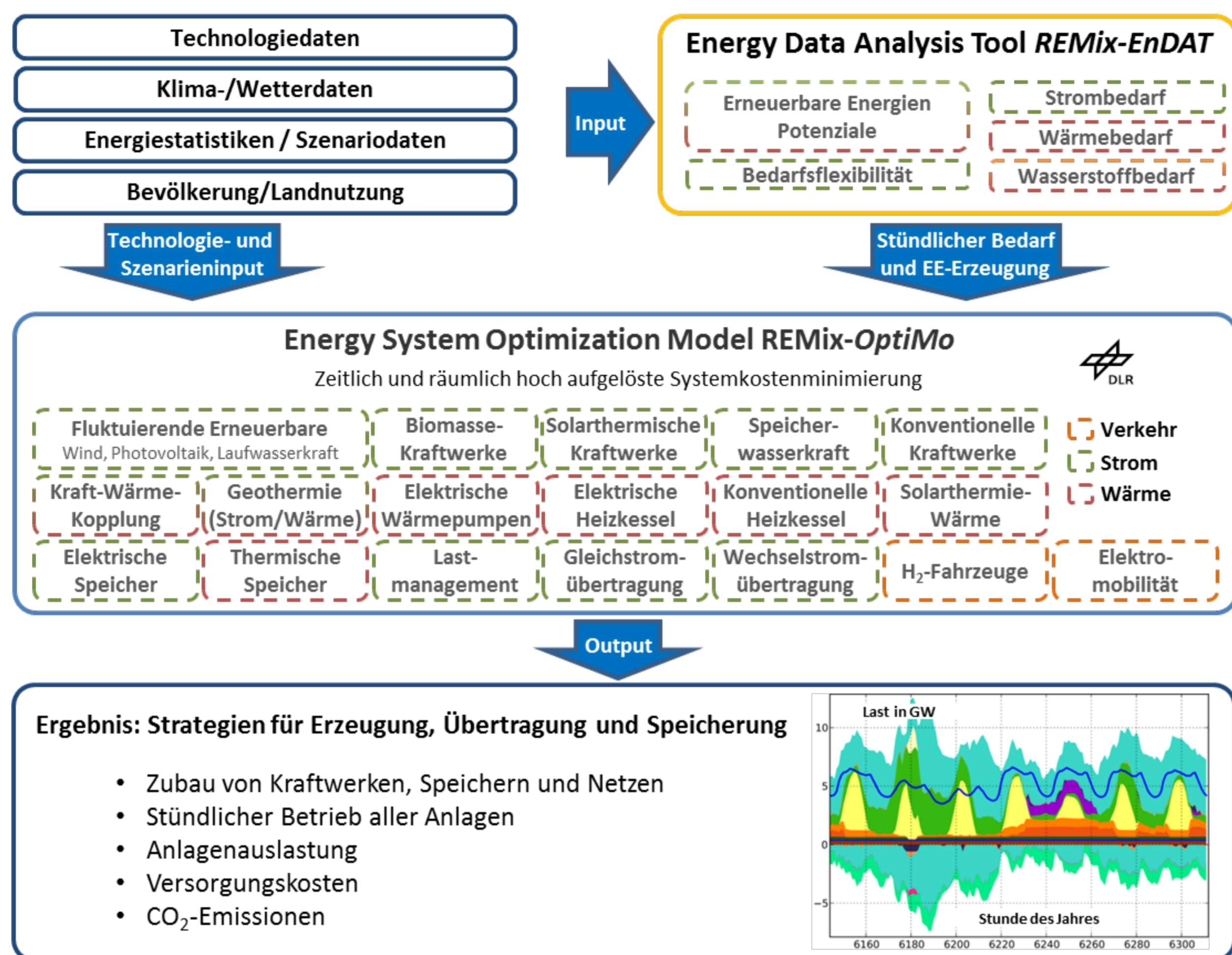


# DLR-Energiesystemmodell REMix: Flexibilität und Versorgungssicherheit

Hans Christian Gils, Frieder Borggrefe, Karl-Kiên Cao, Thomas Pregger, Yvonne Scholz

