

Erneuerbare Energien zur Dekarbonisierung des Verkehrs

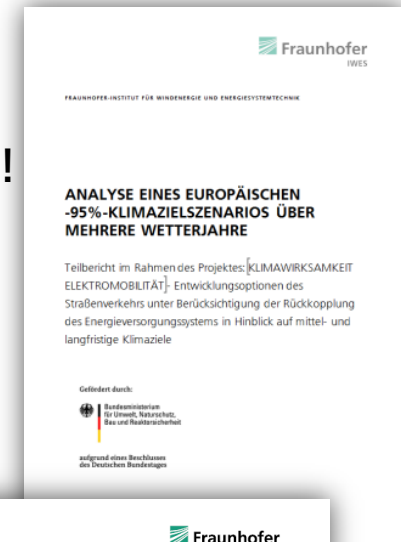
-

Bedarf und Kosten in der
Gesamtbetrachtung

Inhalt

- Herausforderung Klimaziele
- Dekarbonisierung des Straßenverkehrs → Elektromobilität!
 - Welchen EE-Ausbaubedarf haben wir?
 - Was ist ein kostenminimales Gesamtsystem?
 - Welche infrastrukturelle Herausforderungen folgen daraus?
- PtL-Importe
 - Globale EE-Vorzugsregionen
 - Mittel- und langfristige PtL/H2-Kosten
 - Vergleich zu PtL in Deutschland
- Langfristiges PtL-Potenzial und Nachfrage → Schlussfolgerungen

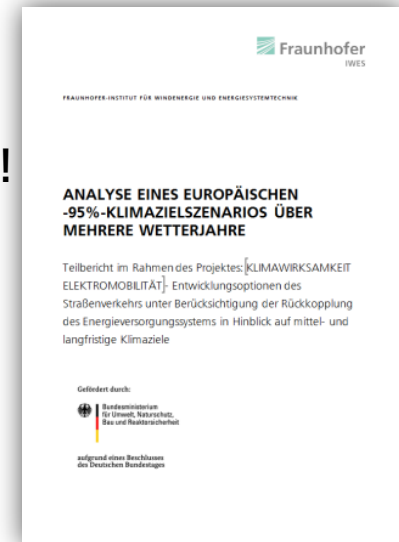
<http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de>



Inhalt

- Herausforderung Klimaziele
- Dekarbonisierung des Straßenverkehrs → Elektromobilität!
 - Welchen EE-Ausbaubedarf haben wir?
 - Was ist ein kostenminimales Gesamtsystem?
 - Welche infrastrukturelle Herausforderungen folgen daraus?
- PtL-Importe
 - Globale EE-Vorzugsregionen
 - Mittel- und langfristige PtL/H2-Kosten
 - Vergleich zu PtL in Deutschland
- Langfristiges PtL-Potenzial und Nachfrage
→ Schlussfolgerungen

<http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de>



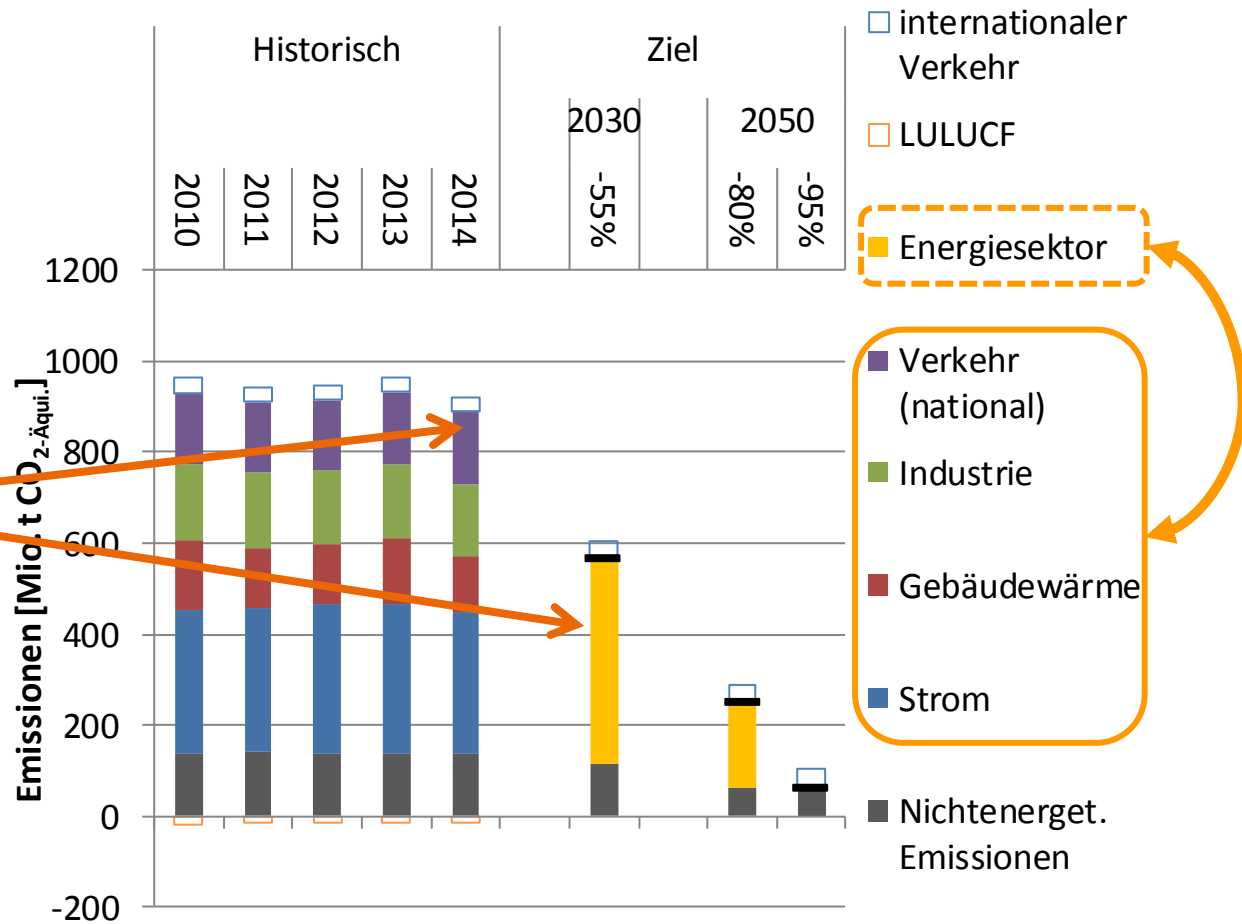
Unsere Klimaziele sind sehr ambitioniert!

■ Klimaziele 2050

- -80% bis -95%
- -95% gemäß COP21

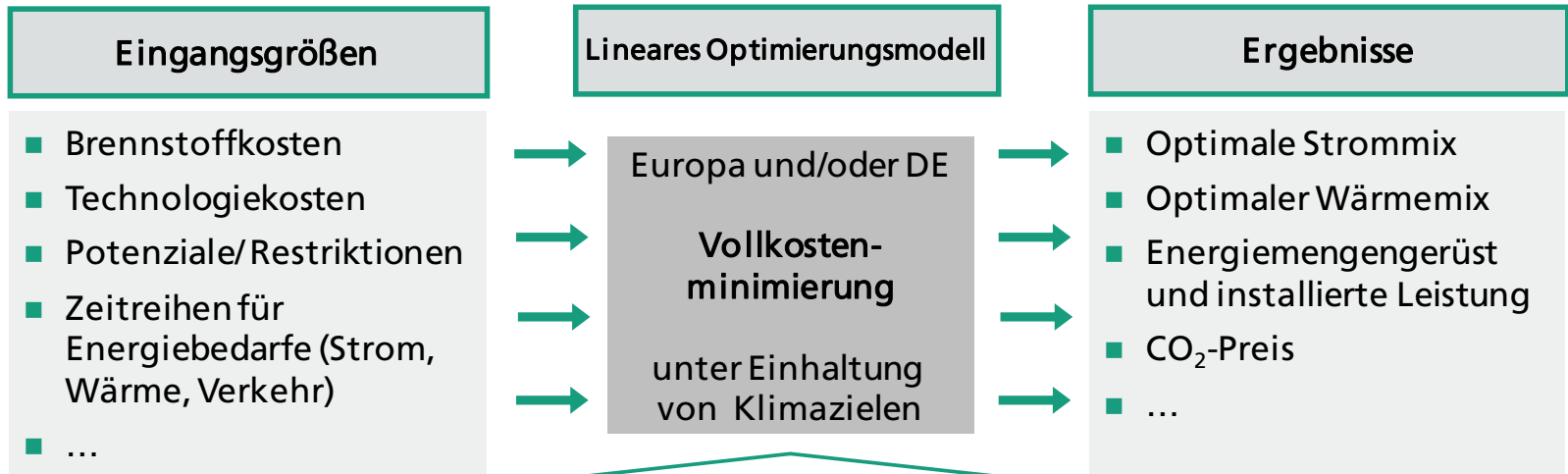
■ Klimaziele 2030

- -55% in Summe
- -42 bis -40% Verkehr



IWES-Modell SCOPE für kostenoptimale Energieversorgung

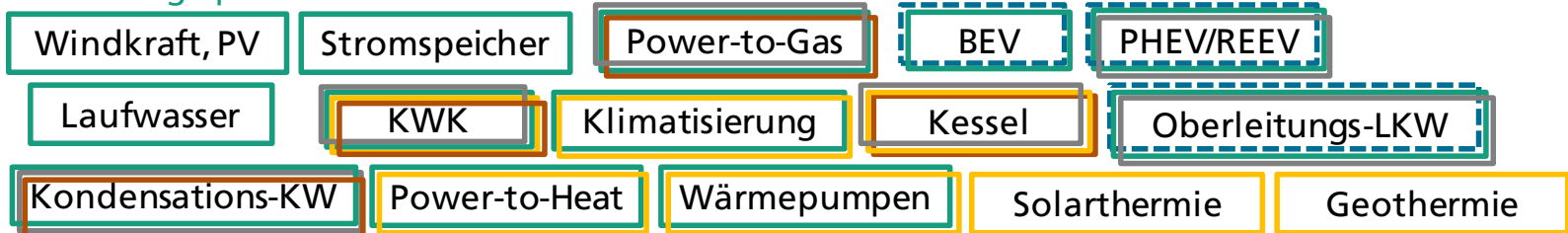
→ Erfasst die Rückkopplungen in komplexen Systemen



-Märkte:

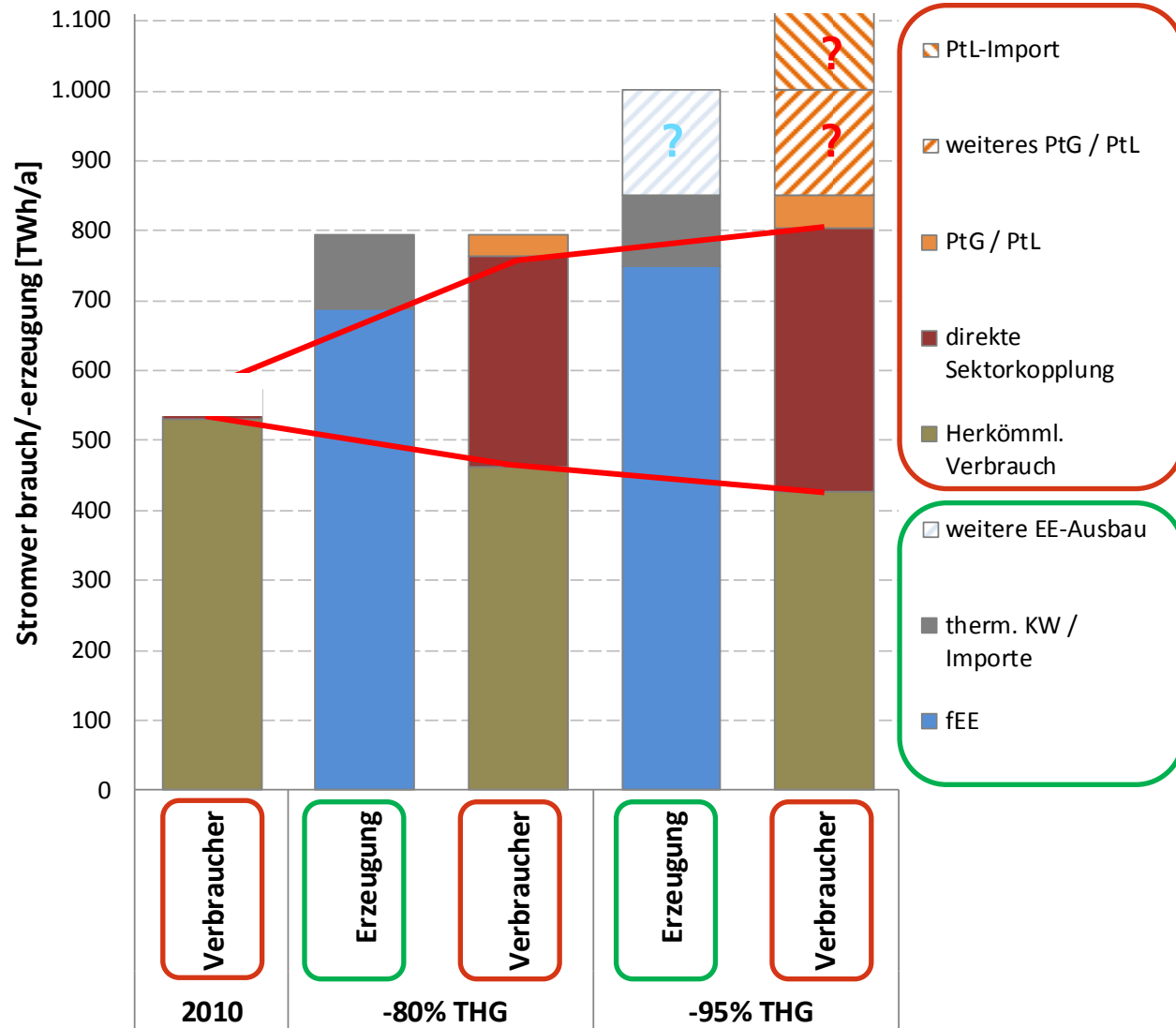


Technologieportfolio:



