

Nachhaltige Energieversorgung und Speichertechnik

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München
www.ffe.de

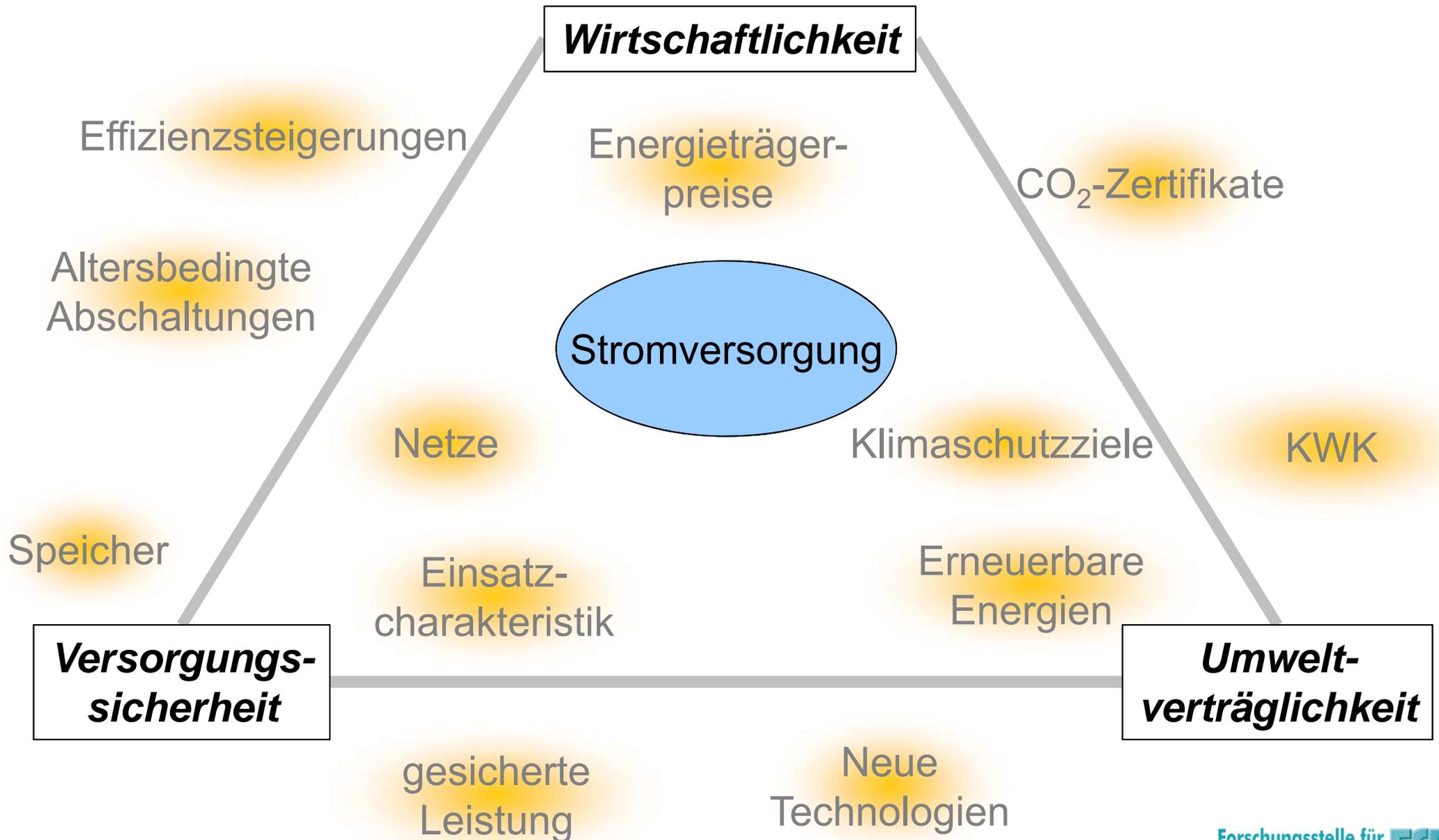


- Entwicklung der Strombereitstellung in Deutschland
- Herausforderungen durch fluktuierende Erzeugung
- Herausforderungen durch Nachfragelastgänge (Elektromobilität)
- Speichertechnik
- Fazit und Schlussfolgerungen

Entwicklung der Strombereitstellung in Deutschland



Einflussfaktoren auf die nachhaltige Stromversorgung der Zukunft



- Kohlenstoff arme Energieversorgung
 - nuklear
 - Brennstoffwechsel
 - Effizienztechnologien
 - CO₂-Sequestrierung
 - Erneuerbare Energien
- Informations- und Kommunikationstechnologien in der Energieversorgung
 - Smart Meter und Demand Side Management
 - Smart Grid
 - Vehicle to Grid
 - Real time pricing
 - Virtuelles Kraftwerk
 - (Virtuelle?) Speicher

Bestehende Mechanismen
funktionieren nicht mehr

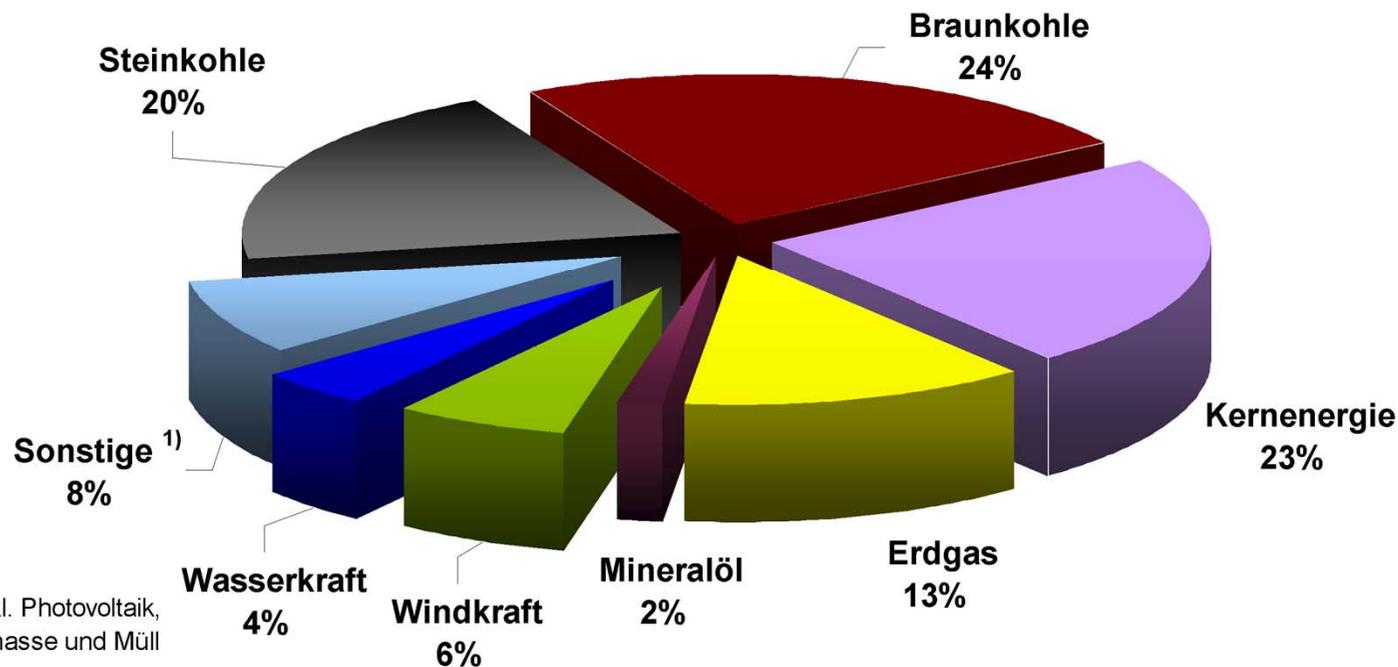
Herausforderungen

Lösungen

Struktur der Stromerzeugung in Deutschland 2008

- Struktur der Stromerzeugung in Deutschland 2008, Gesamt: 639 TWh_{el}
- Bruttostromerzeugung = inkl. Eigenverbrauch der Kraftwerke
- Einsatz von Energieträgern 2007: 5.490 PJ = 1.525 TWh

