

RÄUMLICH UND ZEITLICH AUFGEÖSTE UNTERSUCHUNG VON ENERGIEWENDESZENARIEN FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG

Manuel Wetzel, Hans Christian Gils, Frieder Borggreffe

15. Symposium Energieinnovation, Graz, 15.02.2018

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Institut für Technische Thermodynamik



Wissen für Morgen

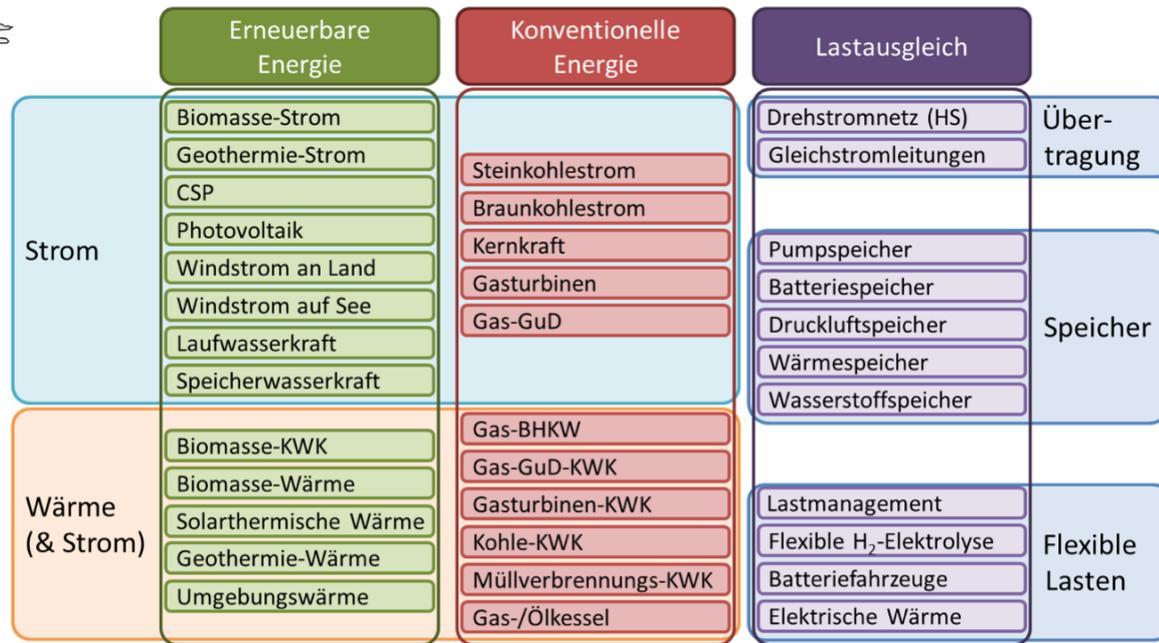
Übersicht

- Zielsetzung und Methodik
- Energieversorgung in Baden-Württemberg
- Regionale Importanalyse
- Zeitliche Importanalyse
- Importe zu Zeiten hoher Residuallast



Zielsetzung Projekt „EnSys-BaWü“ Arbeitspaket 4

- Fokus auf Stromimporten aus Norddeutschland und dem benötigten Netzausbau
- Auswirkung der Kopplung von Strom-, Wärme- und Verkehrssektor
- Reduktion der CO₂ Emissionen in Baden-Württemberg um 90% gegenüber 1990



Methodik und Modelle

TIMES PanEU-BW

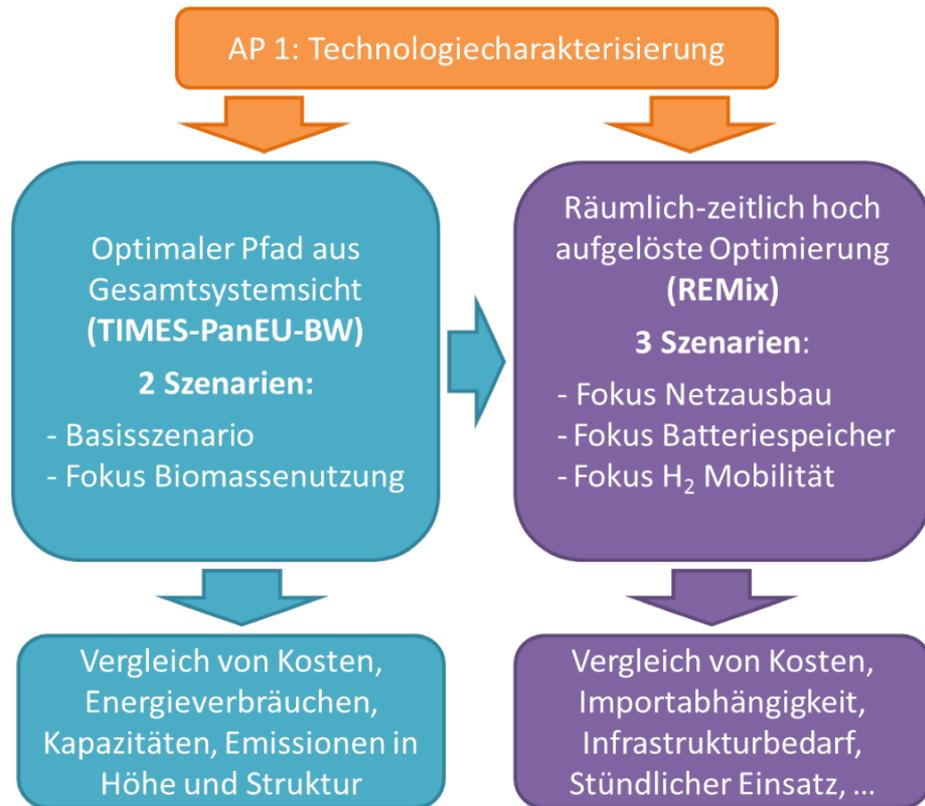
- BW, DE und europäische Staaten als Regionen
- 8 Stützjahre zwischen 2015 und 2050
- Repräsentative Typtage
- Hoher technologischer Detailgrad
- Abbildung aller energiewirtschaftlichen Sektoren

→ Entwicklung von Kraftwerkspark und Energienachfrage

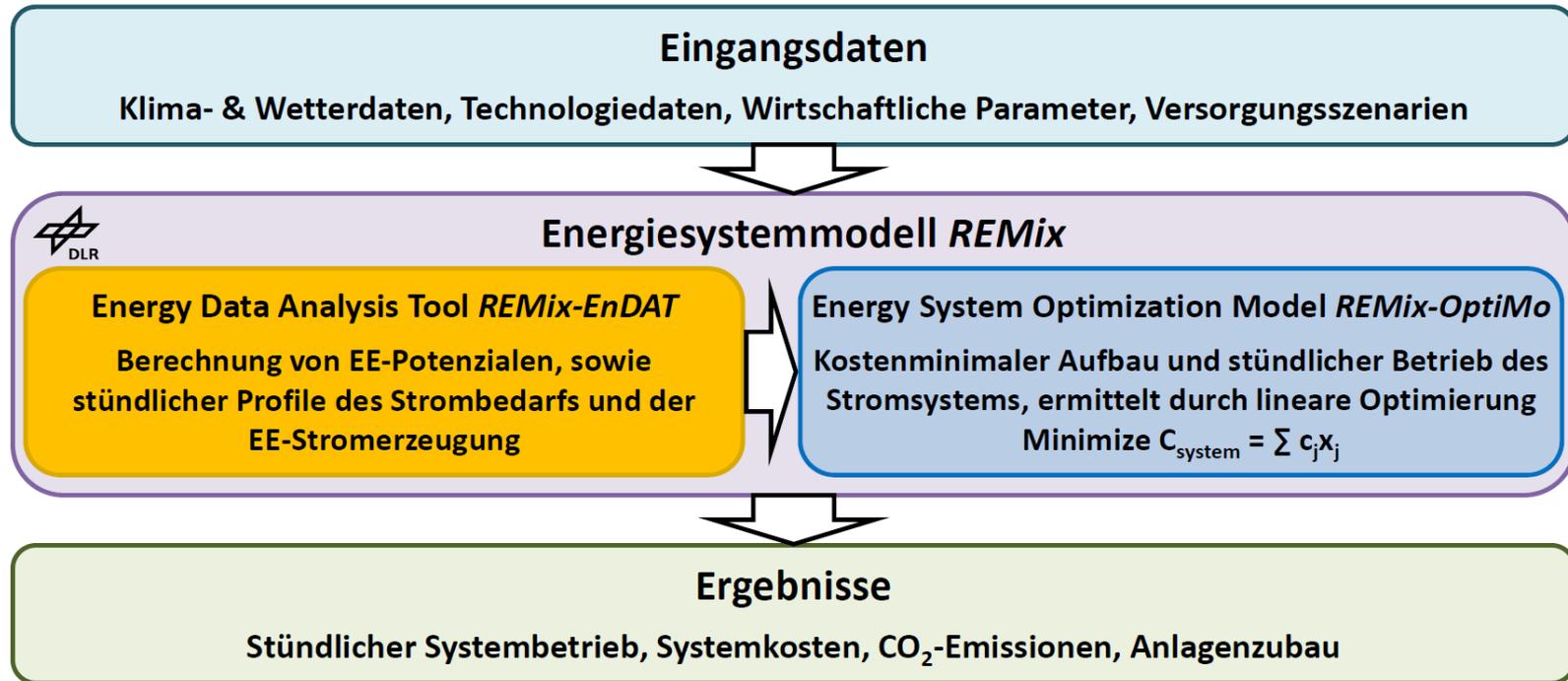
REMix

- 20 Regionen, davon 4 BW und 6 DE
- Dekadenschritte von 2020 bis 2050
- Stündliche Auflösung
- Wetterjahre 2006, 2010 und 2012
- Abbildung des Stromsektors und Kopplung zu Verkehrs- und Wärmesektor