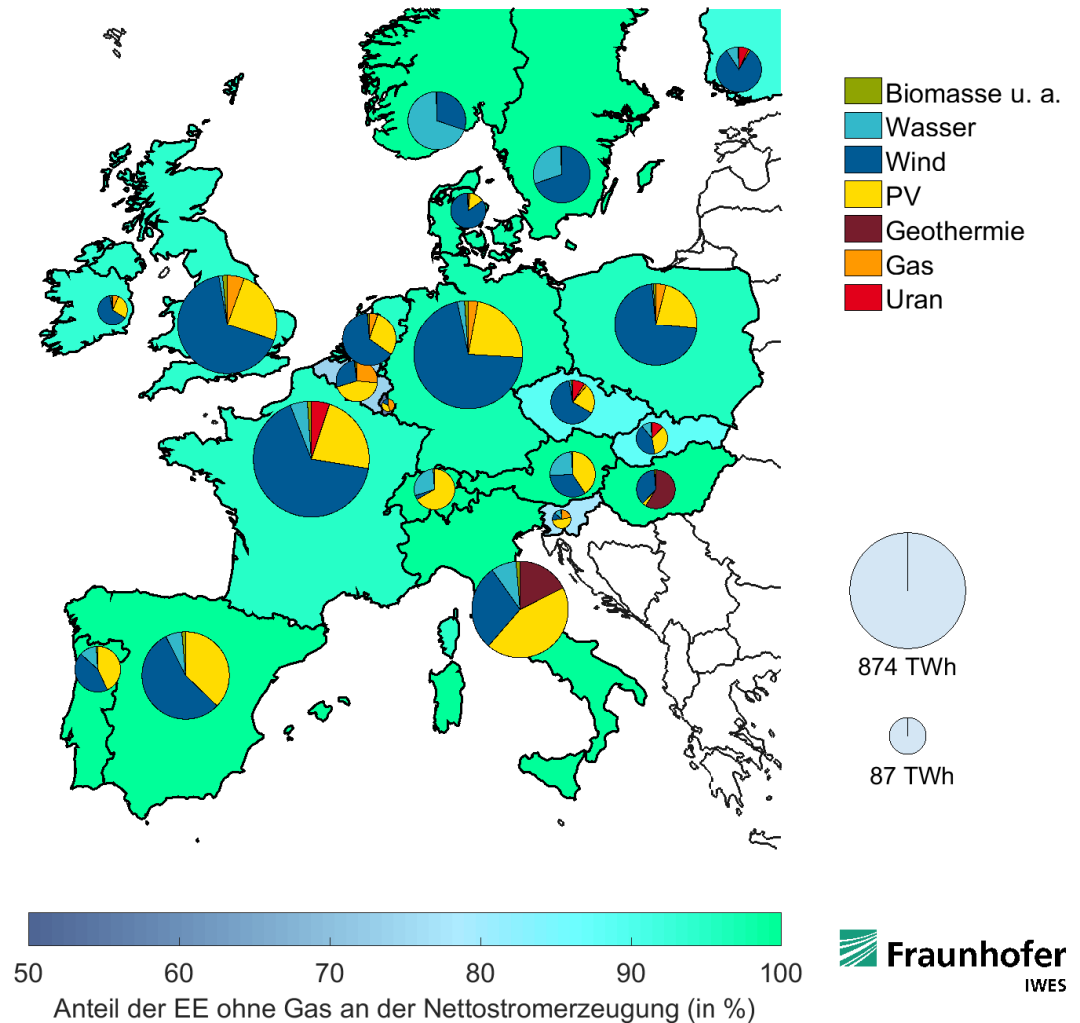
Unterschied -80% oder -95% THG in 2050?

- Sehr starker Anstieg von PtG/PtL
- Maximierung der Effizienz
- Maximierung der direkte Stromnutzung
- Frage: Nationale Erzeugung von PtG/PtL oder Importe?

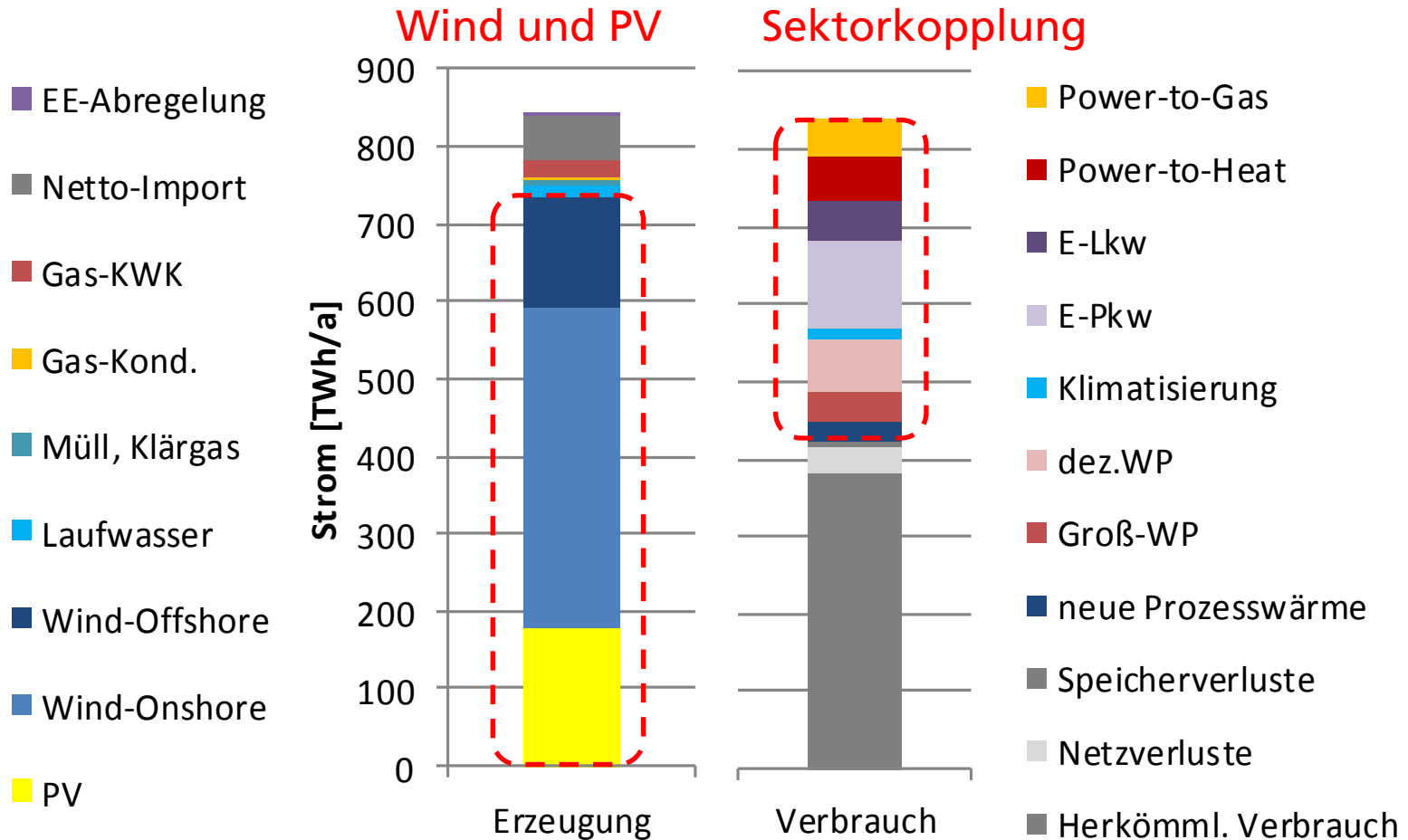


Prämissen für ein langfristiges -95%-Szenario

- -95% THG heißt EE-Vollversorgung des Energiesystems
- Europäisch vergleichbare Entwicklung
- Aber: flüssige syntetische erneuerbare Kraftstoffe (PtL) außerhalb Europas



Deutschland in 2050 – Stromverbrauch und Erzeugung



→ Dekarbonisierung: Elektrifizierung anderer Sektoren

Verkehr und Wärme

Entwicklung Pkw - Heute bis 2050

■ Effizienzsteigerung durch Elektrifizierung

■ E-Mobilität

■ BEV / PHEV

■ Oberleitungs-Lkw

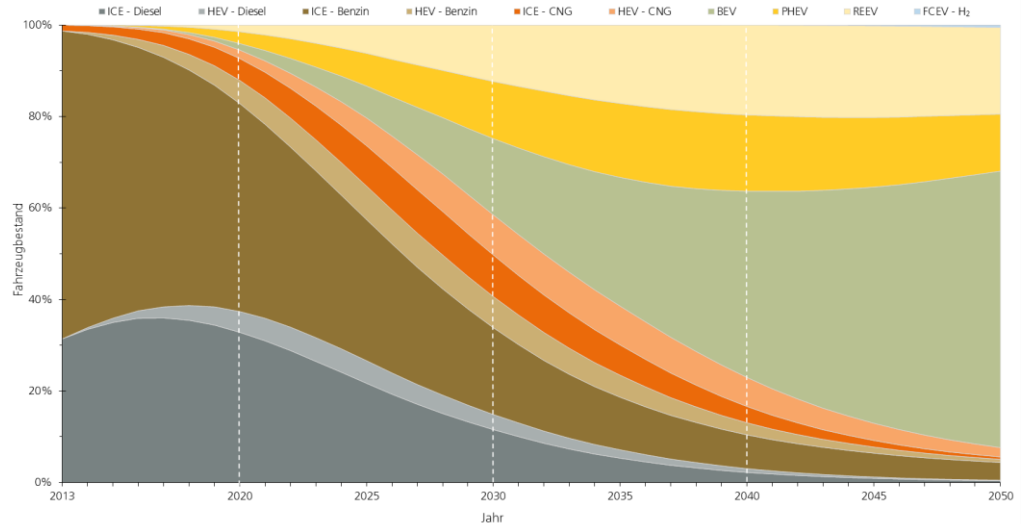
■ ...