**Bruttostromerzeugung in Deutschland 2008:
639 TWh**

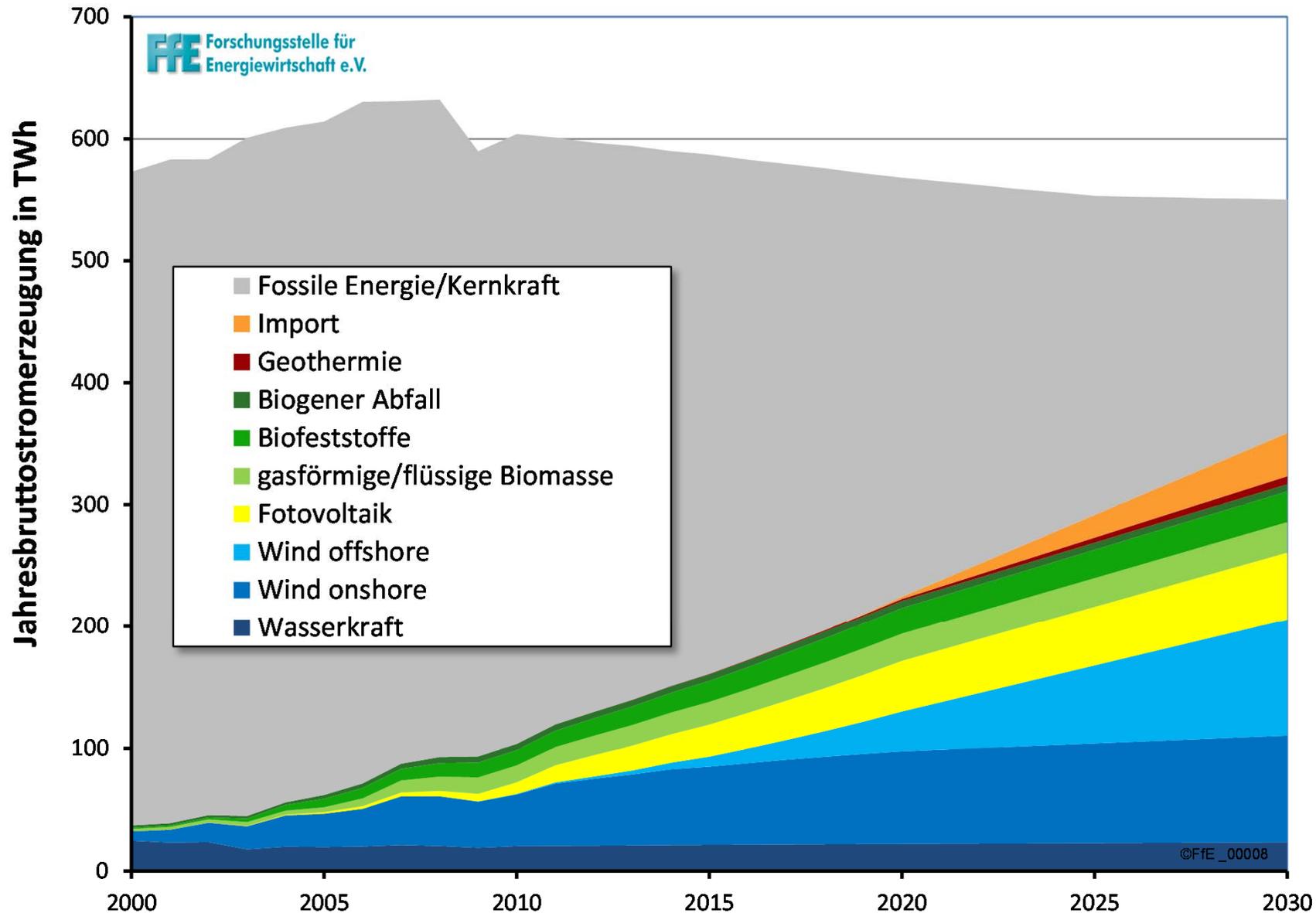


¹⁾ inkl. Photovoltaik, Biomasse und Müll

CO₂-Emissionen zur Bereitstellung einer kWh Strom aus verschiedenen Energieträgern, für 2007

Strom aus: (für 2007)	Spez. CO ₂ - Emissionen in g/kWh _{netto} ohne Vorkette
Steinkohle	965
Braunkohle	1.163
Übrige	320
Heizöl	656
Erdgas	452
Wasser-/Windkraft	--
Kernenergie	--
Insgesamt	576

Die zukünftige Entwicklung der Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung

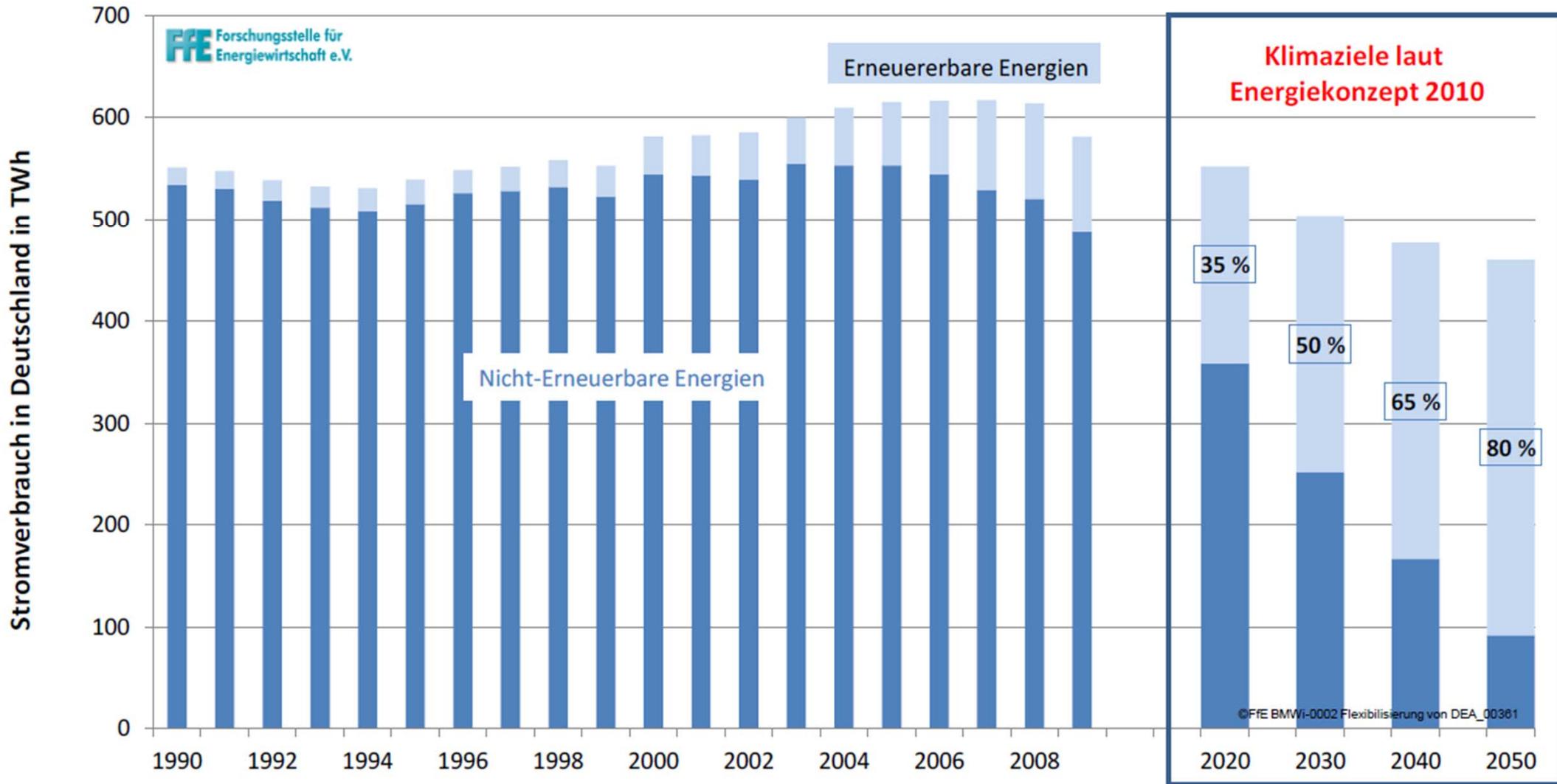


©FFE_00008

Quelle:
Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in
Deutschland (auf Basis des Leitszenario 2010). BMU, 2010 (DLR-01 10)

Stromverbrauch in Deutschland

Entwicklung und Zielvorgaben Energiekonzept



Historischer Verlauf : Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung.
 Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2010