→ Einsatz von räumlichen und zeitlichen Lastausgleichsoptionen



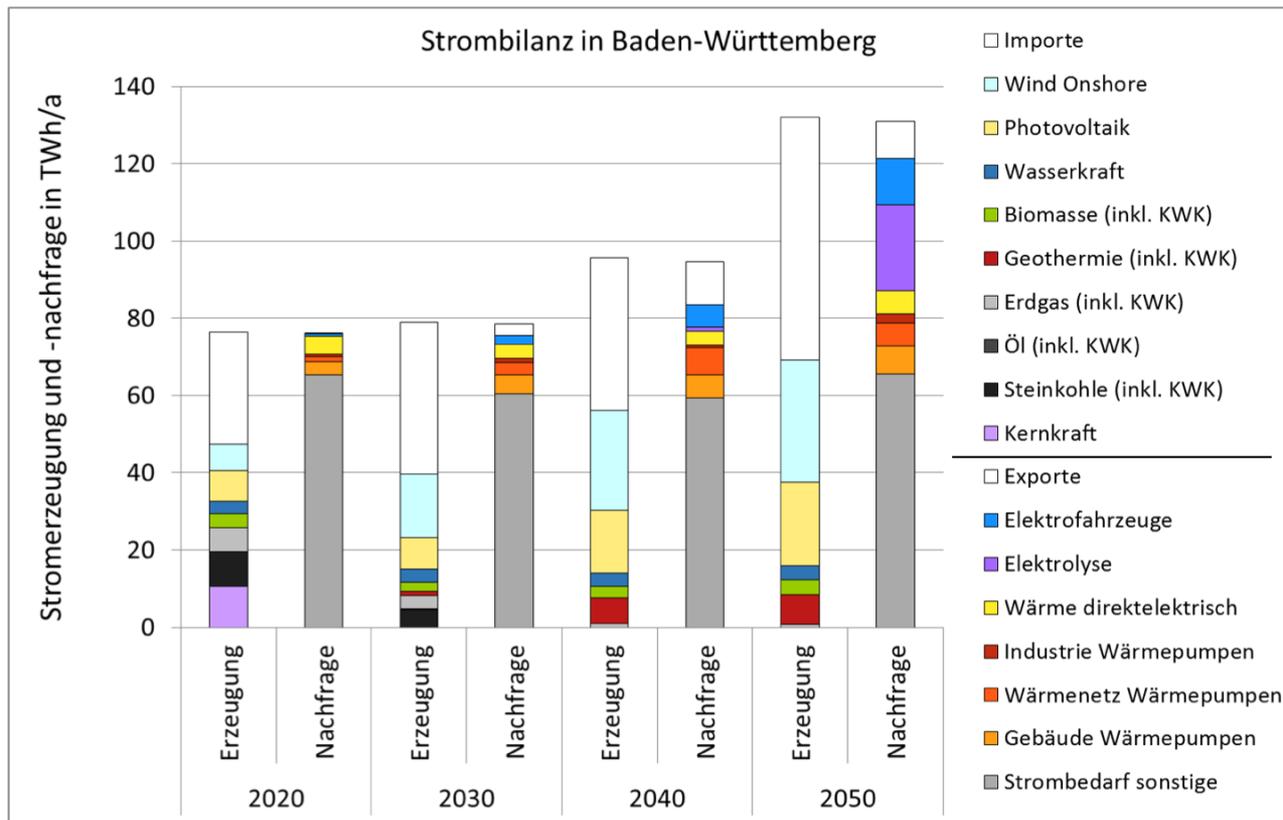
Überblick REMix



- Vollständige Abbildung des Wärmesektors (Industrie/GHD/Haushalte)
- Batteriefahrzeuge mit Ladesteuerung
- Brennstoffzellenmobilität mit flexibler Elektrolyse und H₂-Speicherung



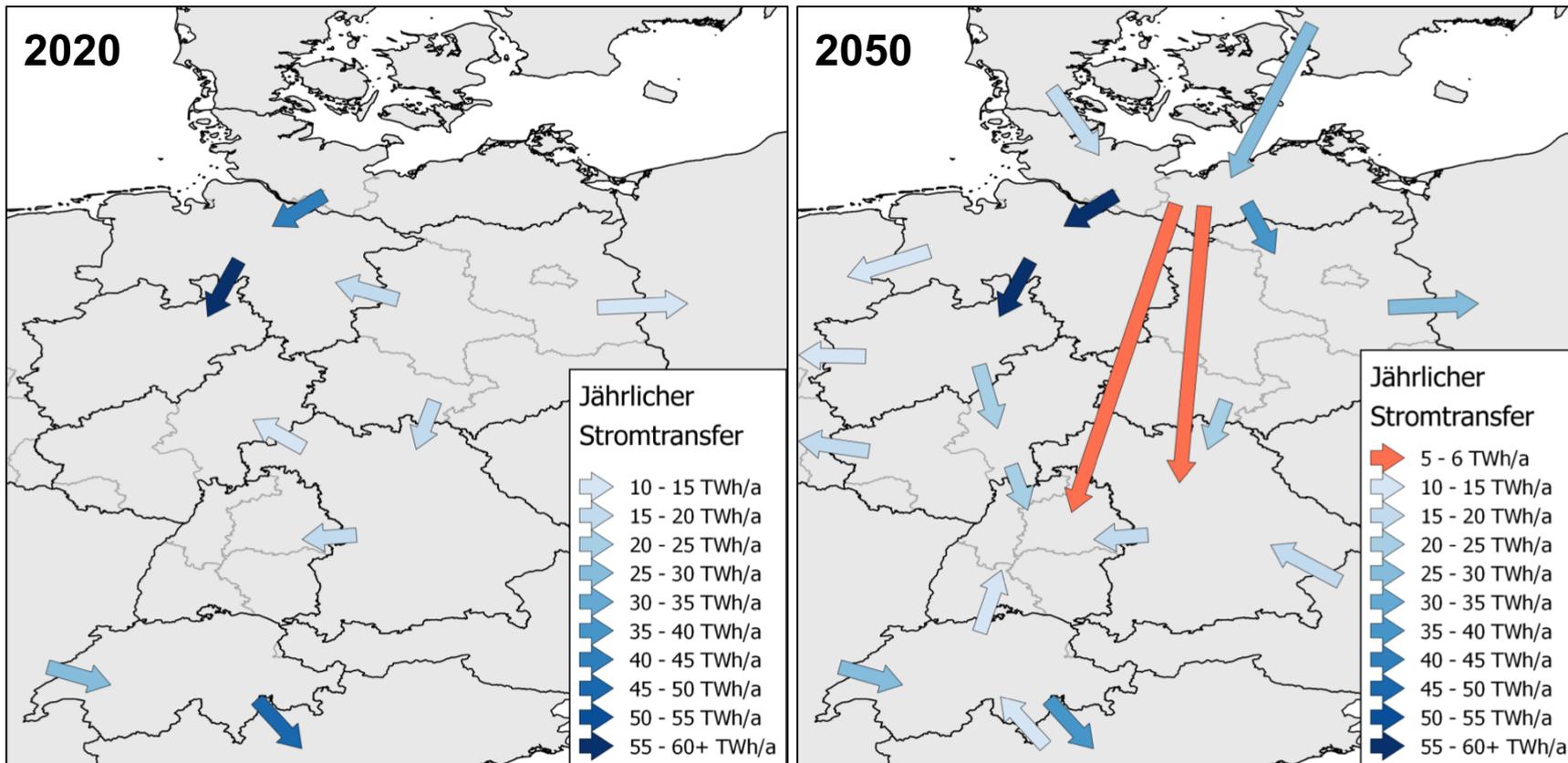
Entwicklung der Strombilanz in Baden-Württemberg



- Ab 2040 keine fossilen Energieträger für Bereitstellung elektrischer Energie
- Starker Anstieg der Stromnachfrage durch Wärme- und Verkehrssektor
- Erhöhung der Nettoimporte von 29 TWh in 2020 auf 52 TWh in 2050



Räumlicher Lastausgleich



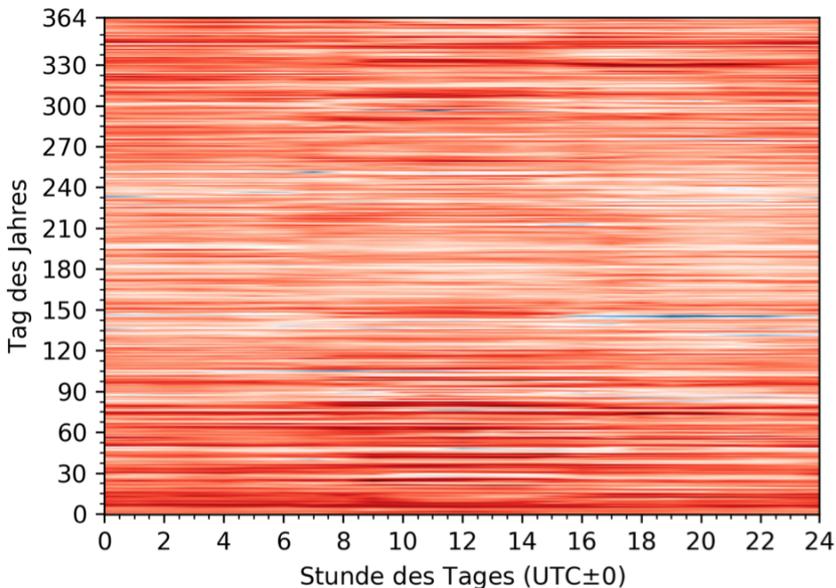
- Lastausgleich der fluktuierenden Erzeugung zwischen DE und Skandinavien
- Ausgeprägte AC- und DC- Übertragungskorridore nach Süddeutschland