■ E-Wärmepumpen

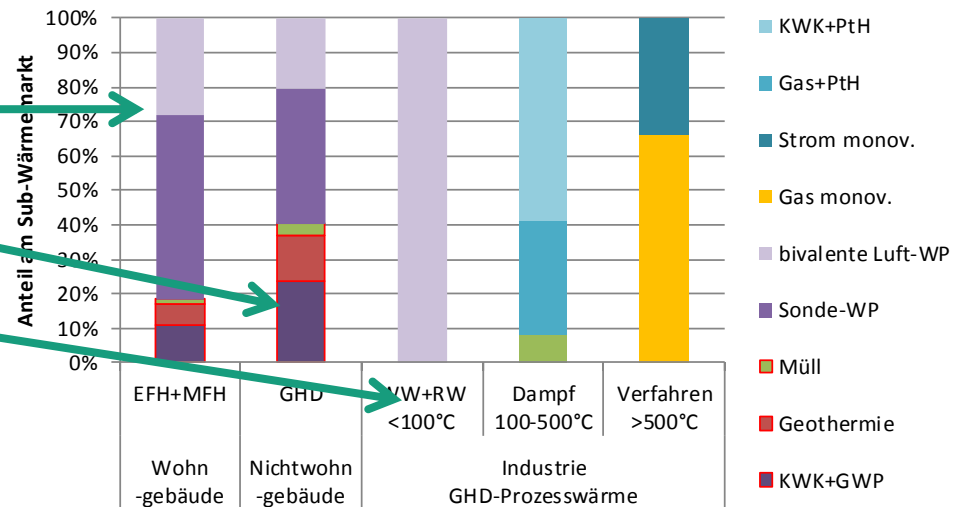
■ Dezentral

■ Wärmenetze

■ Industrie



Wärmemarkt in 2050



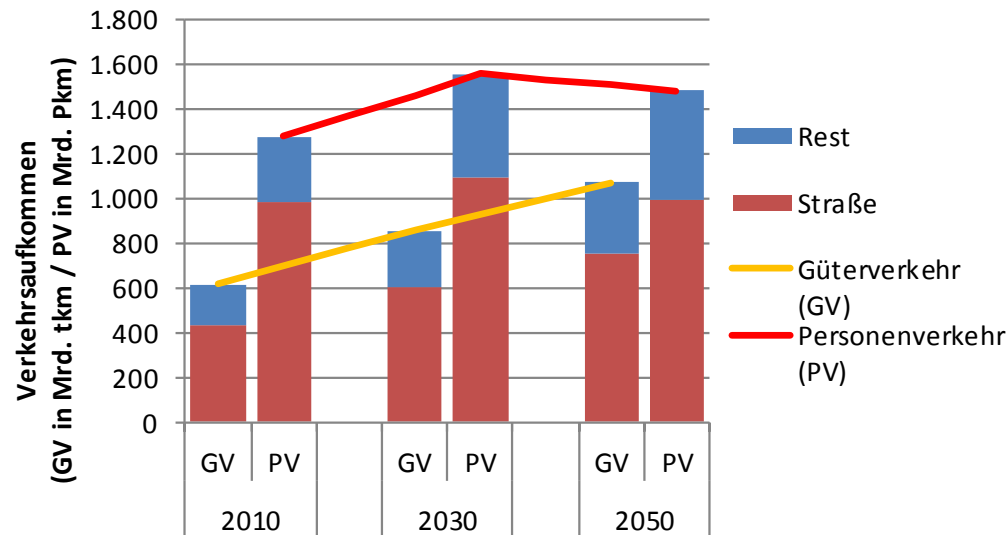
Entwicklung Verkehr

■ Weiterer Anstieg des Verkehrsaufkommen

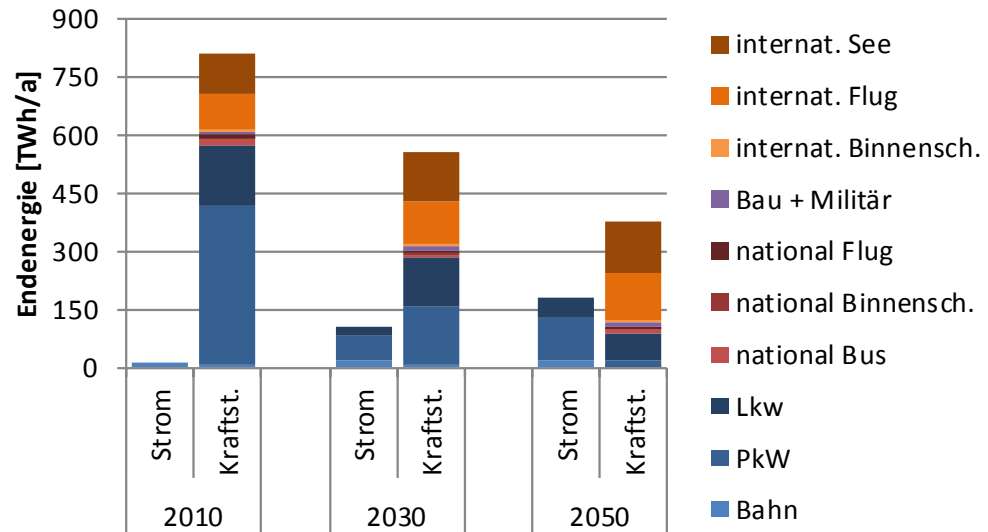
■ Trotz technisch maximaler Elektrifizierung des Straßenverkehrs verbleibt ein großer Kraftstoffverbrauch

➔ Dekarbonisierung des Verkehrs ist sehr ambitioniert

Verkehrsaufkommen - Heute bis 2050

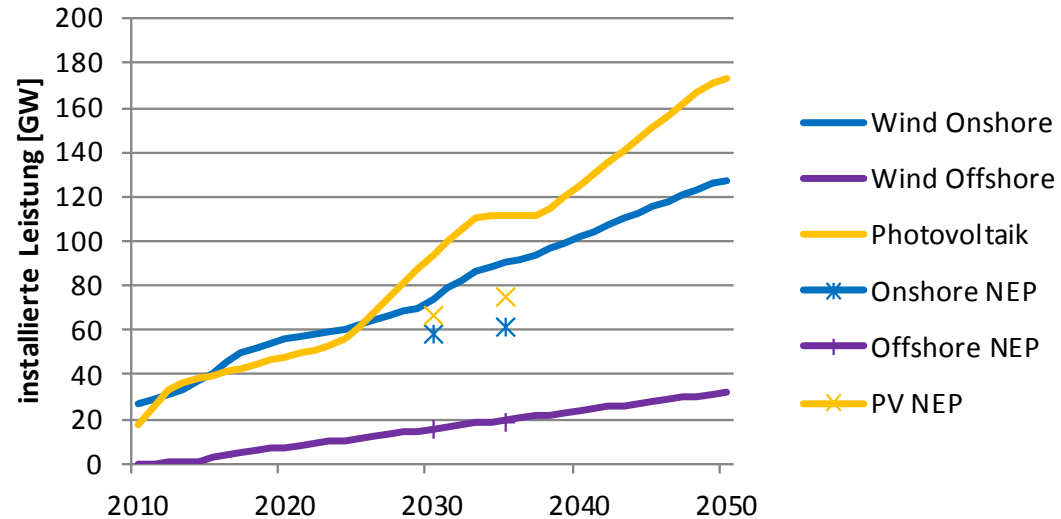


Strom und Kraftstoffe – Heute bis 2050

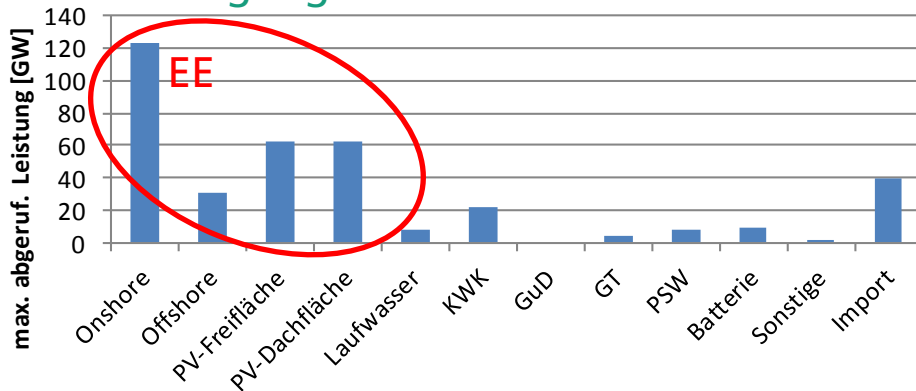


Wie kann eine von wetterabhängiger EE-Einspeisung dominierte Welt funktionieren?

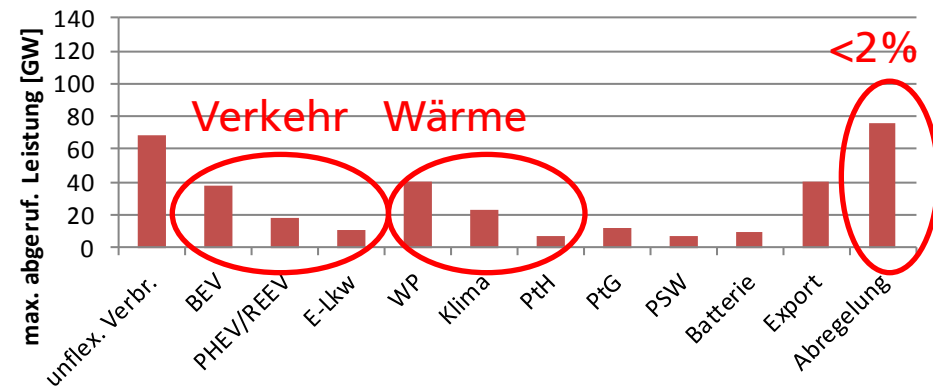
- Installierte EE-Leistungen von heute bis 2050
- Der fluktuierenden Erzeugung steht ein flexibler Stromverbrauch gegenüber
- Maximal abgerufene Leistungen:



Erzeugung 2050



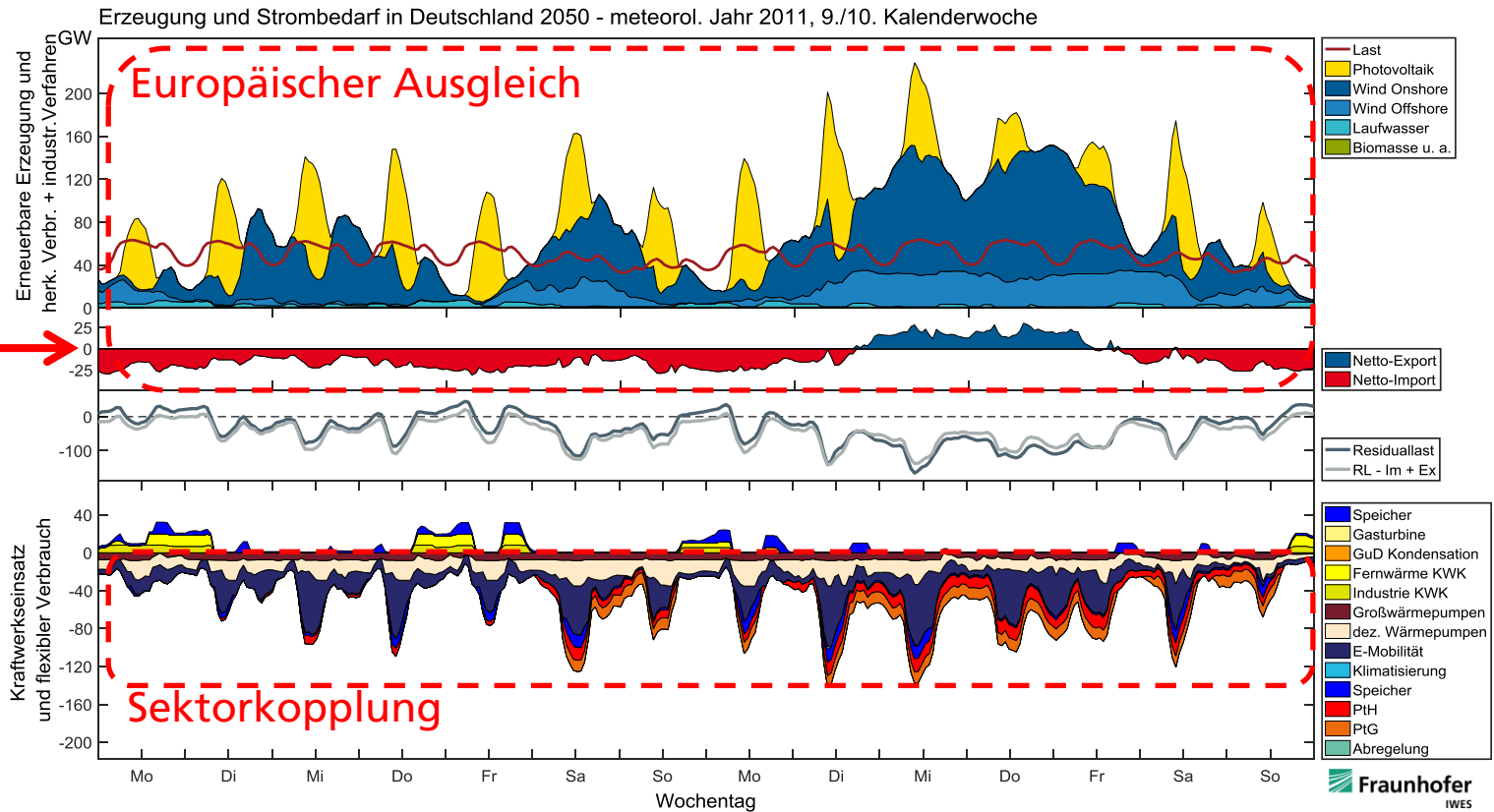
Verbrauch 2050



2 Beispielwochen – Erzeugung und Verbrauch in 2050

- Integration von EE-Strom durch Sektorkopplung
→ Flexibilität und direkte elektrische Stromnutzung

