LANGFRISTSZENARIEN FÜR DIE TRANSFORMATION DES ENERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND

Angebotsseite Treibhausgasneutrale Szenarien

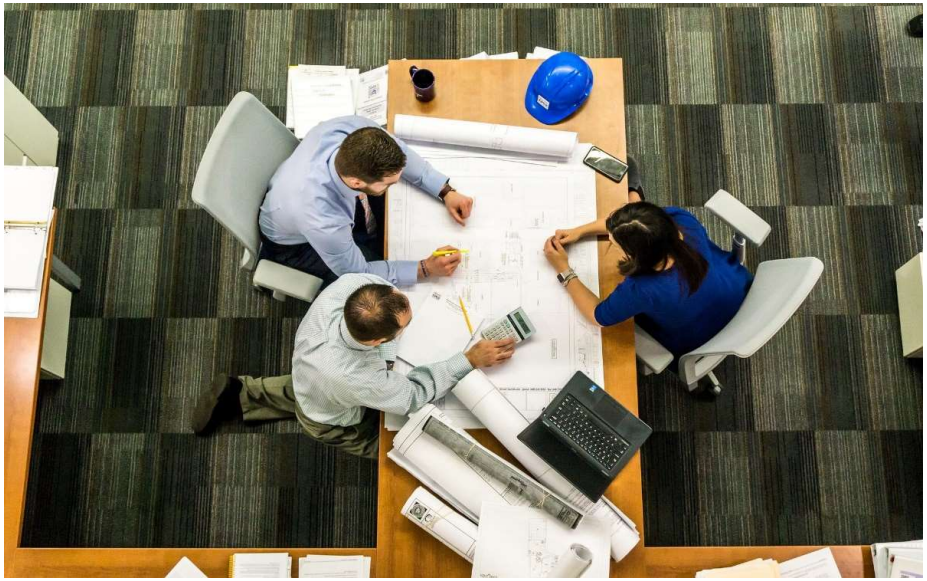
02. Juli 2021

Autoren Angebot

- Benjamin Lux
- Dr. Frank Sensfuß
- Dr. Gerda Deac
- Dr. Christoph Kiefer
- Christiane Bernath
- Dr. Joshua Fragoso-Garcia
- Dr. Benjamin Pfluger

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

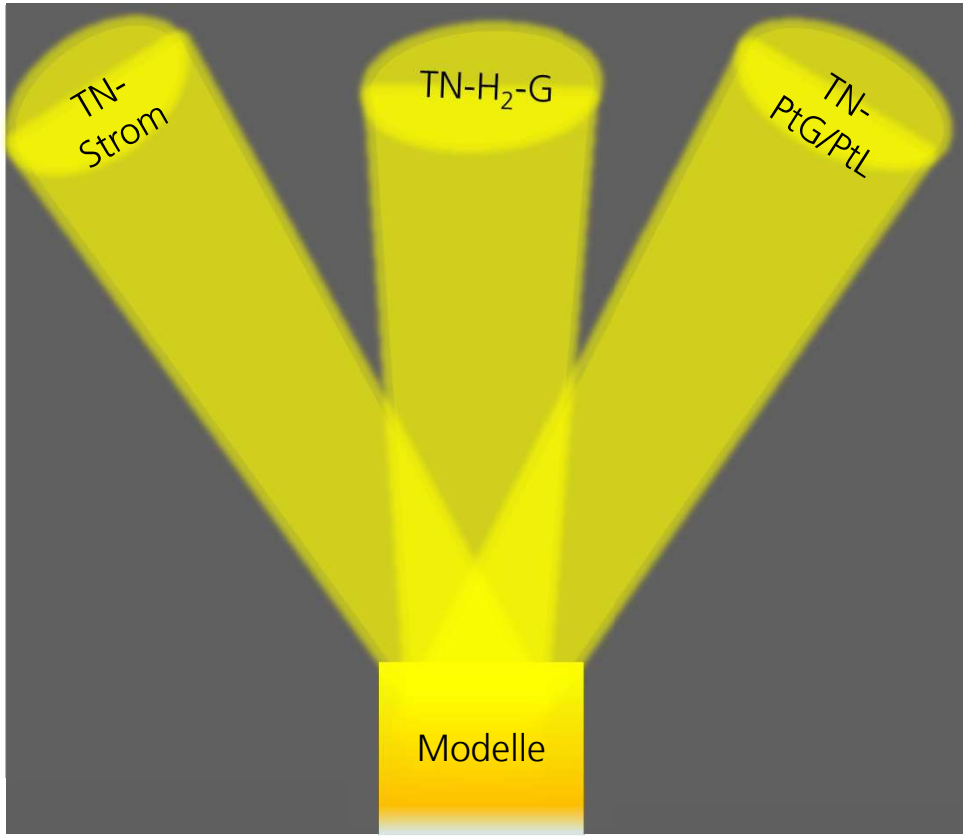
Agenda



- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Methodik & Szenariodesign

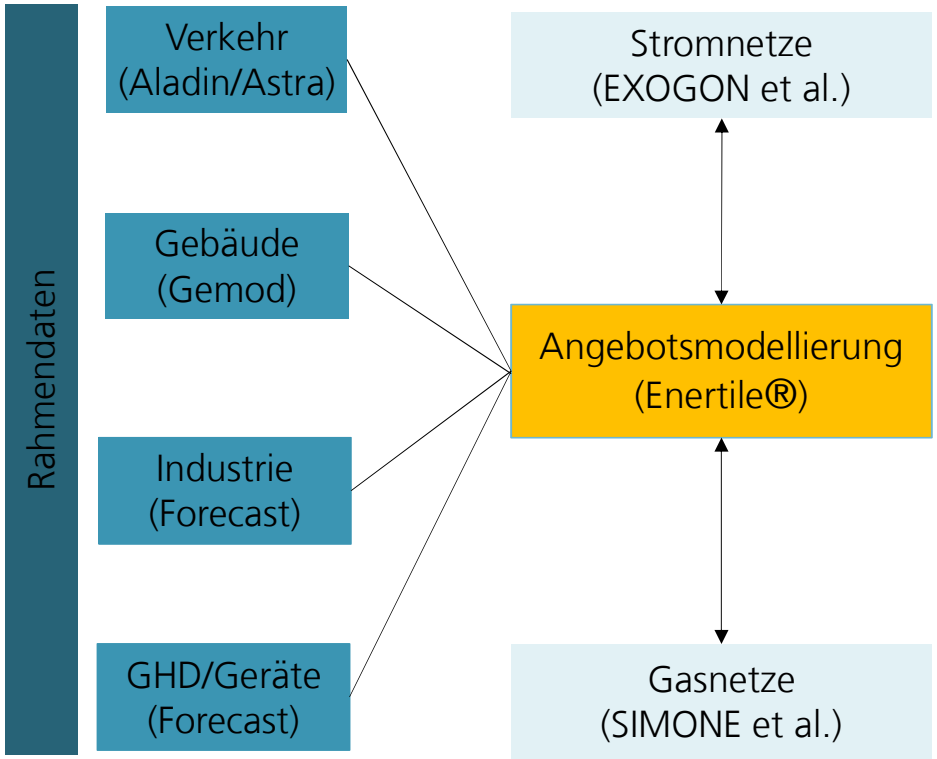
Erkenntnisgewinn durch Vergleich statt einzelnem „Leitszenario“



- **Zentrale Fragestellung**
  - Welche techno-ökonomischen Wirkungen haben bestimmte Pfade zur Dekarbonisierung des Energiesystems?
- **Vorgehensweise**
  - Vergleich der Dekarbonisierung des Energiesystems durch
    - sehr starken Stromeinsatz (*Szenario TN-Strom*)
    - sehr starken Einsatz von Wasserstoff (*Szenario TN-H_2-G*)
    - sehr starken Einsatz von synthetischen Kohlenwasserstoffen (*Szenario TN-PtG/PtL*)
  - Modellierung der Transformationspfade bis 2050 mit detaillierten Bottom-up Modellen
- **Mission der Langfristszenarien**
  - Durch ständige methodische Weiterentwicklung und eine Vielzahl von Szenarien den Lösungsraum für ein treibhausgasneutrales Energiesystem immer besser „ausleuchten“
  - Identifikation der Effekte alternativer Transformationspfade

Hinweis im Gesamtprojekt werden >25 Szenarien berechnet

Modellsystem
Gekoppelte Modelle erlauben hoch aufgelöste Analysen

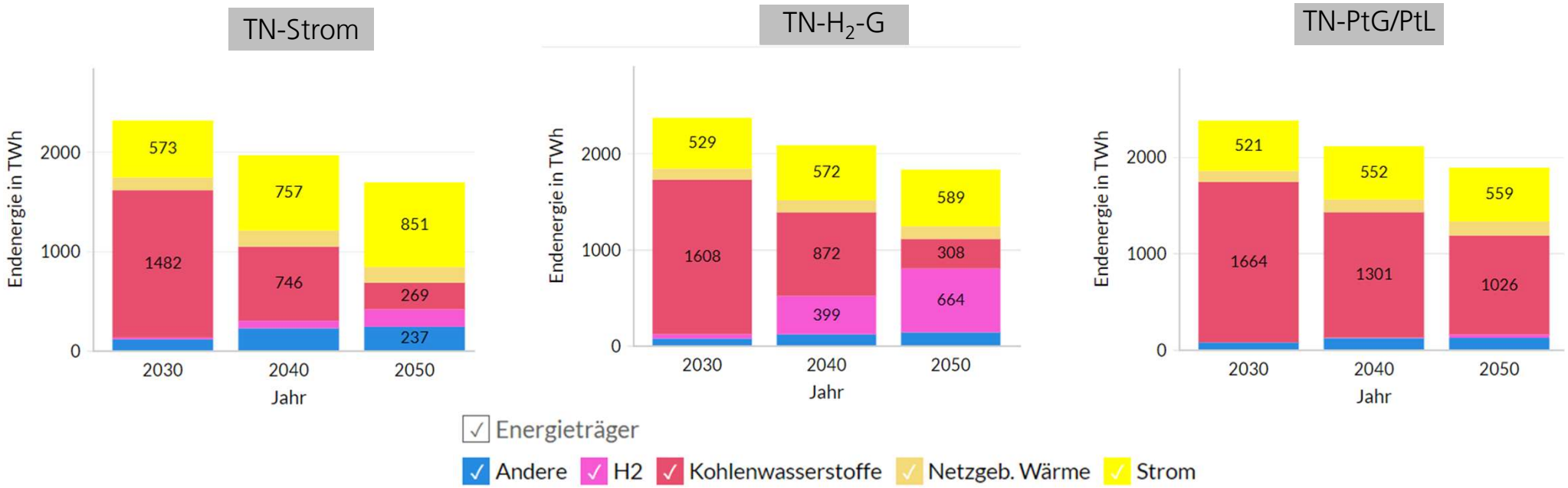


- **Vorgehensweise**
  - Detaillierte Modelle berechnen Energienachfrage
  - Energienachfrage wird **regionalisiert**
  - Potentiale Erneuerbarer Energien werden in hoher räumlicher und **zeitlicher** (stundenscharf) Auflösung berechnet
  - Bereitstellung der Energie wird optimiert und mit Netzmodellen iteriert
  - Auslegung der **Netze** wird berechnet
- **Einordnung**
  - Sehr hohe Auflösung des Energiesystems
    - Beispiel Enertile (Optimierung Angebot)
      - > 130 Millionen Erzeugungsvariablen
      - Größe des Gleichungssystems > 4,4 Mio. Schreibmaschinenseiten
  - Modellkette sehr rechenintensiv und aufwändig

Kurzzusammenfassung
TN Szenarien Nachfrage 2050

	TN-Strom	TN-PtG/PtL	TN-H2-G
PKW/Leichte/mittlere Nutzfahrzeuge	Stark elektrifiziert	Stark elektrifiziert	Stark elektrifiziert
Schwerlastverkehr	Strom+ Kohlenwasserstoffe	Kohlenwasserstoffe + Strom	H_2 +Strom
Gebäude	Stark elektrifiziert (16 Mio WP.)	Elektrifizierung (8 Mio.)+ Kohlenwasserstoffe (8 Mio.)	Elektrifizierung (8 Mio.)+ Wasserstoff (8 Mio.)
Industrie-Prozesswärme	Stark elektrifiziert	Kohlenwasserstoffe	Wasserstoff + Strom
Industrie- Stahl	H_2-DRI	CH_4-DRI	H_2-DRI
CCS/CCU	CCU: Zement u. Kalk versorgen Methanol	CCS/CCU: Zement u. Kalk	CCU: Zement u. Kalk versorgen Methanol

Endenergienachfrage der Nachfragesektoren im Zeitverlauf



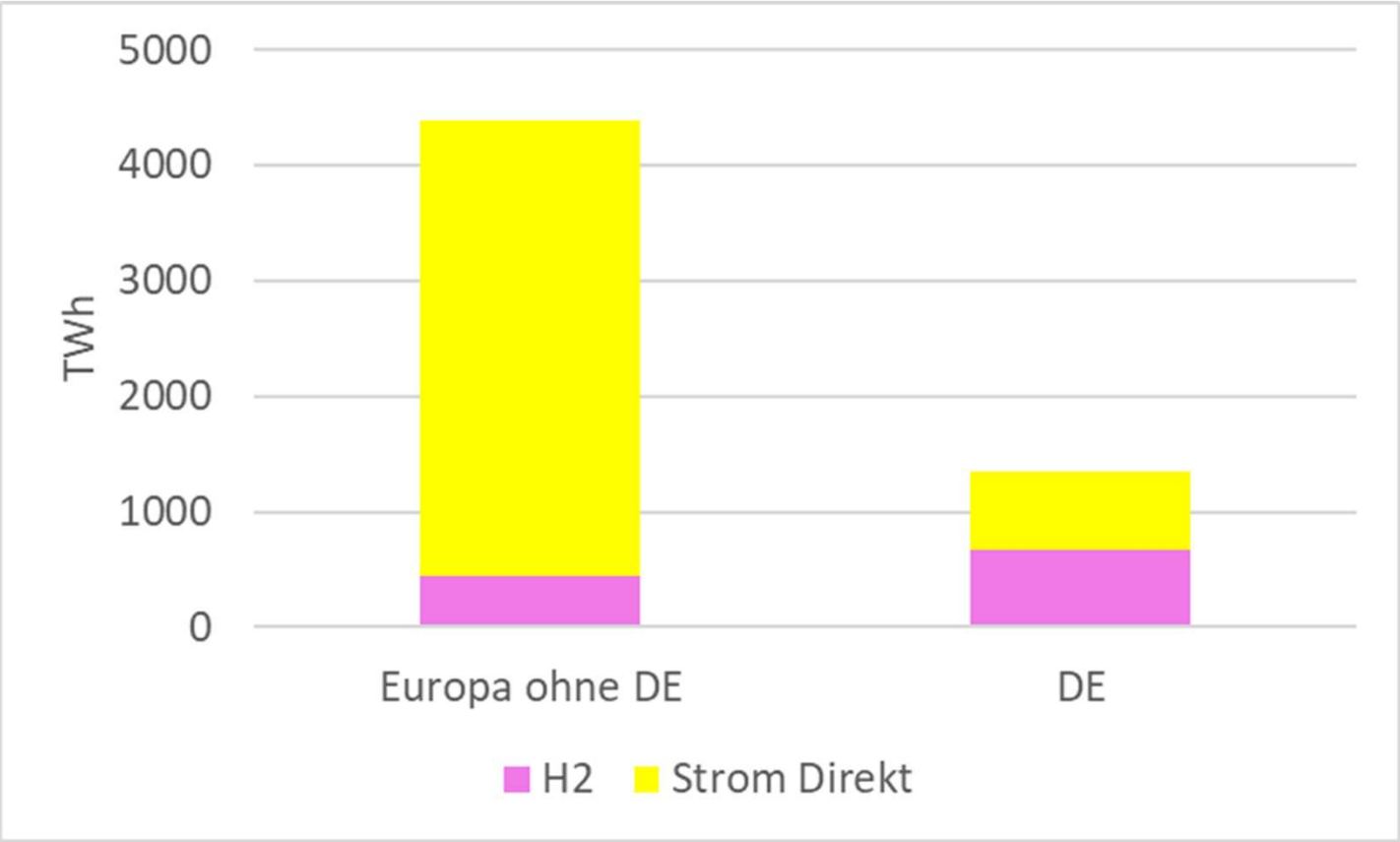
Ergebnisse

Starke Ausprägung der jeweiligen Hauptenergieträger in den entsprechenden Szenarien