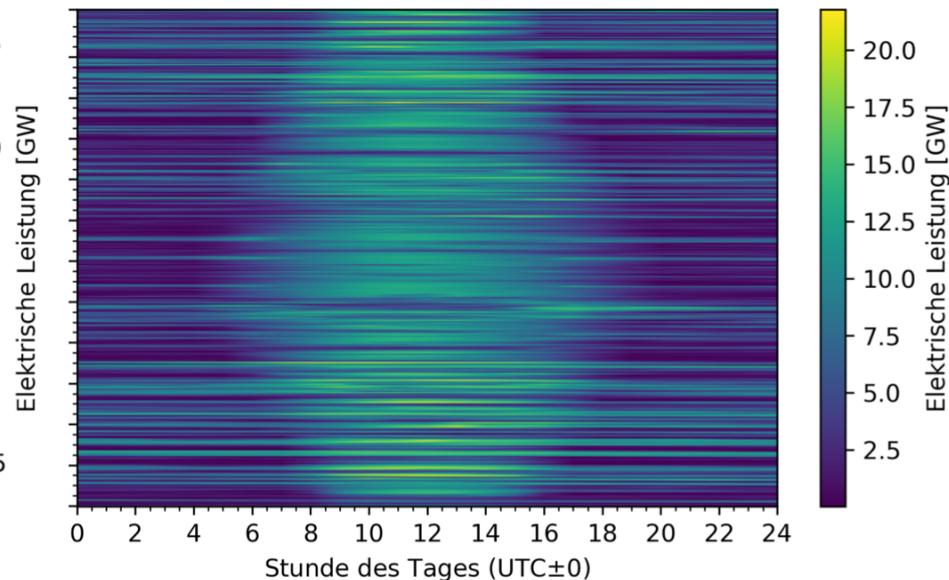
Stündliche Importe in Baden-Württemberg

2050

Stromimport nach Baden-Württemberg



Fluktuierende Erneuerbare innerhalb Baden-Württembergs

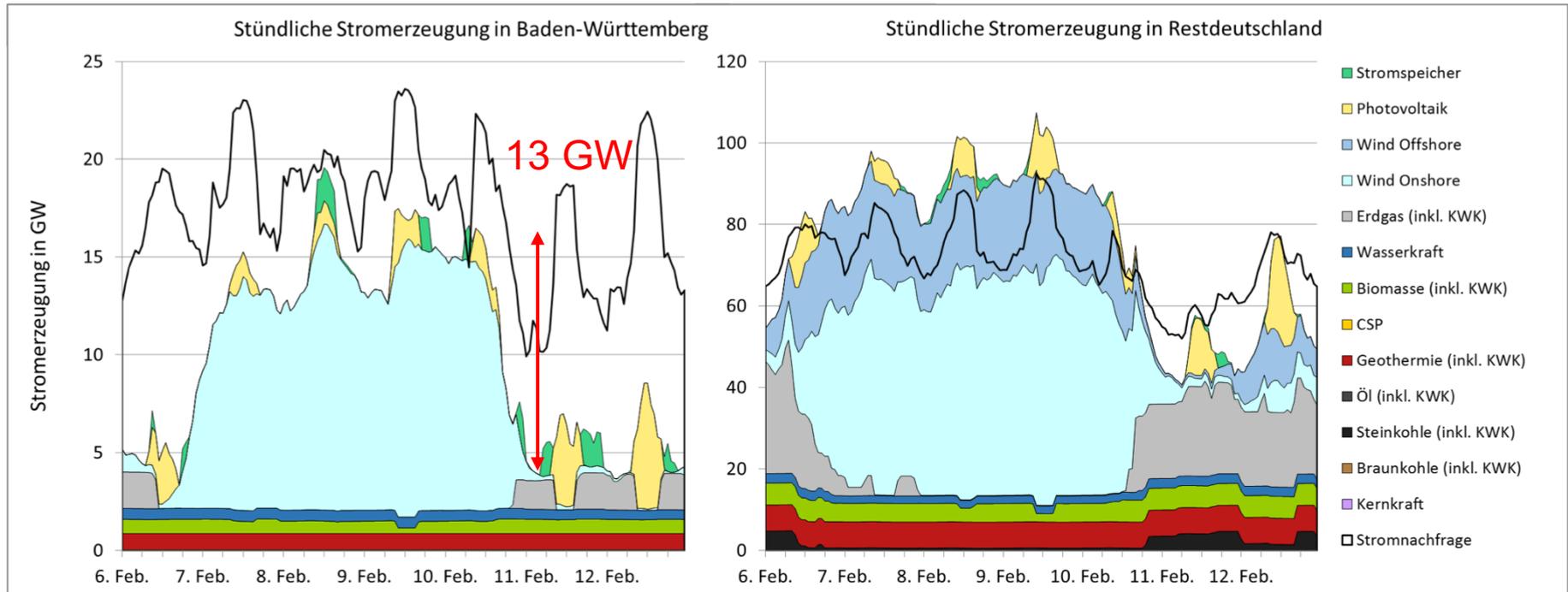


- Importleistung von bis zu 15 GW bei Spitzenlast in BW von 25 GW
- Starke Korrelation der Importe mit Erzeugungslücken der fluktuierenden EE
- Höhere Importe während der Wintermonate durch elektrische Wärmebereitstellung



Stündliche Stromerzeugung bei hoher residualer Last

2050

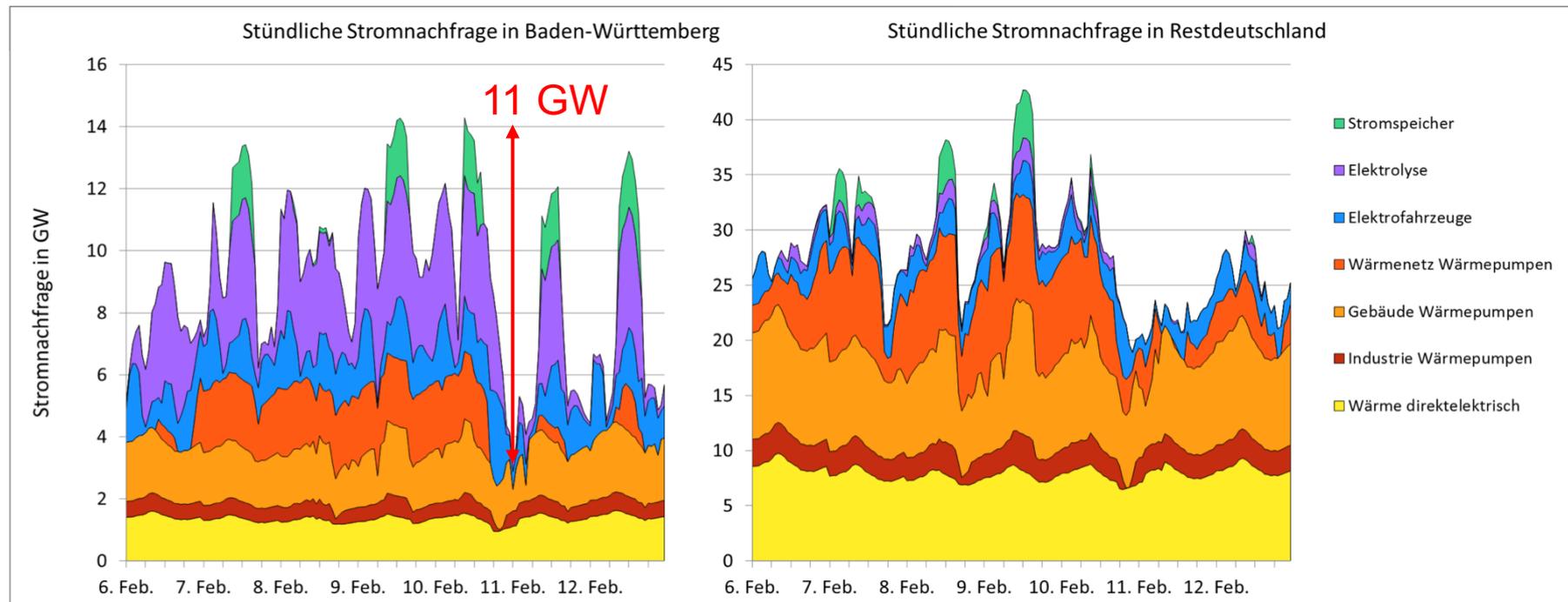


- Windflauten als Haupttreiber der residualen Last, damit starke Schwankungen
- Ausgleich durch Übertragungsnetze gegenüber Stromspeichern bevorzugt
- Residuale Last wird in Deutschland durch Gaskraftwerke gedeckt (VLS : ~600 h)