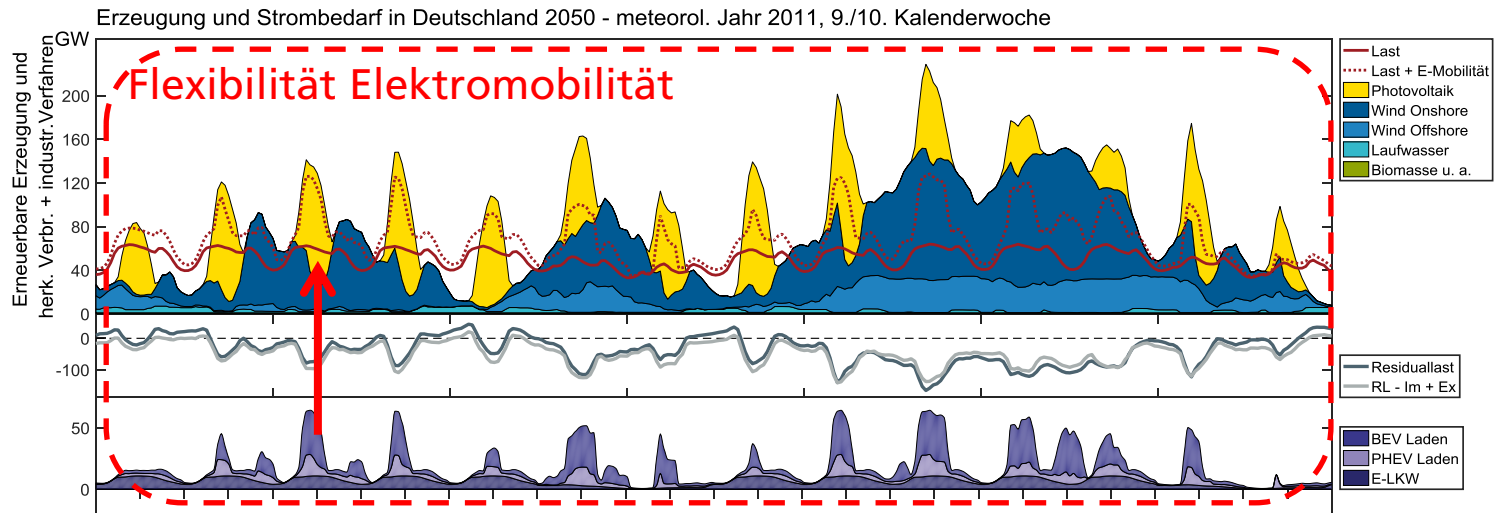
Anfang März 2050



Hohe Bedeutung von neuen flexiblen Verbrauchern

■ E-Mobilität integriert PV

Anfang März 2050



Szenariogenerator über 7 historische Wetterjahre:

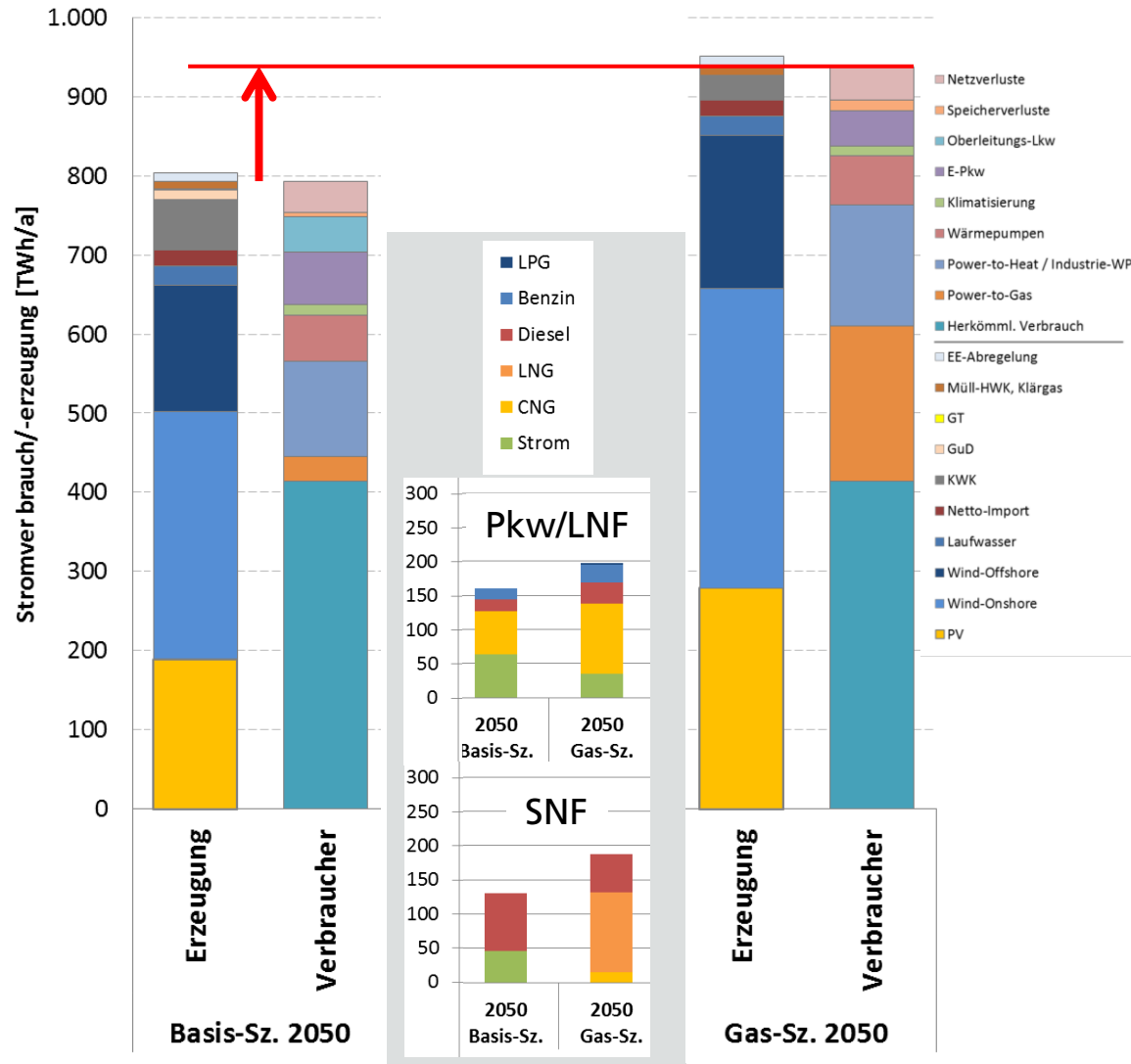
www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/

Defizite beim Grad der Elektrifizierung Verkehr?

- Kein Oberleitungs-Lkw
- weniger E-Kfz
- mehr Gas

→ höherer Stromverbrauch von 144 TWh um Klimaziel einzuhalten

Status Quo:
Stromerzeugung von 120 TWh
aus Wind und Solar!

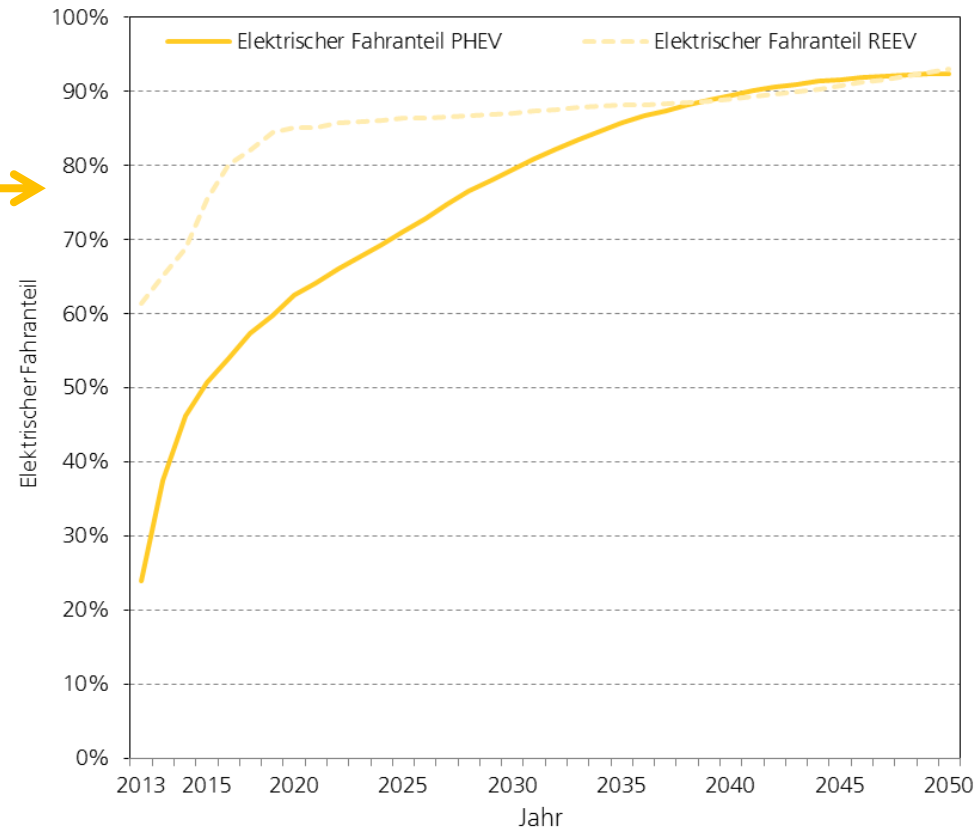


Infrastrukturanforderung

- Oberleitungsinfrastruktur für Lkw
- Öffentliche Ladeinfrastruktur, Arbeitgeber, Schnellladung

- Erhöhung Marktanteil BEV (vollelektrische Fahrzeuge)
- Bei PHEV/REEV (hybride Fahrz.) Erhöhung elektr. Fahranteil →
- Flexibilität
→ effiziente Stromnutzung wenn Wind- und Solarstrom vorhanden ist

- Rahmenbedingungen heute schaffen für äußerst ambitioniertes 2030er Klimaziel für Verkehr



Schlussfolgerungen

- Grundsätzliche Erkenntnis
 - Sehr hohe CO₂-Vermeidungskosten bei langfristigen Zielen
 - Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist das kostengünstigste Szenario auch das effizienteste (als Kombination von Verbrauchsreduktion und direktelektrischen Verbrauchern)!
 - Sektorkopplung dient der Dekarbonisierung. Die Flexibilität der neuen Verbraucher ist dabei eine notwendige Voraussetzung !
- Bei geringerer Effizienz steigt der Stromverbrauch schnell an und der Mehrverbrauch übersteigt sehr schnell den gesamten bisherigen Wind-/PV-Ausbau von 120 TWh
 - Akzeptanz und Kosten
- Klimaziel des Verkehrs in 2030 nur mit hohen Anteilen vollelektrischer Pkw (BEV) und Einführung des Oberleitungs-Lkw erreichbar
- Vergleich 80% - 95% in 2050
 - Noch weitere Steigerung der direktelektrischen Verbraucher
 - Ergänzende Nutzung von PtL/PtG zur vollständigen Dekarbonisierung

Inhalt

- Herausforderung Klimaziele
- Dekarbonisierung des Straßenverkehrs → Elektromobilität!
 - Welchen EE-Ausbaubedarf haben wir?
 - Was ist ein kostenminimales Gesamtsystem?
 - Welche infrastrukturelle Herausforderungen folgen daraus?
- PtL-Importe
 - Globale EE-Vorzugsregionen
 - Mittel- und langfristige PtL/H2-Kosten
 - Vergleich zu PtL in Deutschland
- Langfristiges PtL-Potenzial und Nachfrage
→ Schlussfolgerungen

<http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de>

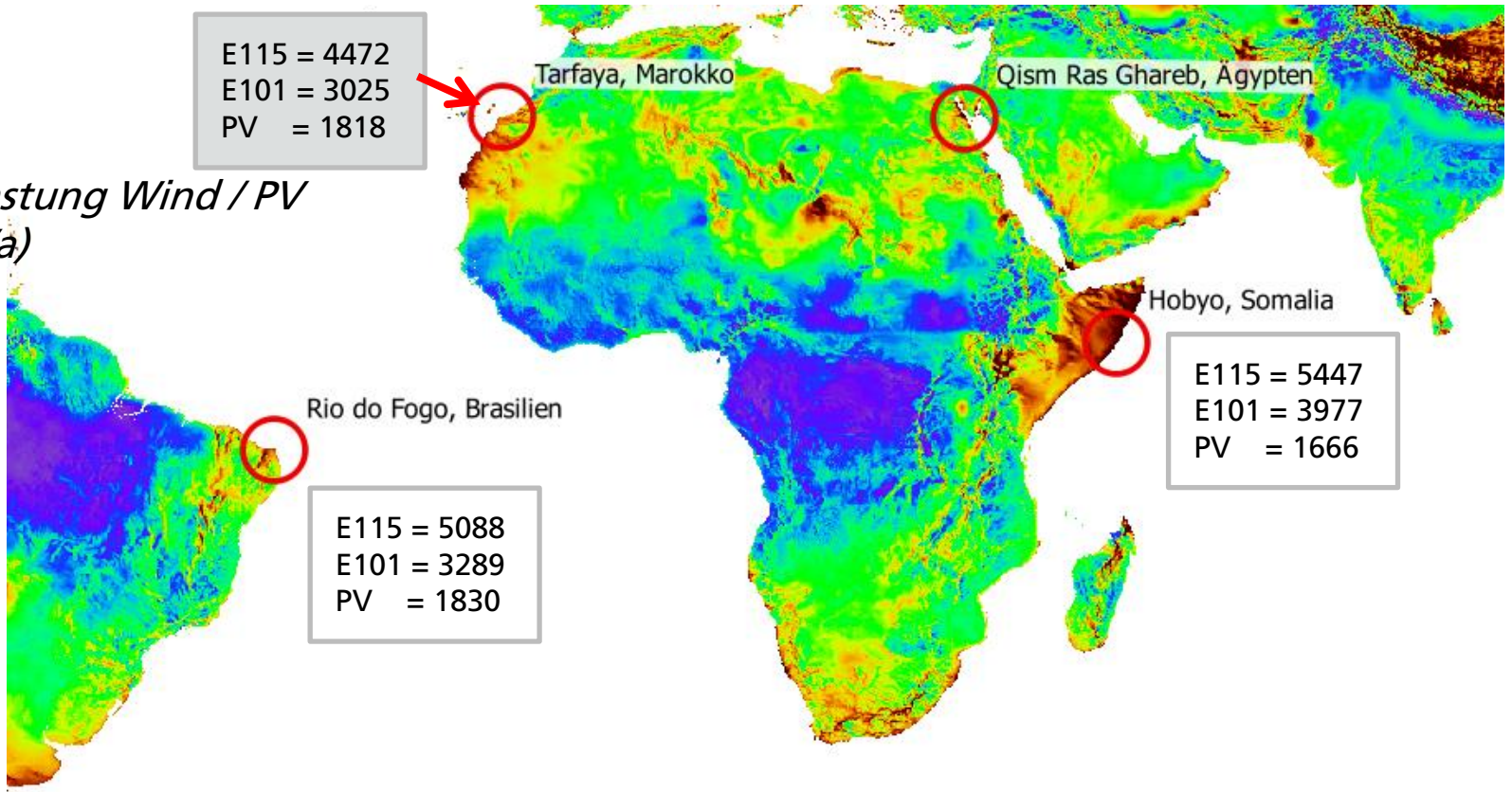


Ausgewählte Standorte mit Wind und PV

- Windatlanten um Wirtschaftlichkeit am Standort zu bewerten
- Wetterdaten um Einspeiseprofil zu bewerten

