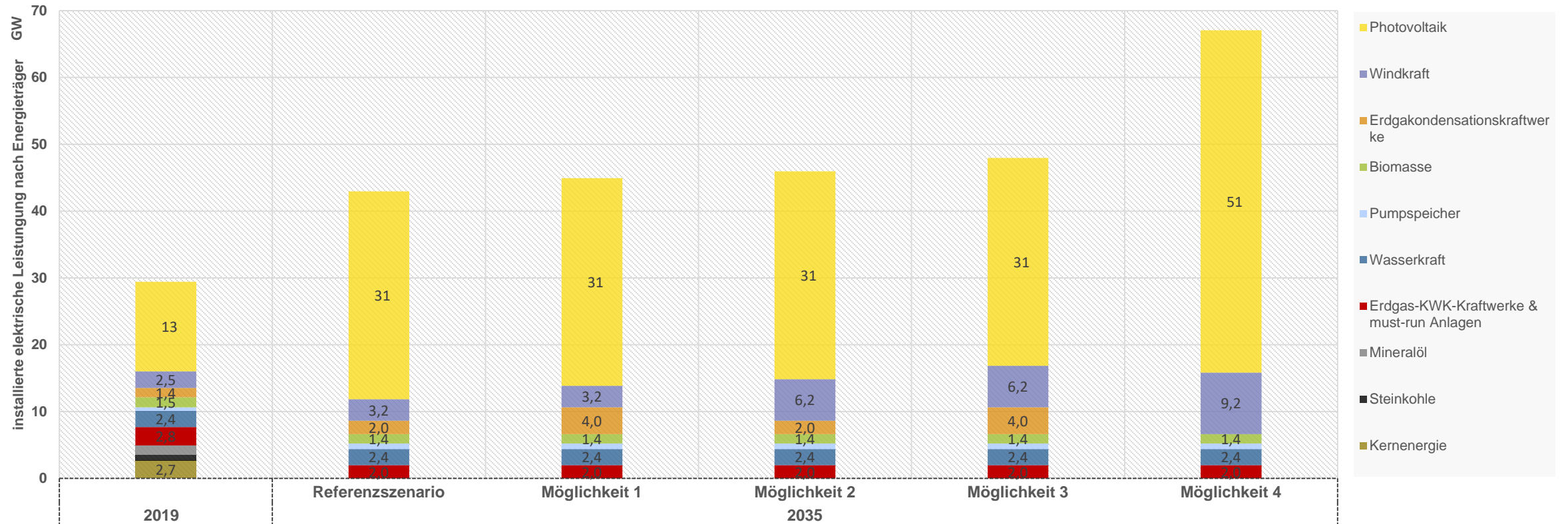


- Energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Strom- und Wärmerzeugung in Bayern: rund **10 Millionen Tonnen** im Jahr 2018
- Bayern entwickelt sich zum Nettostromimporteur

## Fragestellung und betrachtete Szenarien

- Wie kann die Stromversorgung in Bayern bis 2035 aussehen?
  - Welche Gestaltungsspielräume gibt es bei erneuerbaren Energien, welche Rolle sollten Gaskraftwerke und Stromnetzausbau haben?
  - Welche Effekte ergeben sich für die Versorgungssicherheit und die CO<sub>2</sub>-Emissionen?
- Es wurden fünf Szenarien analysiert:
  - Referenzszenario als Fortschreibung der aktuell erwartbaren Entwicklung
  - „Möglichkeit 1“: 2.000 Megawatt zusätzlicher **Erdgaskraftwerke**
  - „Möglichkeit 2“: 3.000 Megawatt zusätzlicher **Windkraftanlagen**
  - „Möglichkeit 3“: zusätzlich 3.000 Megawatt **Windkraft** und 2.000 Megawatt **Erdgaskraftwerke**
  - „Möglichkeit 4“: zusätzlich 6.000 Megawatt **Windkraft** und 20.000 Megawatt **Photovoltaik** sowie **keine Erdgaskondensationskraftwerke** (-2.000 MW)

# Installierte elektrische Leistung nach Energieträger in Bayern im Jahr 2019 sowie in den betrachteten Szenarien für das Jahr 2035



- Anstieg der Bruttostromnachfrage von 86 TWh in 2019 auf 98,7 TWh in 2035 (+15% oder +1%/a)
- Schwankungsbereich der Bruttostromnachfrage: 7 GW bis 16 GW, Ø 11 GW