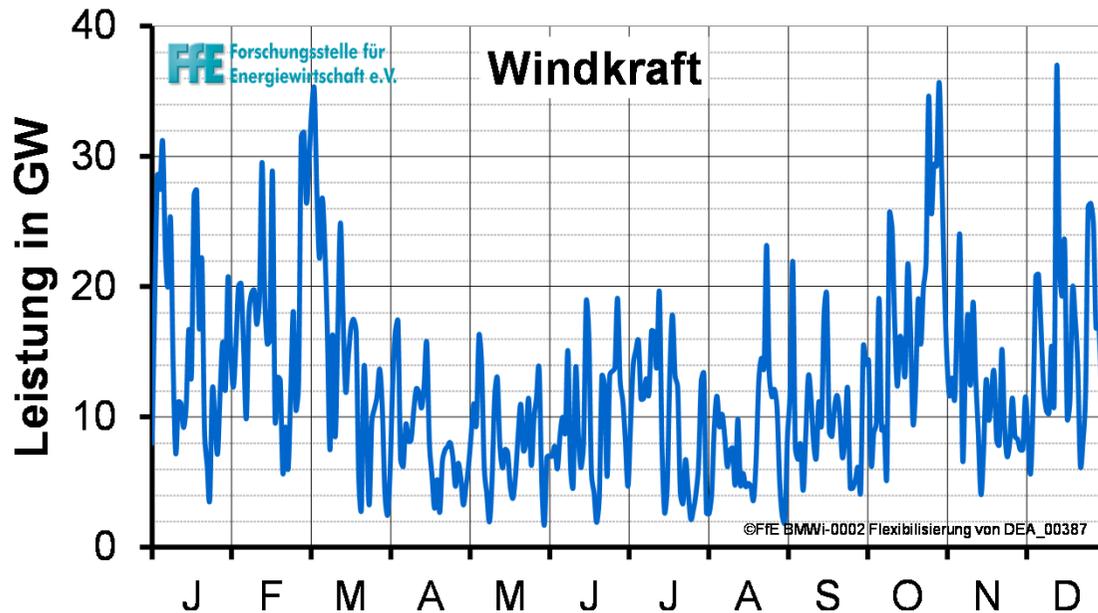
Zukünftiger Verlauf: Energiekonzept - Neun Punkte für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.
 Berlin: Bundesregierung Deutschland, 2010

*Annahme: lineare Verringerung des Stromverbrauches

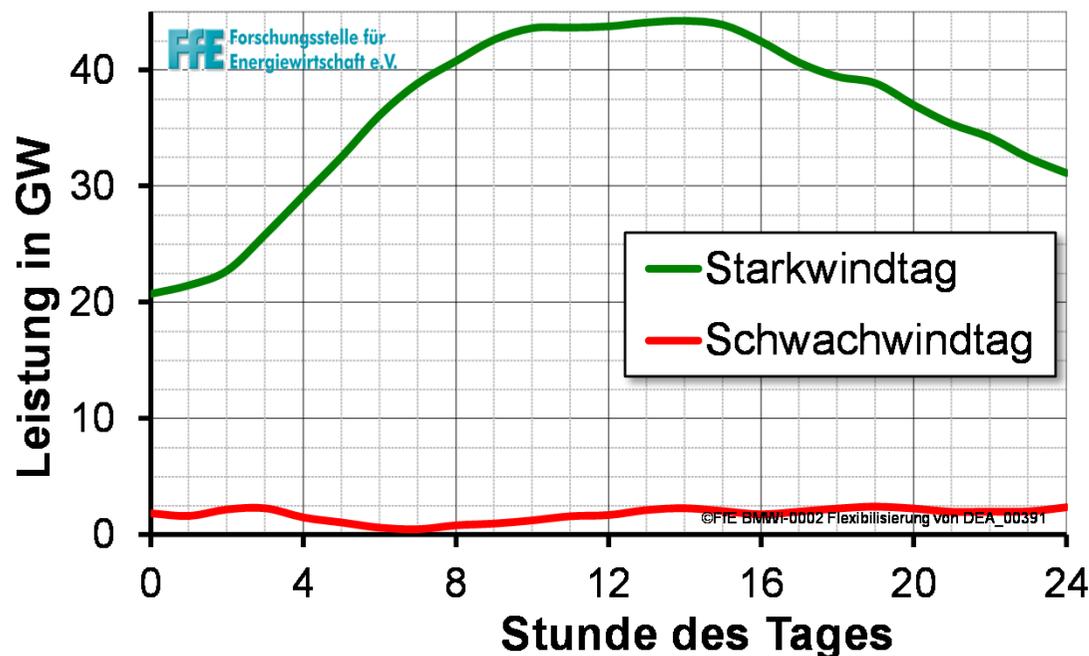
Herausforderungen durch fluktuierende Erzeugung



Stromerzeugung aus Windkraft 2020

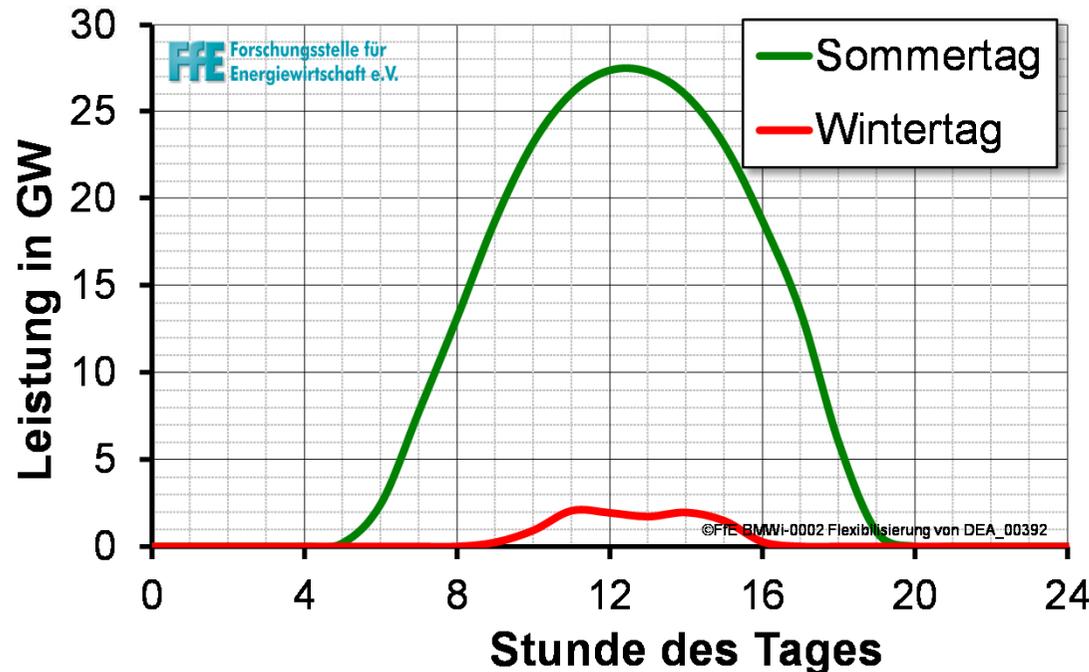
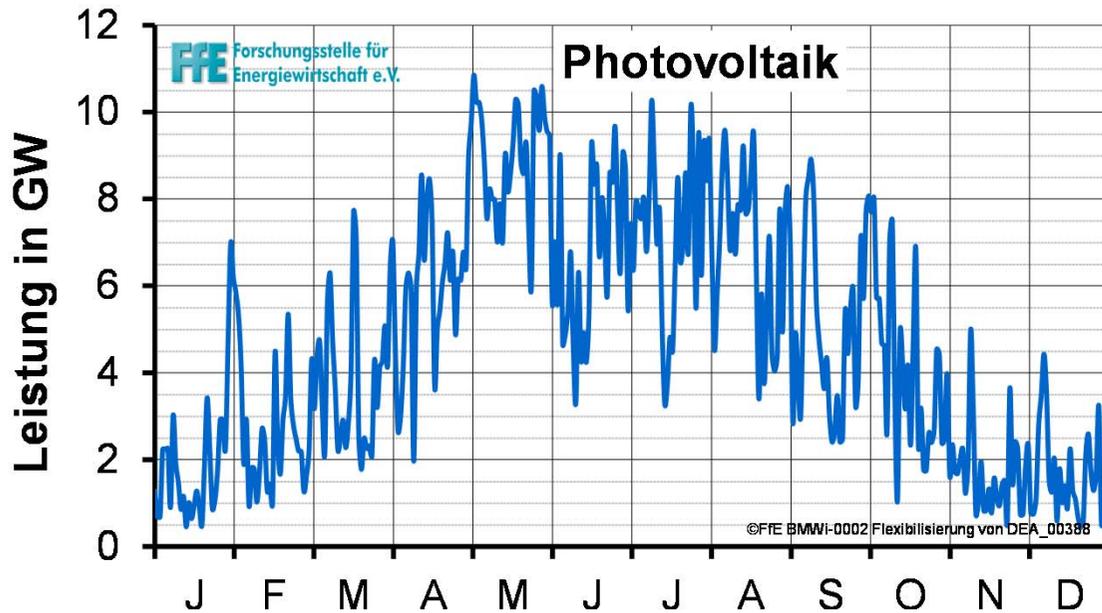


- Ein leichter saisonaler Verlauf ist zu erkennen: in Herbst und Winter ist die Windstromerzeugung meist etwas höher als in Frühling und Sommer.