Stündliche Stromnachfrage bei hoher residualer Last

2050



- 50% der Nachfrage kann flexibel betrieben werden bei Spitzenlast von 25 GW
- Hohe Flexibilität auf Nachfrageseite verringert Speicherbedarf deutlich
- Größte Flexibilität durch Wasserelektrolyse und Wärmepumpen in Wärmenetzen



Fazit und Diskussion

- CO₂ Emissionen in BW lassen sich deutlich reduzieren, Importabhängigkeit steigt
- Geplanter Netzausbau nach TYNDP 2016 ermöglicht ausreichend Lastausgleich
 - Weiterer Netzausbau wird durch Integration erneuerbarer Energien getrieben
- Herausforderung durch kurzfristige Änderungen in der fluktuierenden Erzeugung
- Speicherbedarf hängt stark von der Flexibilität der Sektorenkopplung ab
 - Flexible Sektorenkopplung kann Kurzfristspeicher substituieren
- Berücksichtigung Gesamteuropas kann zu anderen Importquellen und Netzflüssen führen
- Grad der Flexibilität in der Sektorenkopplung muss weiter untersucht werden



Dieser Vortrag basiert auf Ergebnissen des Projekts „Energiesystemanalyse Baden-Württemberg – EnSys BaWü“, durchgeführt von STRise und gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Zuwendungsnummer BWES 16002)

Kontakt:

Manuel Wetzel

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung

Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart

0711 6862-664 | Manuel.Wetzel@dlr.de

www.DLR.de/tt

Endbericht und Informationen zum Projekt unter:

<http://www.strise.de/projekte/projekte/>

STRise



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt



Universität Stuttgart
IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

zirius 

Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung



Anhang



Rahmenannahmen

- **CO₂ Emissionen:** Reduktion der gesamten CO₂ Emissionen um 90% gegenüber 1990, damit nahezu vollständige Dekarbonisierung des Stromsektors
- **CO₂ Zertifikatskosten:** Steigende Preise für CO₂ Emissionszertifikate von 18 €₂₀₁₅/t CO₂ im Jahr 2020 bis hin zu 150 €₂₀₁₅/t CO₂ im Jahr 2050
- **Netzausbau:** 2020 und 2030 Netztransferkapazitäten (NTC) auf Basis des TYNDP 2016. 2040 und 2050 technische Netzkapazitäten auf Basis der ENTSO-E Power Map



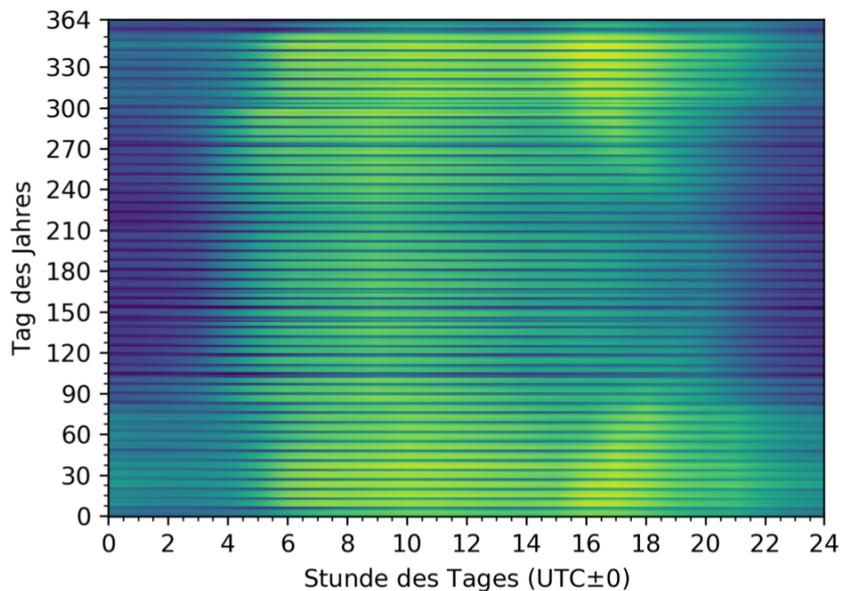
Szenarien

- **Szenario Bio+:** Alternatives Szenario mit erhöhten Anteilen von Biomasse für Biokraftstoffe in der Mobilität, dadurch weniger Elektrofahrzeuge.
- **Szenario Netzausbau:** Zusätzlicher Ausbau von Gleichstromleitungen gegenüber den vorgegebenen Leitungen des TYNDP 2016.
- **Szenario PV Speicher:** Modellexogen vorgegebene Entwicklung von Lithium-Ionen Speichersystemen relativ zu den Photovoltaikkapazitäten
- **Szenario Wasserstoffmobilität:** Deckung des Energiebedarfs im Transportsektor durch Wasserstoff statt Elektrofahrzeugen.