# Methodik zur Bestimmung der Einsatzprofile in stündlicher Auflösung

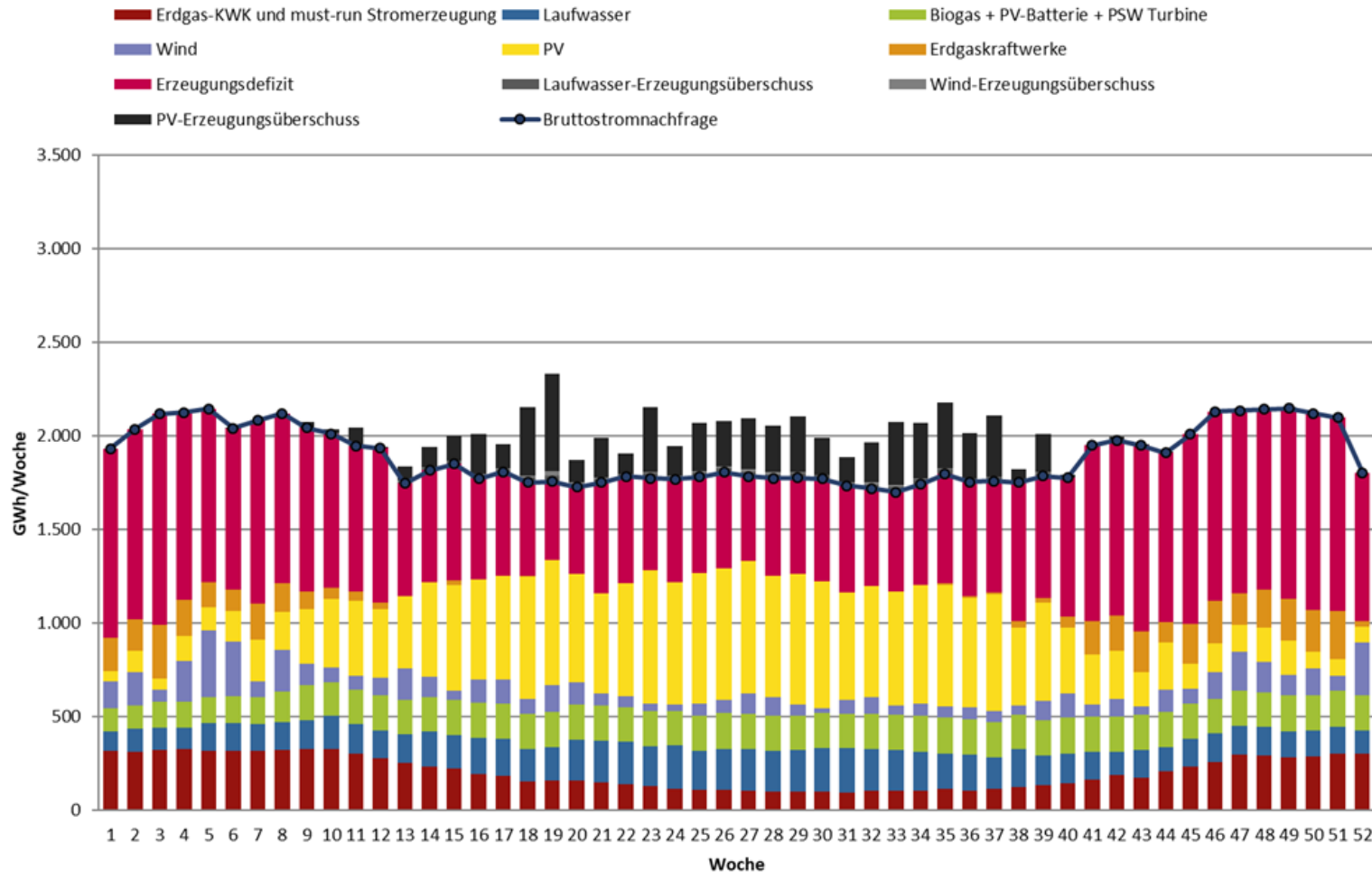
- Normierte Profile multipliziert mit installierter Leistung aus dem Szenariorahmen
  - Angebotsprofile der schwankenden erneuerbaren Energien für Wind, PV und Laufwasser
  - Stromerzeugung aus Erdgas-KWK-Anlagen und sonstige must-run-Stromerzeugung
- Ergebnis eines eigenständigen Optimierungsmodells
  - PV-Batteriespeichersysteme zur Eigenverbrauchsoptimierung: 12% der gesamten PV-Leistung, 1 h Speicherkapazität der Batterie
  - Flexible Biogasanlagen: 12 h Speicherdauer des Gasspeichers, BHKW 2,3-fach überbaut
- Generisches Profil, orientiert an typischen Volllaststunden
  - Pumpspeicherkraftwerke: mittags Pumpstromverbrauch, morgens und abends Stromerzeugung
  - Erdgaskondensationskraftwerke: Einsatz in den 2000 Stunden mit dem höchsten Erzeugungsdefizit

# Ergebnisindikatoren

- Erzeugungsdefizit
  - Jahressumme
  - Anteil des jährlichen Erzeugungsdefizits im Verhältnis zur Stromnachfrage
  - maximal noch zu deckende Last in einer Stunde
- EE-Überschüsse
  - Jahressumme
  - Anteil der jährlichen EE-Überschüsse im Verhältnis zum fluktuierenden EE-Stromangebot
  - maximaler EE-Überschuss in einer Stunde
- Nettostromimporte
- Energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung

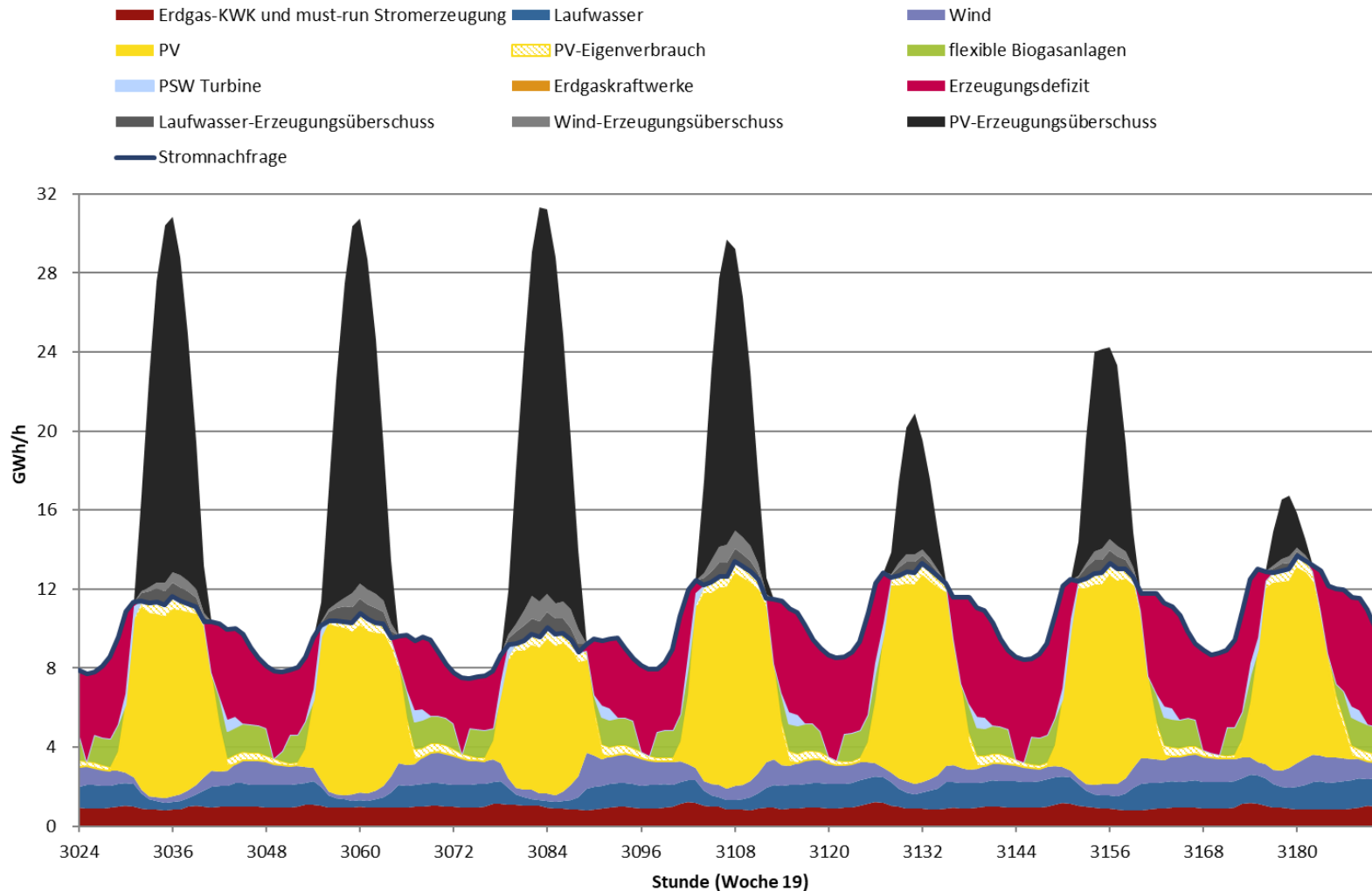


# Ergebnisse für das Referenzszenario



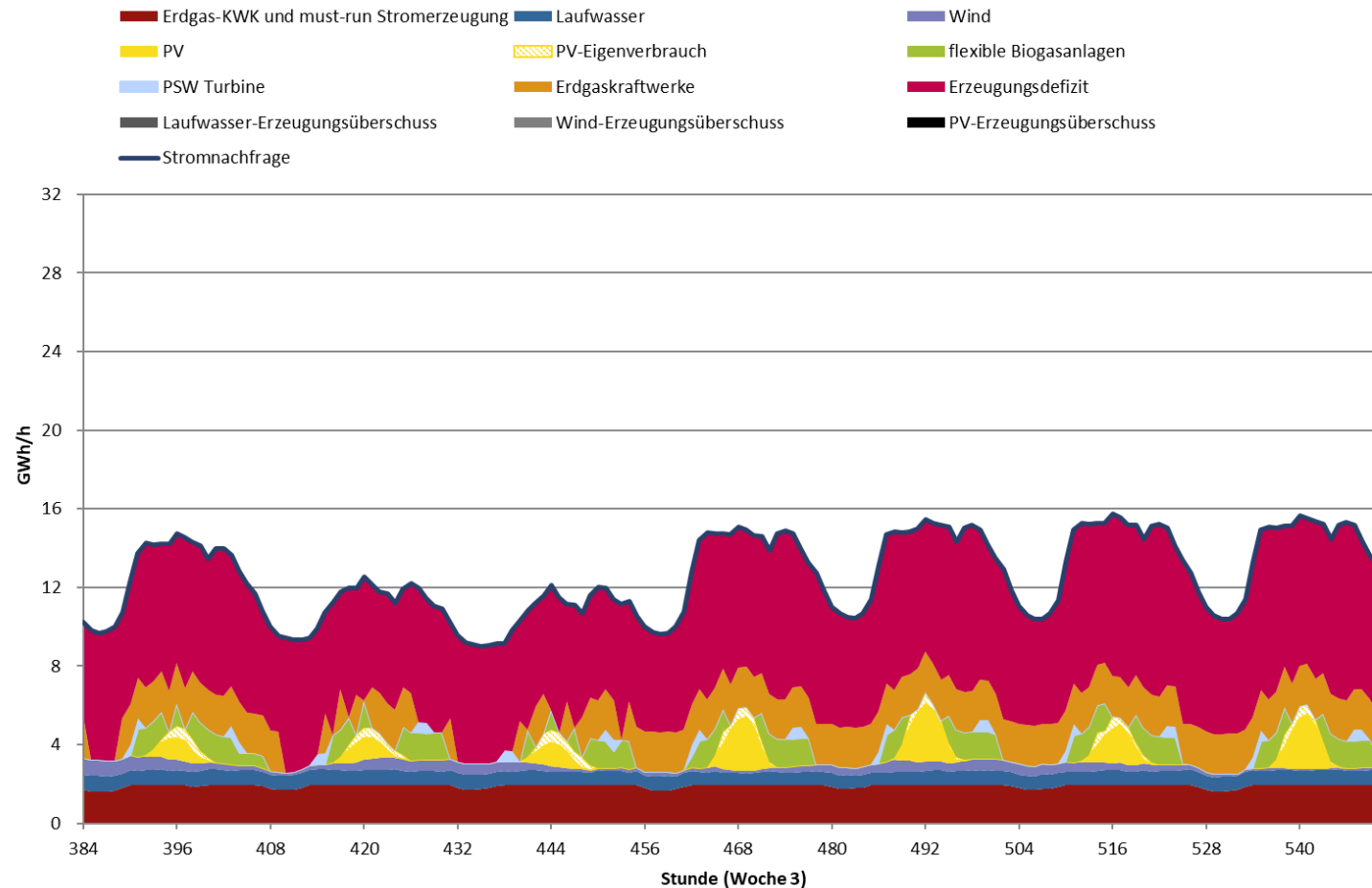
- Erzeugungsdefizit
  - 39 TWh bzw. 39% der bayerischen Stromnachfrage
  - maximal noch zu deckende Last in einer Stunde: 9 GW
- EE-Überschüsse: 7 TWh
- CO<sub>2</sub>-Emissionen: 7,2 Mio. t
  - 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgas-KWK und sonstigen Brennstoffen
  - 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgaskondensationskraftwerken

# Sommerwoche im Referenzszenario



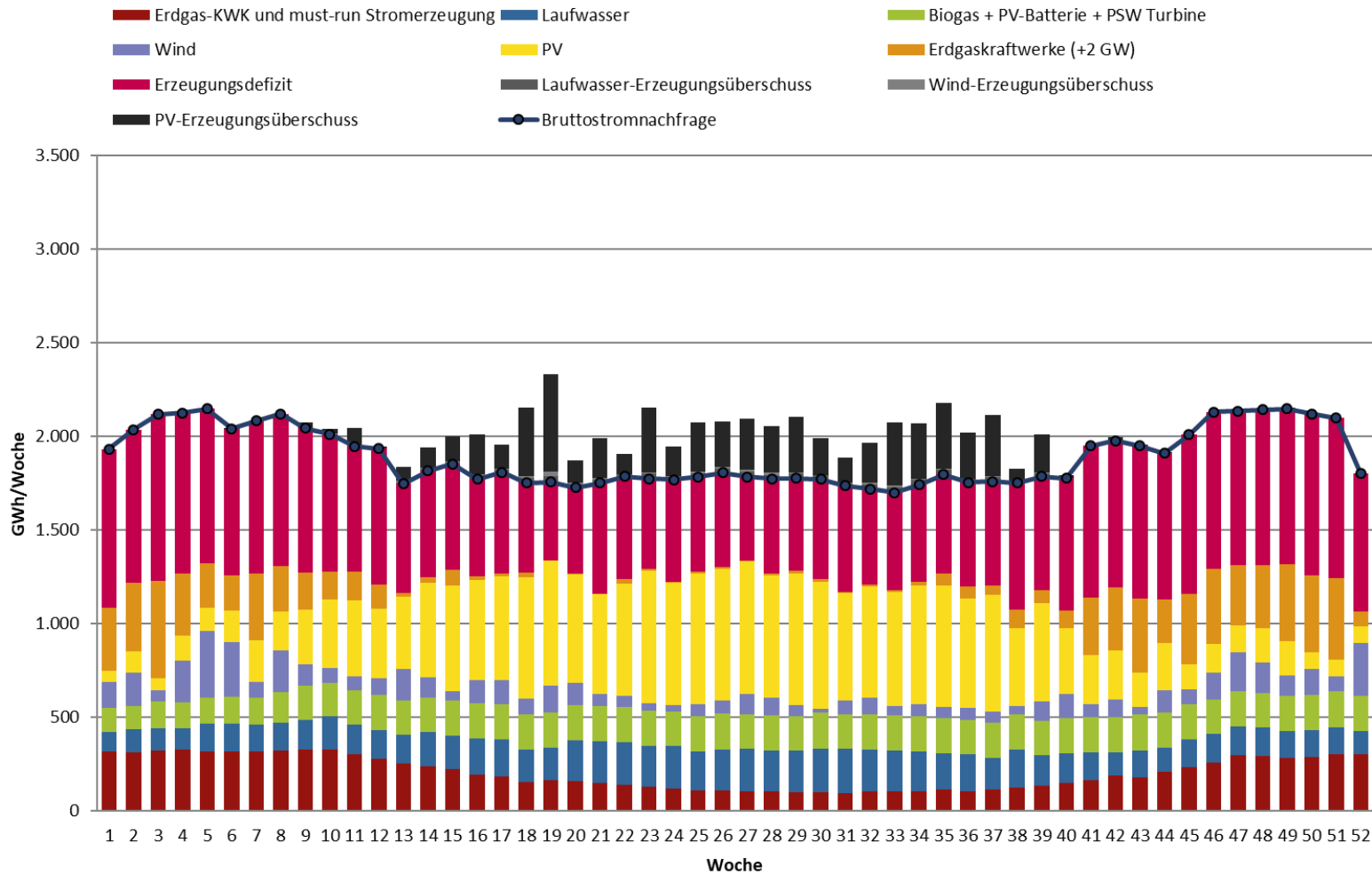
- Geringe Stromnachfrage mit viel Wind und PV führt zu maximalem EE-Überschuss
- Biogasanlagen & PSW:
  - Stromerzeugung in den Morgen- und Abendstunden
- PV-Eigenverbrauch:
  - Speicherung der PV-Spitze
  - Nutzung in den Abend- und Nachtsunden
- Deutliche EE-Überschüsse in der Mittagszeit
- Kein Einsatz von Erdgaskondensationskraftwerken