Ein DLR-Projekt  
Kontakt: hans-christian.gils@dlr.de

## Fundamentales Energiesystemoptimierungsmodell [1-5]



- Optimierung des Zubaus und stündlichen Betriebs aller Systemkomponenten
- Nutzung eines hoch aufgelösten, globalen EE-Ressourcenarchivs
- Sektorenübergreifende Betrachtung von Strom, Wärme und Mobilität

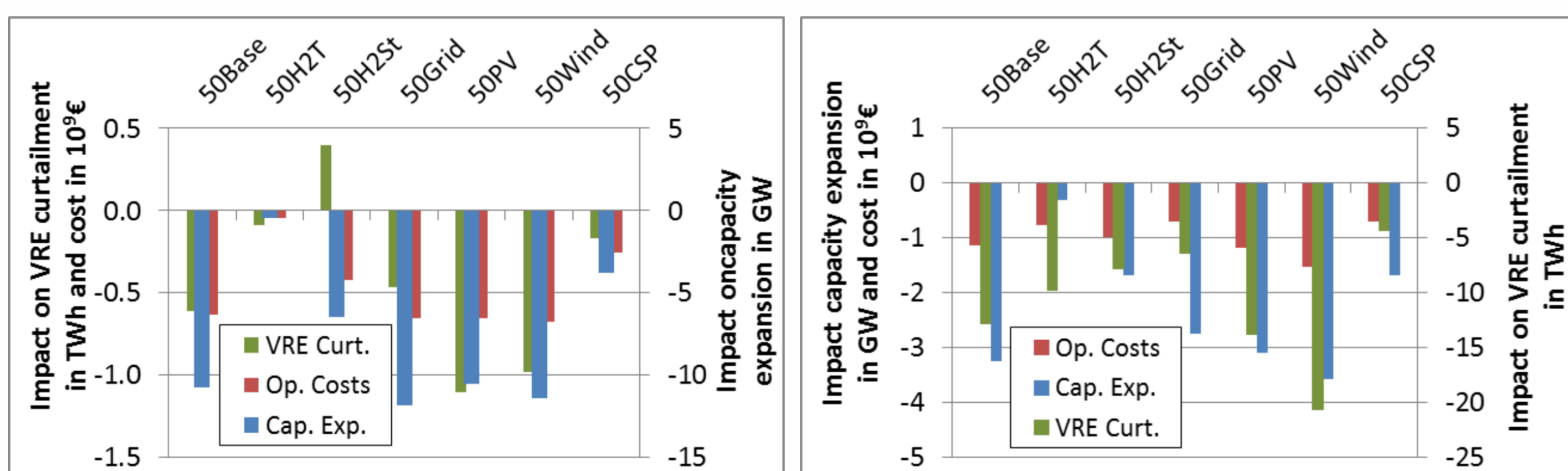
## Lastmanagement und flexible Wärmeerzeugung [5-7]

### Methodik:

- Bewertung von 7 Szenarien
- Deutschland mit 85% EE
- Lastmanagement in GHD, Industrie und Haushalten
- Wärmespeicher in Wärmenetzen und Gebäuden mit Wärmepumpe
- Direktelektrische Wärmeerzeugung in Wärmenetzen

<b>50Base</b>	<b>Basisszenario</b> , Spitzenlast 88 GW, Jahresstrombedarf 522 TWh, EE-Kapazitäten in DE: PV 76 GW, Wind onshore 55 GW, offshore 35 GW
<b>50H<sub>2</sub>T</b>	<b>Wasserstoffnutzung</b> , Spitzenlast 91 GW, Jahresstrombedarf 586 TWh, EE-Kapazitäten in DE: PV 80 GW, Wind onshore 62 GW, offshore 37 GW
<b>50H<sub>2</sub>St</b>	50Base mit modellendogenem Ausbau von <b>Wasserstoffspeichern</b>
<b>50Grid</b>	50Base mit modellendogenem Ausbau von <b>Stromübertragungsleitungen</b>
<b>50PV</b>	50Base mit erhöhter PV-Kapazität von 114 GW, Wind offshore reduziert auf 25 GW
<b>50Wind</b>	50Base mit erhöhter Wind onshore-Kapazität von 83 GW, Wind offshore reduziert auf 19 GW
<b>50CSP</b>	50Base mit <b>Import regelbaren Stroms aus CSP-Kraftwerken</b> , EE-Kapazitäten in DE: PV 67 GW, Wind onshore 51 GW, offshore 31 GW