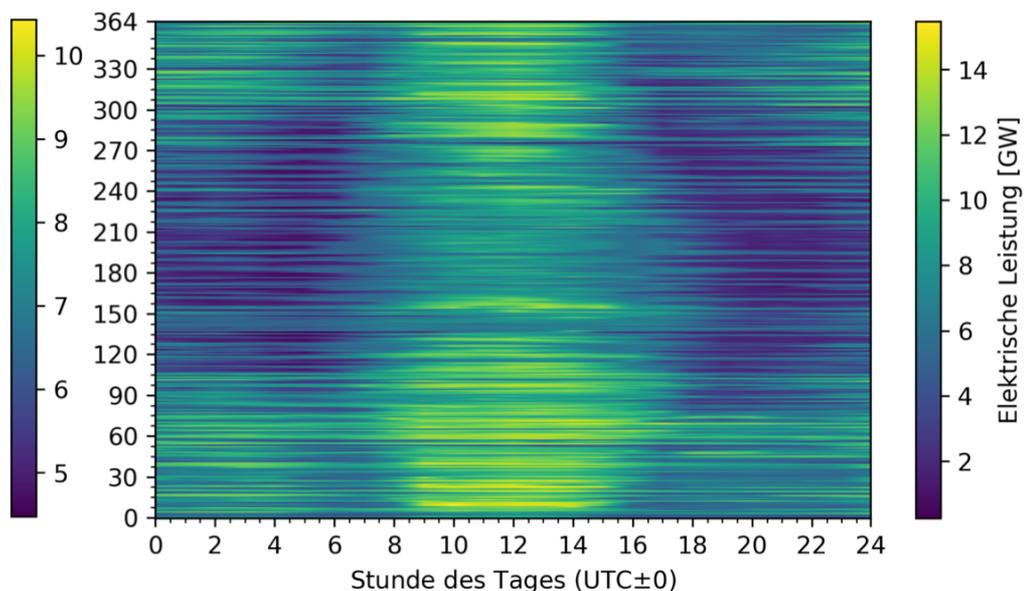


Stündlicher Strombedarf in Baden-Württemberg

2050 Strombedarf sonstige in Baden-Württemberg

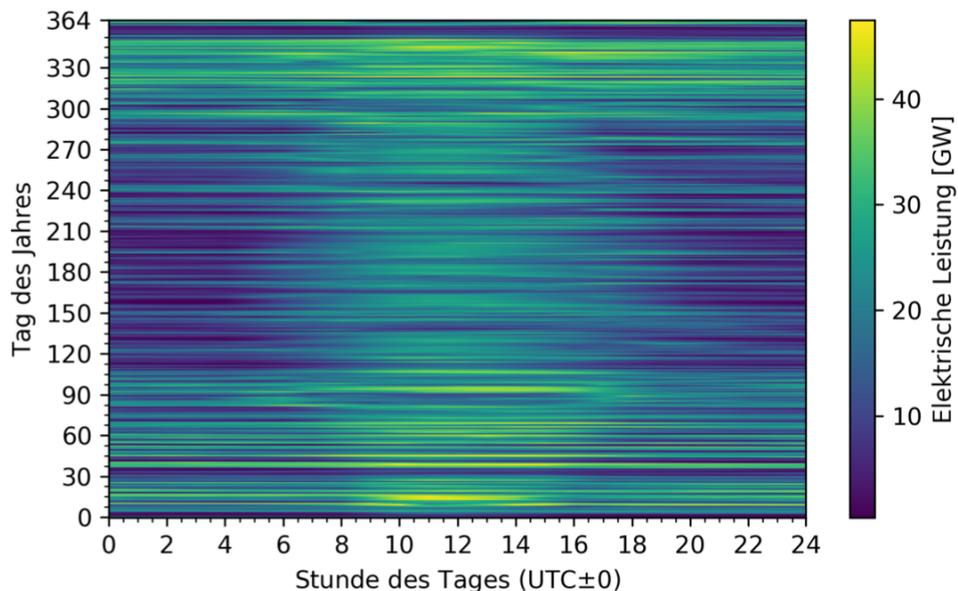


Flexible Sektorenkopplung in Baden-Württemberg

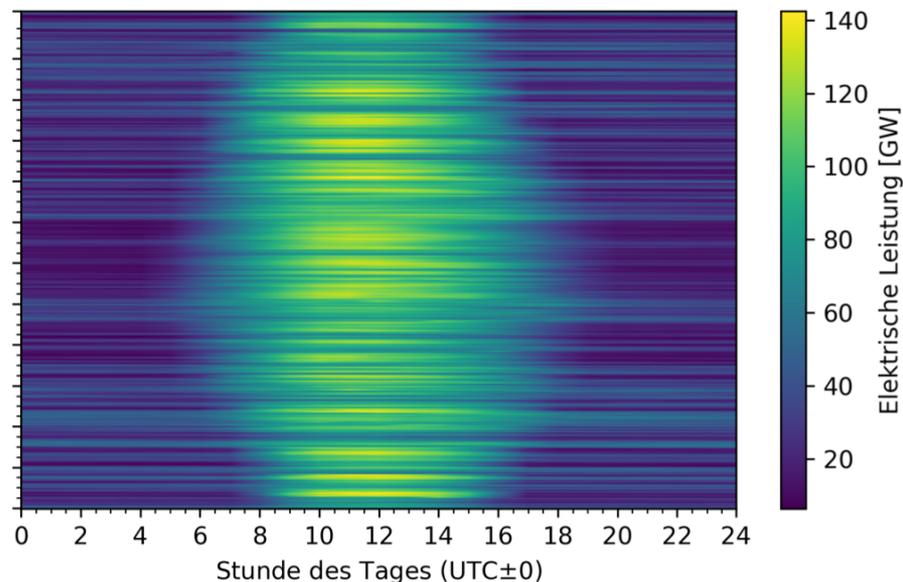


Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung

Fluktuierende Erneuerbare in Norddeutschland und BeNeLux



Fluktuierende Erneuerbare in Frankreich und Italien



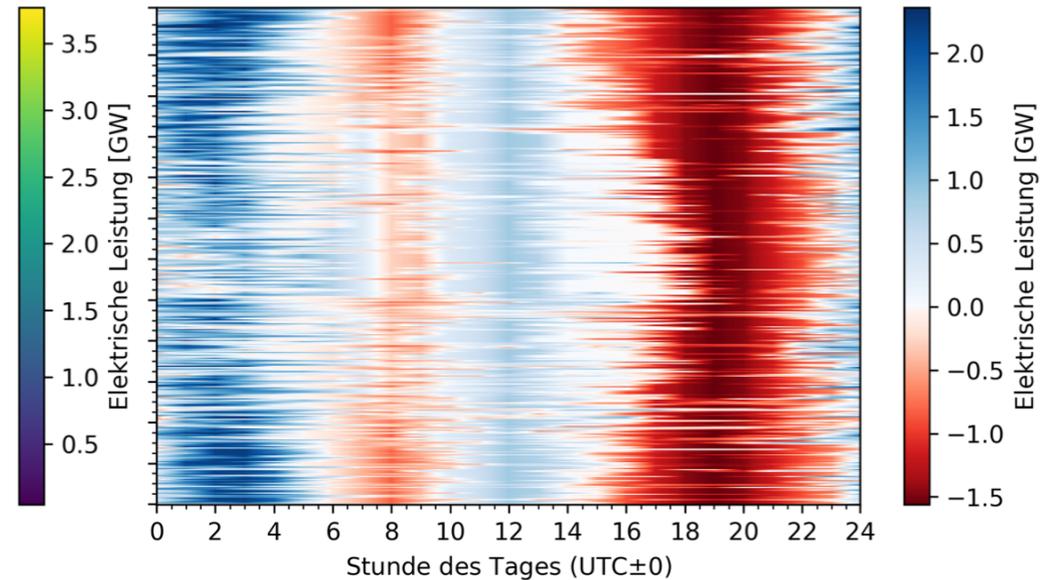
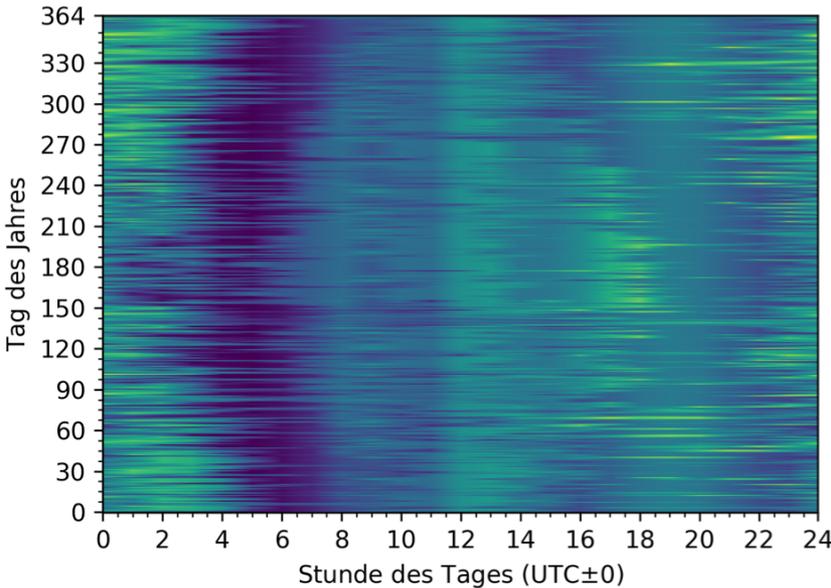
- Anstieg von 860 TWh in 2020 auf 2060 TWh in 2050
- Offshore in Norddeutschland und BeNeLux, Photovoltaik in Frankreich und Italien



Ladesteuerung bei Elektrofahrzeugen

Strombedarf Ladesteuerung BEV in Baden-Württemberg

Verschobener Ladestrom für BEV in Baden-Württemberg

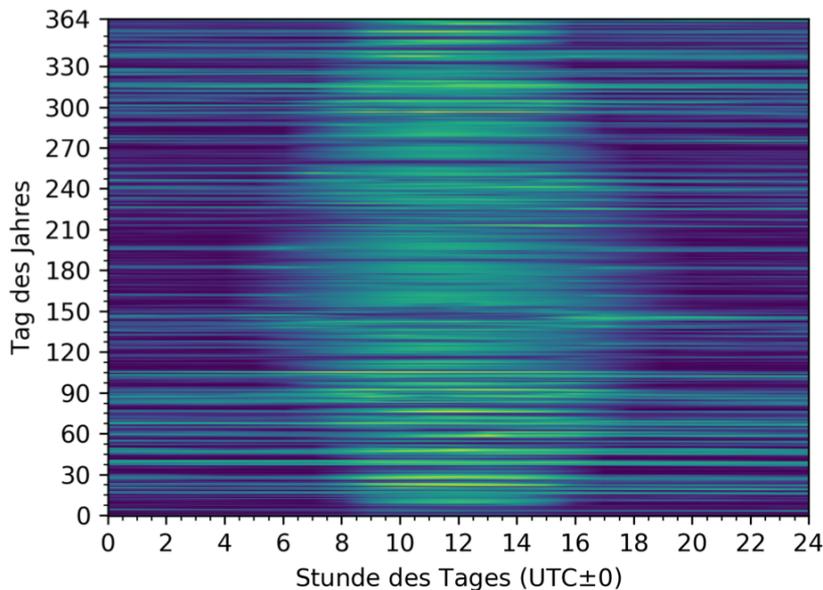


- Ladesteuerung von Elektrofahrzeugen korreliert mit fluktuierender Einspeisung
- Verschiebung von Ladespitzen in die Nacht
- Verschiebepprofil weist saisonales Verhalten auf