E115 = 4307
E101 = 2621
PV = 1799

*Auslastung Wind / PV
(in h/a)*



Copyright (c) 2015 Vaisala

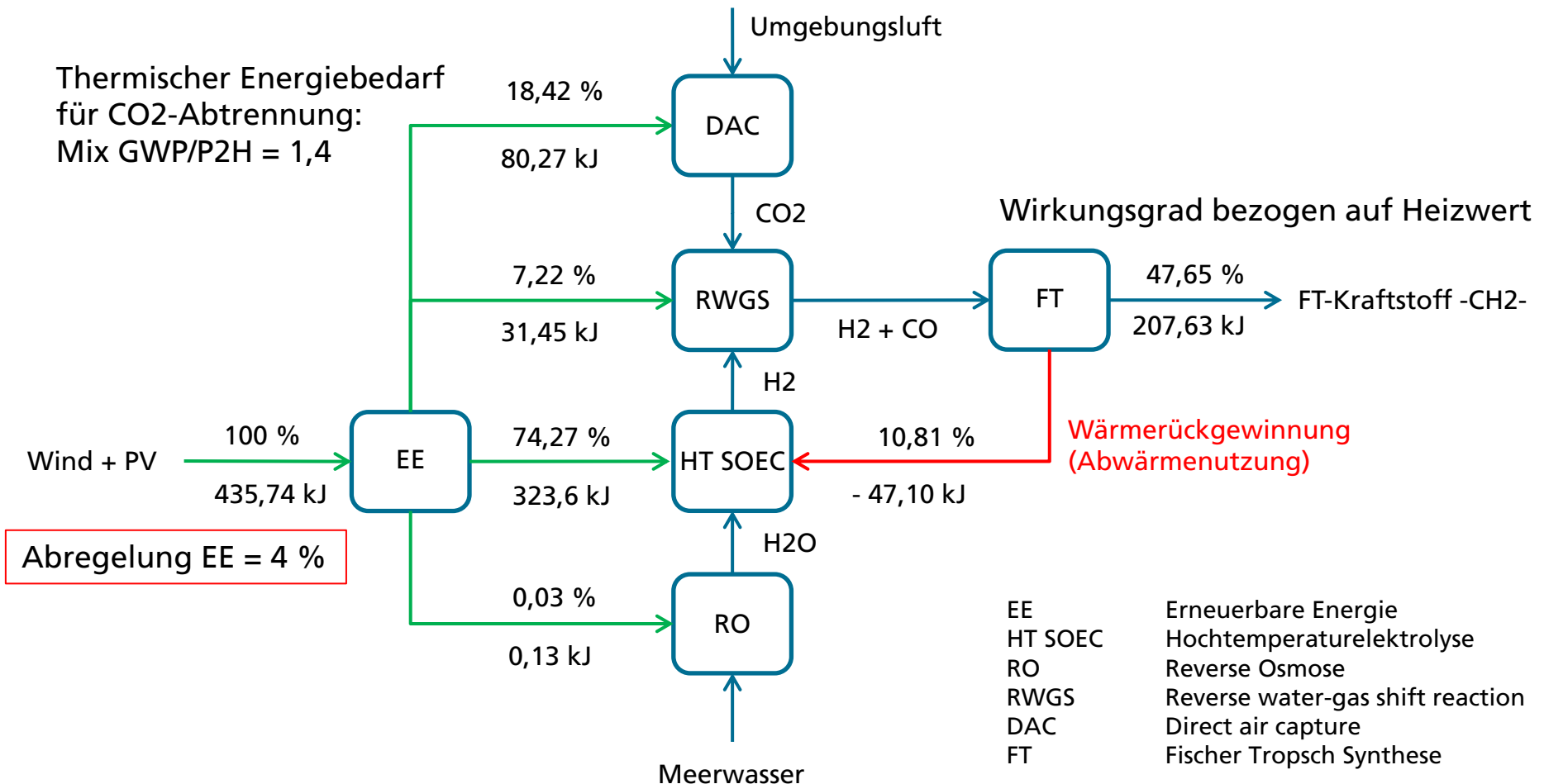
Warum diese Standorte?

- Hohe EE-Ressource (beständige Winde und hohe Einstrahlung)
 - Reine PV-Standorte (geringe Stromgestehungskosten) sind für PtL nicht wirtschaftlich, nur für H₂
 - Gute Windstandorte ermöglichen hohe Auslastung
- Mit Kombination Wind/PV
 - Stromspitzen können thermischen Energiebedarf zur CO₂-Abscheidung decken
 - Höhere Auslastung für Elektrolyse
- Standort am Meer – Meerwasserentsalzung

PtL-Verfahren mit HT SOEC (Energie und Stofftransport)

Szenario: 2050

Thermischer Energiebedarf
für CO₂-Abtrennung:
Mix GWP/P2H = 1,4



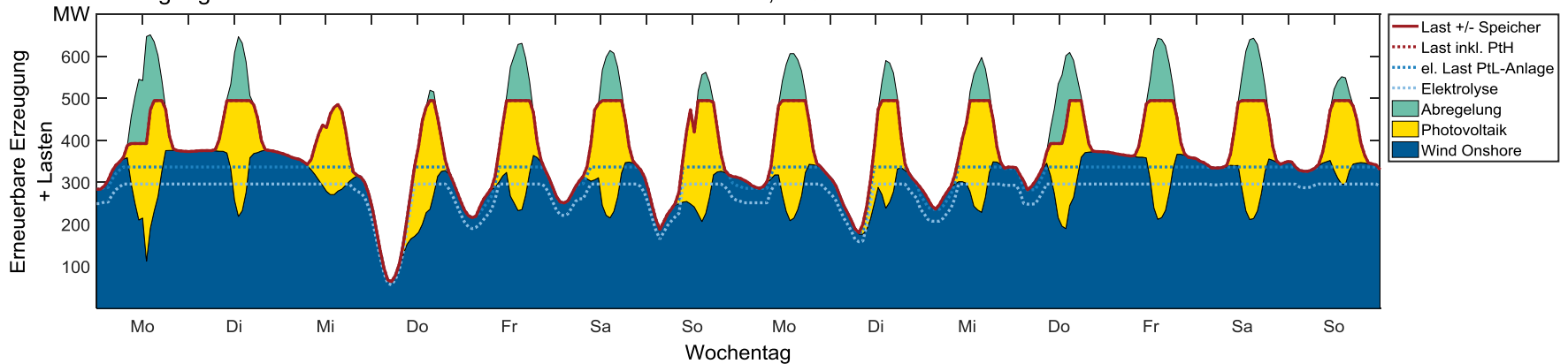
EE	Erneuerbare Energie
HT SOEC	Hochtemperaturelektrolyse
RO	Reverse Osmose
RWGS	Reverse water-gas shift reaction
DAC	Direct air capture
FT	Fischer Tropsch Synthese

*Werte in kJ sind bezogen auf 1 mol Wasser

PtL - Optimale Systemauslegung für 1 TWh PtL

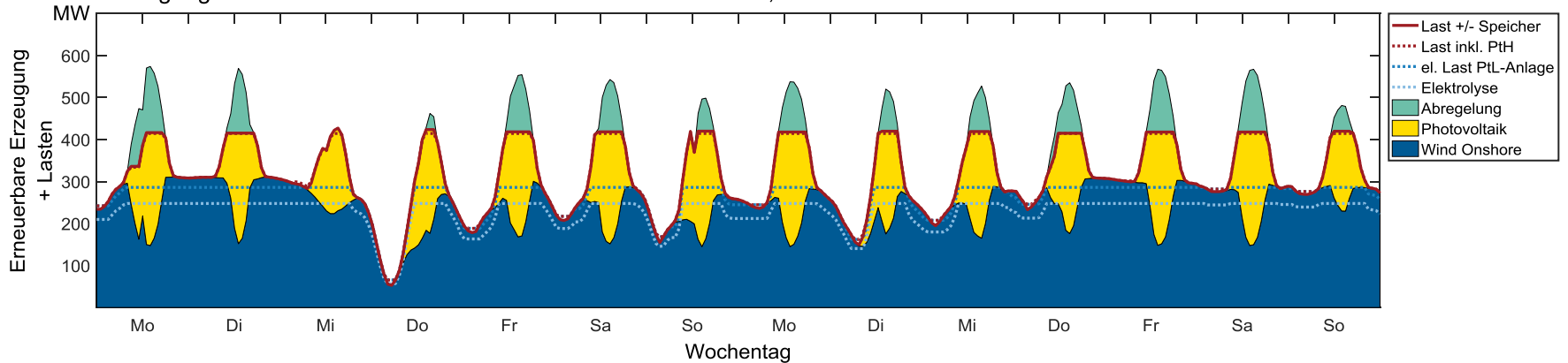
■ 2030: 405 MW Wind / 389 MW PV, 337 MW PtL (6.263 VLS), keine Speicher

Erzeugung und Strombedarf in MAR 2030 - meteorol. Jahr 2010, 25./26. Kalenderwoche



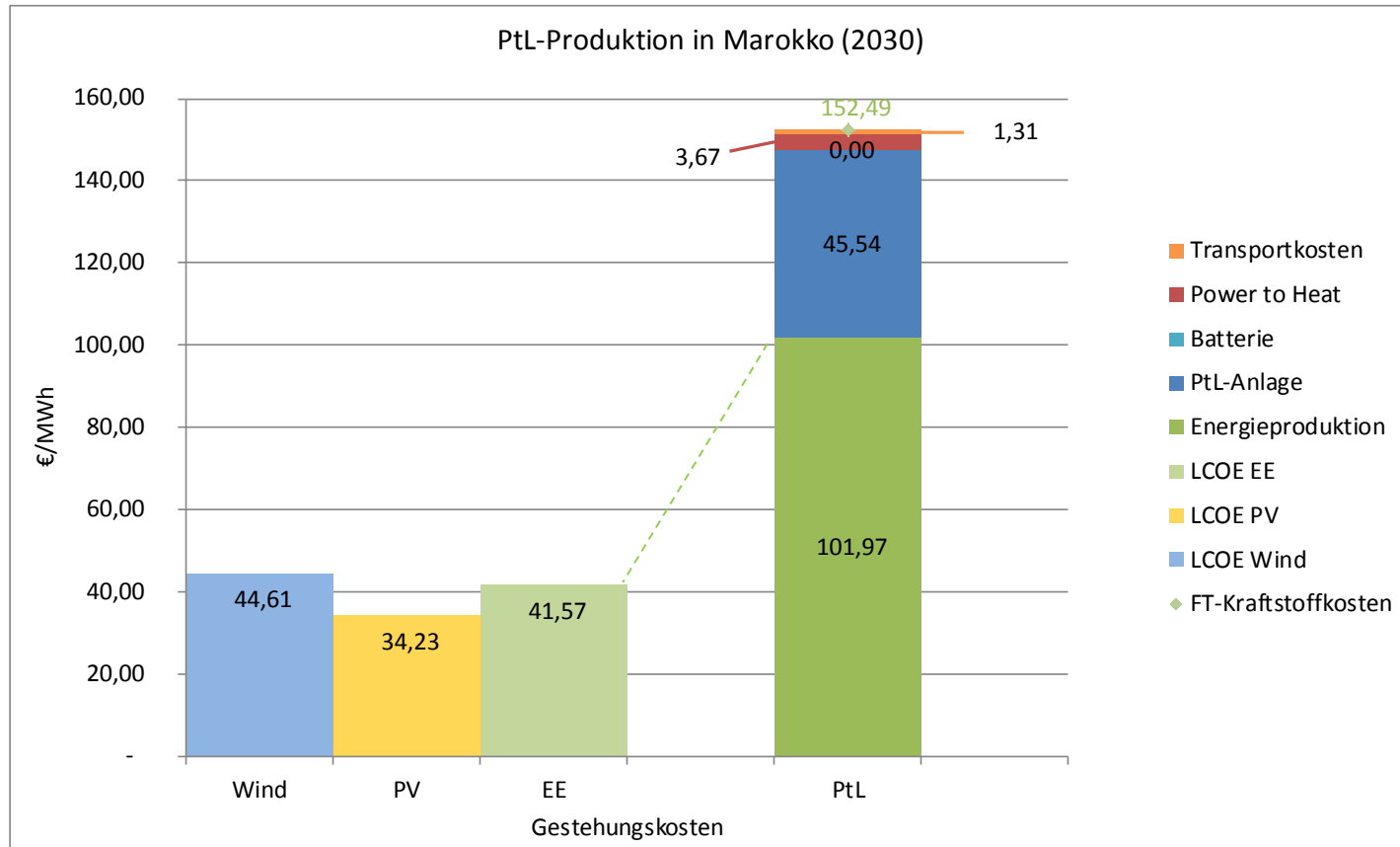
■ 2050: 334 MW Wind / 371 MW PV, 286 MW PtL (6.292 VLS), wenig Speicher