# Winterwoche im Referenzszenario



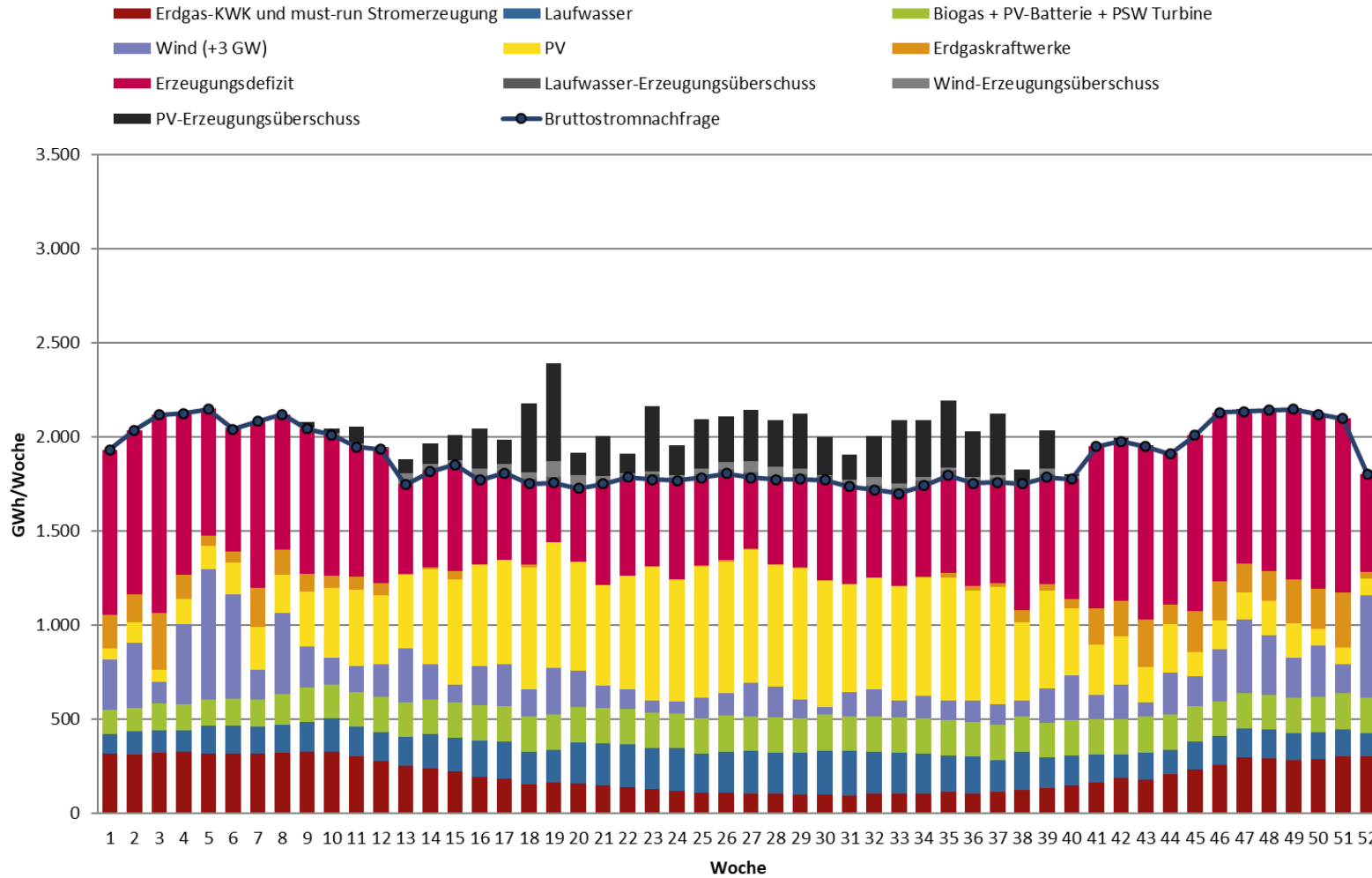
- Hohe Stromnachfrage mit wenig Wind und PV führt zu maximalem Erzeugungsdefizit
- Biogasanlagen & PSW:
  - Stromerzeugung in den Morgen- und Abendstunden
- Kontinuierliches Erzeugungsdefizit
- Erdgaskondensationskraftwerke
  - auf 2000 h begrenzte Volllaststundenanzahl
  - Deshalb kein kontinuierlicher Einsatz