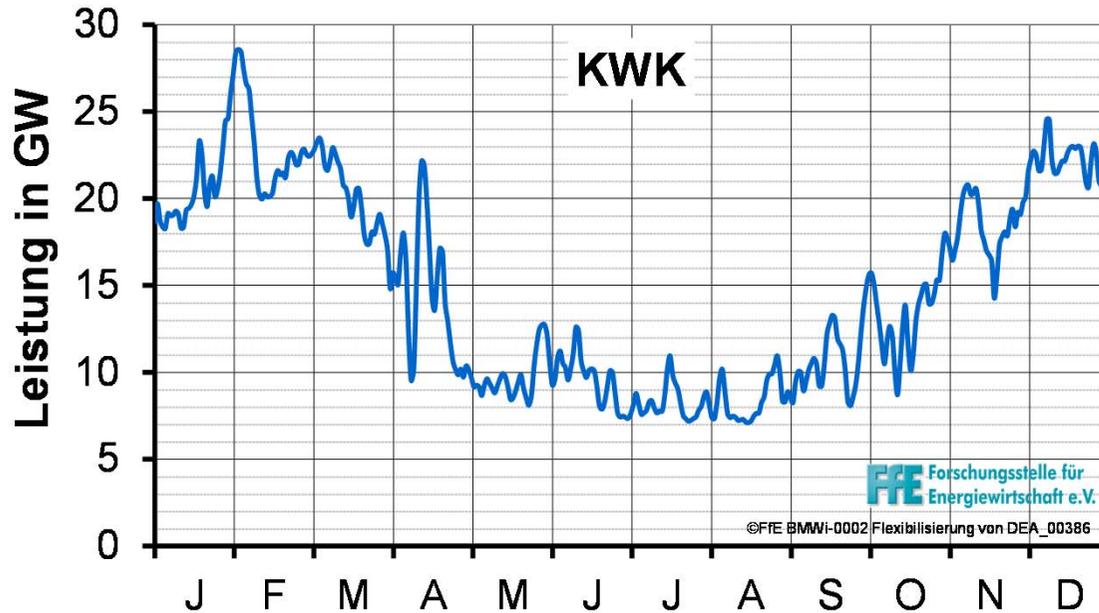
- Die Windstromzeugung unterliegt starken Schwankungen mit Gradienten von bis zu 6 GW/h.

Stromerzeugung aus Photovoltaik 2020

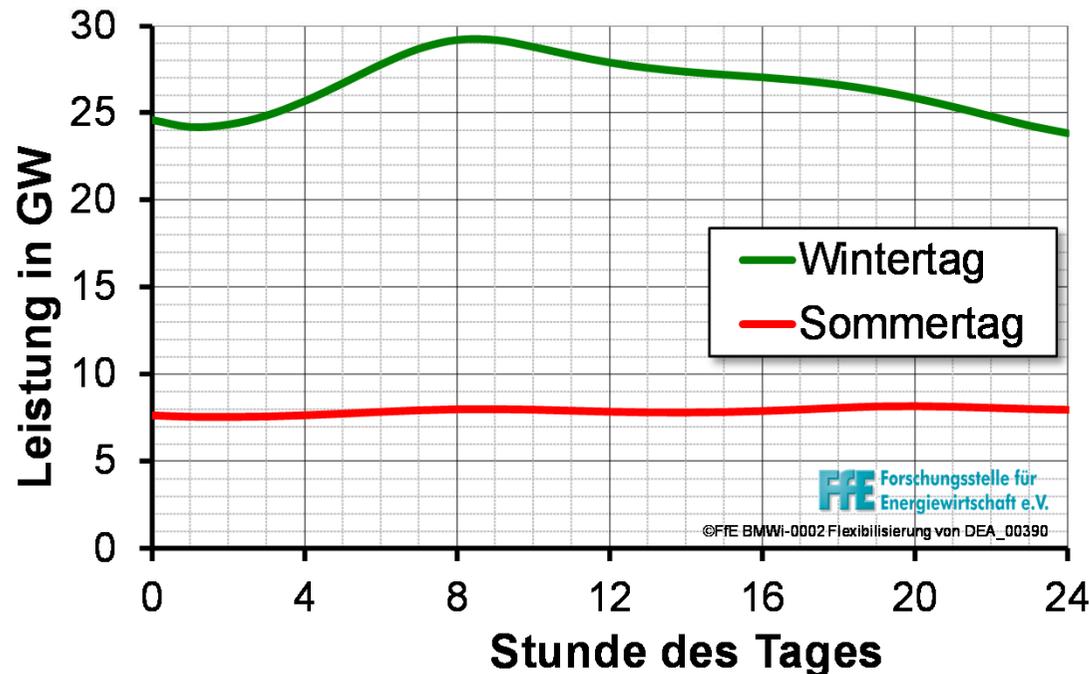


- Im PV-Lastgang sieht man eine sehr starke saisonale Abhängigkeit. Während es im Winter viele Tage mit einer mittleren Tagesleistung kleiner 2 GW gibt, beträgt die mittlere Leistung der Spitzentage in Frühling und Sommer bis zu 11 GW.
- Die größere Sonneneinstrahlung im Sommer führt zu größeren Gradienten als im Winter. Diese betragen an Spitzentagen bis zu 13 GW/h.