Einordnung

Hier ist nur die Nachfrageseite dargestellt, zusätzlicher Strombedarf z.B. für H_2-Herstellung ist nicht erfasst

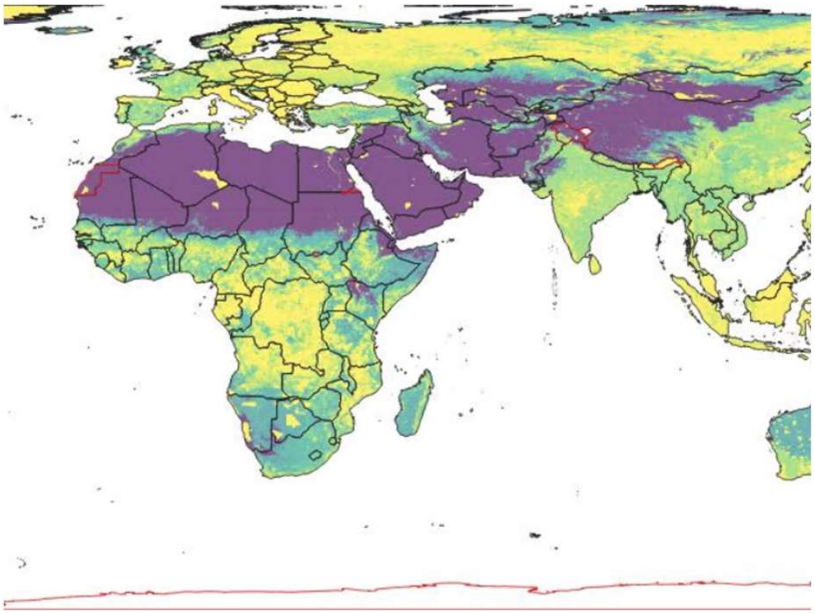
Endenergiebedarf Strom und H_2 im Szenario *TN-H2-G*



Infos:

- H_2-Anteil in Deutschland ist deutlich höher als in den Nachfragezahlen für Europa (SETNAV-Projekt)
- Gesamtstrombedarf in Europa ca. 6.500 TWh
- Bei vergleichbarem H_2-Anteil in Europa und innereuropäischer H_2-Erzeugung ergäbe sich ein europäischer Gesamtstrombedarf von ca. 10.000 TWh

Agenda

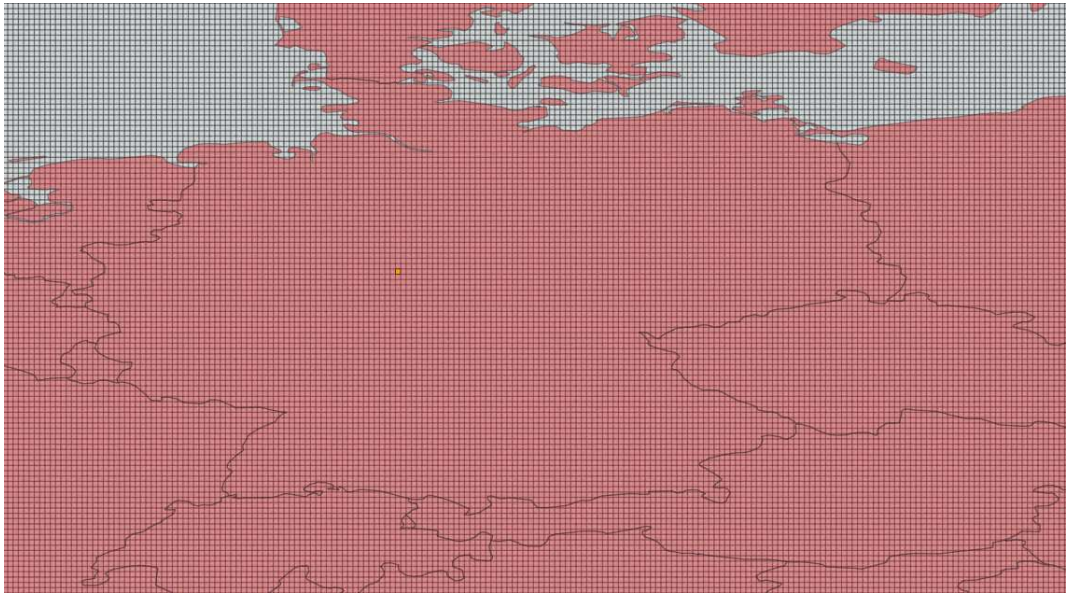


- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Datengitter: Worldgrid 1

Weltweites Datengitter

- Kantenlänge von ca. 6,5 x 6,5 km
- Fläche von 42,25 km²
- Welt: 12 Mio. Kacheln
- Deutschland 9800 Kacheln inkl. AWZ



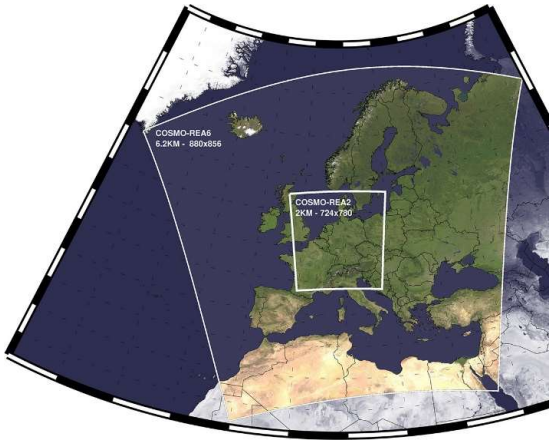
Wetterdatensatz Europa
COSMO REA6 – Stündliche Daten

- Windgeschwindigkeit
  - 178,5 m
  - 116 m
  - 69 m
- Temperatur
  - 178,5 m
  - 116 m
  - 69 m
  - 2 m
- Direkte Strahlung
- Diffuse Strahlung

Regionale Auflösung 6 km

55 Mrd. Einträge pro Wetterjahr für Europa

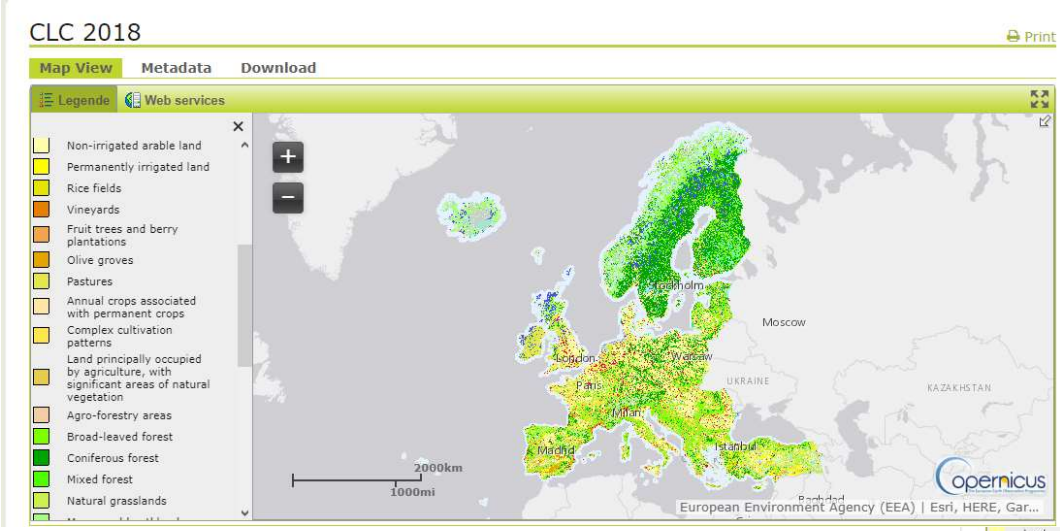
Berechnung der stündlichen Geschwindigkeiten in den Höhen 40-180 m in Schritten von 10 m mit exponentiellem Höhenprofil **mit stündlich ermitteltem Exponenten**

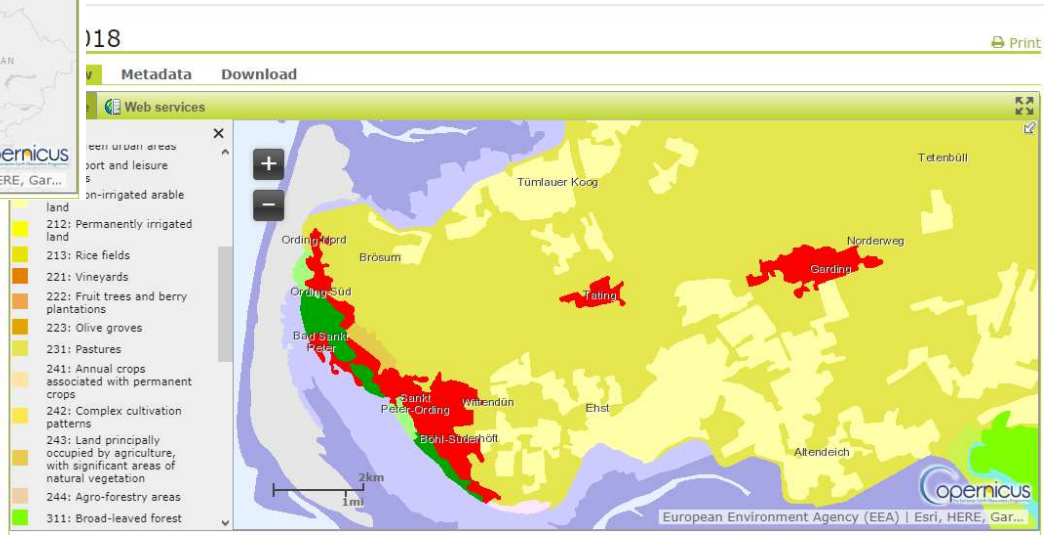


Bildquelle:
https://reanalysis.meteo.uni-bonn.de/

- Verfügbare Wetterjahre 07.10.2020: 2010-2018

Landnutzungsdatensatz: Europa Corine 2018
Corine Land Cover2018





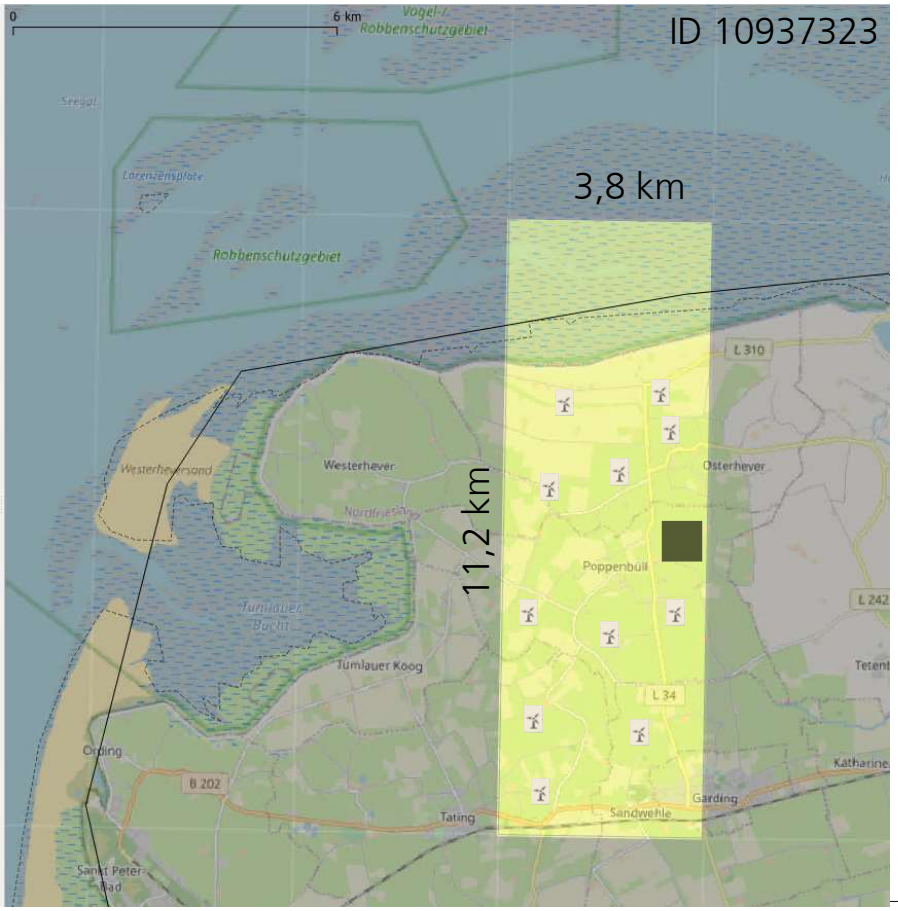
Minimale Auflösung

- Satellitendaten 10 m
- Datensatz 100 m

Annahmen Landnutzung

Kategorie	PV Dachanlage	PV Freifläche	CSP	Wind an Land
Brachland	0%	16%	12%	18,0%
Anbaufläche	0%	2%	2%	14,4%
Wald	0%	0%	0%	10,8%
Grasland	0%	2%	2%	18,0%
Savanne	0%	2%	12%	18,0%
Buschland	0%	2%	12%	18,0%
Schnee & Eis	0%	4%	0%	10,8%
Bebaute Fläche	16%	0%	0%	0,0%
Wasser	0%	0%	0%	0,0%
Sumpfgebiete	0%	0%	0%	0,0%