### Ergebnisse:



Reduktion der Kosten, Abregelung und Kraftwerksbedarf durch Lastmanagement (links) und stromgeführte Wärme (rechts)

### Schlussfolgerungen:

- Lastmanagement und stromgeführte Wärme
  - sind in allen Szenarien konkurrenzfähig
  - sind eher Partner als Konkurrenten
  - können Kosten um 2 Mrd €/a und Emissionen um 5 Mt/a senken
- Industrielles Lastmanagement dient v.a. Spitzenlastkappung, stromgeführte Wärme und gesteuerte Fahrzeugladung der Reduktion von Abregelung

Gefördert durch:  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

## Versorgungssicherheit in Süddeutschland (DLR/IER) [8-9]

### Methodik:

#### Entwicklung des Kraftwerksparks

- Bestehende und im Bau befindlicher Anlagen
- Abschätzung einer Kraftwerkssterbelinie
- Keine Berücksichtigung weiteren Zubaus
- Ausbau der EE und Netze nach Planung

#### Statische Leistungsbilanz

- Betrachtung für die Jahresspitzenlaststunde

#### Simulierte Kraftwerksverfügbarkeiten

- 300 Variationen der stündlichen Verfügbarkeit konventioneller Kraftwerke im Jahresverlauf

#### Definition von Szenarien

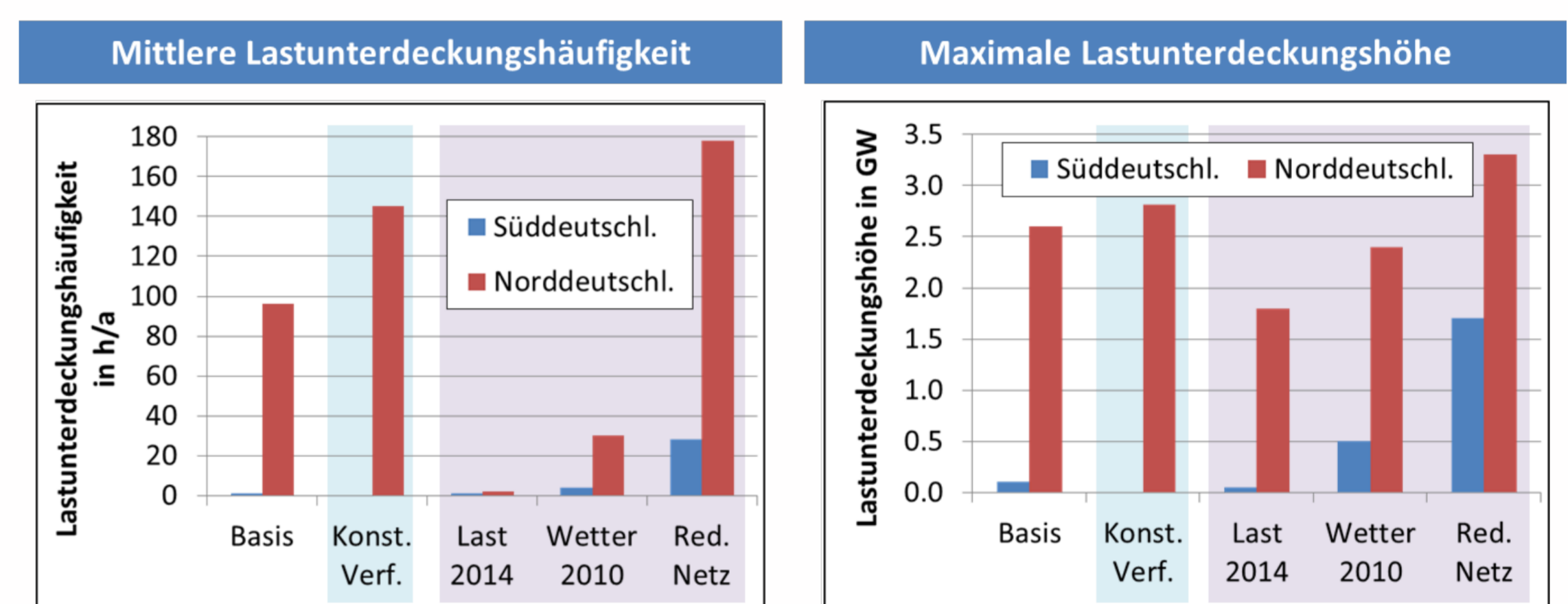
- Betrachtung verschiedener Last- und EE-Erzeugungsprofile; reduzierter Netzausbau