Stromerzeugung aus KWK-Anlagen 2020

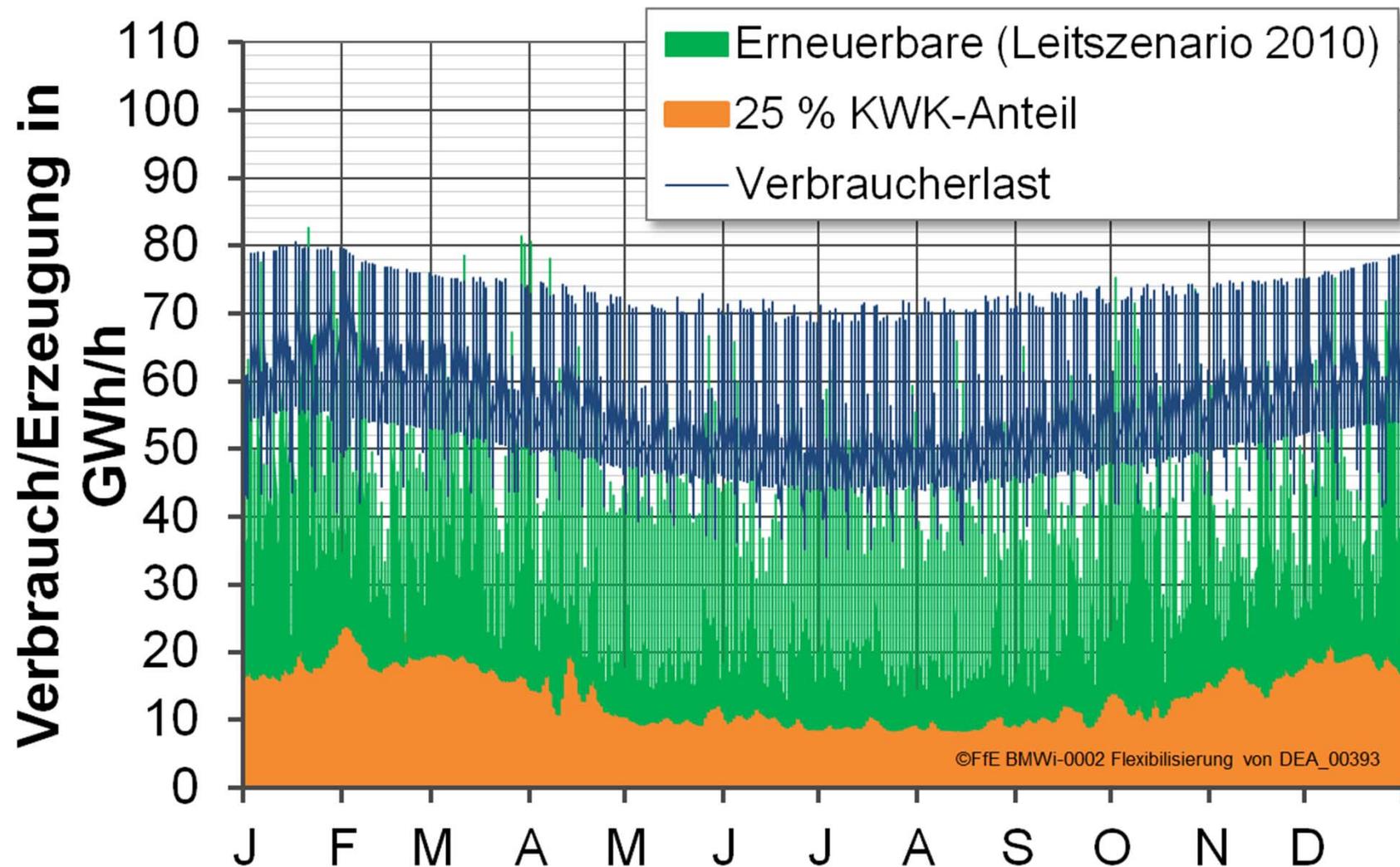


- Man sieht einen deutlichen saisonalen Verlauf der KWK. Im Winter ist die bereitgestellte Leistung dreimal so groß wie im Sommer.



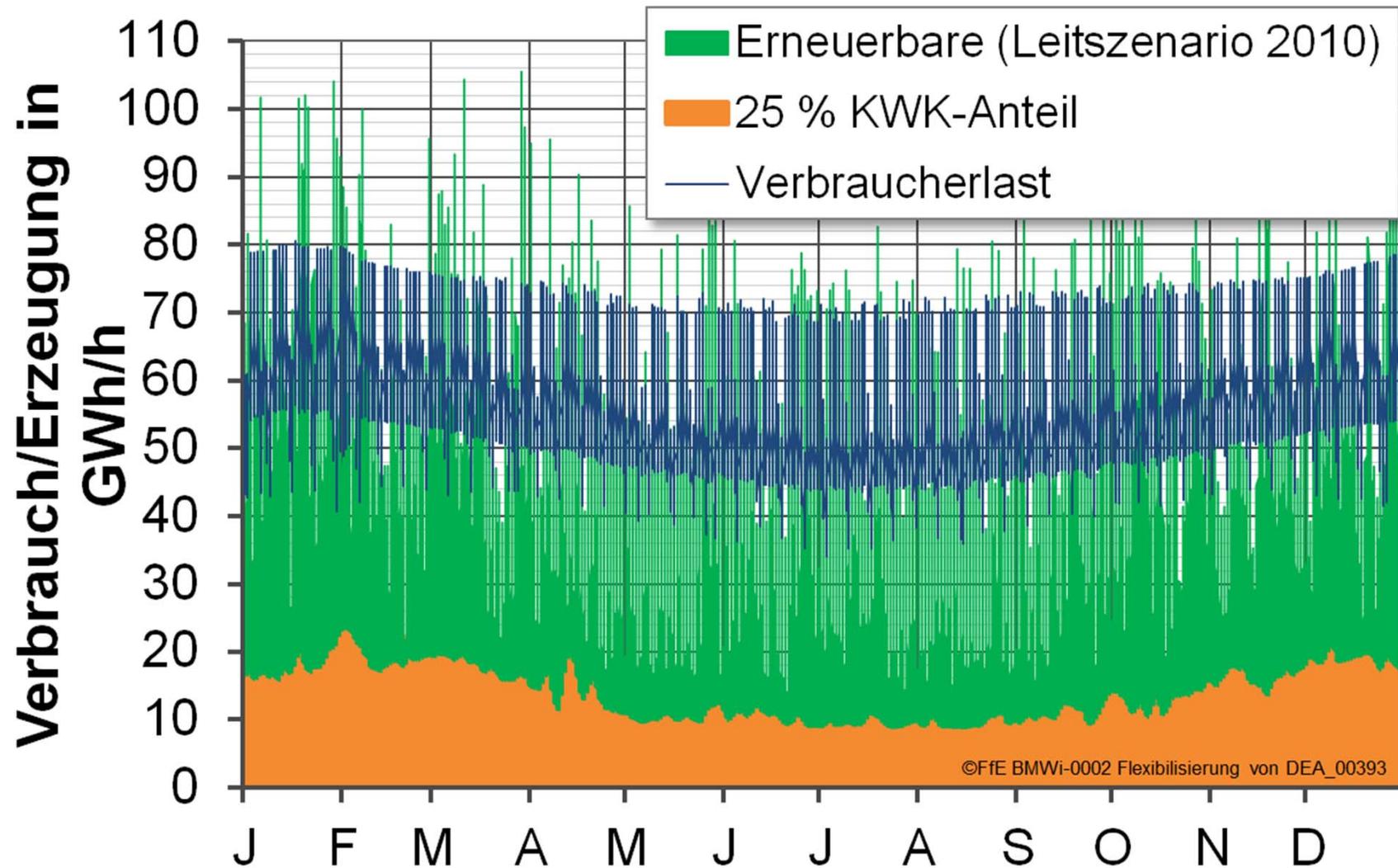
- Die Hauptunterschiede zwischen einem Sommer- und Wintertag sind einerseits das Leistungsniveau, andererseits aber auch die Leistungsgradienten. Im Sommer ist die erzeugte Leistung konstant, während im Winter Gradienten von bis zu 1,3 GW pro Stunde auftreten.

Lastgänge bei Umsetzung der 2020 Ziele des Leitszenario 2010



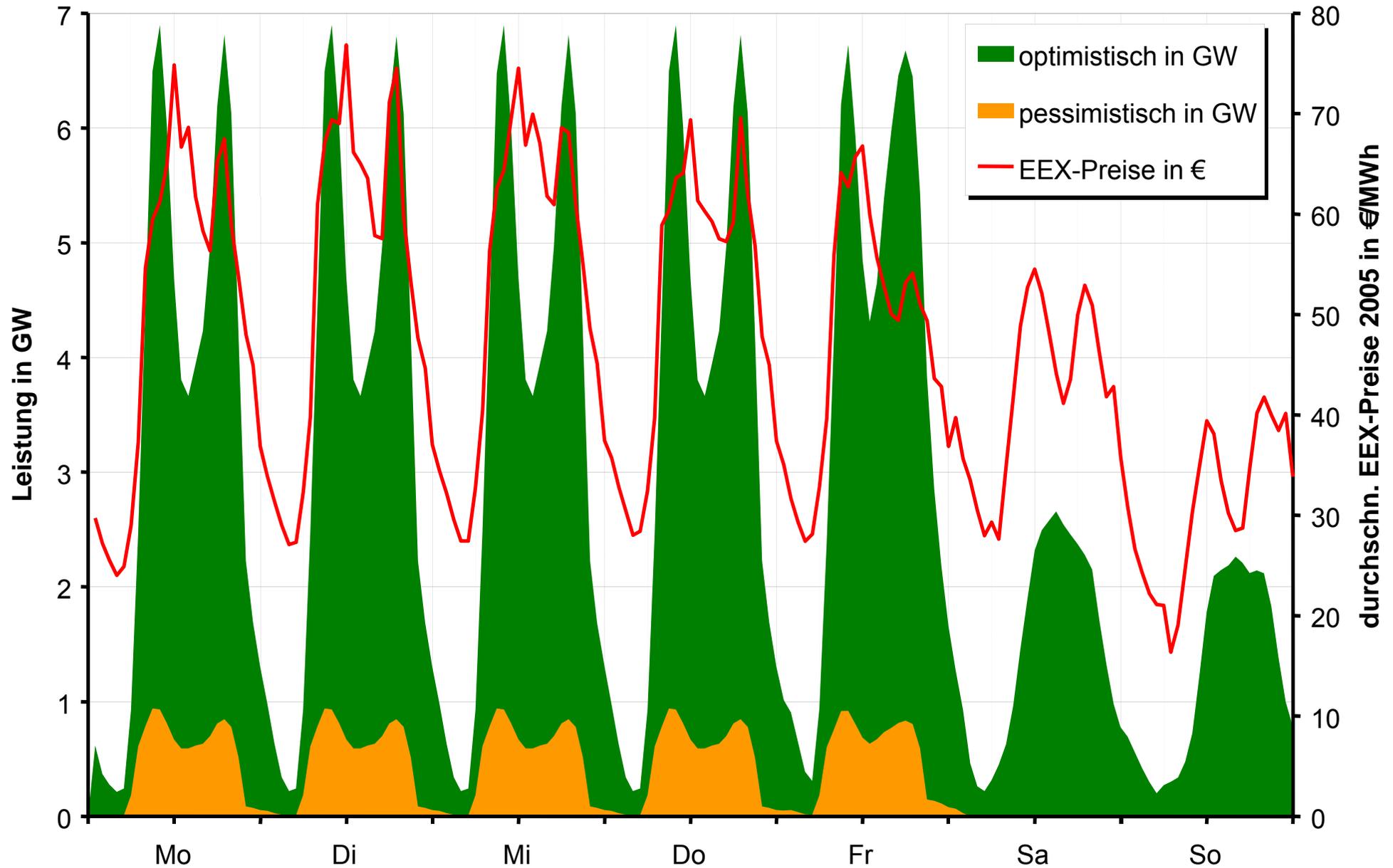
Unter Berücksichtigung der zeitlichen Auflösung von Bedarf und Erzeugung ergeben sich neue Herausforderungen für die Stromversorgung!