Beispiel Potential Kacheldaten



Fläche

Kategorie	km²
Ackerfläche	7,8
Grasland	22,4
Siedlungen	0,3
Sumpf	0,7

Potentiale

Kategorie	MW
PV-Freifl.	28
PV-Dach	3,2
Wind	54,7

Interne Ids	
CSP	97
PV	146
PVR	104
WON	174
WOFF	127
WOFFL	124

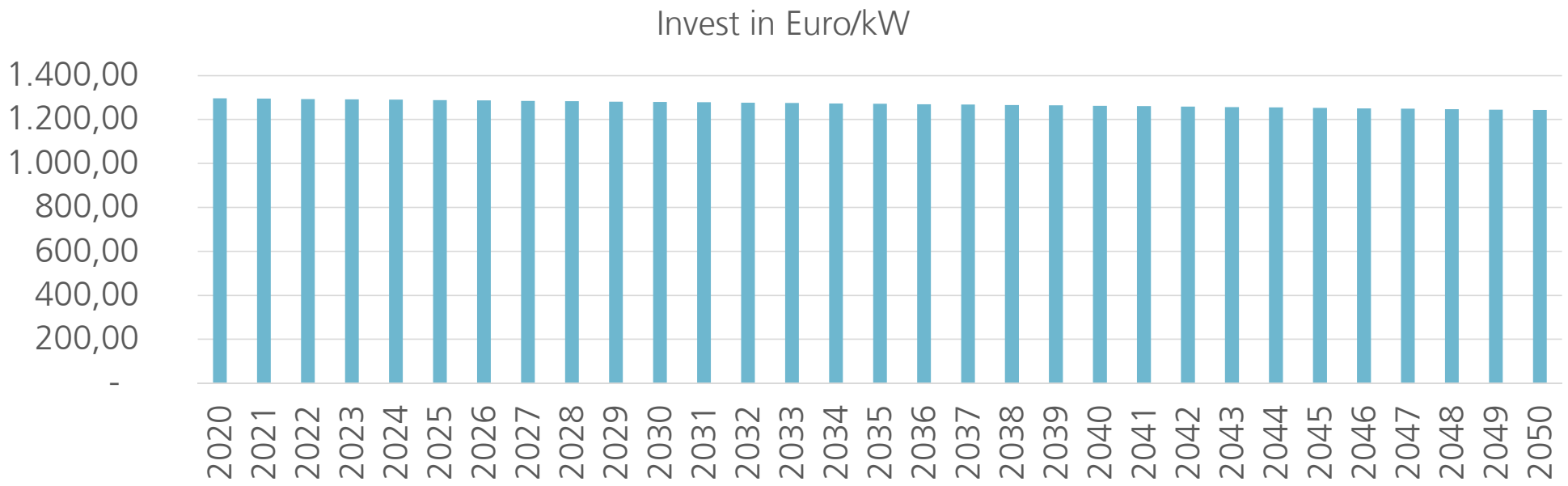
Beispiel Verfügbare Anlagen für IEC Class 2 (Starkwindzone Durchschnitt >8.5 m/s<10/ms)

Optimierungsbereich der Anlagentypen für jede „Kachel“

	2021-2030		2031-2040		2041-2050	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Nabenhöhe in m	100	140	100	150	100	160
Spezifischer Generator W/m²	350	450	350	450	350	450

lfs3_Nh100_350W	2021
lfs3_Nh120_350W	2021
lfs3_Nh120_400W	2021
lfs3_Nh140_350W	2021
lfs3_Nh140_400W	2021
lfs3_Nh150_350W	2031
lfs3_Nh150_400W	2031
lfs3_Nh160_350W	2041
lfs3_Nh160_400W	2041
lfs3_Nh80_450W	2000
lfs3_Nh90_450W	2010

Entwicklung spezifische Investitionen Gesamtprojekt WEA Nabenhöhe 100m; Spezifischer Generator 400 W/m²

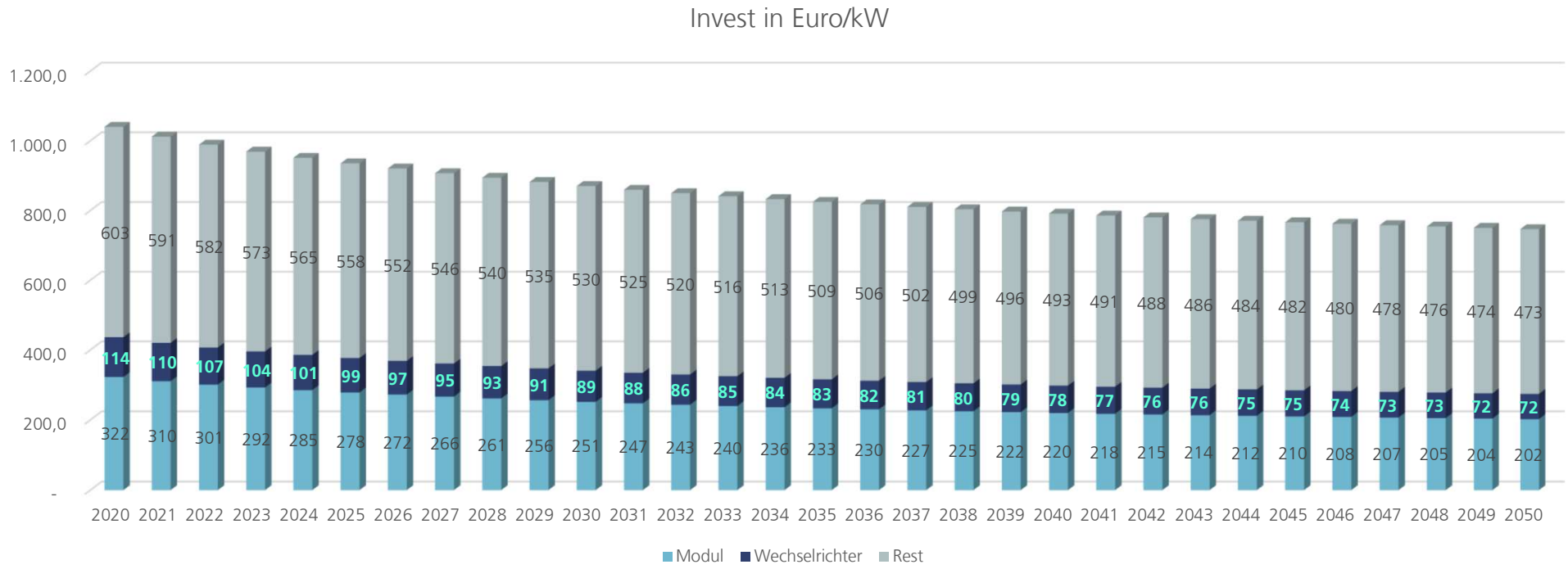


Input Enertile WEA Nabenhöhe 100; Spezifischer Generator 400W/m²

Kategorie	2021-2030	2031-2040	2041-2050	Einheit
Investition	1288	1271	1253	€/kW
Fixe O&M	51,5	50,8	50,1	€/kW

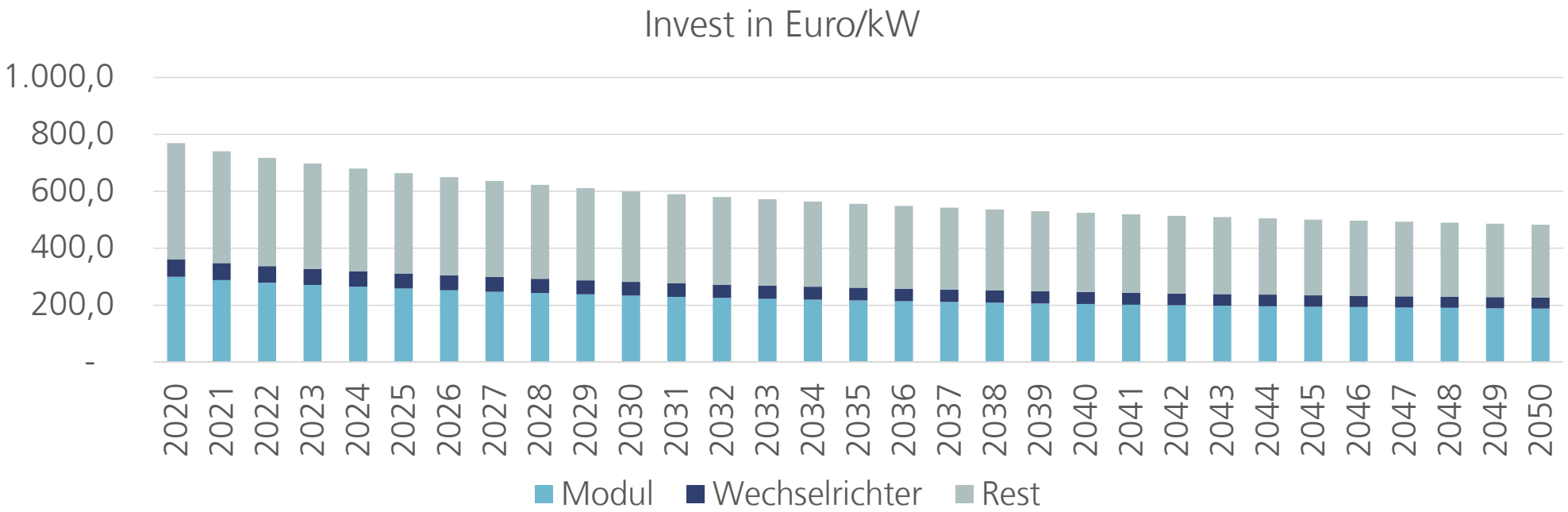
Ab 7,5 m/s in Nabenhöhe gilt ein Kostenzuschlag von 2,5%; 5% ab 8,5 m/s

Kostenentwicklung PV Dachanlage 30 kW



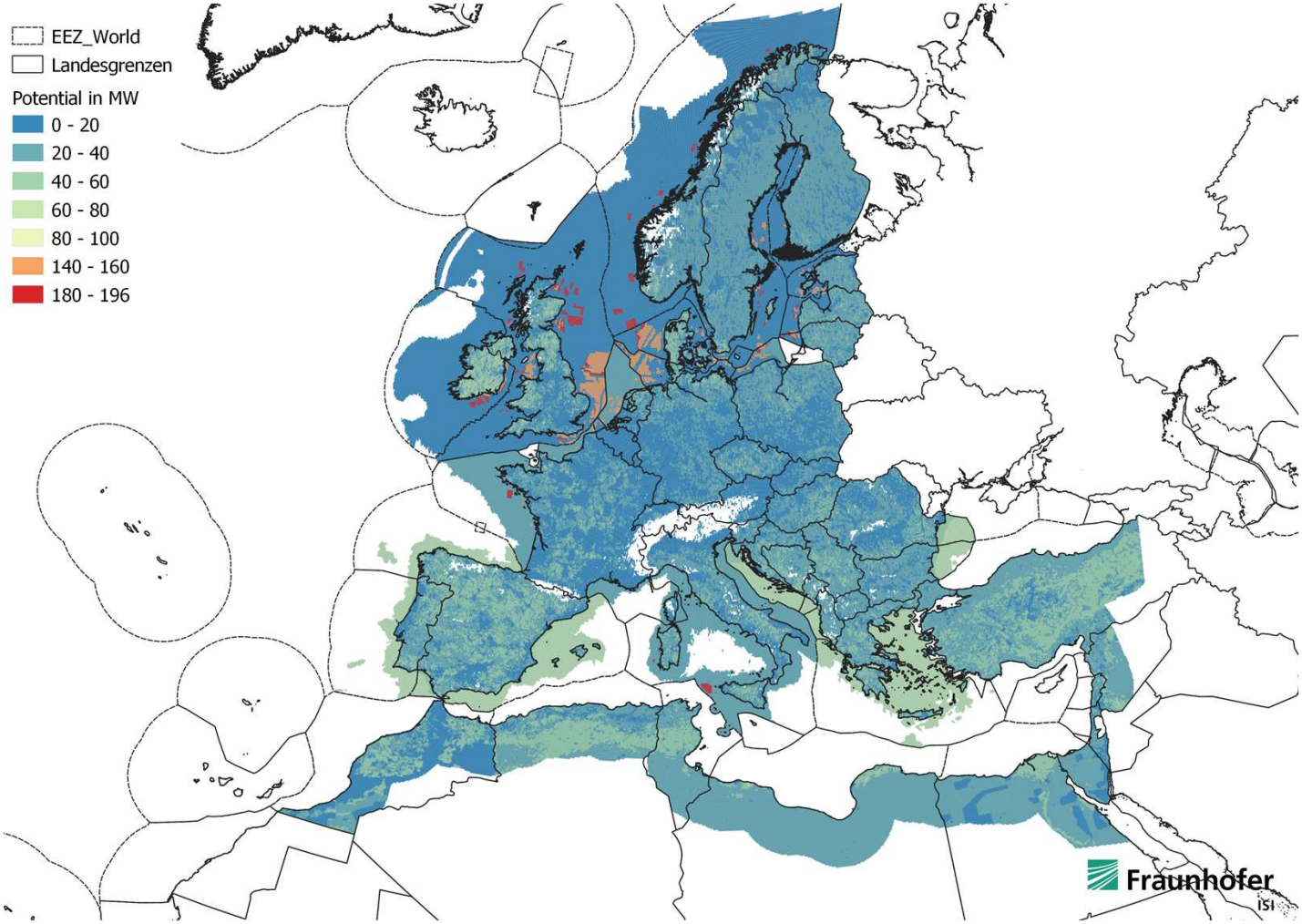
Angenommene Lernrate: Module 19%; Wechselrichter 19%; Rest 10%
Startwert: 1040 €/kW im Jahr 2020-> Quelle: EEG Erfahrungsbericht Wert für 2019

Kostenentwicklung PV Freifläche 750 kW



Angenommene Lernrate: Module 19%; Wechselrichter 19%; Rest 19%
Startwert: 770 €/kW im Jahr 2020-> Quelle: EEG Erfahrungsbericht Wert für 2019

Potentiale Wind: Leistung pro Kachel in MW 2050

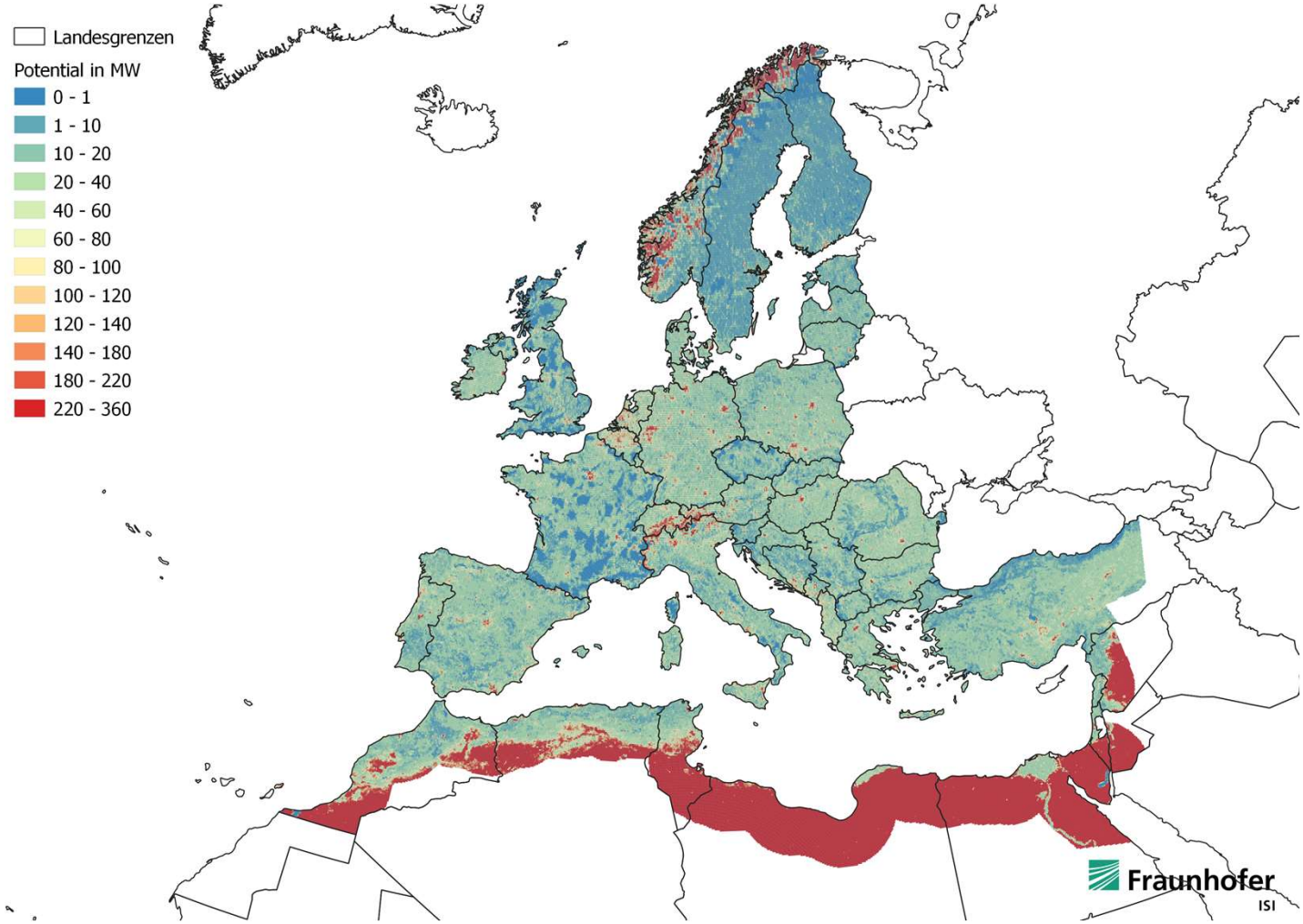


Info:

- Brachland und offshore Planungsflächen mit großem Potential
- Hoher Anteil von Brachland in der MENA Region

Interne Ids		
Tech	EU	MENA
WON	174	175
WOFF	127	131
WOFFL	124	127

Potentiale PV (Freifl. & Dach): Leistung pro Kachel in MW



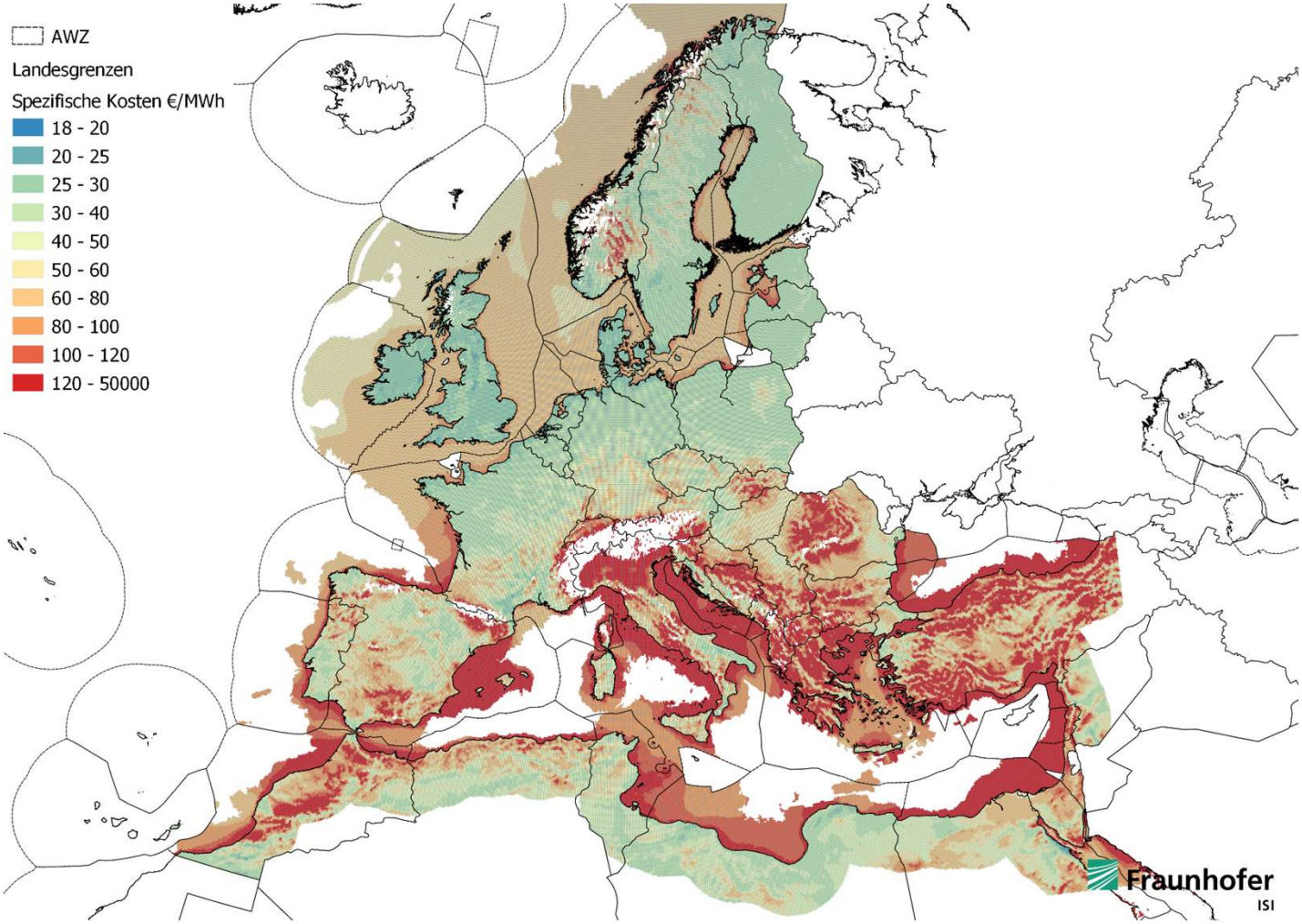
Info:

- Brachland und urbane Flächen mit großem Potential
- Hoher Anteil von Brachland in der MENA Region

Interne Ids		
Tech	EU	MENA
PV	146	147
PVR	104	105

enertile Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Potentiale Wind: Spezifische Kosten 2050

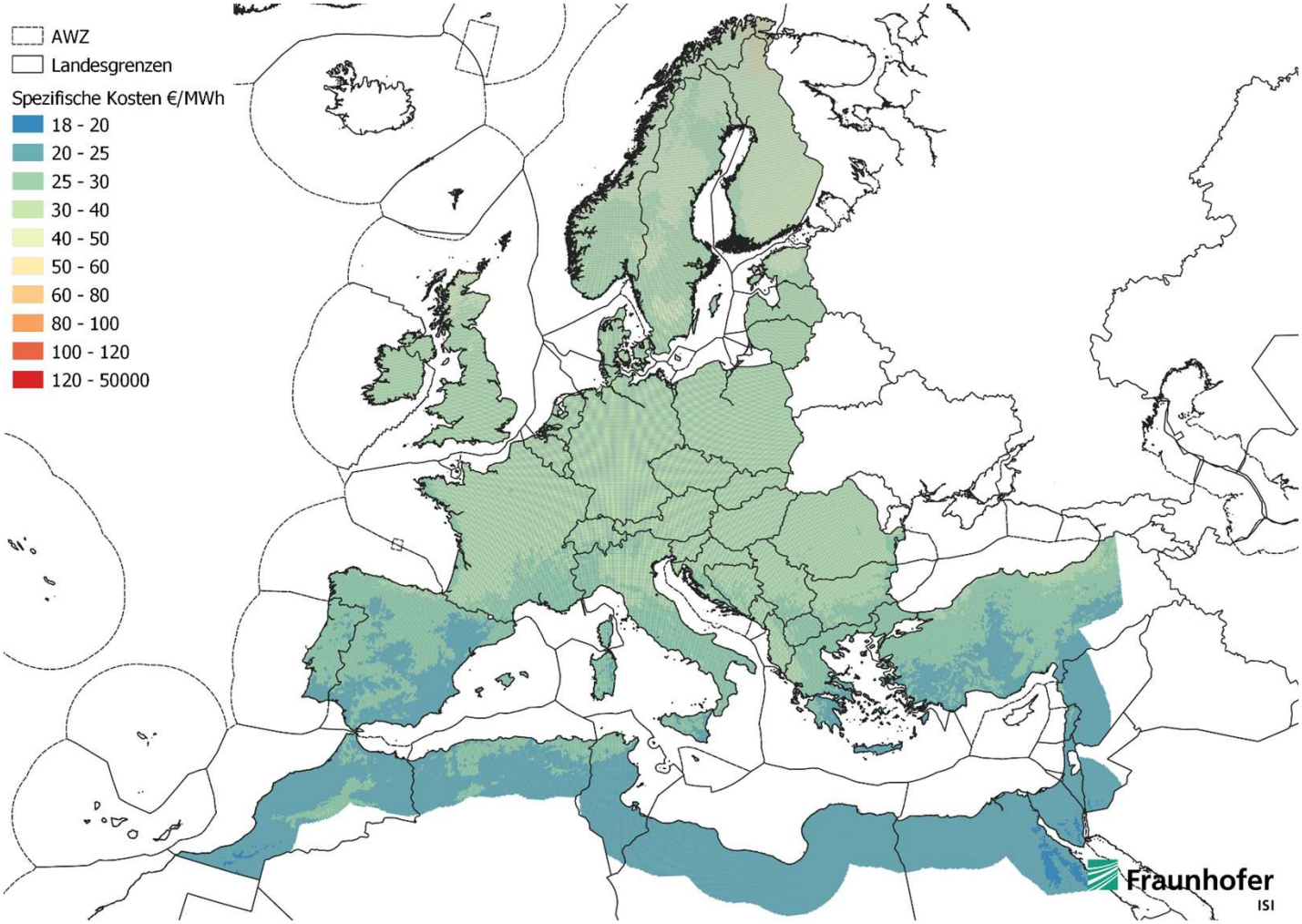


Info:

- Norddeutschland und Nordeuropa sehr konkurrenzfähig
- Generell sehr geringe Kosten
- Vereinzelt Hot Spots in MENA

Interne Ids		
Tech	EU	MENA
WON	174	175
WOFF	127	131
WOFFL	124	127

Potentiale PV (Freifläche): Spezifische Kosten 2050

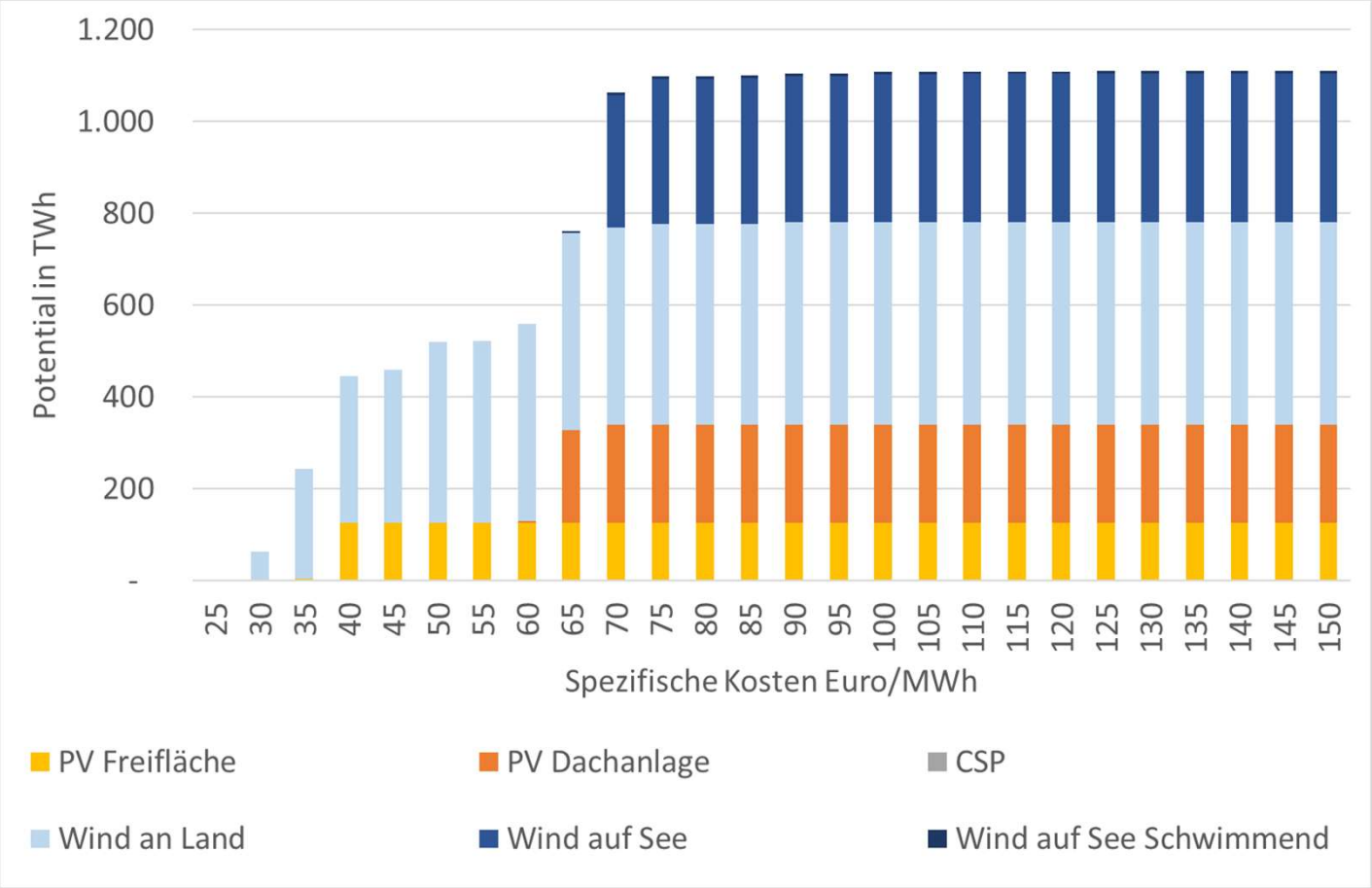


Info:

- Geringe Kosten in Mitteleuropa < 40 Euro/MWh
- Sehr geringe Kosten im Bereich von 20 Euro/MWh in der MENA Region