Erzeugung und Strombedarf in MAR 2050 - meteorol. Jahr 2010, 25./26. Kalenderwoche



Optimierte PtL-Kosten (2030)

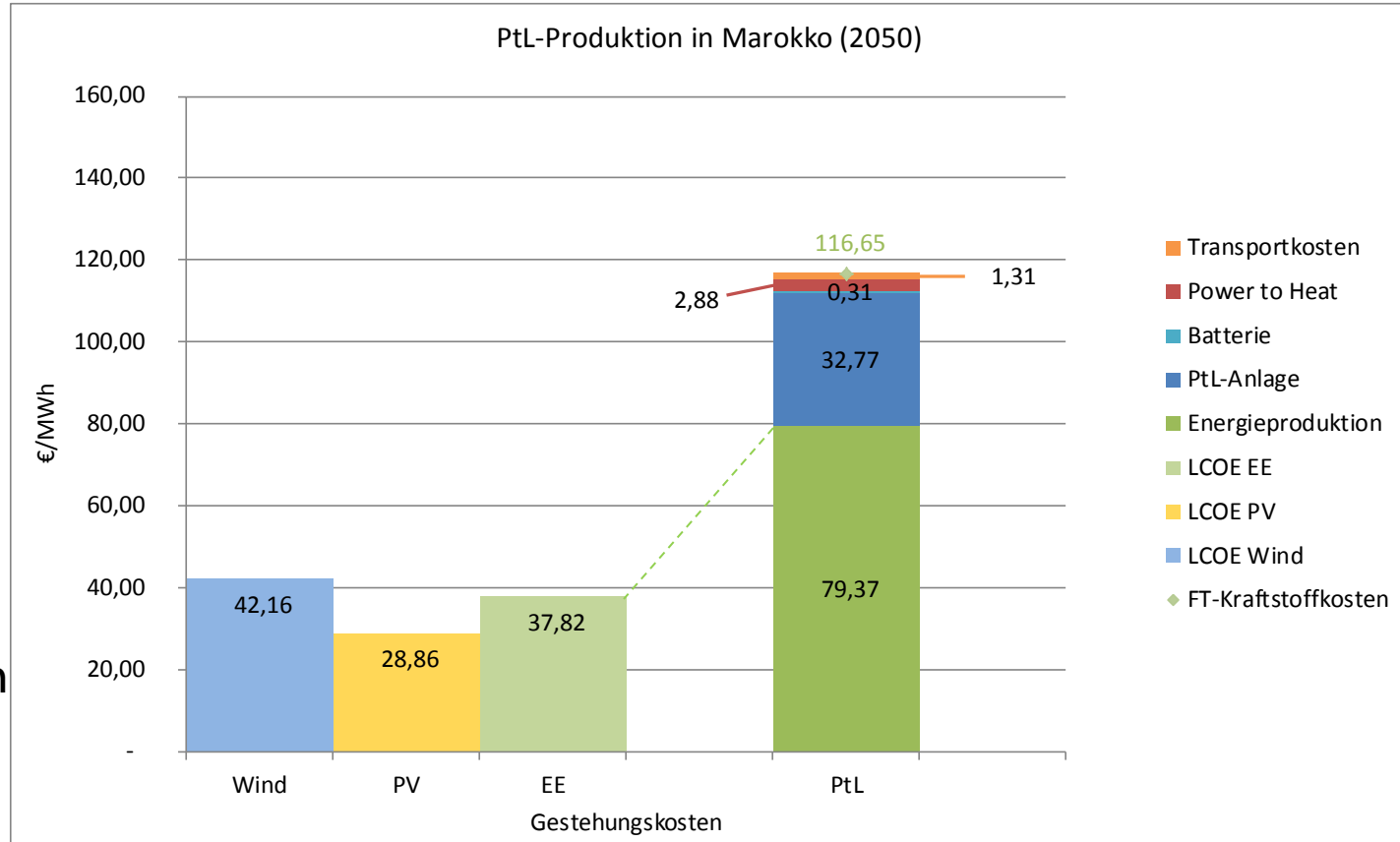
- 2030
mittlere
Kosten-
degression
und
Wirkungsgrad-
steigerung
1,52 €/l



Optimierte PtL-Kosten (2050)

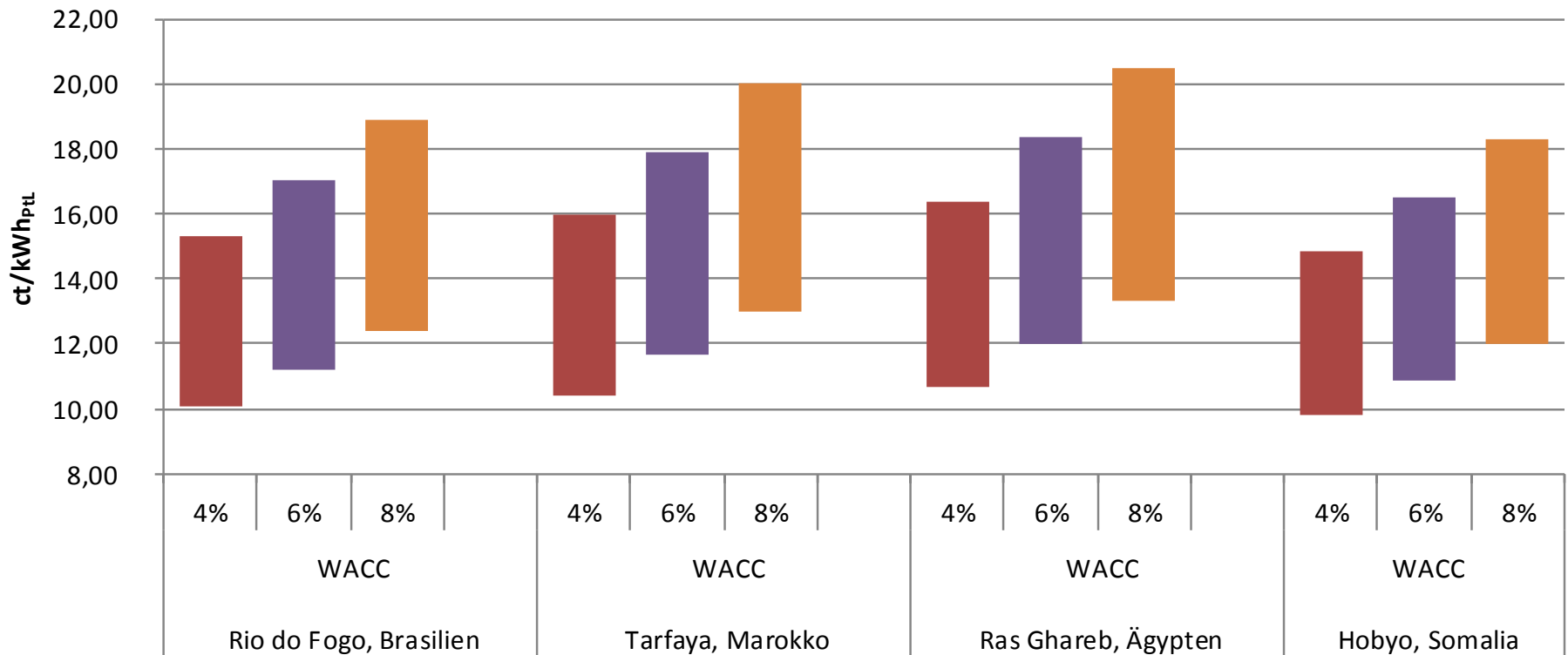
■ 2030
mittlere
Kosten-
degression
und
Wirkungsgrad-
steigerung
1,52 €/l

■ 2050
langfristige
Untergrenze
der Lernkurven
1,16 €/l



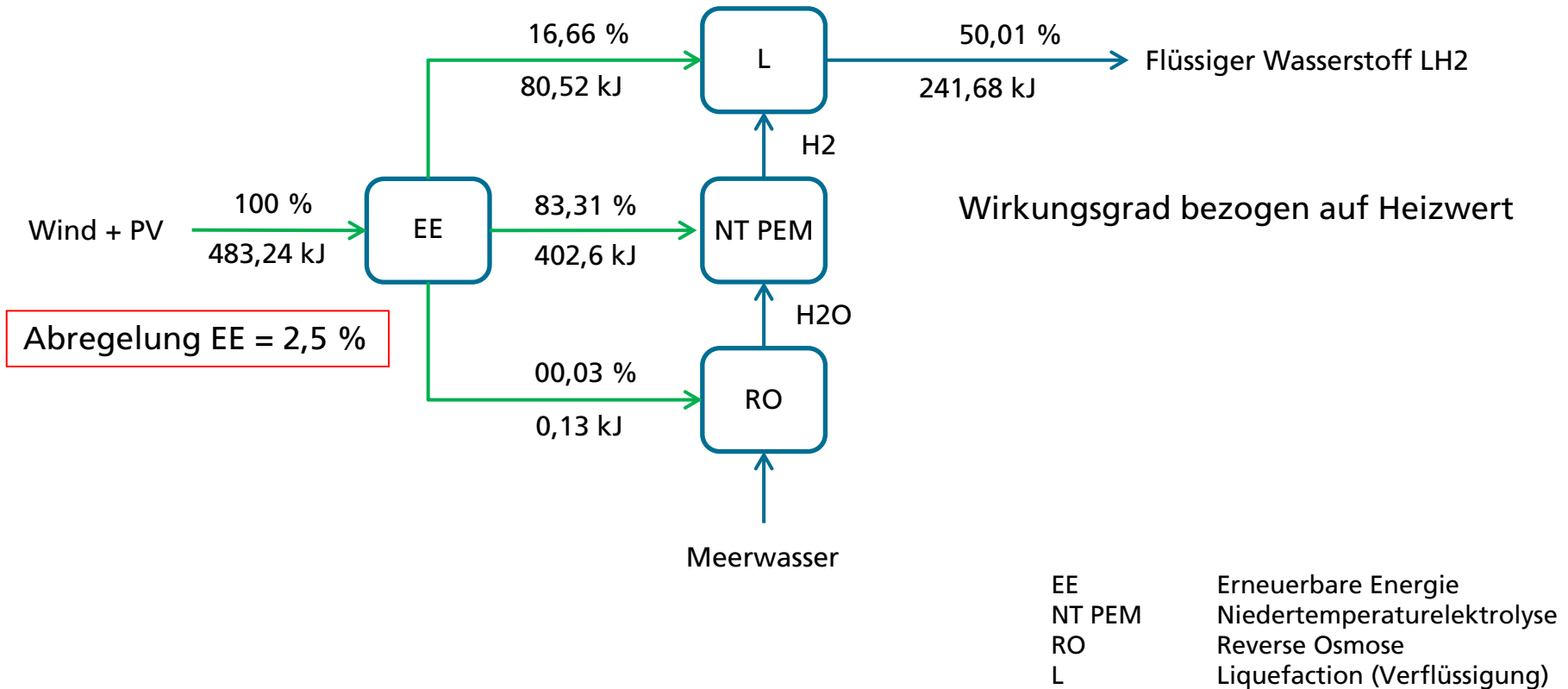
Bandbreite Kosten PtL

Kraftstoffgestehungskosten mit variablem WACC



H2-Verfahren mit PEM EC (Energie und Stofftransport)