Lastgänge bei Umsetzung der 2030 Ziele des Leitszenario 2010

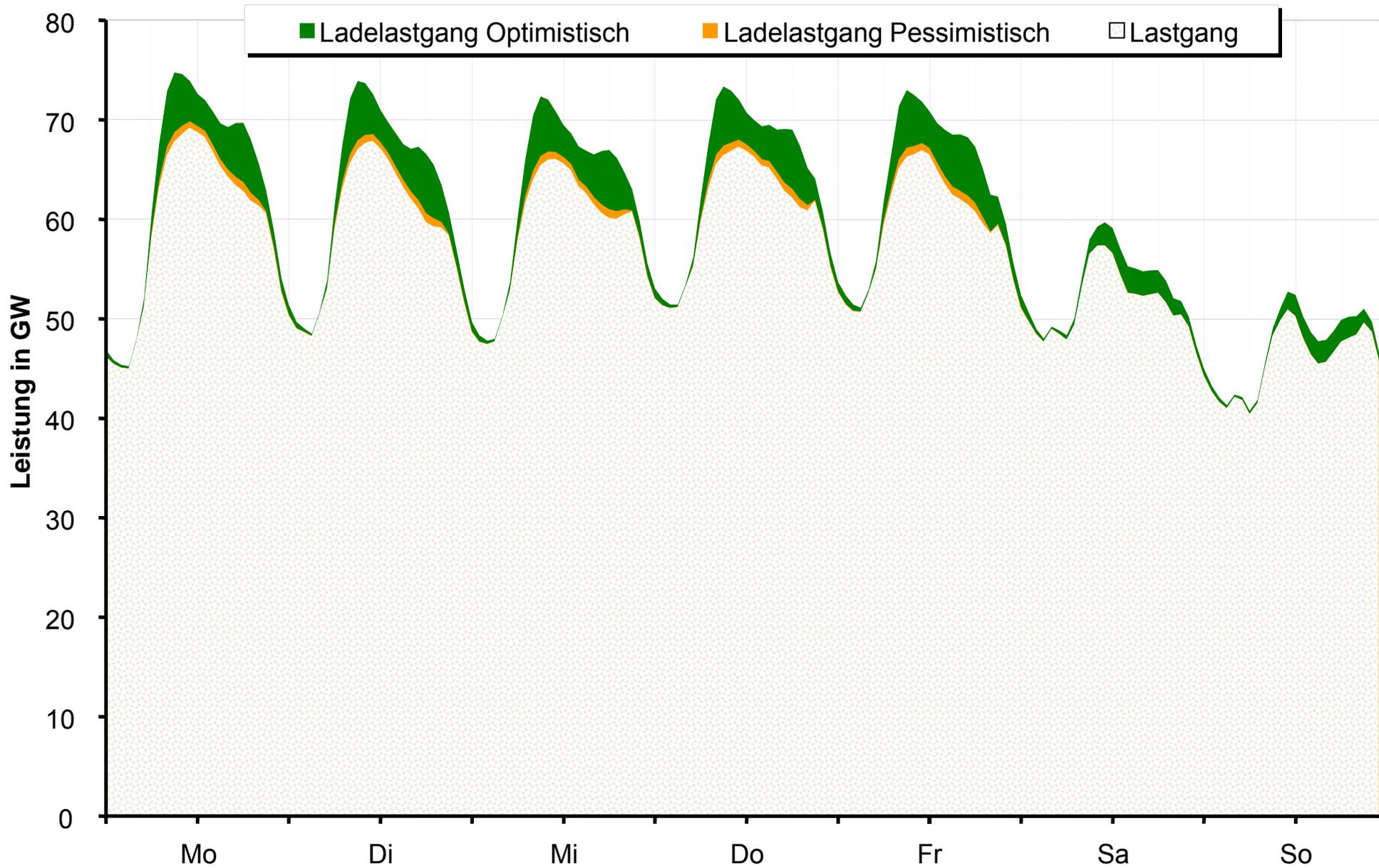


Herausforderungen durch Nachfragelastgänge (Elektromobilität)

Ladelastgang und EEX-Preise



Resultierender Ladelastgang



Speichertechnik



Pumpspeicher-Kraftwerk

- Weltweit die am häufigsten angewandte Speichertechnologie
- In Deutschland 33 Kraftwerke mit 6,9 GW Leistung installiert

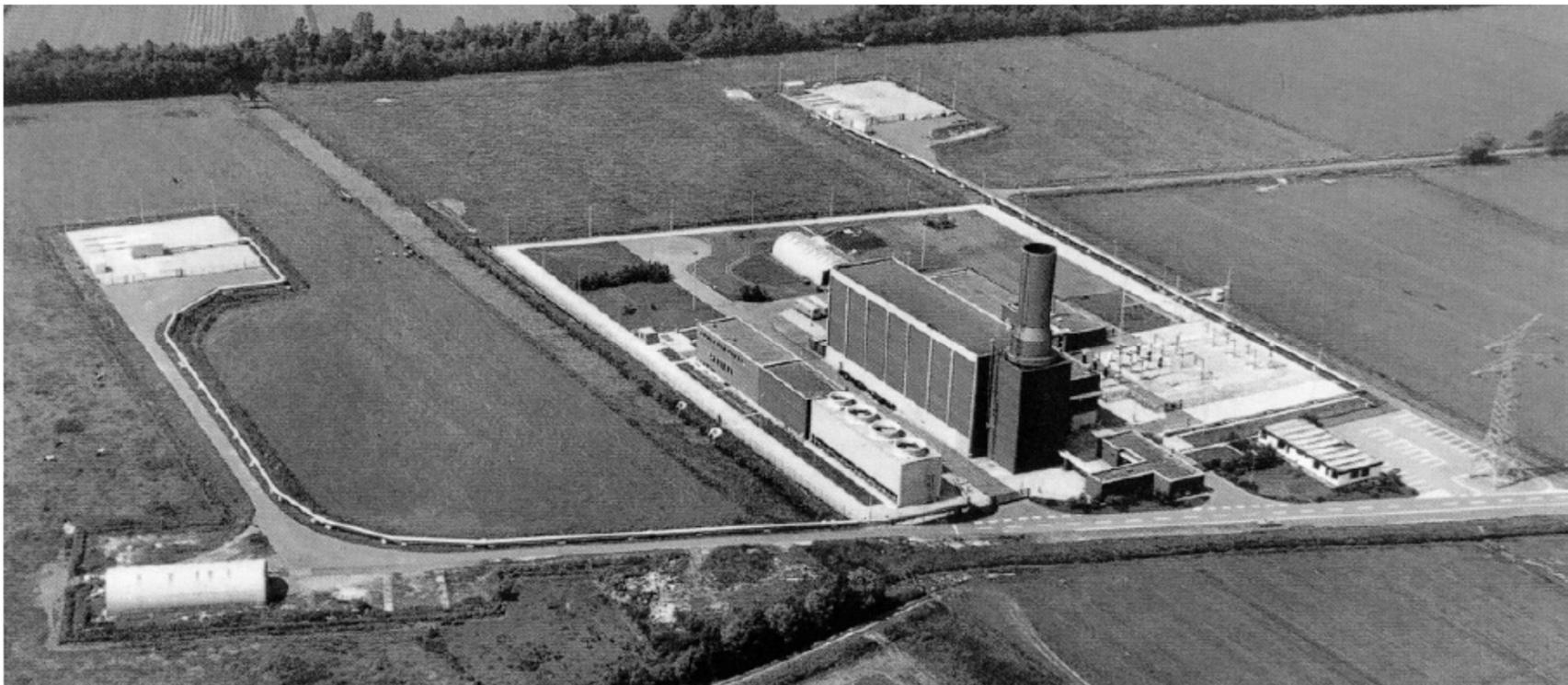


Pumpspeicherkraftwerk Waldeck

- Weltweit ca. 280 Kraftwerke mit 80 GW
- Neubau ist von geologischen Gegebenheiten abhängig
- Ober- und Unterbecken sowie ausreichender Höhenunterschied erforderlich
- Weiter Rahmen der Investitionskosten ca. 600 – 3.000 € / kW
- Größtes deutsches Kraftwerk:
 - Goldisthal (Thüringen)
 - 8,5 GWh Speicherkapazität
 - 1.060 MW Leistung
 - Kosten: ca. 600 Mio. €