Interne Ids		
Tech	EU	MENA
PV	146	147
PVR	104	105

Potential in Deutschland im Jahr 2050

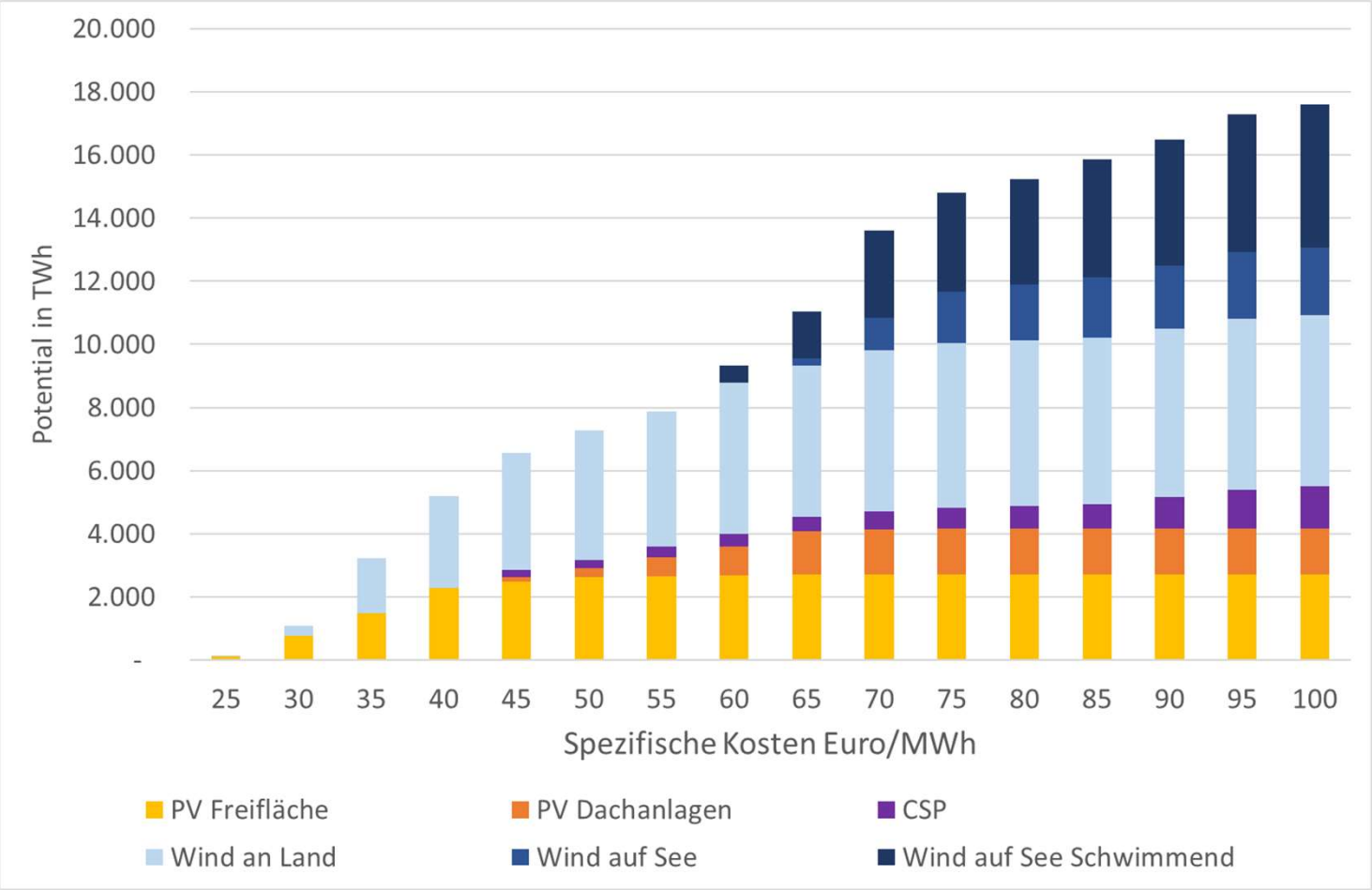


Info:

- Potential in DE ca. 1.100 TWh
- Kostensprung bei 800 TWh (offshore)
- Netzanbindung gehört zu Kosten der Parks auf See

Interne Ids	
CSP	97
PV	146
PVR	104
WON	174
WOFF	127
WOFFL	124

Potentiale in Europa im Jahr 2050

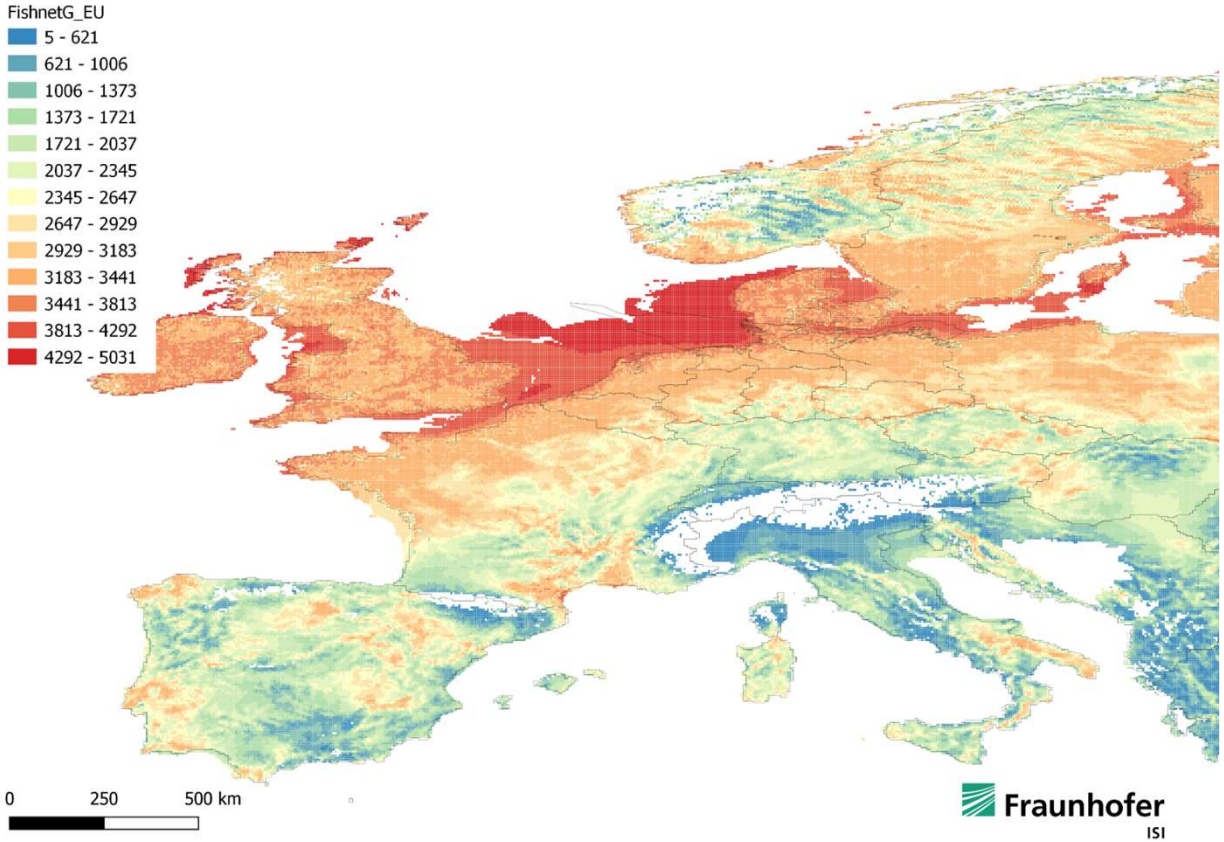


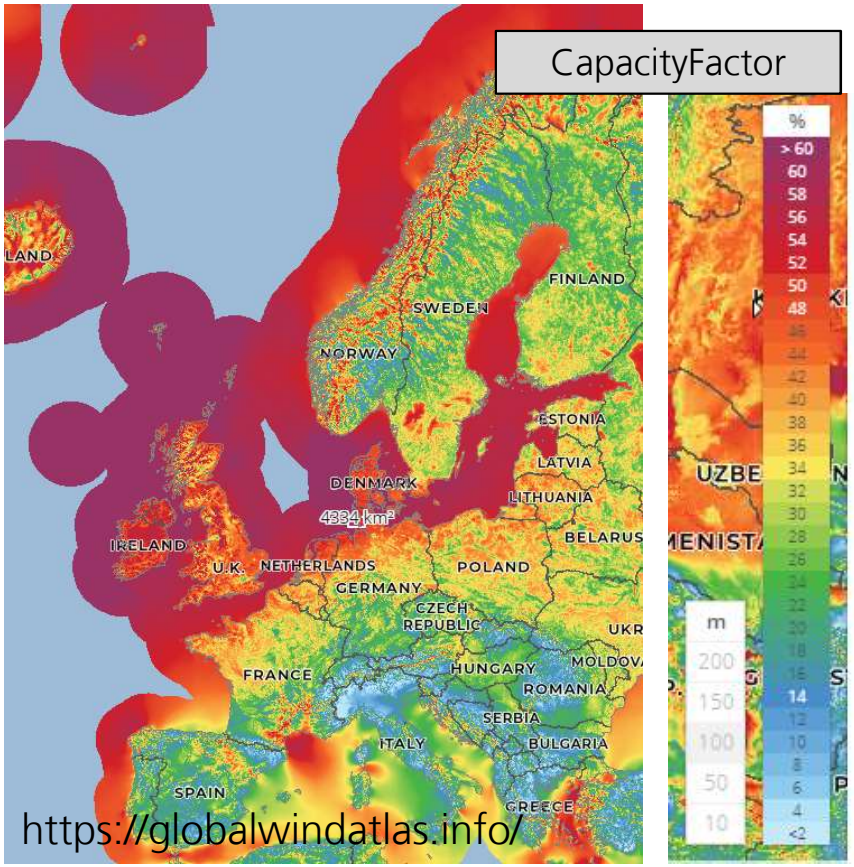
Info:

- Erhebliches Potential in der EU vorhanden
- Ca. 8000 TWh < 60 Euro/MWh

Interne Ids	
CSP	97
PV	146
PVR	104
WON	174
WOFF	127
WOFFL	124

Qualitätssicherung Regionale Windstrukturen Enertile und GlobalWindatlas sehr ähnlich





Fraunhofer ISI consentec ifeu Energy and Resources

Qualitätssicherung - Volllaststunden Remlingen bei Würzburg Kist

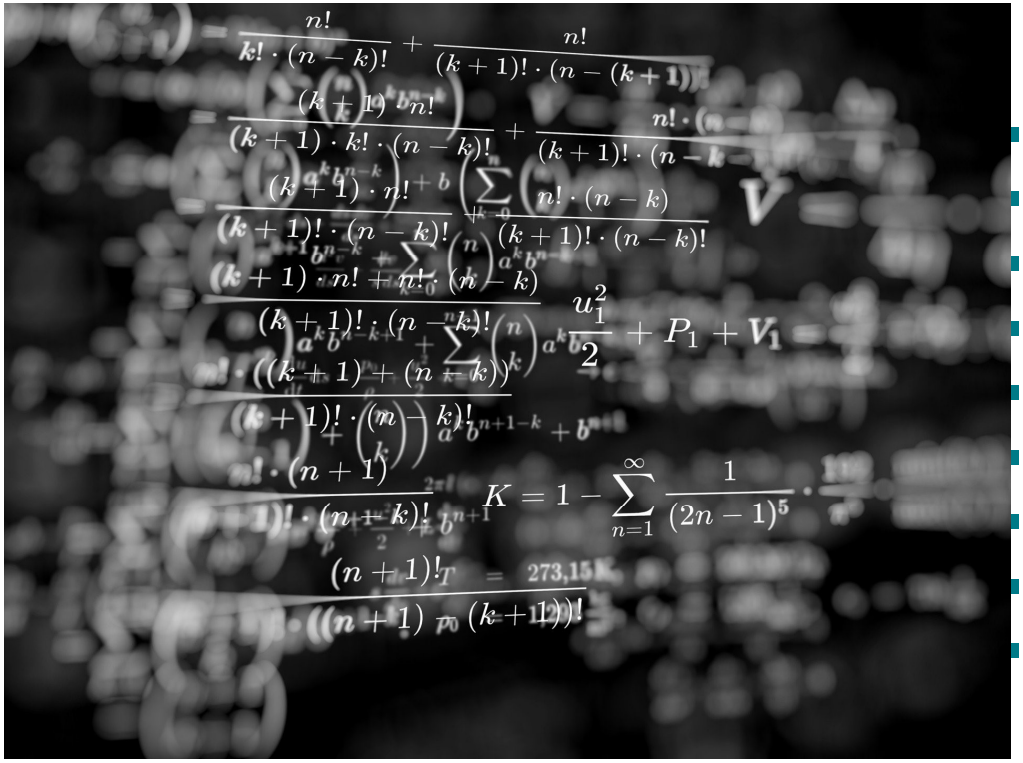
Nabenhöhe 141; Generator 224 W/m²; Bj 2016		
		Vlh (laut BWE)
97280	Remlingen	2125
97280	Remlingen	2197
97280	Remlingen	1997
97280	Remlingen	2165
97280	Remlingen	2211
97280	Remlingen	2143

VLh LFS 3 2050

						2119.41	1843.58	1790.04	1910.36	2298.47	2044.22	1843.83	1796.89	1706.65	1821.72	2024.87	2024.87	2113.12	2165.62	2357.
						2011.15	2011.15	1716.07	1699.15	1642.98	1830.3	2067.85	2067.85	2169	2113.63	2232.8	2117.39	2271.34	2357.03	2345
						1838.28	1749.31	1650.22	1642.98	1715.91	1962.15	2234.11	2234.11	2274.08	2053.93	2107.91	1877.18	2008.33	1876.54	2049.
						2062.7	1780.72	1745.22	1904.04	1990.64	2106.23	2106.23	2282.96	2364.16	2364.16	2231.73	1975.75	1878.95	1878.95	2292.
						1727.37	1742.06	2055.77	2055.77	2188.82	2167.12	2199.04	2139.19	2385.56	2259.32	2154.95	2003.31	1881.52	1950.3	2423.
1757.29	1757.29	2078.04	1828.85	2109.26	1910.95	1778.77	1987.75	2361.85	2526.97	2526.97	2334.58	2178.01	2178.01	2154.06	2071.06	2071.06	2143.52	2416.27	2607.	
1903.36	1989.83	2295.53	2295.53	2392.08	2199.44	2391.05	2158.42	2248.12	2545.08	2489.82	2578.61	2345.57	2488.12	2352.16	2338.3	2338.3	2485.4	2619.23	2619.	
2422.81	2251.12	2445.87	2422.43	2568.96	2391.05	2440.94	2177.7	2176.26	2176.26	2392.56	2510.05	2455.96	2521.88	2627.96	2627.96	2748.02	2712.23	2625.02	2511.	
2361.18	2214.42	2214.42	2336.09	2502.4	2350.72	2417.09	2360.17	2360.17	2313.29	2400.6	2455.96	2547.7	2686.11	2788.26	2788.26	2834.21	2707.87	2667.17	2587.	
2059.18	2059.18	2146.2	2175.76	2350.72	2198.51	2277.84	2353.18	2353.18	2544.29	2620.86	2813.53	3030.18	3018.35	3018.35	2827.03	2707.76	2707.76	2735	2796.	
1931.82	1812.55	1872.85	2091.89	1917.78	1992.83	2122.84	2122.84	2282.49	2476.97	2476.97	2715.95	2890.01	2837.38	2573.1	2621.56	2675.38	2738.17	2744.68	2762.	