Szenario: 2050

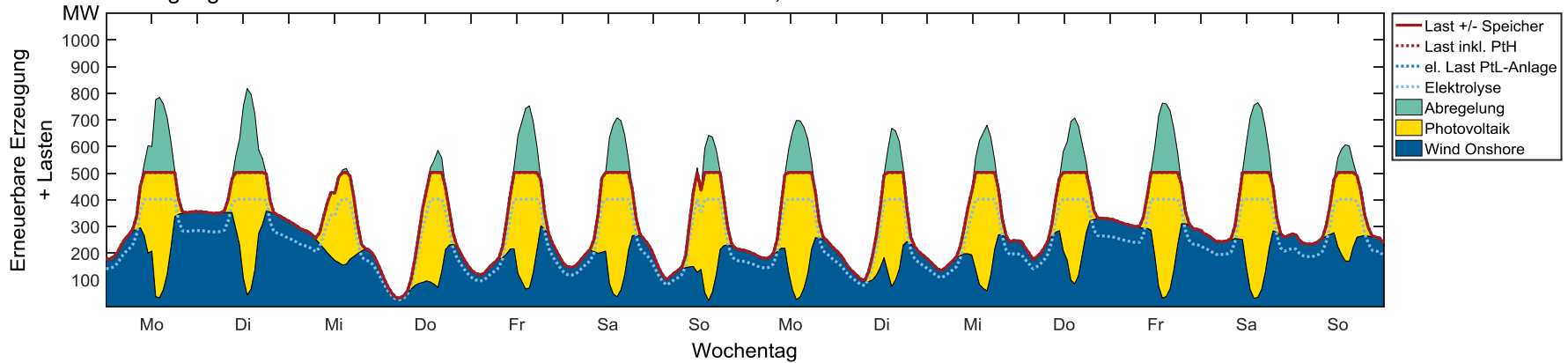


*Werte in kJ sind bezogen auf 1 mol Wasserstoff

H2 - Optimale Systemauslegung für 1 TWh H2

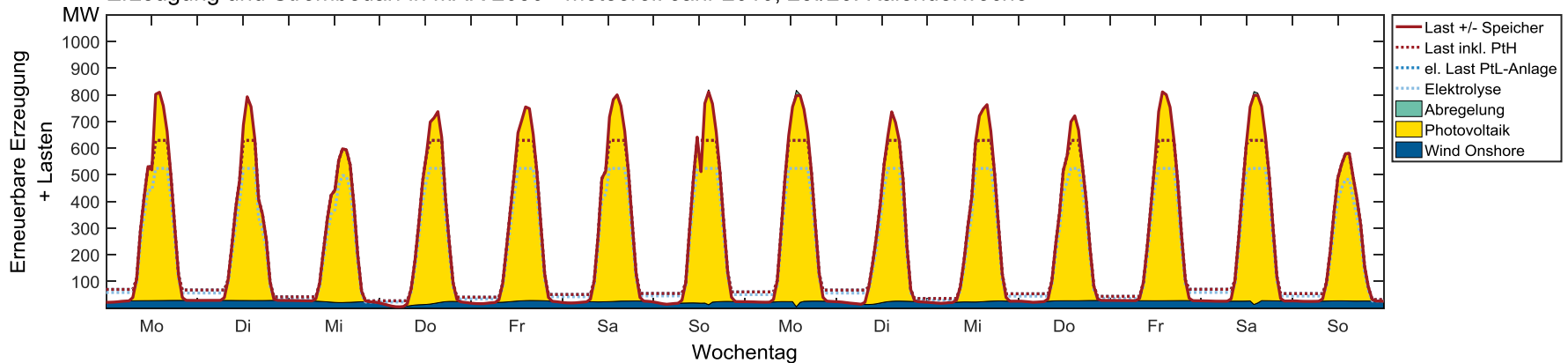
■ 2030: 398 MW Wind (vor allem Starkw.) / 647 MW PV, 503 MW EL (4.492 VLS), keine Speicher

Erzeugung und Strombedarf in MAR 2030 - meteorol. Jahr 2010, 25./26. Kalenderwoche



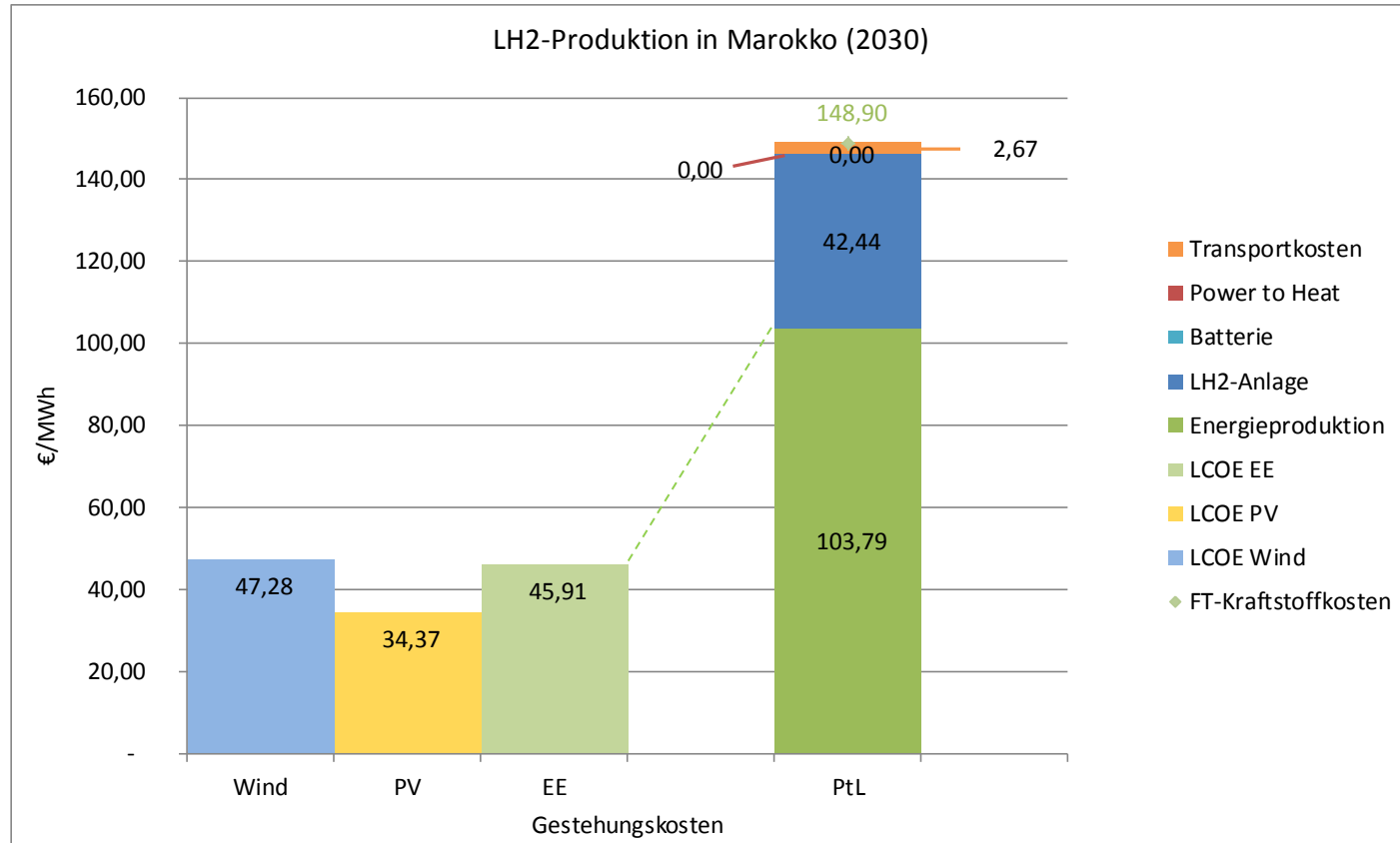
■ 2050: 31 MW Wind (Schwachw.) / 1.075 MW PV, 629 MW EL (3.246 VLS), etwas Speicher

Erzeugung und Strombedarf in MAR 2050 - meteorol. Jahr 2010, 25./26. Kalenderwoche



Optimierte H2-Kosten

- 2030
mittlere
Kosten-
degression
und
Wirkungsgrad-
steigerung
14,9 ct/kWh

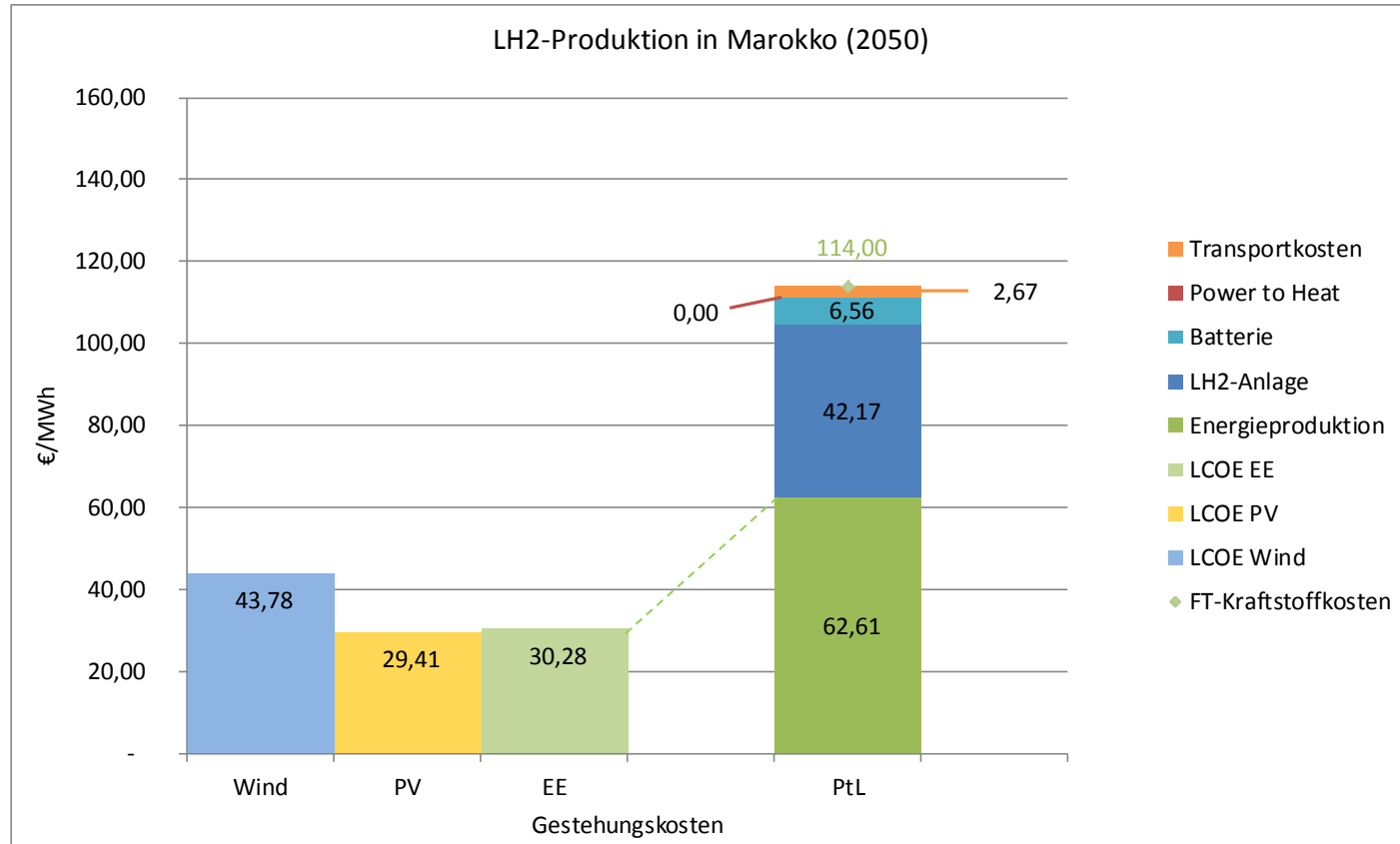


Optimierte H2-Kosten

■ 2030
mittlere
Kosten-
degression
und
Wirkungsgrad-
steigerung
14,9 ct/kWh

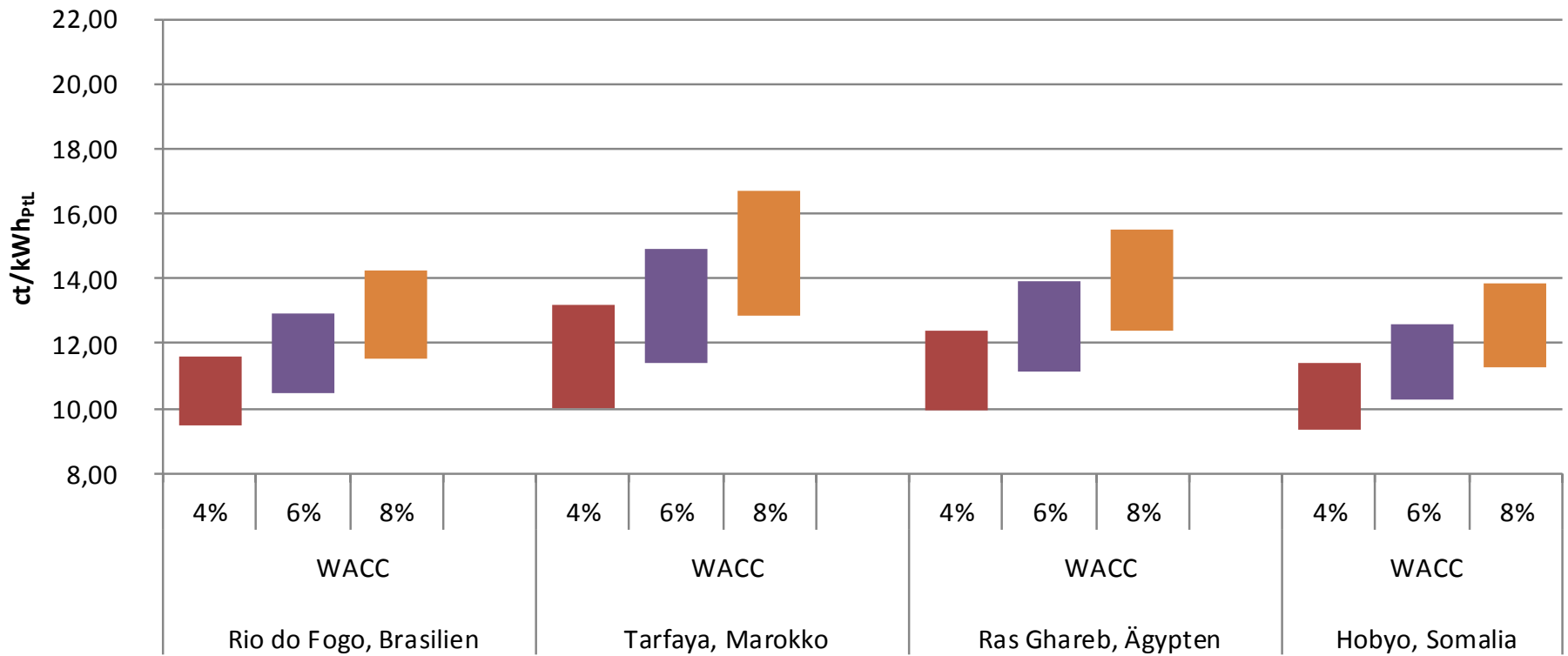
■ 2050
langfristige
Untergrenze
der Lernkurven
11,4 ct/kWh