#### Versorgungssicherheit im System

- Simulation des stündlichen Systembetriebs mit dem Energiesystemmodell REMix
- Untersuchung des Beitrags von Netzen und fluktuierenden EE zur Versorgungssicherheit
- Bewertung der Versorgungssicherheit

### Ergebnisse:

Analyse verschiedener Versorgungssicherheitsindikatoren für das Jahr 2025



### Schlussfolgerungen:

- Resultierende Deckungslücken in 2025 vor allem in Norddeutschland
- Maximalwerte von 180 Std./Jahr bzw. 3,3 GW bei verspätetem Netzausbau
- Ergebnisse stark abhängig von der angenommenen Kraftwerkssterbelinie
- Lücken resultieren eher aus Netzengpässen als Mangel an Kraftwerken
- Aktuell geplante Reservekapazitäten reichen aus, um die Lücken zu schließen

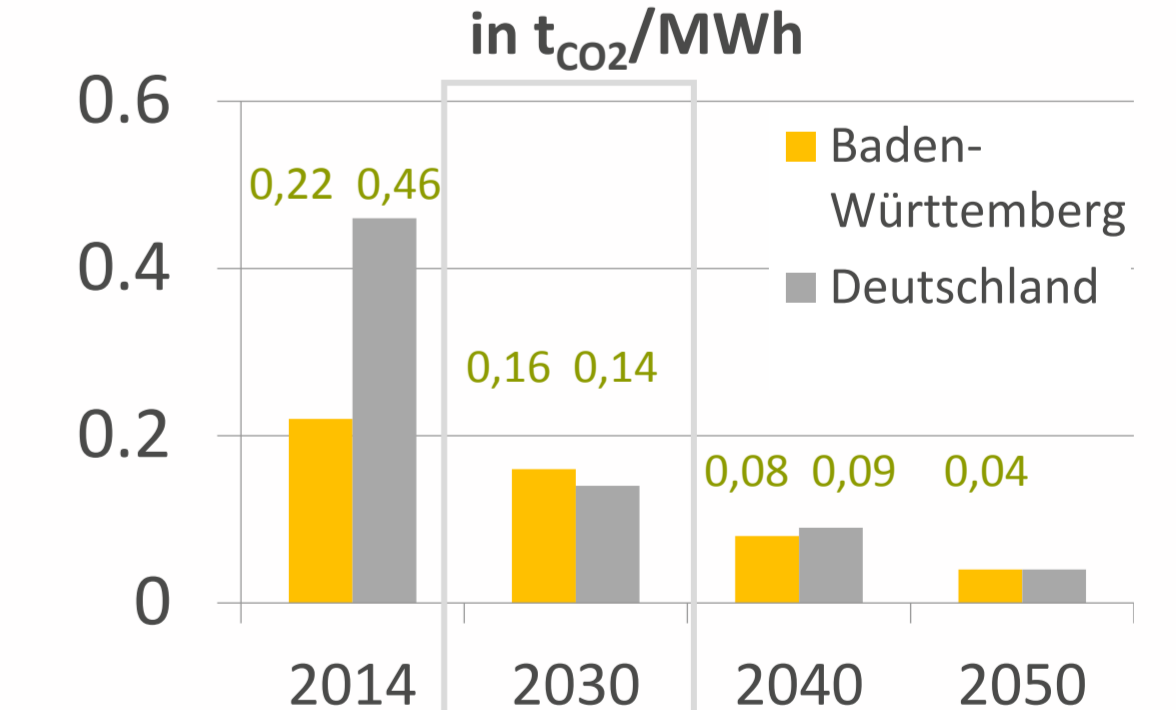
## Kommerzialisierung der Wasserstofftechnologie (DLR/LBST) [10]

Die Studie untersucht die Implementierung von Wasserstoff in verschiedenen Märkten (Verkehr, Industrie, Strom- & Erdgasnetz). Im Fokus steht die erneuerbare Herstellung von Wasserstoff und die benötigten Infrastrukturen.