## Ergebnisse für „Möglichkeit 1“: +2 GW Erdgaskondensationskraftwerke



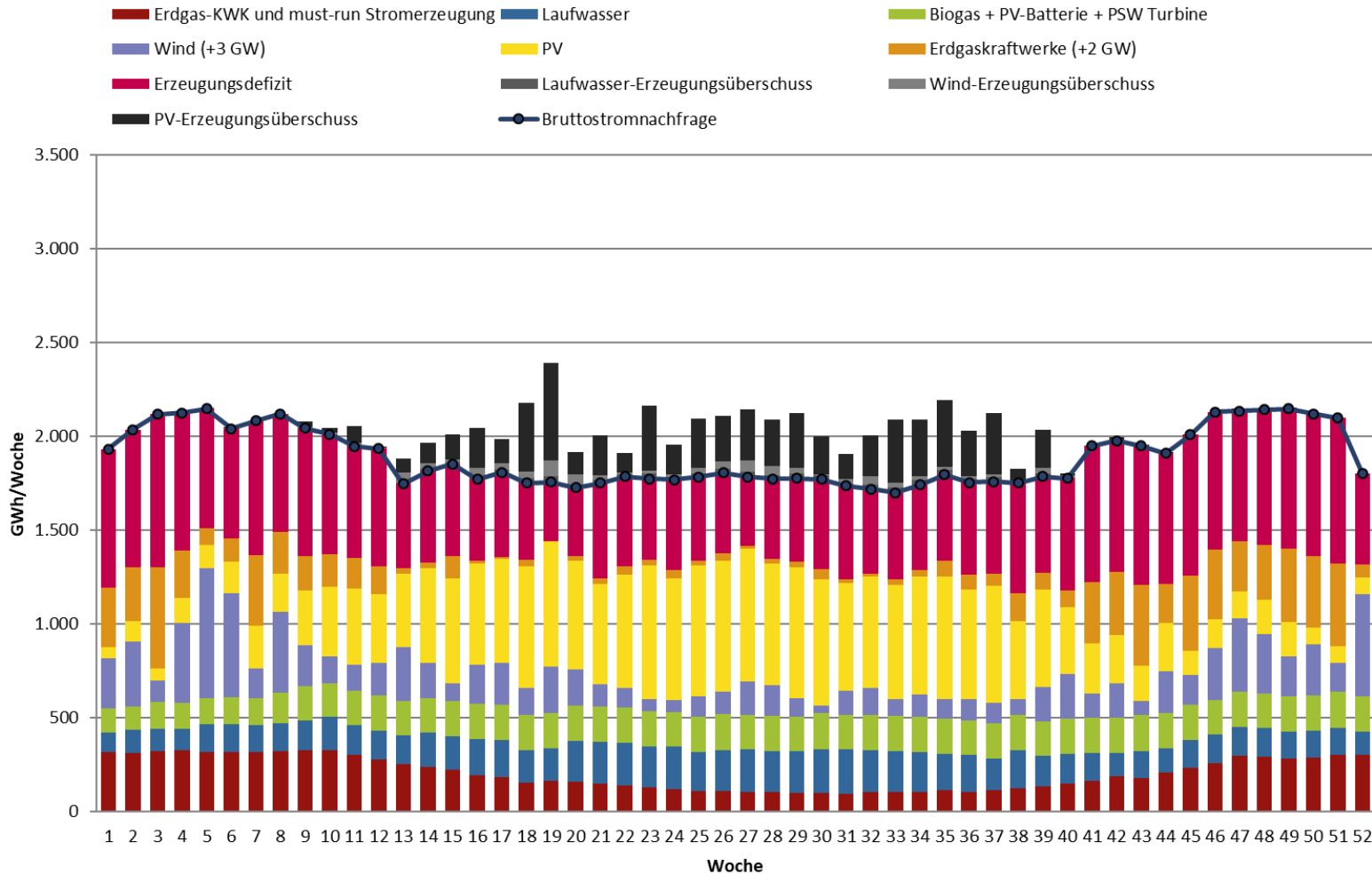
- Erzeugungsdefizit
  - 35 TWh bzw. 35% der bayerischen Stromnachfrage
  - maximal noch zu deckende Last in einer Stunde: 7 GW
- EE-Überschüsse: 7 TWh
- CO<sub>2</sub>-Emissionen: 8,5 Mio. t
  - 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgas-KWK und sonstigen Brennstoffen
  - 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgaskondensationskraftwerken

# Ergebnisse für „Möglichkeit 2“: +3 GW Wind



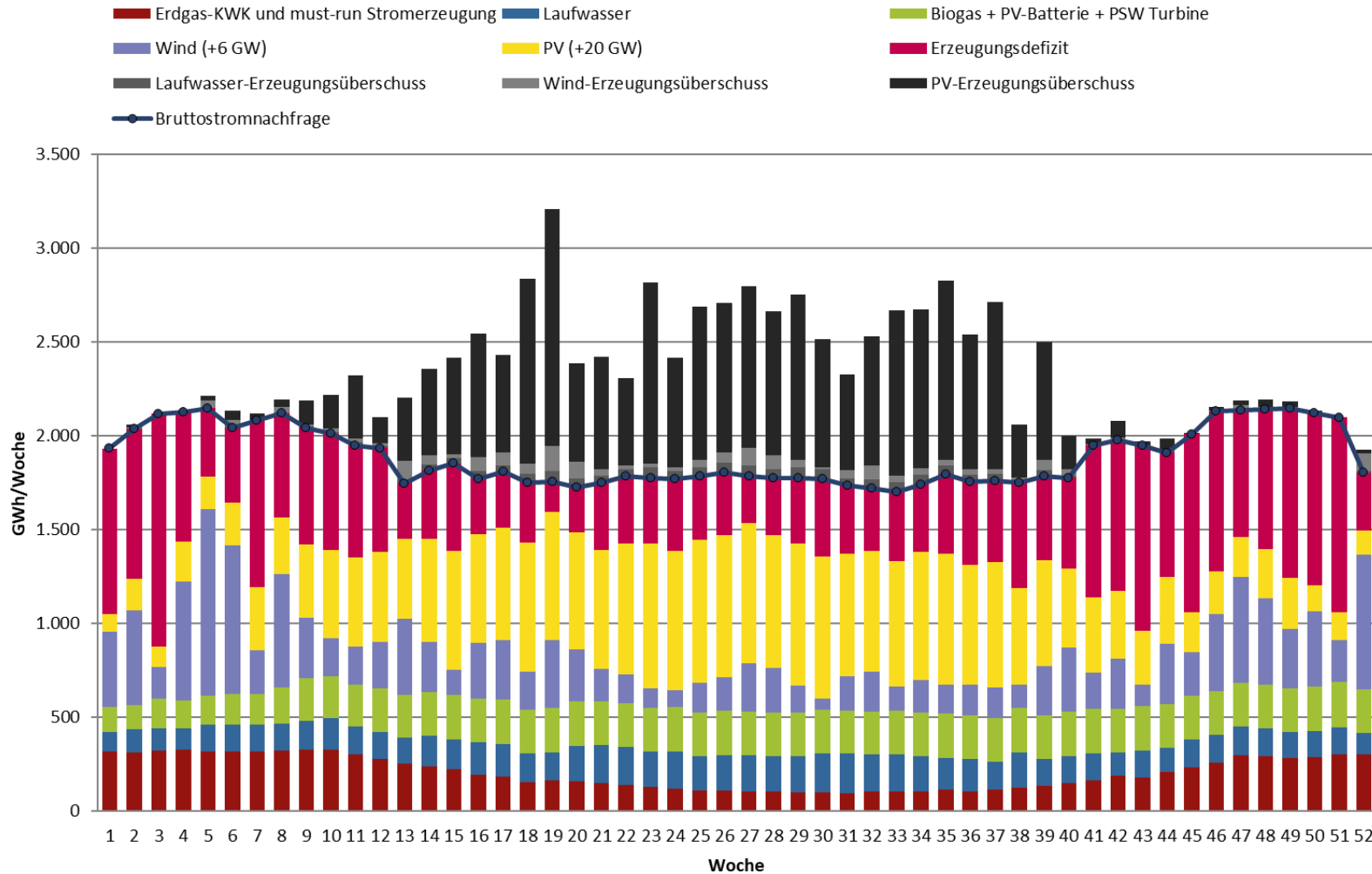
- Erzeugungsdefizit
  - 35 TWh bzw. 35% der bayerischen Stromnachfrage
  - maximal noch zu deckende Last in einer Stunde: 9 GW
- EE-Überschüsse: 8 TWh
- CO<sub>2</sub>-Emissionen: 7,2 Mio. t
  - 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgas-KWK und sonstigen Brennstoffen
  - 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgaskondensationskraftwerken

# Ergebnisse für „Möglichkeit 3“: +3 GW Wind und +2 GW Erdgaskondensationskraftwerke



- Erzeugungsdefizit
  - 30 TWh bzw. 30% der bayerischen Stromnachfrage
  - maximal noch zu deckende Last in einer Stunde: 7 GW
- EE-Überschüsse: 8 TWh
- CO<sub>2</sub>-Emissionen: 8,5 Mio. t
  - 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgas-KWK und sonstigen Brennstoffen
  - 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgaskondensationskraftwerken

# Ergebnisse für „Möglichkeit 4“: +6 GW Wind, +20 GW PV und -2 GW Erdgas-KW



- Erzeugungsdefizit
  - 28 TWh bzw. 29% der bayerischen Stromnachfrage
  - maximal noch zu deckende Last in einer Stunde: 11 GW
- EE-Überschüsse: 24 TWh
- CO<sub>2</sub>-Emissionen: 5,9 Mio. t
  - 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgas-KWK und sonstigen Brennstoffen
  - 0 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Erdgaskondensationskraftwerken

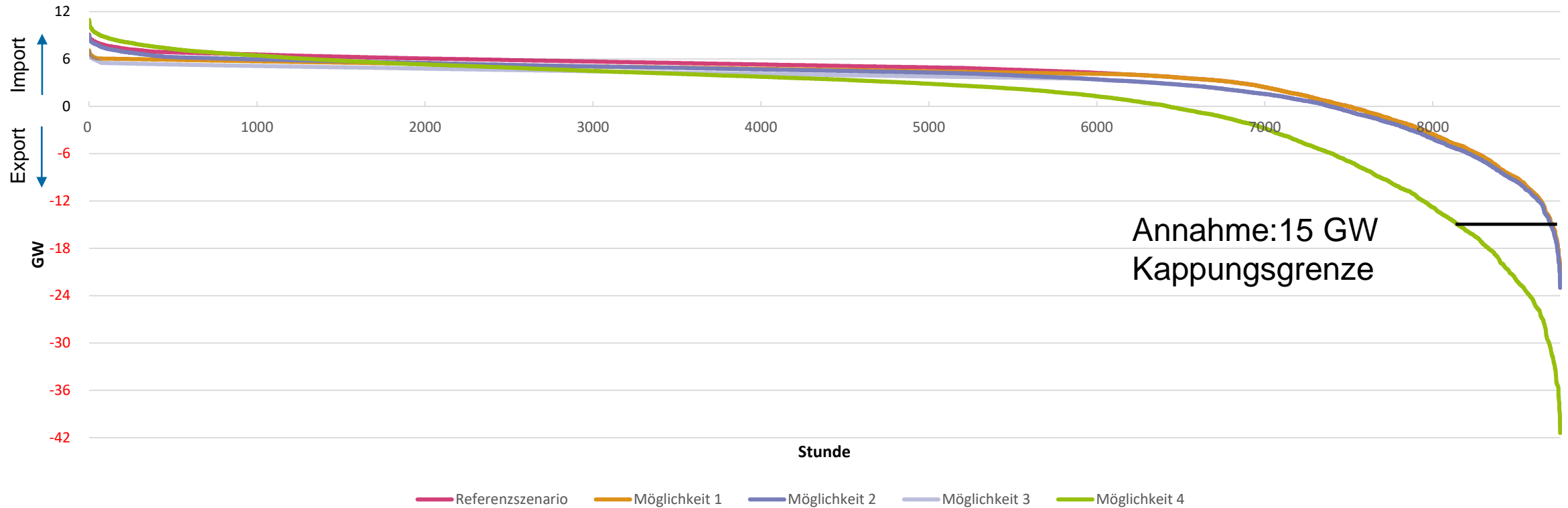
# Residuallast im Referenzszenario und in Möglichkeit 4



- EE-Überschüsse treten vor allem im Sommer auf.
- Im Winter besteht überwiegend ein Importbedarf.