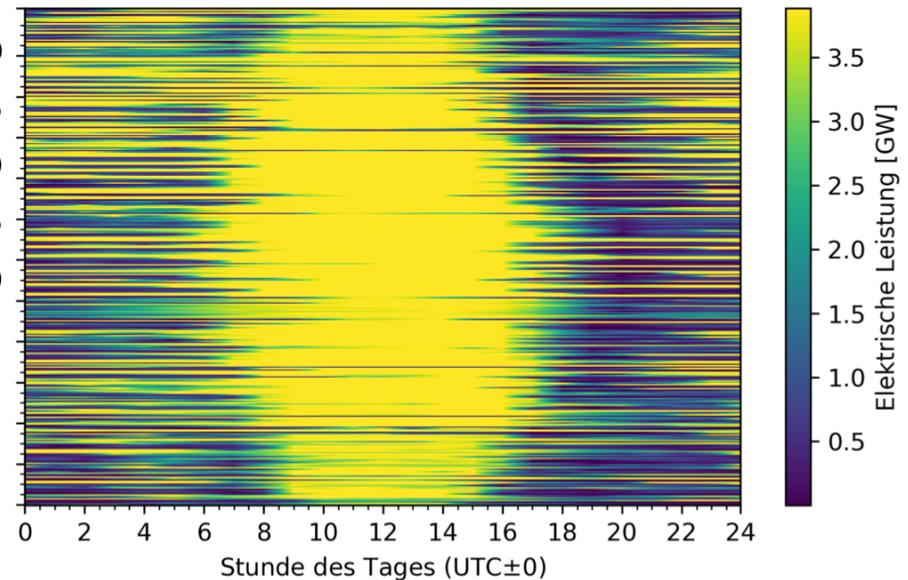


Flexibler Einsatz von Wasserstoffelektrolyse

Fluktuierende Erneuerbare innerhalb Baden-Württembergs



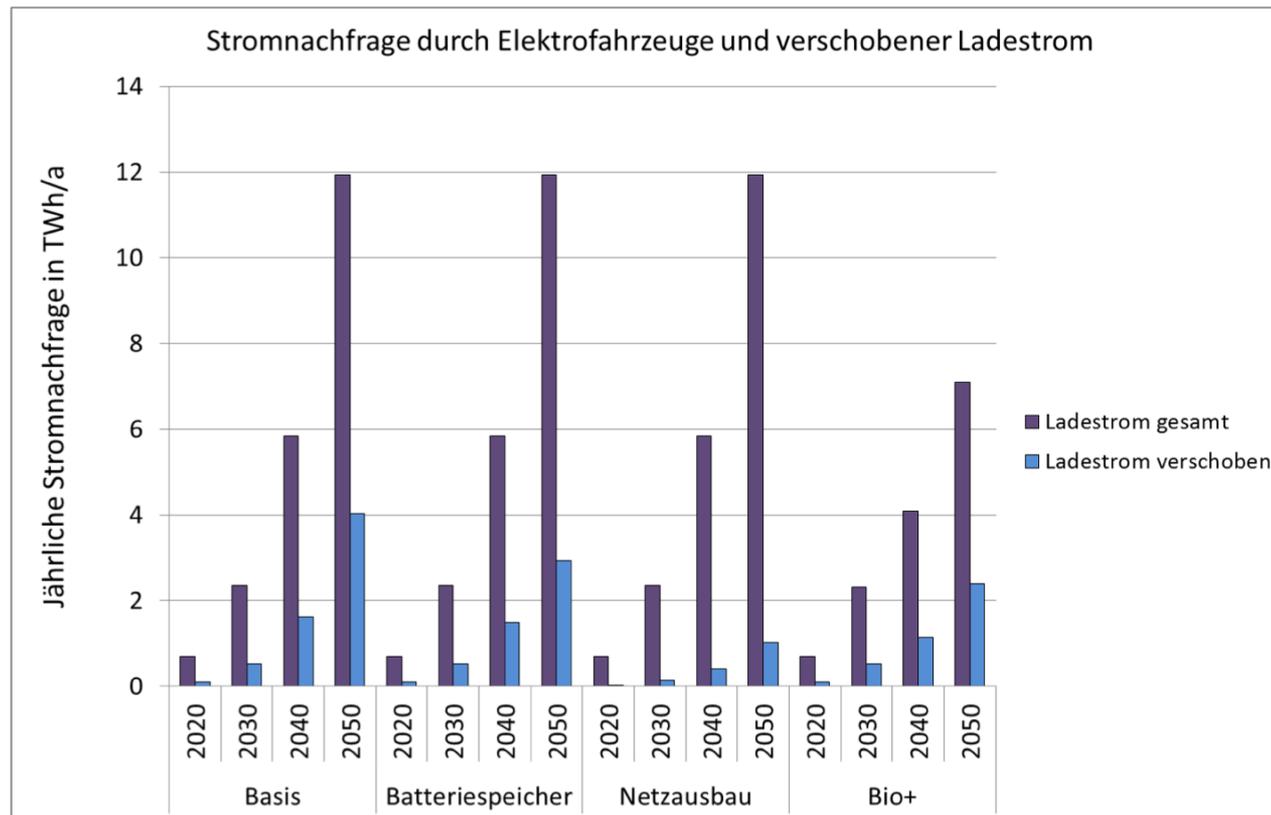
Strombedarf Elektrolyse in Baden-Württemberg



- Elektrolyse wird flexibel nach Einspeisung von Wind und Photovoltaik betrieben
- Dimensionierung auf 3000 Volllaststunden in 2040
- Steigerung der Volllaststunden auf 6000 in 2050 durch H₂ Speichereinsatz



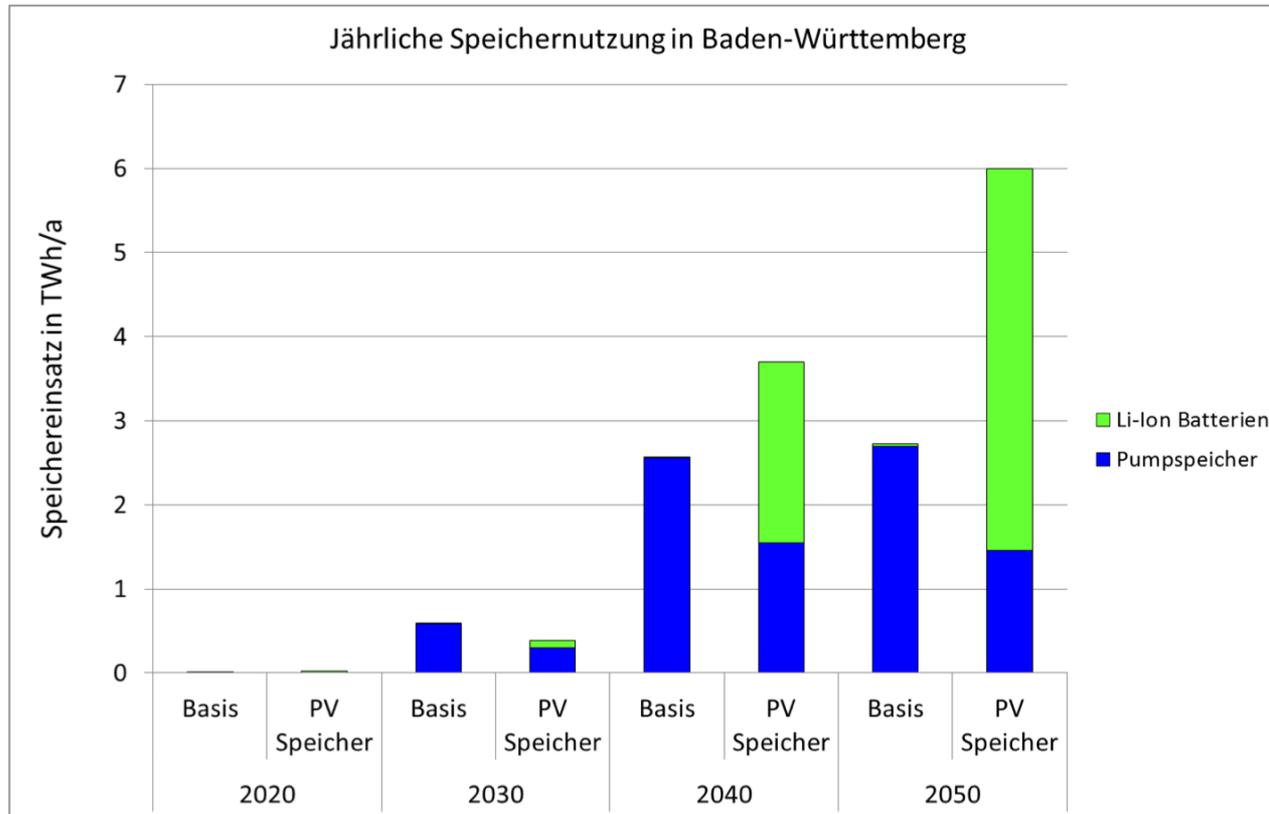
Einsatz der flexiblen Sektorenkopplung



- Stromspeicher und Übertragungsnetze reduzieren Einsatz der Ladesteuerung



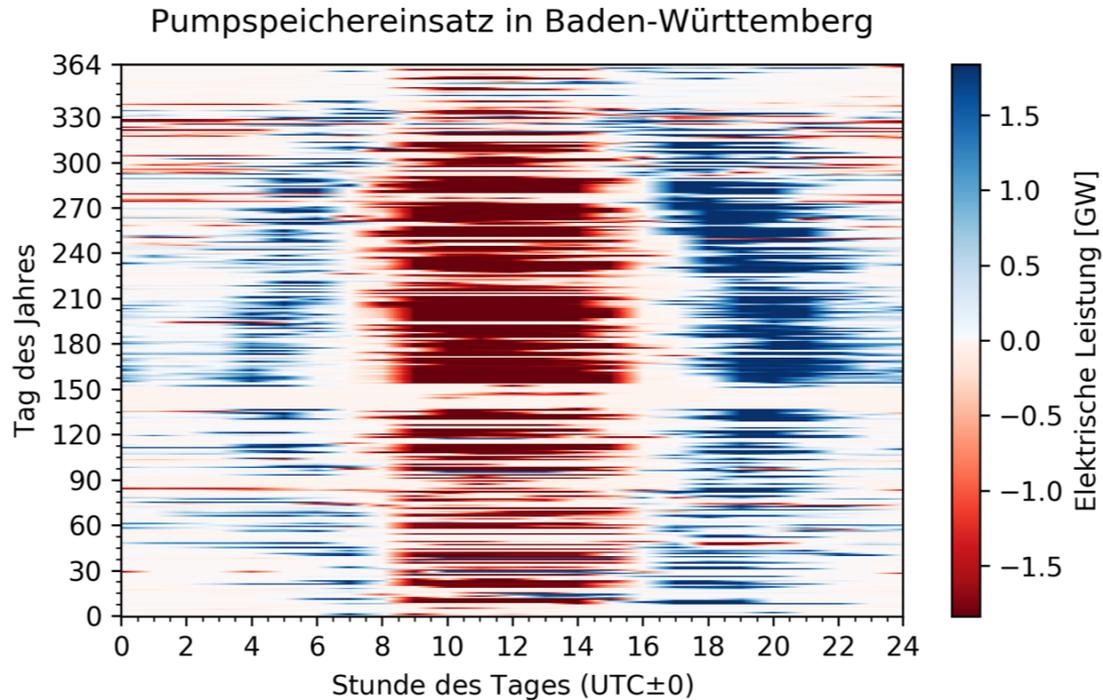
Einsatz von Stromspeicheroptionen



- PV Speichersysteme reduzieren Einsatzzeiten der Pumpspeicher
- Langfristspeicher werden durch ausgebaute Übertragungsnetze nicht benötigt