→ Nur
unwesentlich
günstiger als
PtL durch
Verflüssigung



Bandbreite Kosten H2

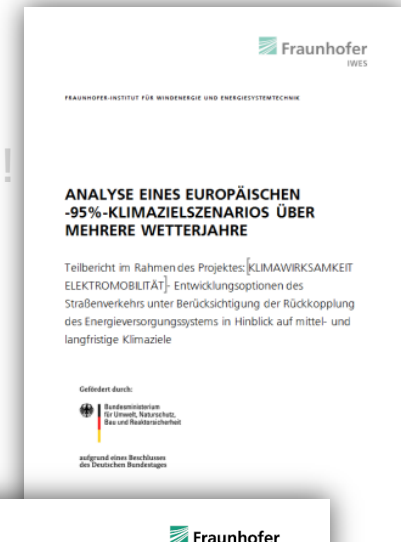
Kraftstoffgestehungskosten mit variablem WACC



Inhalt

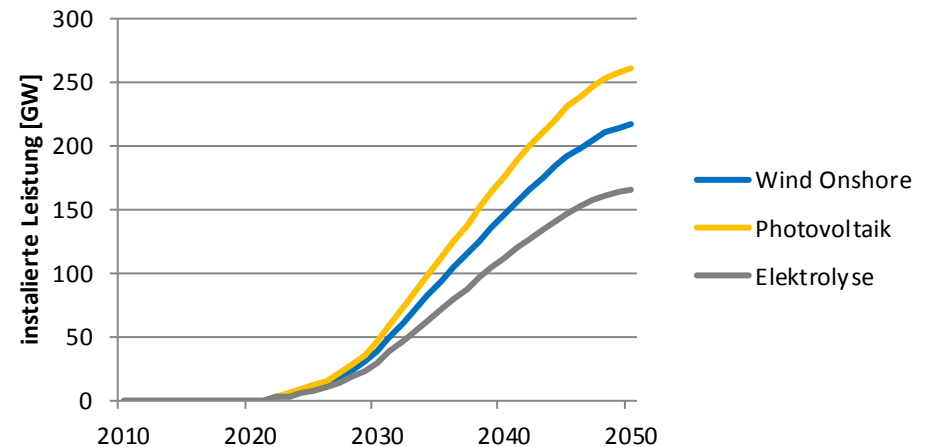
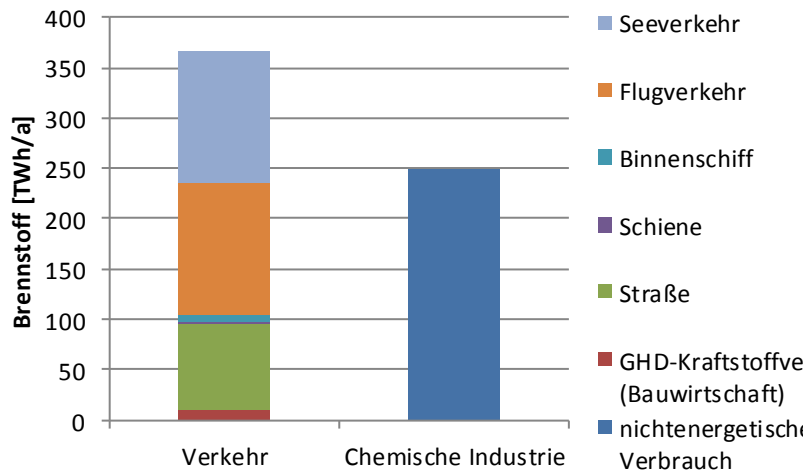
- Herausforderung Klimaziele
- Dekarbonisierung des Straßenverkehrs → Elektromobilität!
 - Welchen EE-Ausbaubedarf haben wir?
 - Was ist ein kostenminimales Gesamtsystem?
 - Welche infrastrukturelle Herausforderungen folgen daraus?
- PtL-Importe
 - Globale EE-Vorzugsregionen
 - Mittel- und langfristige PtL/H2-Kosten
 - Vergleich zu PtL in Deutschland
- Langfristiges PtL-Potenzial und Nachfrage → Schlussfolgerungen

<http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de>



Bedarf hoher PtL-Mengen zur Dekarbonisierung in 2050 in DE

- Trotz max. direkter Stromnutzung in Deutschland hoher PtL-Importbedarf für langfristige Dekarbonisierung
 - ca. 350 TWh PtL (inkl. internationalem Verkehr) → ca. 700 TWh Strom
 - 250 TWh Grundstoff für chemische Industrie? → 500 TWh Strom?
- Im Vergleich Kosten bis zu 50% teurer für PtL in Europa (Offshore)
- ➔ Realisierung (Markthochlauf) von 1200 TWh Strom außerhalb Deutschlands im Vergleich zu 800 TWh innerhalb?



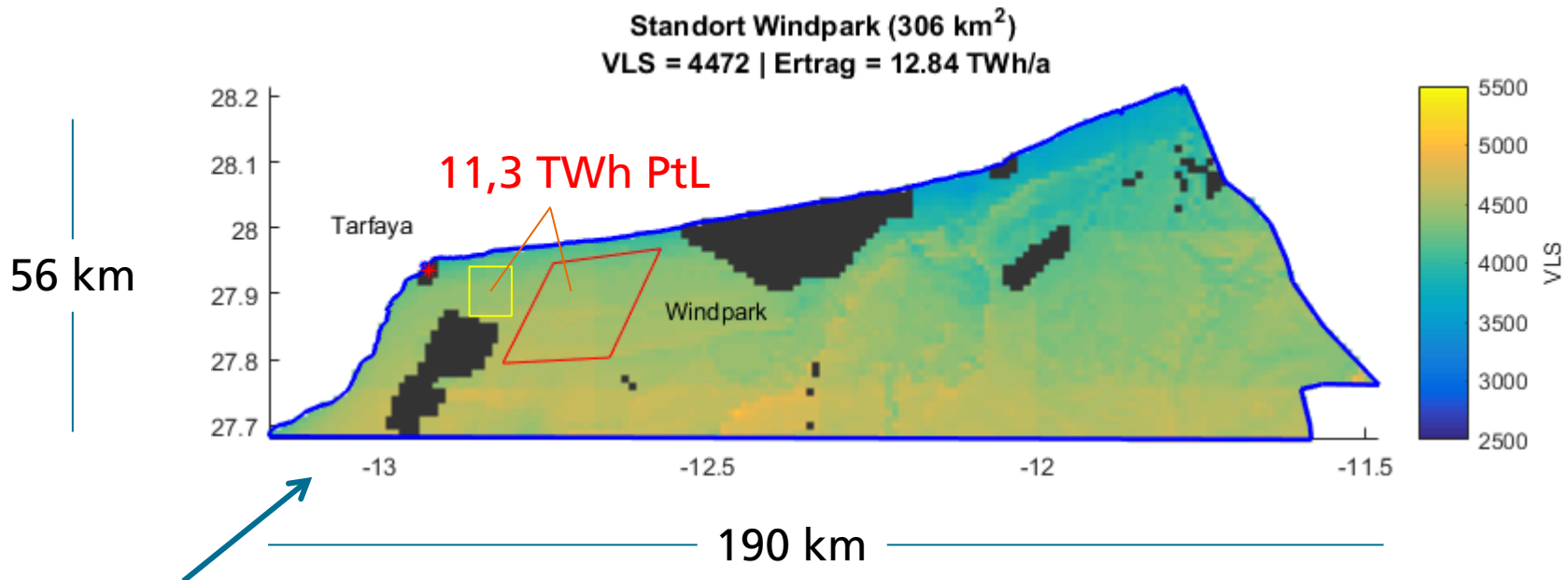
Flächenverbrauch – Beispiel Marokko

Tarfaya in
Marokko



■ Angebot PtL - Ausschlussflächen

- Bebaute Flächen, Abstand zu Siedlungsgebieten (600 m), Landnutzung, Hangneigung (> 30%)
- km²-Raster – 30-50 km Küstenentfernung, Mindestwindgeschwindigkeit

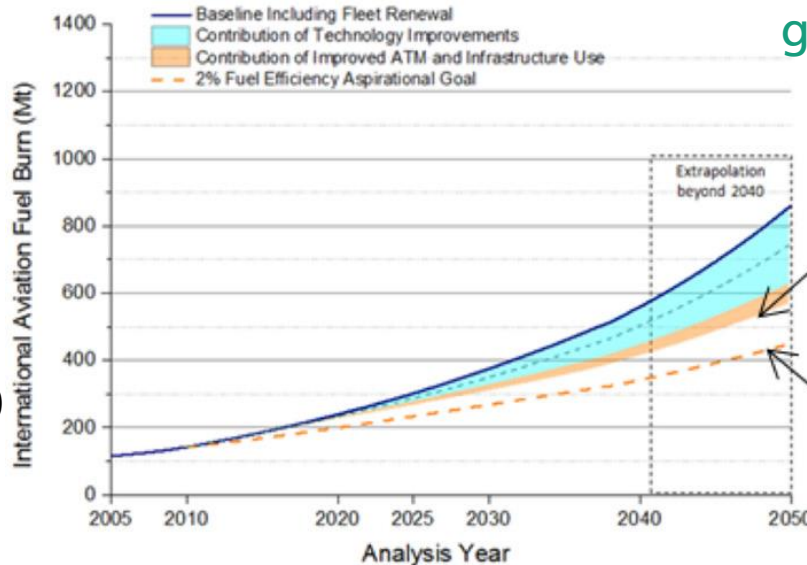


*Gesamtfläche: 6581 km² Ausschlussfläche: 9,8%
theor. Potenzialfläche für Wind = 5936 km²*

*theor. Gesamtpotenzial PtL
Tarfaya max. 220 TWh/a*

Sehr hohe Nachfrage aus internationalem Flug- und Seeverkehr

- Trotz Effizienzmaßnahmen erwarteter Anstieg des globalen Flugverkehrs auf 6700 TWh PtL bis 2050



globaler Flugv.

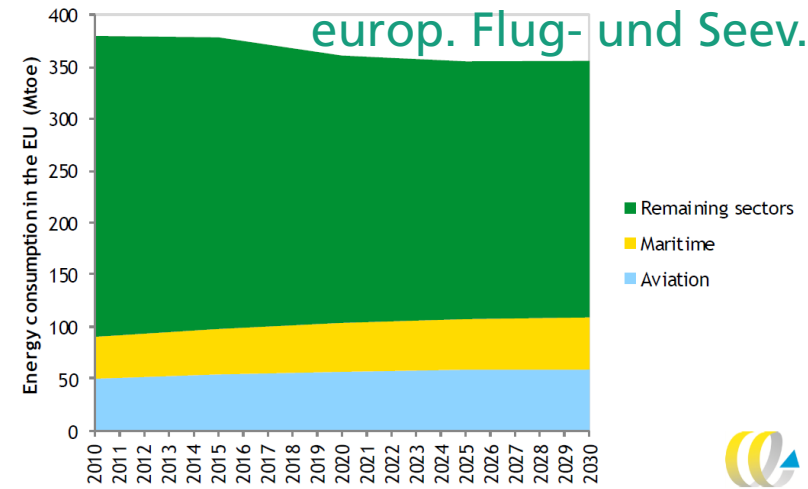
1.39% per year fuel efficiency improvement

2% per year fuel efficiency improvement

- Mittelfristiger Anstieg in der EU bis 2030

- 686 TWh PtL für Flugverkehr
- 582 TWh PtL für Seeverkehr

→ Die Nachfrage des nichtelektrifizierbare internationale Verkehr übersteigt das Angebot an PtL (insb. Markthochlauf, aber auch Flächen)



europ. Flug- und Seev.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Norman Gerhardt
Leiter Energiewirtschaft und Systemanalyse

E-Mail: norman.gerhardt@iwes.fraunhofer.de

Tel.: 0561 7294-274

Fraunhofer IWES

Königstor 59

34119 Kassel