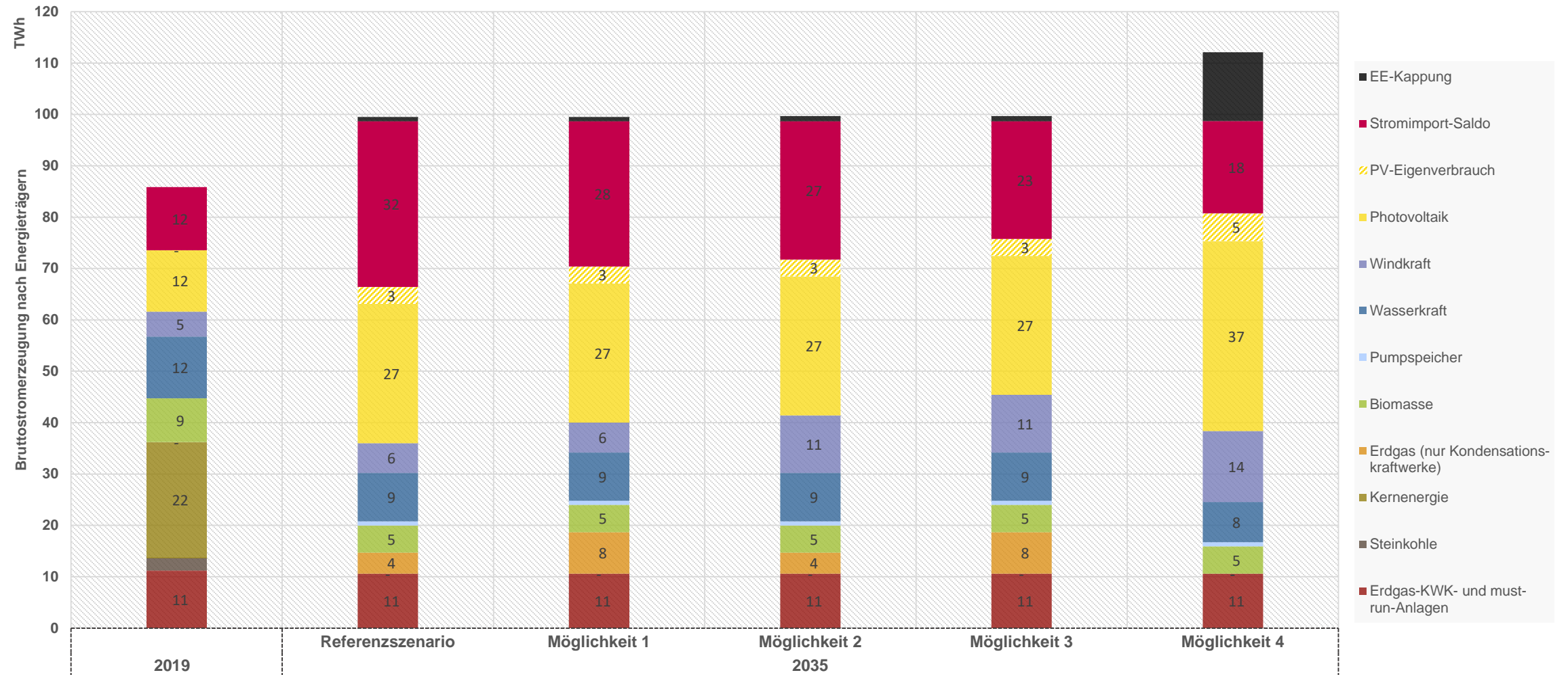


# Jahresdauerlinie der Residuallast

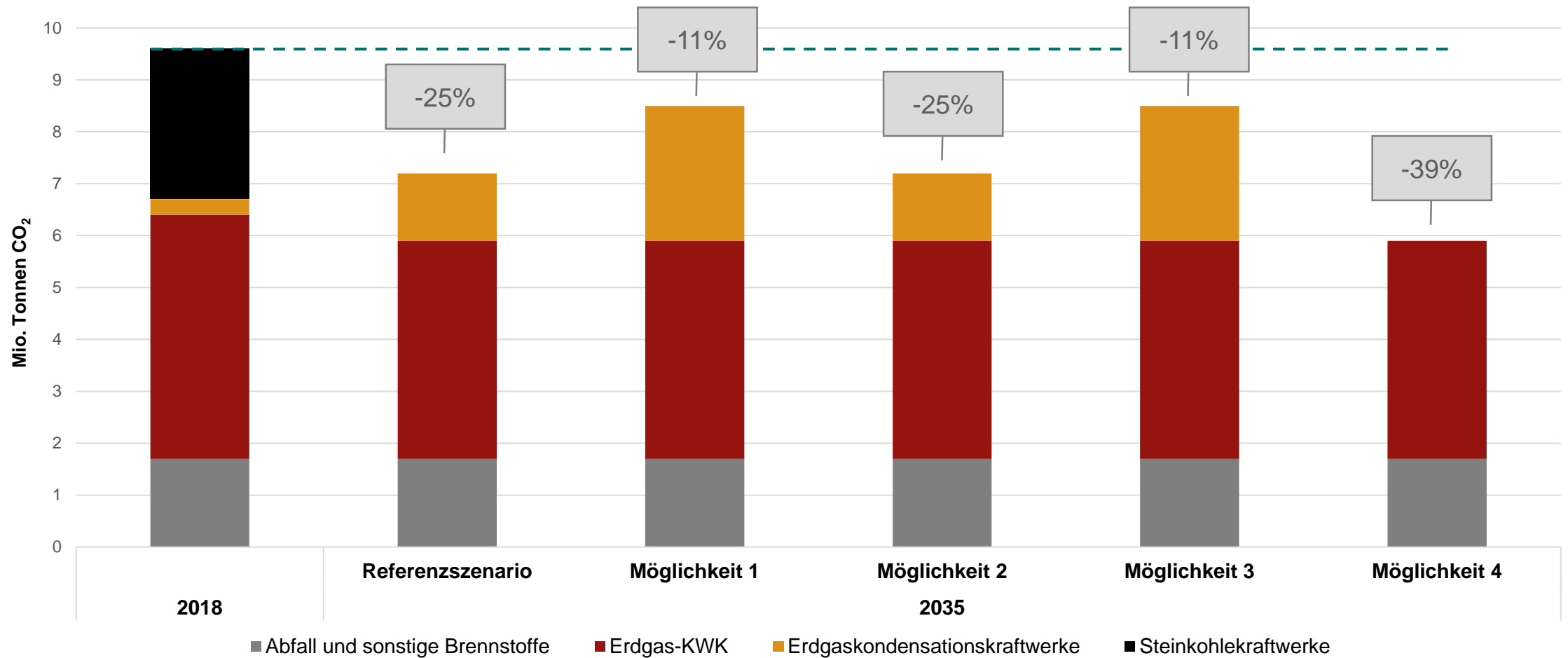


- Bayern ist in 6500 bis 7500 Stunden des Jahres auf Stromimporte angewiesen.
- In 1300 bis 2300 Stunden des Jahres kann Bayern Strom exportieren.

# Bruttostromerzeugung und Stromimportsaldo 2019 und 2035



# CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung 2018 und 2035



## Fazit

- Bayern wird zukünftig auf Stromimporte angewiesen sein.
  - Bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien wird der Stromaustausch zwischen den Bundesländern und auch zwischen Deutschland und seinen Nachbarn generell deutlich zunehmen.
  - Der Ausbau der Stromnetze ist für die Versorgungssicherheit Bayerns, aber auch für den Export von PV-Strom, daher sehr wichtig.
- Ungeachtet dessen sollte Bayern seine Potenziale für erneuerbaren Strom nutzen.
  - Dies erhöht die Versorgungssicherheit und die Wertschöpfung und schafft Arbeitsplätze.
  - Wichtig ist ein zügiger EE-Ausbau, vor allem auch bei der Windkraft.
  - Ein hoher PV-Zubau ist nur mit einem parallel stattfindenden Zubau an Speichern und Flexibilitätsoptionen sinnvoll.
  - Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor gehen fast ausschließlich auf den Einsatz von Erdgaskraftwerken zurück. Mittelfristig sollte aus Klimaschutzgründen deshalb ein Ausstieg aus der Erdgasverstromung in Bayern eingeleitet werden (mit Ausnahme von Kraftwerken die lediglich zur Stützung der Stromnetze eingesetzt werden).