Basis: Einsatz von Stromspeicheroptionen

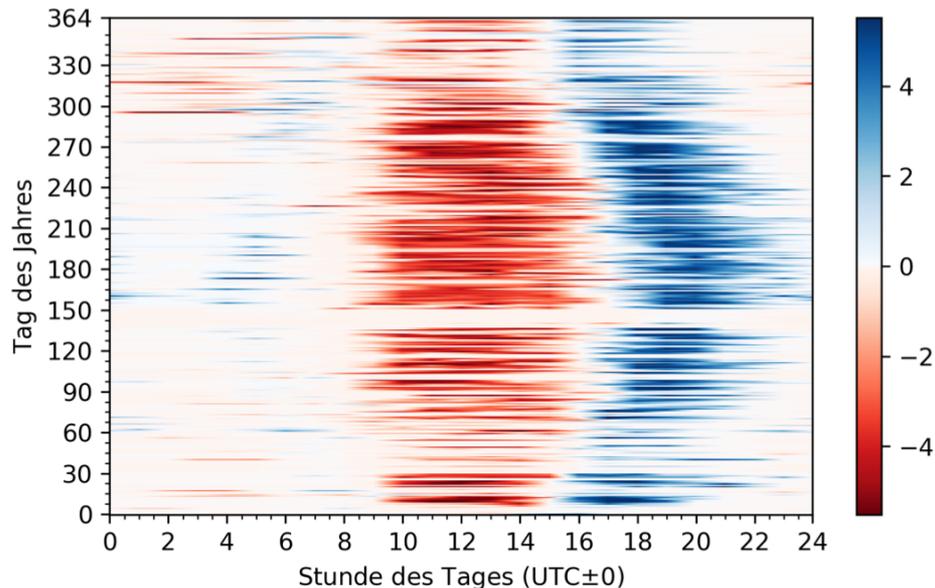


- Pumpspeicher werden kurz- bis mittelfristig für Lastausgleich eingesetzt
- Entladung der Pumpspeicher findet auch Vormittags statt

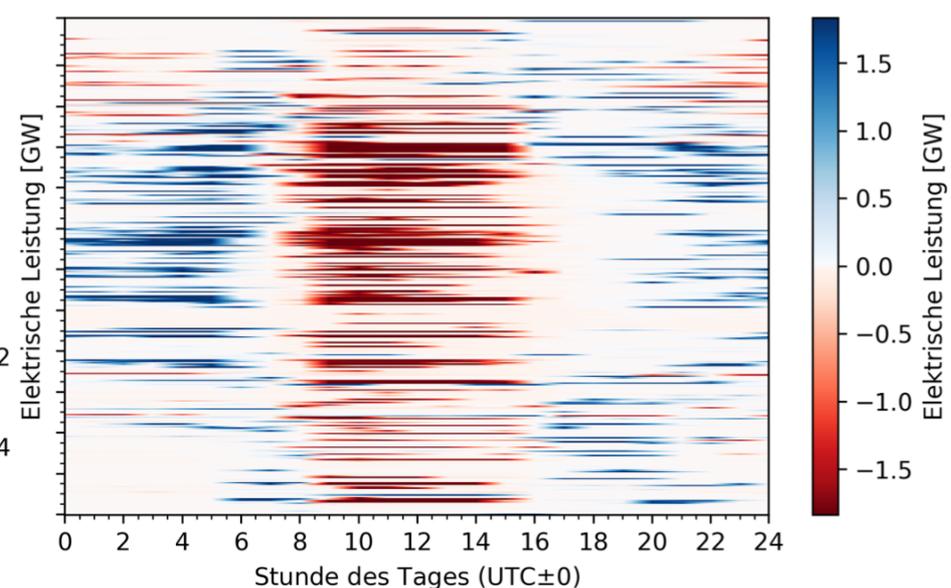


PVSpeicher: Einsatz von Stromspeicheroptionen

Einsatz von Lithium-Ionen Speichern in Baden-Württemberg



Pumpspeichereinsatz in Baden-Württemberg

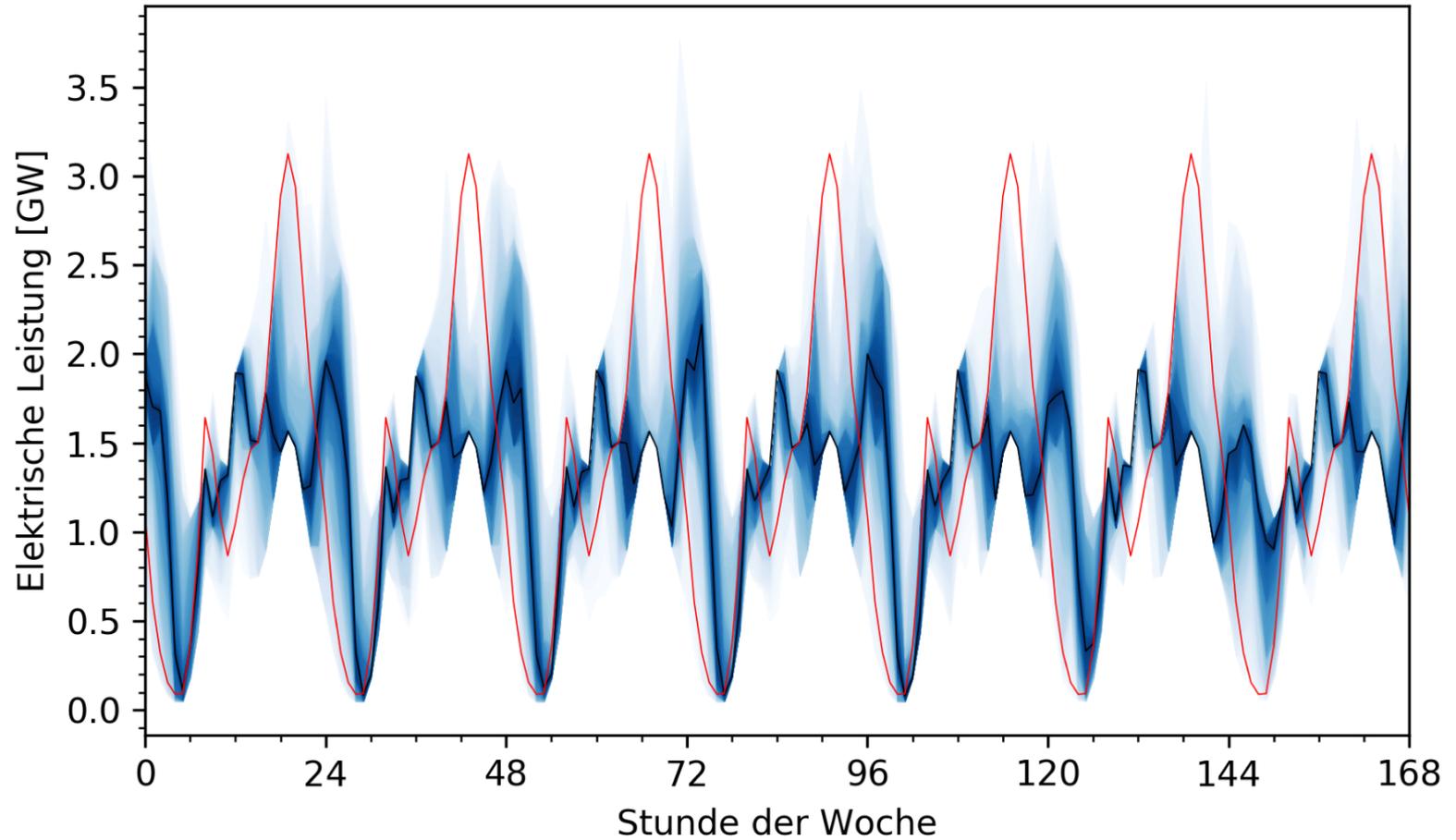


- PV Speichersysteme übernehmen kurzfristigen zeitlichen Lastausgleich
- Pumpspeicher werden nur noch für mittelfristigen Lastausgleich eingesetzt