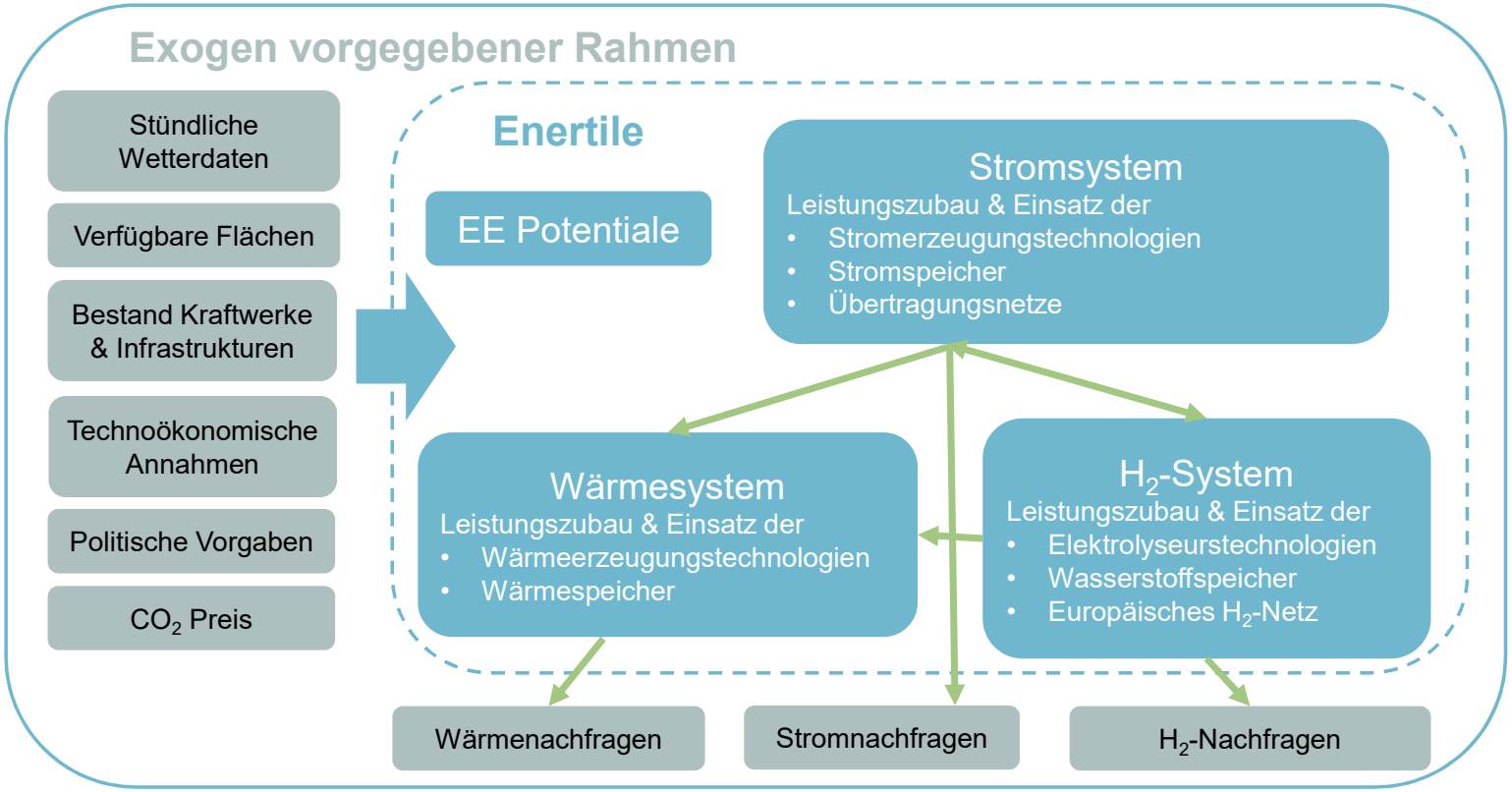
enertile Fraunhofer ISI consentec ifeu TU Berlin E&R Energy and Resources

Agenda



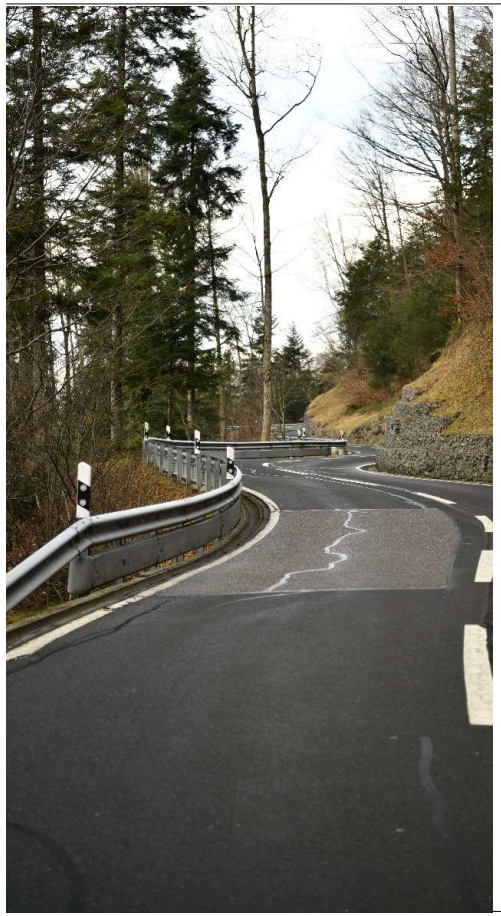
- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Enertile – Überblick Modellierung



- **Ziel:**
  - Kosteneffiziente Deckung vorgegebener Energienachfragen in jeder betrachteten Stunde und Region
- **Lösungsansatz:**
  - Simultane Kostenoptimierung des Zubaus und Einsatzes von Kraftwerken, KWK, erneuerbaren Energien, Kuppelkapazitäten, Speichern, Wärmepumpen, Elektrolyseuren, etc.
  - Abbildung von Europa für 2030, 2040 und 2050 in stündlicher Auflösung
  - Abbildung der MENA-Region für den Import strombasierter Energieträger

Enertile – Restriktionen



Identisch in allen Szenarien

- Deutsche Energie- und Klimapolitik
  - **Atomausstieg** und **Kohleausstieg** werden umgesetzt
  - **Wind an Land** 2030: Mindestens 71 GW & maximal 80 GW
  - **Wind auf See**
    - 2030: Mindestens 20 GW
    - 2040: Mindestens 40 GW
  - **Photovoltaik** 2030: Mindestens 100 GW
  - **Nationale Wasserstoffstrategie** wird umgesetzt
    - 2030: Mindestens 5 GW Elektrolyse
    - 2040: Mindestens 10 GW Elektrolyse
- Quasi-Ausstieg aus Biomasse im Umwandlungssektor ab 2030

Enertile – Restriktionen (cont.)

- Europa:
  - Wind auf See 2030:
    - Ausbau gemäß Szenario „National Trends“ (TYNDP)
    - 60 GW außerhalb Deutschlands
  - Wind an Land 2030:
    - Maximal 50 GW in UK & Irland
    - Maximal 25 GW in Polen
- Begrenzung der regionalen Umverteilung von PV und Wind an Land in Deutschland
  - 2030 dürfen 90% des Anlagenbestands nicht umverteilt werden
  - 2040 dürfen 80% des Anlagenbestands nicht umverteilt werden
  - 2050 dürfen 70% des Anlagenbestands nicht umverteilt werden

→ Nachteil für DE in der Modellierung

Enertile – Restriktionen (cont.)

TN-Strom & TN-H2-G

- EE-Mindesterzeugung als Importbegrenzung
  - 2050: 900 TWh
- Verbot fossiler Technologien in 2050
- Import von Wasserstoff möglich

TN-PtG/PtL

- EE-Mindesterzeugung als Importbegrenzung
  - 650 TWh
- PtG und PtL sind nur als Importe vorgesehen

Enertile – Energieträger- und CO_2-Preise

	Einheit	2030	2040	2050
Erdgaspreis TN-Strom & TN-H_2-G	EUR/MWh	22	22	22
PtG-Preis (Grenzübergang)	EUR/MWh	126	110	94
PtG-Anteil	%	5%	25%	100%
Gaspreis TN-PtG/PtL	EUR/MWh	27	44	94

	Einheit	2030	2040	2050
CO_2-Preis	EUR/t	75	125	500

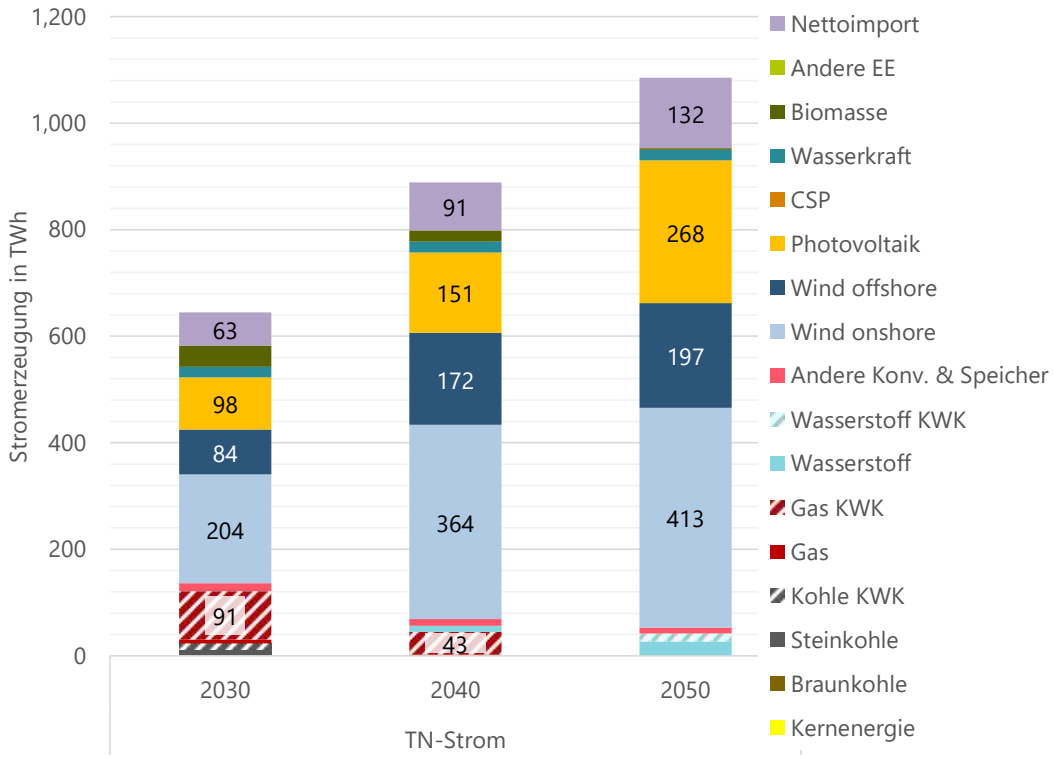
Nicht-EU-H_2-Importe	**Einheit**	**2030**	**2040**	**2050**
H_2-Gestungskosten MENA	EUR/MWh	71	61	51
Transport Pipeline	EUR/MWh	30	30	30
H_2-Preis TN-H_2-G (Import)	EUR/MWh	101	91	81

- **Ergebnisse**
  - Methan wird ein teurer Brennstoff
  - Importierter Wasserstoff wird im Zeitverlauf günstiger als Methan
- **Einordung**
  - Gleichstellung von Europa und MENA-Region in der Modellierung mit WACC von 2%, um einen Bias zugunsten europäischer Erzeugung zu verhindern
  - ***Dies führt tendenziell zur Unterschätzung der Kosten von außereuropäischem Import von PtG***
  - Transportkosten für den Import von Wasserstoff sind sehr unsicher
  - H_2 Erzeugung in Europa wird modellendogen berechnet

Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
  - Ausbau Strom
  - Ausbau Wärme
  - Ausbau H2
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

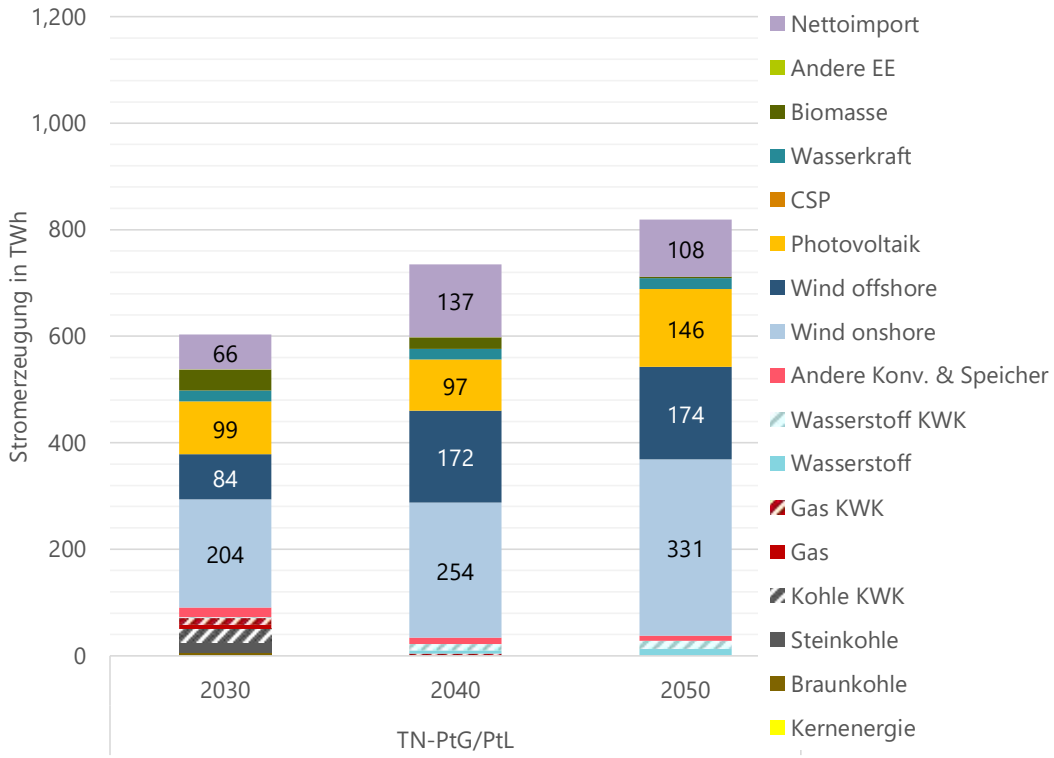
Stromsystem – Deutschland – Erzeugung
TN-Strom



- Stromerzeugung im Zieljahr 2050
  - ca. 950 TWh
  - vollständig durch erneuerbare Energien: unmittelbar und mittelbar durch grünen Wasserstoff
- Erneuerbare Energien
  - dominieren den Strommix ab 2030
  - Potentiale für Wind an Land und PV Freifläche werden vollständig gehoben
  - Nutzung von Wind auf See über Mindestvorgabe hinaus
- Stark reduzierte Rolle der KWK
- Steigende Stromimporte ab 2030