Druckluftspeicher-Kraftwerk (CAES)

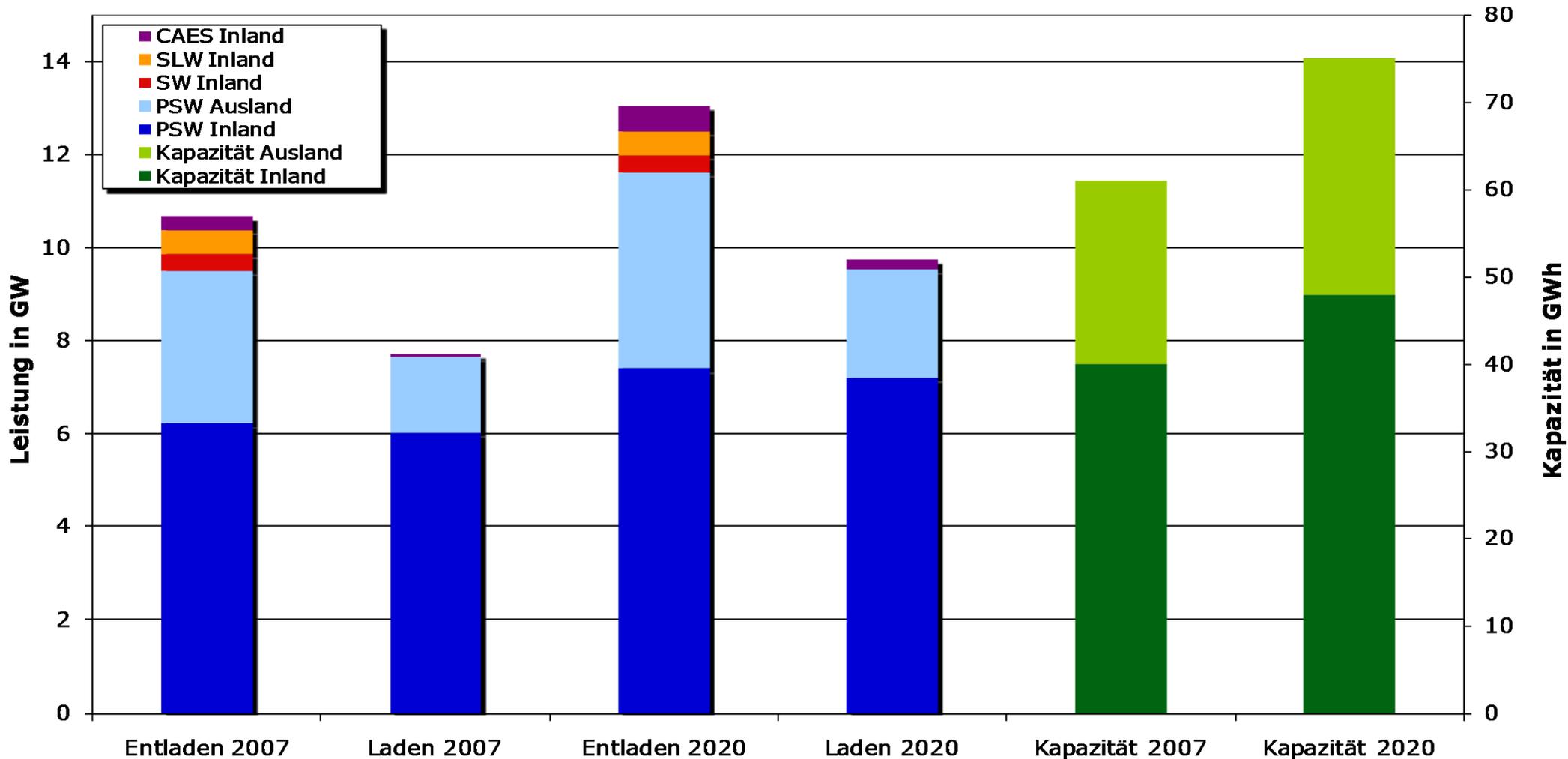
- Weltweit 2 CAES-Kraftwerke in Betrieb:
Huntorf (Niedersachsen / 1978) und McIntosh (Alabama / 1991)
- Für einen Neubau wäre das Vorhandensein eines unterirdischen Speichers, z.B. einer Salzkaverne, erforderlich



CAES-Kraftwerk Huntorf

Bestand an Stromspeichern für das deutsche Versorgungsnetz

Ist-Zustand 2007, möglicher Ausbau bis 2020

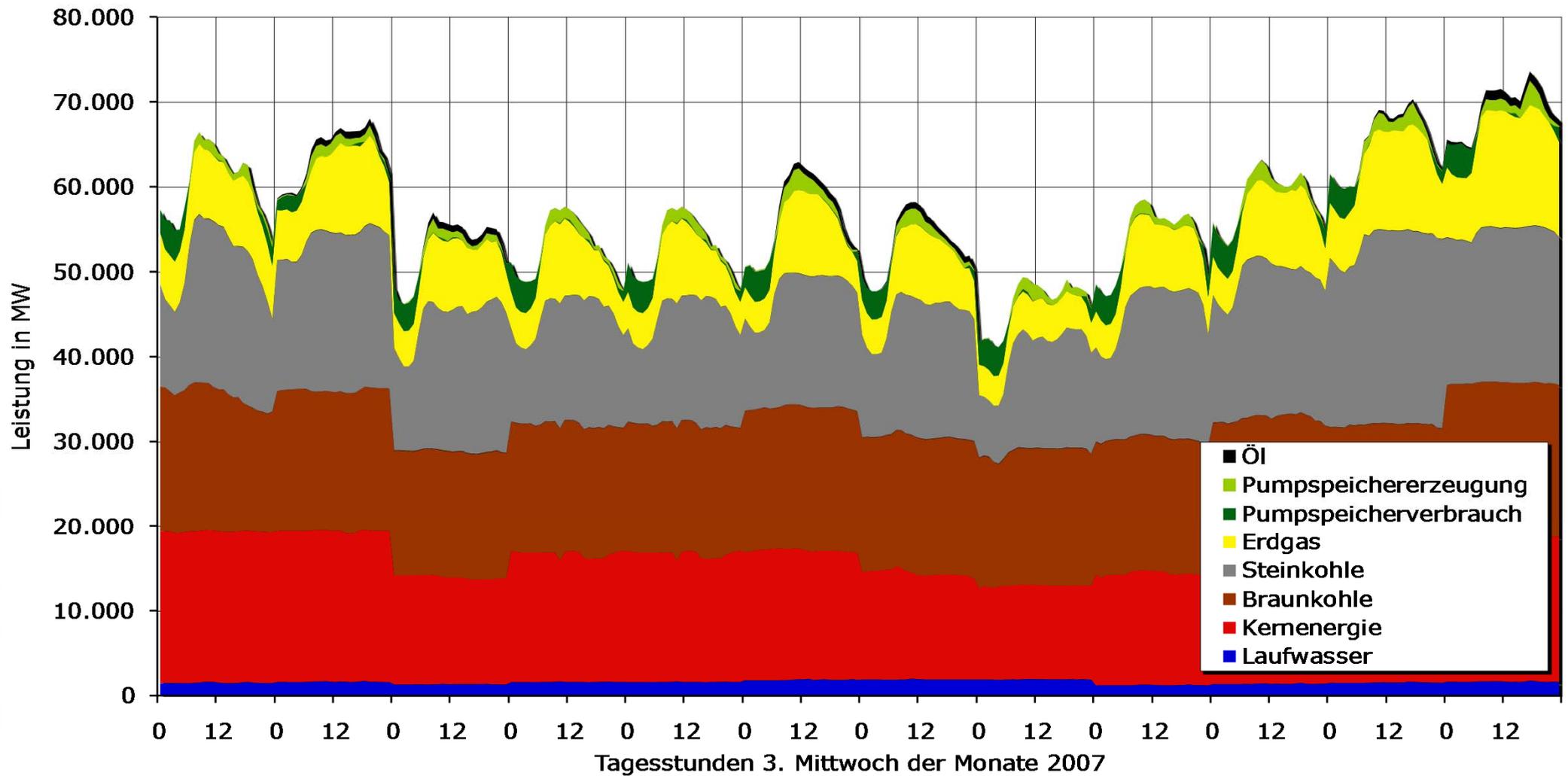


Speicherkapazität:
Nur Pumpspeicher (PSW)
werden betrachtet

Quelle:
Bundesverband Erneuerbare Energien,
Stromversorgung 2020, BEE-01 09

CAES: Druckluftspeicher
SLW: Schwelfähige Laufwasserkraftwerke
SW: Speicherwasser