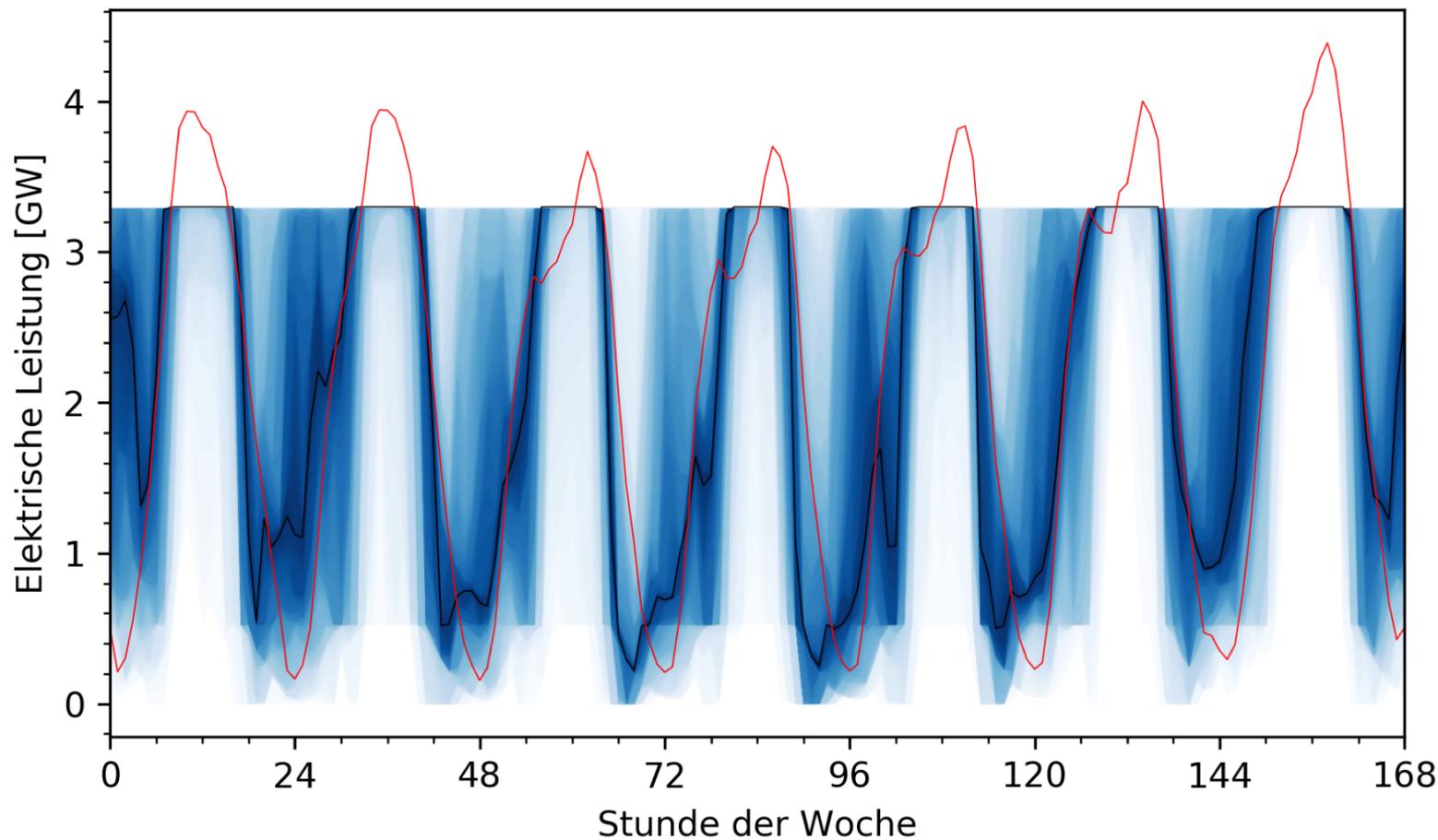
Flexibilitätsoption Elektrofahrzeuge

BEV Ladesteuerung in Baden-Württemberg

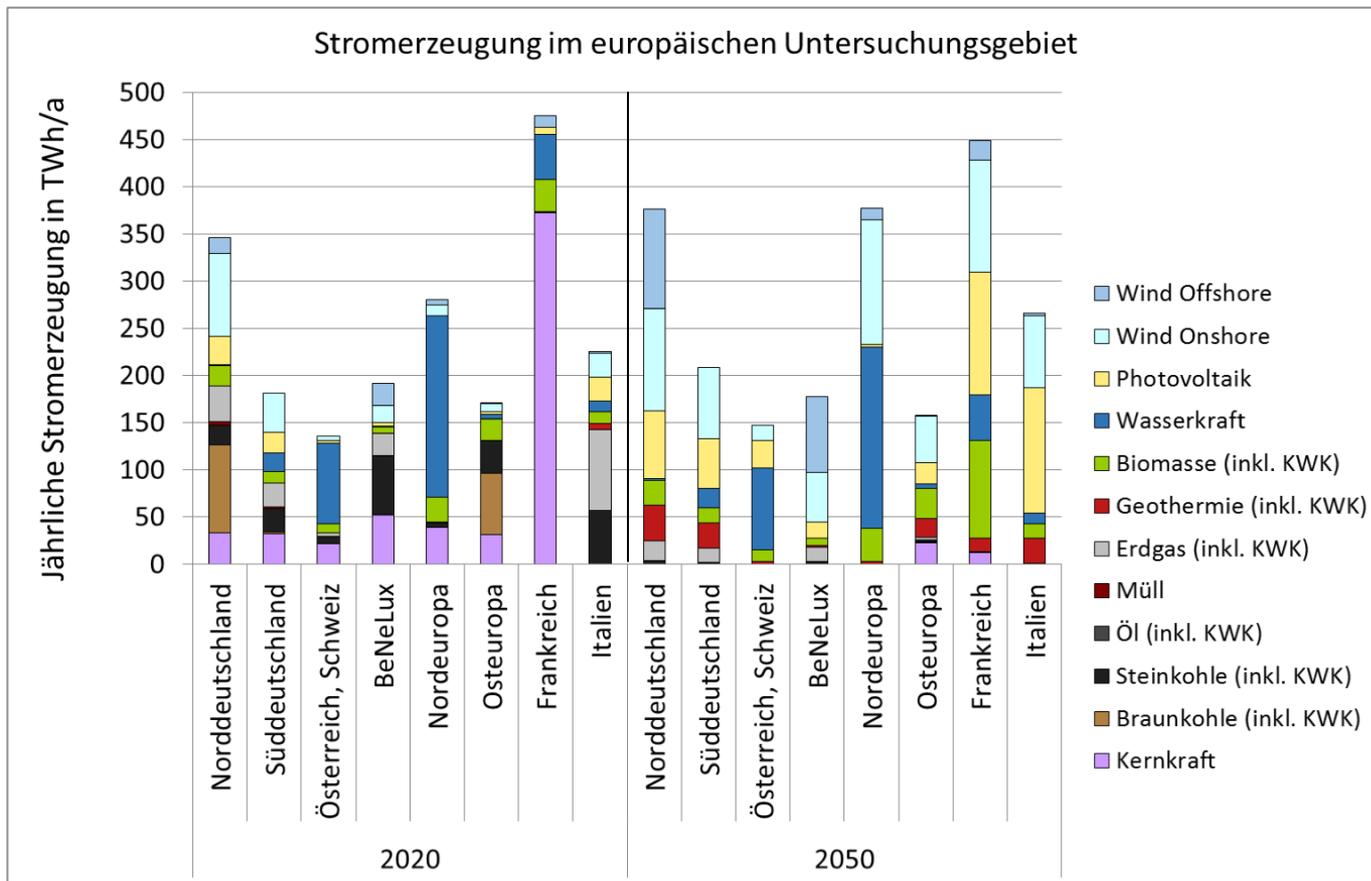


Flexibilitätsoption Wasserstoffherzeugung

Wasserelektrolyse in Baden-Württemberg



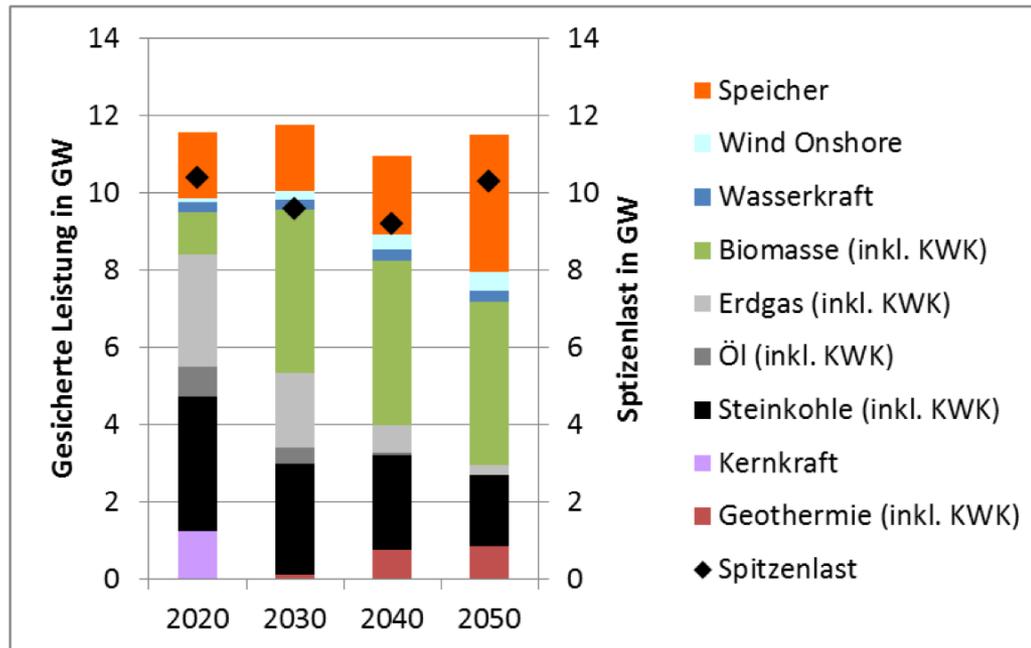
Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung



- Anstieg Erneuerbarer von 860 TWh in 2020 auf 2060 TWh in 2050



Bereitstellung von gesicherter Leistung



- Kapazitätsreserve wird zunächst von Gas- und Ölkraftwerken bereitgestellt
- Kein REMix endogener Ausbau von Reservekraftwerken