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

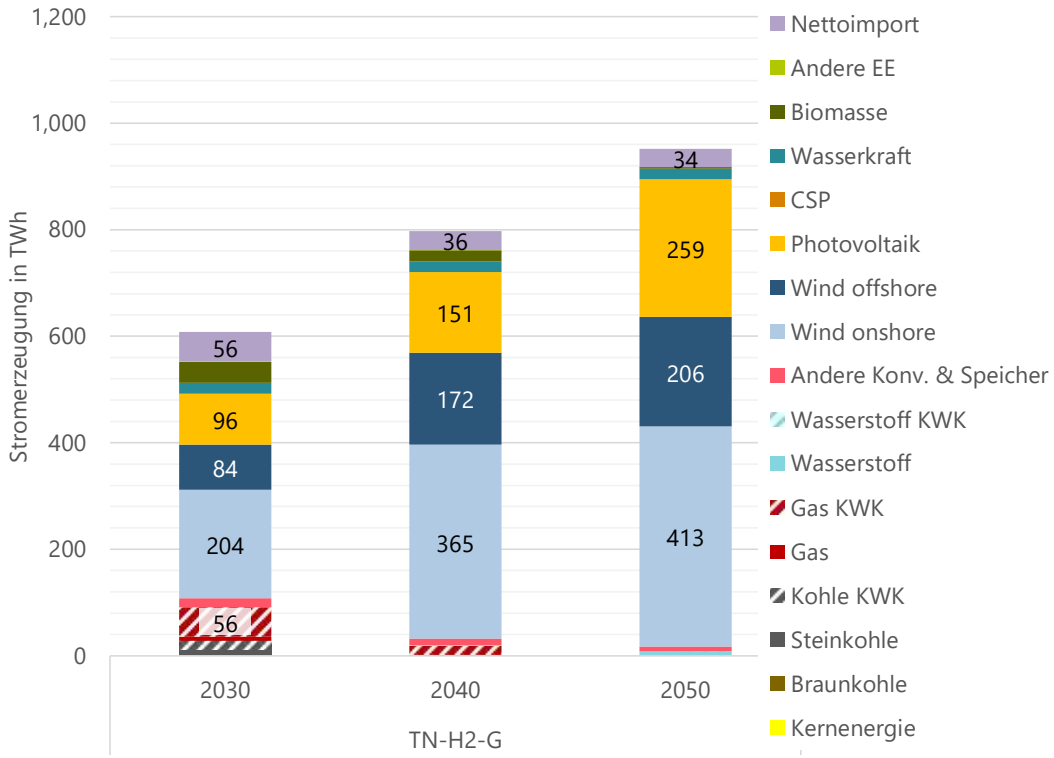
Stromsystem – Deutschland – Erzeugung
TN-PtG/PtL



- Stromerzeugung im Zieljahr 2050
  - ca. 710 TWh
  - vollständig durch erneuerbare Energien: unmittelbar und mittelbar durch grünen Wasserstoff
  - kein Einsatz von synthetischem Methan zur Stromerzeugung
- Erneuerbare Energien
  - dominieren den Strommix ab 2030
  - werden dominiert von Wind an Land
  - Wind auf See wird nicht über die Mindestvorgabe von 40 GW hinaus ausgebaut
- Stark reduzierte Rolle der KWK
- Deutschland wird Stromimporteur

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

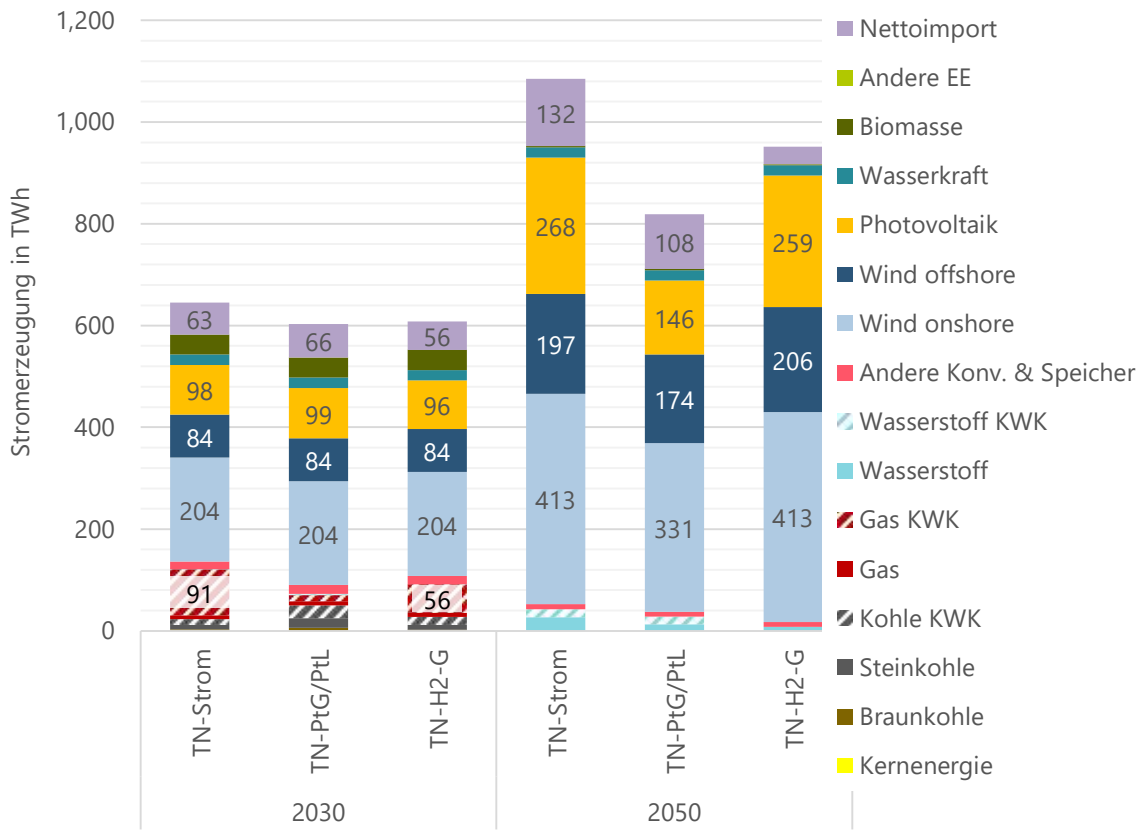
Stromsystem – Deutschland – Erzeugung
TN-H2-G



- Stromerzeugung im Zieljahr 2050
  - ca. 920 TWh
  - vollständig durch erneuerbare Energien: unmittelbar und mittelbar durch grünen Wasserstoff
- Erneuerbare Energien
  - dominieren den Strommix ab 2030
  - Potentiale für Wind an Land und PV Freifläche werden vollständig gehoben
  - Nutzung von Wind auf See über Mindestvorgabe hinaus
- Relativ geringe Nettoimporte nach 2030
- Stark reduzierte Rolle der KWK

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

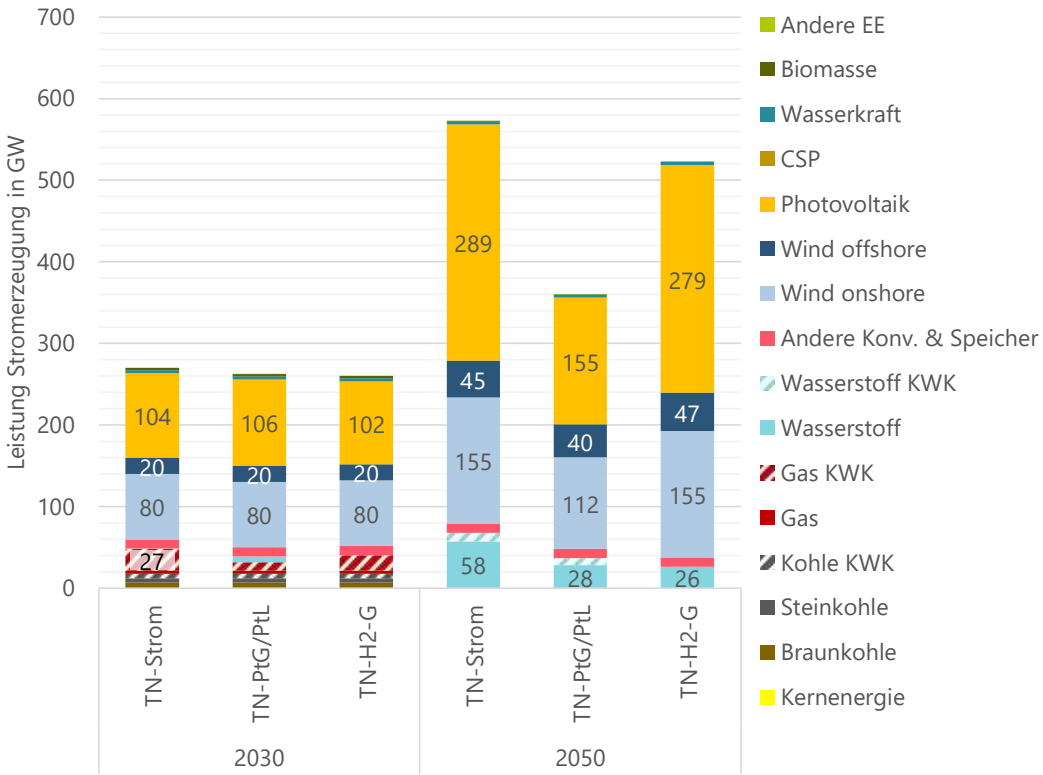
Stromsystem – Deutschland – Erzeugung
Wind- und Solarenergie als Grundlage der Stromversorgung



- **Ergebnisse**
  - **Hohe Stromerzeugung aus Wind und Solarenergie in Deutschland**
  - **Wasserstoff in geringem Umfang als Back-up** eingesetzt, wenn wenig Erneuerbare Energien verfügbar sind
  - **Kein Einsatz von PtG im Umwandlungssektor, da als Brennstoff zu teuer**
  - Hoher Nettostromimport (insb. in *TN-Strom* und *TN-PtG/PtL*)

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

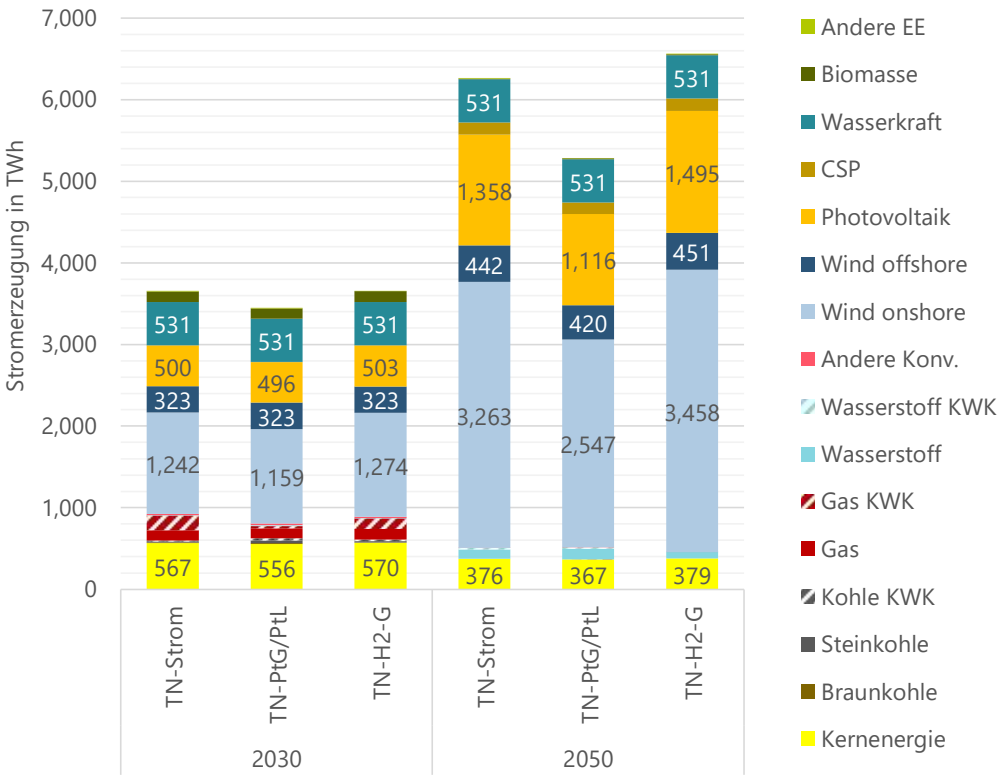
Stromsystem – Deutschland – Installierte Leistung
Wind- und Solarenergie als Grundlage der Stromversorgung



- **Ergebnisse**
  - **Potenziale von erneuerbaren Energien an Land** (PV-Freifläche, Wind an Land) werden sehr stark ausgeschöpft (*TN-Strom* und *TN-H_2-G*)
  - **Wasserstoffkraftwerke mit substantieller Back-up Leistung**
- **Einordung**
  - Ausbau erneuerbarer Energien an Land extrem

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

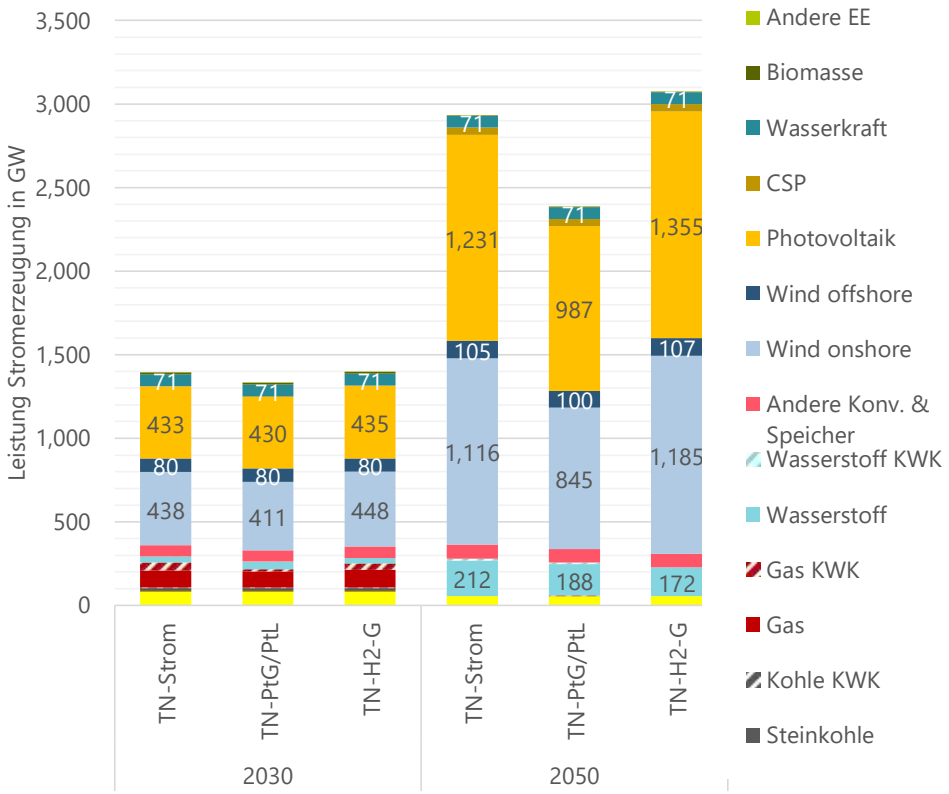
Stromsystem – Europa – Erzeugung
Wind an Land und PV dominieren in Europa



- **Ergebnisse**
  - Hohe Stromerzeugung in Gesamteuropa 5.400 – 6.600 TWh
  - Ähnliche Stromsysteme in *TN-Strom* und *TN-H2-G*
  - Reduzierte Stromerzeugung in *TN-PtG/PtL*
  - Es dominieren PV und Wind an Land
  - Wasserstoff wird für die Deckung von Spitzennachfragen eingesetzt
- **Einordung**
  - Kernenergie folgt dem vorgegebenen Pfad der moderaten Reduktion
  - **Europäischer Energiehandel spielt für einzelne Mitgliedsstaaten (z.B. DE) eine große Rolle. Grundlage ist ein europäischer Netzausbau.**