Stromerzeugung deutscher Kraftwerke am jeweils 3. Mittwoch des Monats, für 2007 (Mittwochsbilanzen)



Quelle:
Statistisches Bundesamt: Monatsberichte über die Elektrizitätsversorgung 2007
STBA-01 08

- Batterien rein theoretisch denkbar, z.B.:
- A123 Li-Eisenphosphat Zellen
 - 2,3 Ah Nennkapazität
 - 3,3 V Nennspannung
 - 70 A max. Langzeitentladestrom



Nachteil aller Batterien:
Begrenzte Lebensdauer

- Li-Eisenphosphat Zellen
 - Kathodenmaterial: LiFePO_4
 - vergleichsweise hohe Sicherheit
 - günstig wegen preiswertem Kathodenmaterial
 - pro Zelle ca. 8 – 9 €
- Kapazität PSW Goldisthal: **8,5 GWh**
 - Entspricht 1,1 Mrd. Zellen
 - Aneinandergereiht: 73.000 km Länge
 - Kosten nur für die Zellen: 10 Mrd. €

Ø 26 mm, h = 66,5 mm, m = 70 g
Kapazität: **7,6 Wh**



Vergleich Pumpspeicherkraftwerk vs. Li-Ion Akkumulator

- Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal: **8,5 GWh**
- Leistung: 1.060 MW für ca. 8 Stunden

- Energiedichte:

Blei-Akku:

ca. 30 Wh/kg

→ etwa 280.000 t

Li-Ion Akku:

ca. 120 – 140 Wh/kg

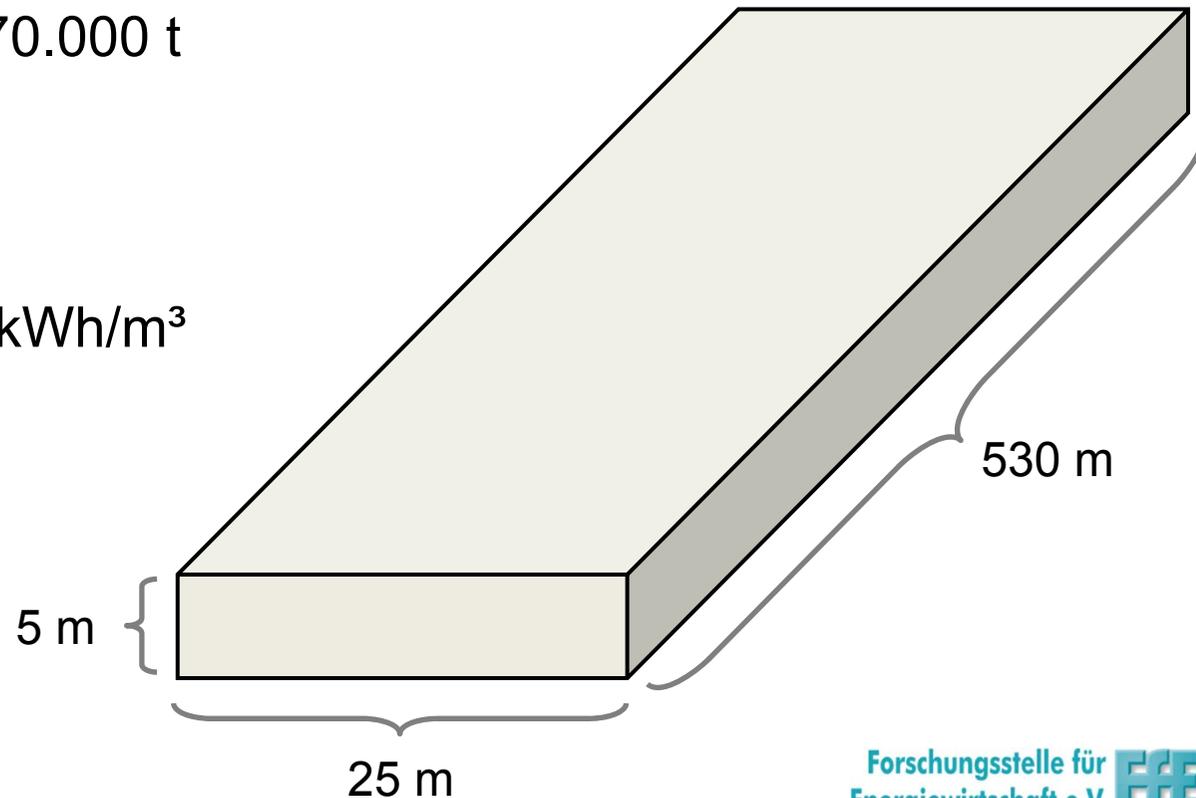
→ etwa 70.000 t

Volumetrische Energiedichte

eines **Li-Ionen Akkus:** ca. 130 kWh/m³

Volumenbedarf: 66.500 m³

Dimension eines Li-Ion Akkus
mit der Kapazität Goldisthals:



Vanadium-Redox-Batterie

- Anwendungsgebiete:
 - Notstrom- und unterbrechungsfreie Stromversorgung
 - Auch als Langzeitspeicher geeignet
- Vanadium-Redox-Batterie als Zwischenspeicher für Windkraftanlagen:
 - Mehrere Projekte in Japan, z.B. Tomamae, seit Januar 2005
 - 4 MW Leistung, 6MWh Kapazität



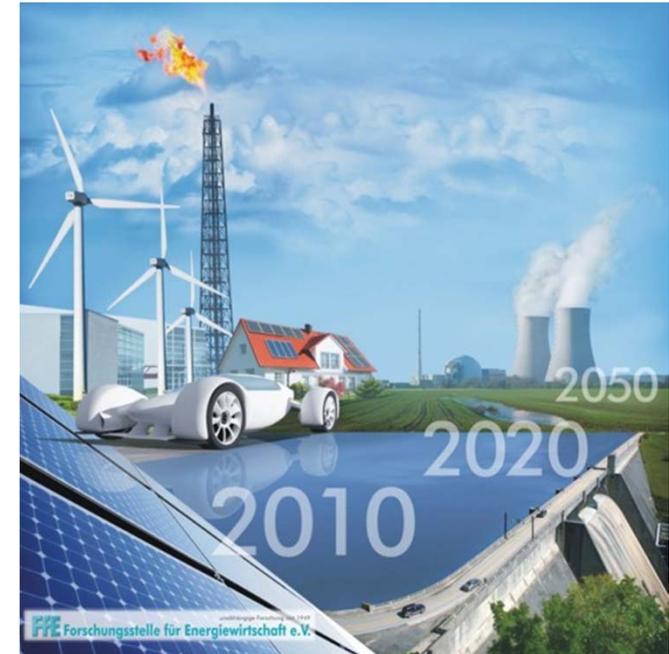
Vanadium-Redox-Anlage in Tomamae, Japan

Quelle:
VRB Power Systems

Fazit und Schlussfolgerungen

Der Weg in eine sichere und nachhaltige Energiezukunft:

- Einsparen
- Effizienz
- Erneuerbare Energien
 - im richtigen Zusammenspiel mit konventionellen Energieträgern
 - Kraft-Wärme-Kopplung wird zukünftig eine wesentliche Rolle spielen, um erneuerbare Energien leichter ins Energiesystem zu integrieren!



Bedeutung der Energiespeicher wird zunehmen:

- Heutige Speicherkapazität ist bei Weitem nicht ausreichend
- Wenige geeignete Standorte / geringe Akzeptanz für neue Pumpspeicher in Deutschland
- Evtl. Nutzung von Energiespeichern in Norwegen
 - macht zusätzlichen Netzausbau erforderlich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

+49 (89) 15 81 21-0

wmauch@ffe.de

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Am Blütenanger 71

80995 München

www.ffe.de