### Methodik:

- Kopplung Energiesystemmodell REMix und dem DLR-Verkehrsmodell Vektor21
- Szenarienrechnungen REMix zur Entwicklung des Energiesektors in BW und Deutschland
- Bestimmung der CO<sub>2</sub> Einsparungen für 2030 im Verkehrssektor und Industrie.
- Berechnung: Spezifische Emissionen WTW (Whell to Wheel) und Gesamtemissionen

### Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wasserstoffmobilität 2030 bis 2050 in t<sub>CO2</sub>/MWh



### Emissionsminderung in BW durch H<sub>2</sub> Nutzung im Verkehr in 2030

Emissionen in 1000 tCO <sub>2</sub>	PKW	LKW	Busse	Züge	Gesamt
<b>Verkehrssektor:</b> Emissionseinsparungen durch Ersatz von Benzin- und Diesel-Fahrzeugen inkl. Vorketten (WTW)	-239	-41	-50	-25	-355
<b>Stromsektor:</b> Mehremissionen der Stromerzeugung für die Elektrolyseure durch den H <sub>2</sub> Bedarf im Verkehr	100	27	24	13	163
<b>Emissionsminderungen gesamt</b>	<b>-140</b>	<b>-14</b>	<b>-25</b>	<b>-12</b>	<b>-192</b>

### Ergebnisse:

- Spezifische Emissionen in BW stark abhängig von Netzausbau und Auslastung der Elektrolyseure
- CO<sub>2</sub>-Einsparung aus dem H<sub>2</sub>-Einsatz im Verkehr bis 2030 ca. 200.000 t/Jahr
- Nach 2030 verstärkte Minderungen durch sinkende spezifische Emissionen im Stromsektor

### Schlussfolgerungen:

- Verkehrssektor: Ermöglicht früheste Kommerzialisierung von Wasserstoff (Straßen- und Schienenverkehr)
- Andere Sektoren lassen wirtschaftliche Etablierung von H<sub>2</sub>-Energie bis 2030 nur in Nischen zu (Erdgasnetz, Raffinerien)

[1] H. C. Gils, Y. Scholz, T. Pregger, D. Luca de Tena, D. Heide (2017) "Integrated capacity expansion and operation modelling of variable renewable energy based power supply in Europe", Energy, 123: 173-188.  
 [2] Y. Scholz (2012), "Renewable energy based electricity supply at low costs: development of the REMix model and application for Europe", Universität Stuttgart.  
 [3] D. Stetter (2014), "Enhancement of the REMix energy system model: Global renewable energy potentials, optimized power plant siting and scenario validation", Univ. Stuttgart.  
 [4] D. Luca de Tena (2014), "Large scale renewable power integration with electric vehicles", Universität Stuttgart.  
 [5] H. C. Gils (2015), "Balancing of intermittent renewable power generation by demand response and thermal energy storage", Universität Stuttgart.  
 [6] H. C. Gils (2016), "Economic potential for future demand response in Germany - modelling approach and case study", Applied Energy, 162: 401-415.  
 [7] H. C. Gils (2014), "Assessment of the theoretical demand response potential in Europe", Energy, 67: 1-18.  
 [8] F. Borggrefe, T. Pregger, H. C. Gils, K.-K. Cao, M. Deissenroth, S. Bothor, M. Blesl, U. Fahl, M. Steurer, M. Wiesmeth (2014) "Kapazitätsentwicklung in Süddeutschland bis 2025 unter Berücksichtigung der Situation in Deutschland und den europäischen Nachbarstaaten", Studien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Universität Stuttgart im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.  
 [9] H. C. Gils, S. Bothor, K.-K. Cao, F. Borggrefe (2015) "Szenarien der Versorgungssicherheit in Deutschland und Süddeutschland", Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Universität Stuttgart im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.  
 [10] U. Albrecht, U. Bänger, M. Michalski, W. Weindorf, J. Zerhusen, F. Borggrefe, H.C. Gils, T. Pregger, F. Kleiner, J. Pagenkopf, S. Schmid (2016), "Kommerzialisierung der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg - Rahmenbedingungen und Perspektiven", Studie der Ludwig-Bölkow -Systemtechnik GmbH und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt im Auftrag der e-mobil BW GmbH.