## Kontakt und weiterführende Informationen

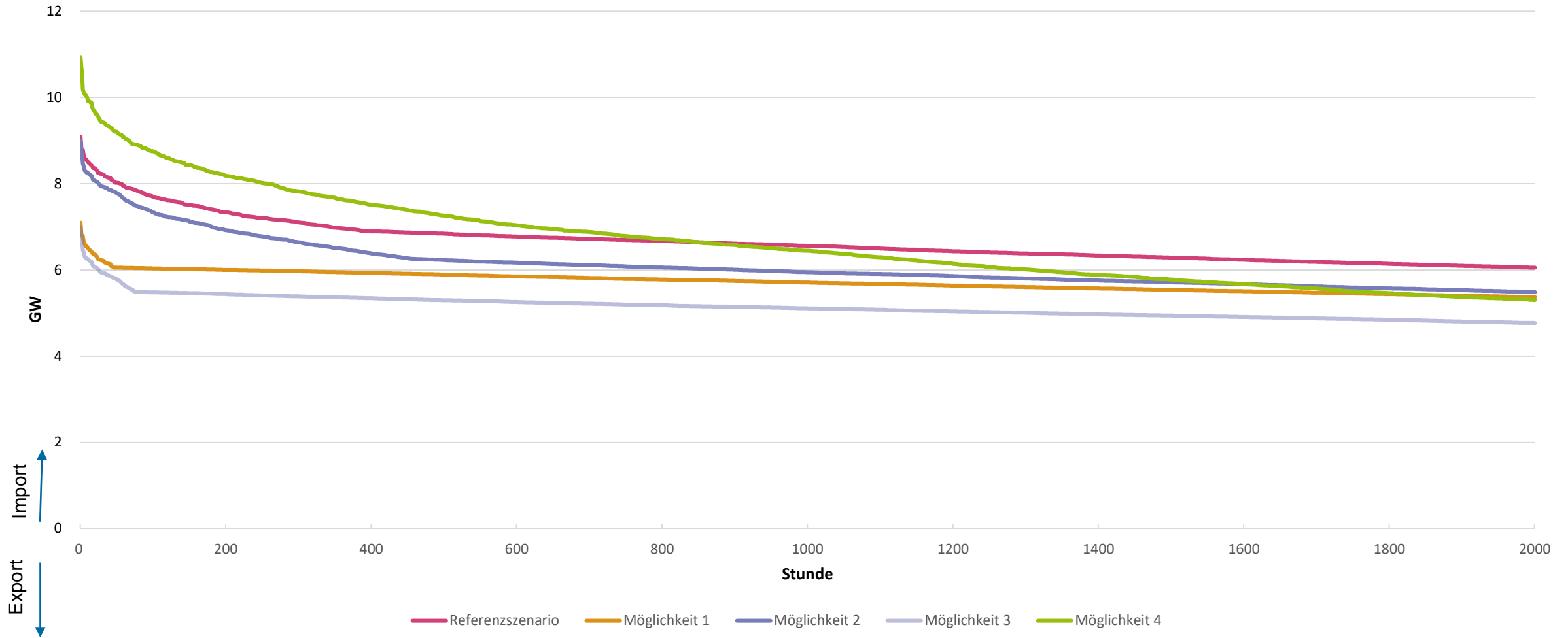
- Öko-Institut e.V., Bereich Energie & Klimaschutz, Merzhauser Straße 173, 79100 Freiburg
  - Dr. Matthias Koch: Tel.: 0761/45295-218, Email: [m.koch@oeko.de](mailto:m.koch@oeko.de)
  - Christof Timpe: Tel.: 0761/45295-225, Email: [c.timpe@oeko.de](mailto:c.timpe@oeko.de)
- Aktuelle Publikationen
  - Studie „Klimaneutrales Deutschland“ <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>
  - Studie „Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe“ <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Wasserstoff-und-wasserstoffbasierte-Brennstoffe.pdf>
  - Studie „Photovoltaik-Pflicht mit Verpachtungskataster“ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/photovoltaik-pflicht-verpachtungskataster-optionen>
  - Kommentierung des ersten Entwurfs der Übertragungsnetzbetreiber zum Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021 <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kommentierung-Entwurf-Szenariorahmen-NEP-2021-2035.pdf>

## Im Vortrag zitierte Literaturquellen

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Zahlen und Fakten. Energiedaten. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=121](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.xlsx?__blob=publicationFile&v=121).
- Icha, Petra (2020): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid- Emissionen des deutschen Strom-mix in den Jahren 1990 - 2019. Unter Mitarbeit von Gunter Kuhs. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01\\_climate-change\\_13-2020\\_strommix\\_2020\\_fin.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf).
- Prognos AG; Öko-Institut e.V.; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hg.) (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (Hg.) (2020a): Energiedaten. Bayern. - kompakt.
- Leipziger Institut für Energie GmbH (Hg.) (2020): Energiedaten.Bayern – Schätzbilanz. Daten bis zum Jahr 2019. im Auftrag des Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Leipzig
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (Hg.) (2020b): Monitoringbericht zum Umbau der Energieversorgung Bayerns

# Backup

# Jahresdauerlinie der Residuallast bis Stunde 2.000





# Ergebnisindikatoren im Überblick

	Referenzszenario	Möglichkeit 1	Möglichkeit 2	Möglichkeit 3	Möglichkeit 4
<b>Jährliches Erzeugungsdefizit (Importstrombedarf)</b>	39 TWh	35 TWh	34 TWh	30 TWh	28 TWh
<b>Relatives Erzeugungsdefizit (bezogen auf die Stromnachfrage)</b>	39 %	35 %	35 %	30 %	29 %
<b>Maximales Erzeugungsdefizit</b>	9 GW	7 GW	9 GW	7 GW	11 GW
<b>Jährlicher EE-Überschuss</b>	7 TWh	7 TWh	8 TWh	8 TWh	24 TWh
<b>Relativer EE-Überschuss (bezogen auf das fluktuierende EE-Stromangebot)</b>	16,5 %	16,5 %	16,0 %	16,0 %	32,7 %
<b>Maximaler EE-Überschuss</b>	22 GW	22 GW	23 GW	23 GW	42 GW
<b>Nettostromimporte (bilanziell)</b>	32 TWh	28 TWh	26 TWh	22 TWh	4 TWh
<b>EE-Kappung (ab 15 GW)</b>	1 TWh	1 TWh	1 TWh	1 TWh	14 TWh
<b>Nettostromimporte (inkl. EE-Kappung)</b>	32 TWh	28 TWh	27 TWh	23 TWh	18 TWh
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	7,2 Mio. t	8,5 Mio. t	7,2 Mio. t	8,5 Mio. t	5,9 Mio. t
Davon Erdgas-KWK und sonstige Brennstoffe	5,9 Mio. t	5,9 Mio. t	5,9 Mio. t	5,9 Mio. t	5,9 Mio. t
Davon Erdgaskondensationskraftwerke	1,3 Mio. t	2,6 Mio. t	1,3 Mio. t	2,6 Mio. t	-