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Stromsystem – Europa – Installierte Leistung
Wind an Land und PV dominieren in Europa



- **Ergebnisse**
  - **Potenziale Erneuerbarer Energien werden in allen Szenarien sehr stark ausgeschöpft (wenngleich etwas weniger im *TN-PtG/PtL*)**
  - Batteriespeicherausbau 2050 nur in Italien 44-51 GW
- **Einordung**
  - **Ausbau der Erneuerbaren Energien an Land sehr hoch**
  - Aus Akzeptanzgründen stärkerer Ausbau von Offshore möglich, der den EE-Ausbau an Land zumindest etwas reduziert
- **Schlussfolgerung**
  - Aus Systemsicht ist es sinnvoll, bis 2050 die Potenziale für PV-Freifläche und Windenergie in Deutschland und Europa sehr weit zu heben (Randbedingungen: Nachfrageflexibilität, Netzausbau)

enertile

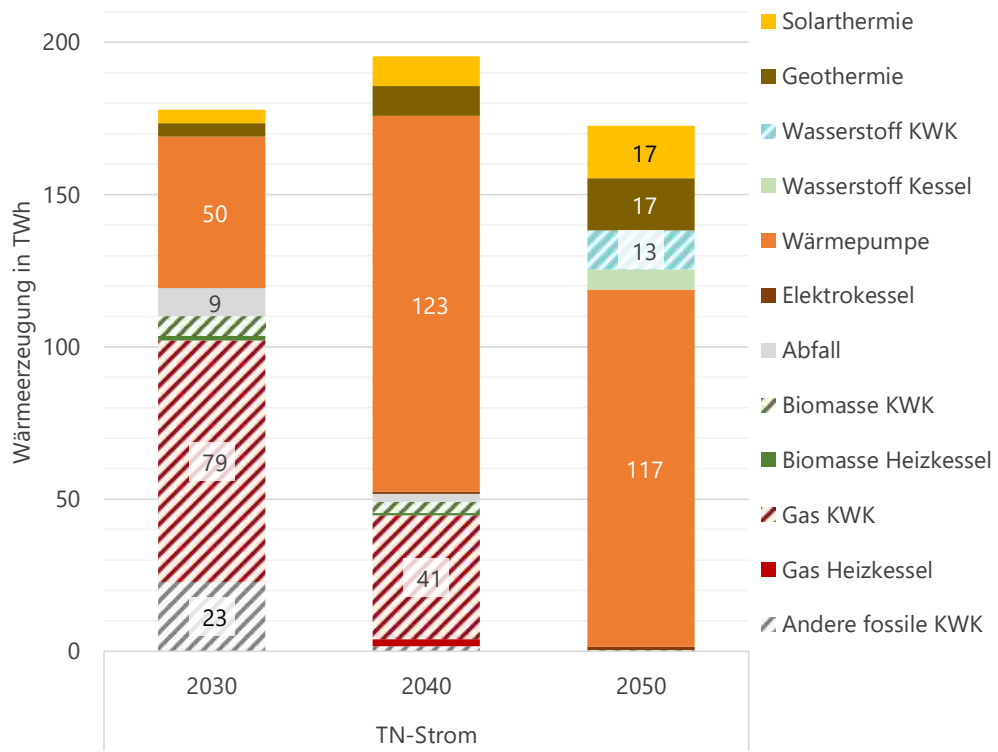
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
  - Ausbau Strom
  - Ausbau Wärme
  - Ausbau H2
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

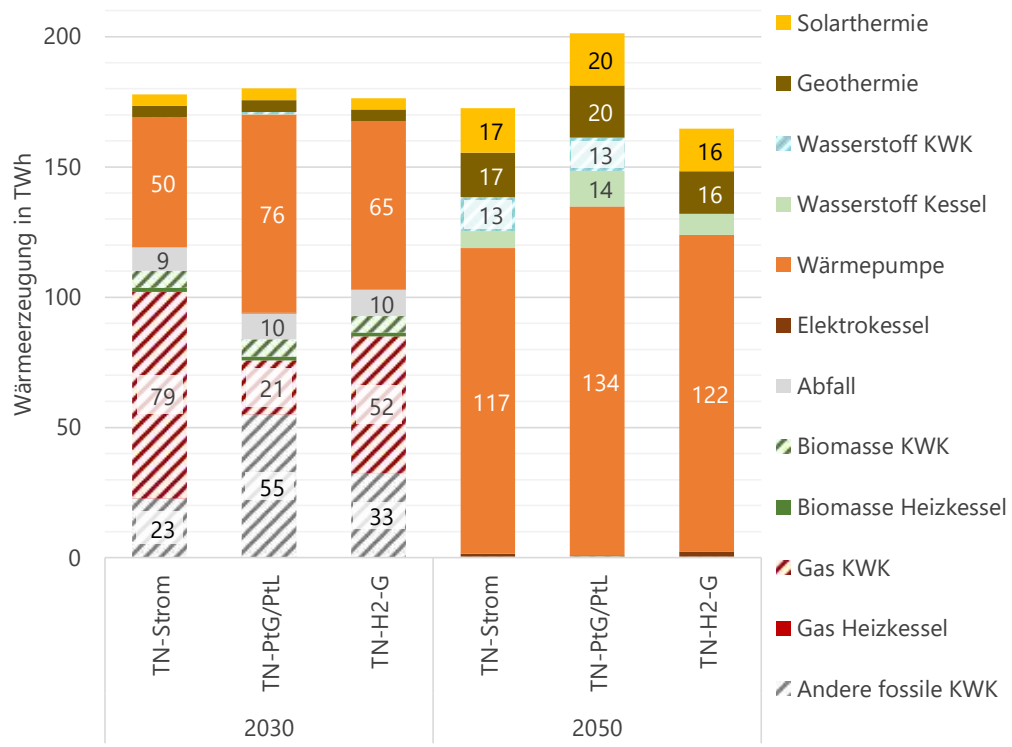
Wärmenetze – Deutschland – Erzeugung
TN-Strom



- **Wärmeerzeugung in Wärmenetzen**
  - langfristig dominiert von Großwärmepumpen (trotz konservativer Parametrierung)
  - Deutlicher Rückgang der KWK-Erzeugung nach 2030
  - 2050 Einsatz von H_2-KWK und H_2-Spitzenlastkesseln
  - Biomasse scheidet annahmengetrieben aus der Wärmeerzeugung aus

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

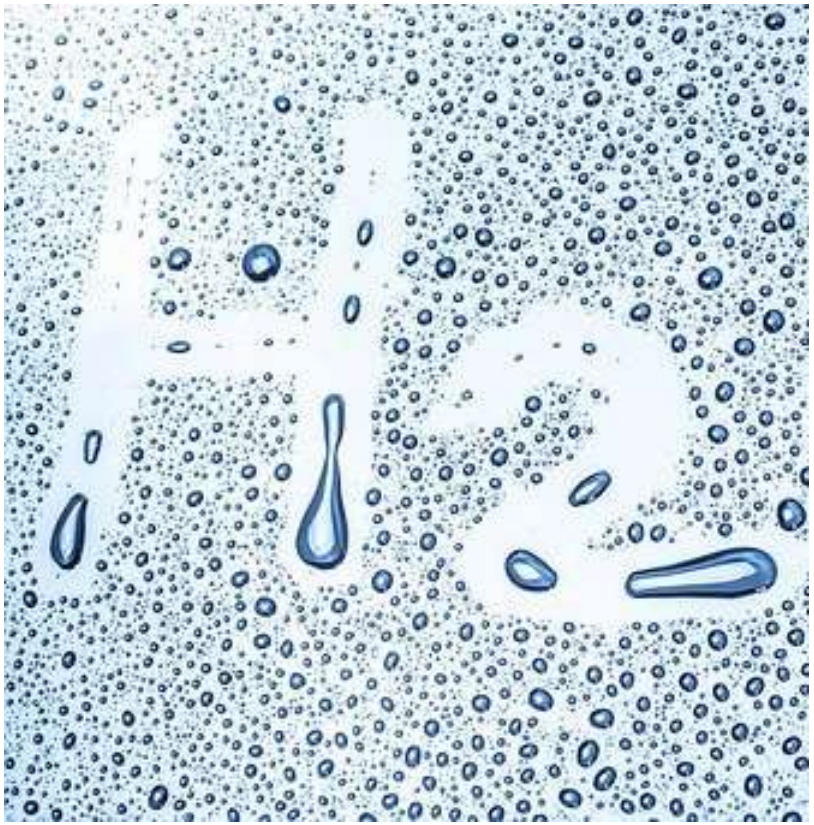
Wärmenetze – Deutschland – Erzeugung
Starker Ausbau von Großwärmepumpen und Wärmespeichern



- **Ergebnisse**
  - Großwärmepumpen dominant in allen Szenarien
  - Starker Ausbau von Wärmespeichern
  - H_2-Kessel als Backup in allen Szenarien
  - KWK-Erzeugung in allen Szenarien 2050 sehr gering
  - **Kein Einsatz von PtG im Umwandlungssektor, da als Brennstoff zu teuer**
- **Einordnung**
  - KWK hat eine Rolle im Jahr 2050
  - Rolle der KWK wird im Jahr 2050 deutlich geringer, aber genaue Höhe sehr stark abhängig von der Parametrierung der Szenarien
- **Schlussfolgerung**
  - Großwärmepumpen und Wärmespeicher sind Schlüsseltechnologien

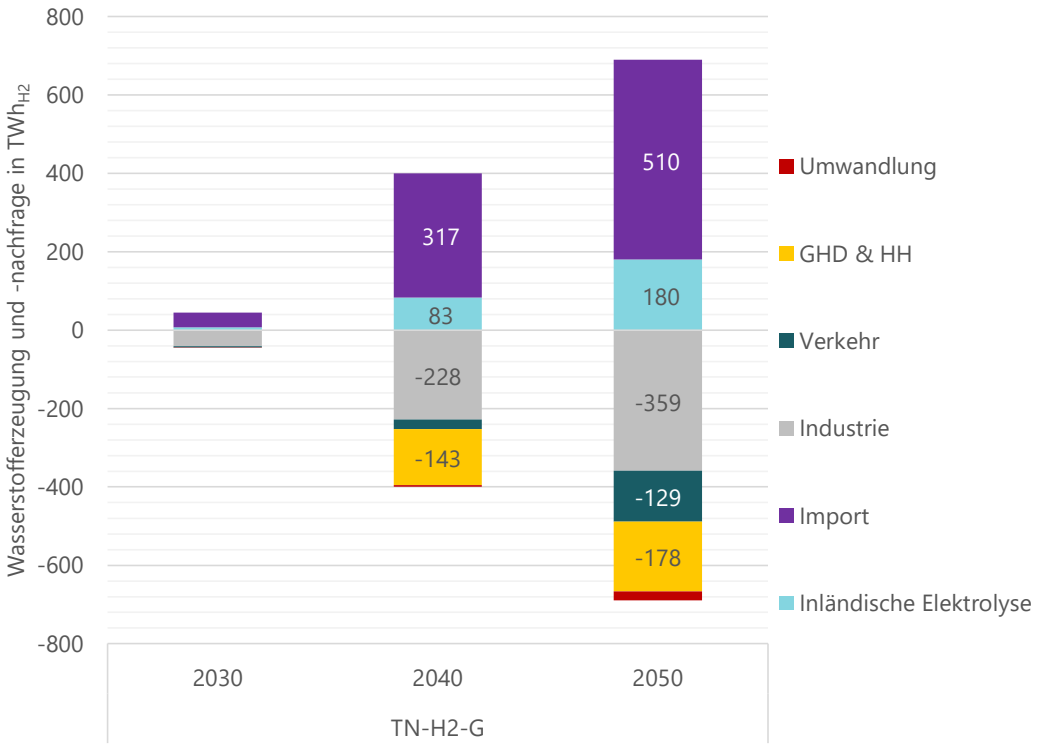
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Agenda



- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
  - Ausbau Strom
  - Ausbau Wärme
  - Ausbau H2
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

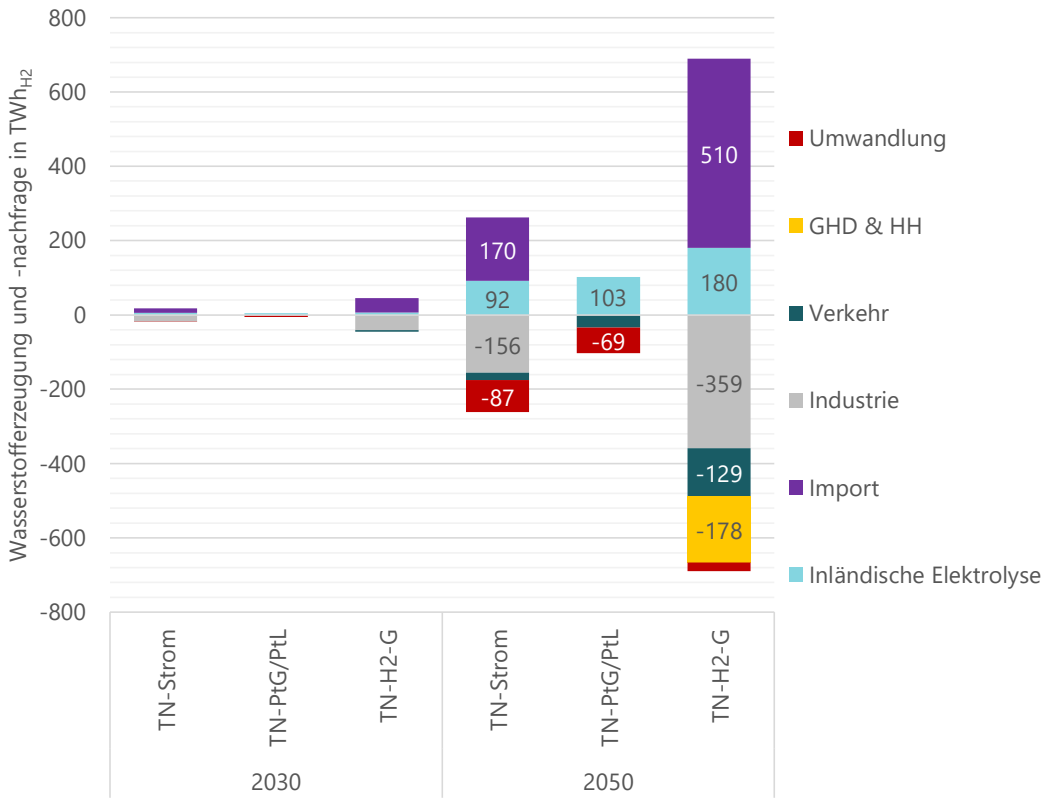
Wasserstoff – Deutschland – Erzeugung
TN-H2-G



- **Wasserstoffnachfrage**
  - sehr hoch in 2050 mit knapp 700 TWh
  - geprägt durch hohen H_2-Bedarf in den Nachfragesektoren
  - niedrig im Umwandlungssektor
- **Wasserstofferzeugung**
  - ca. 180 TWh in Deutschland im Jahr 2050
  - hohe europäische Importe
  - kein modellendogener Import aus MENA

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoff – Deutschland – Erzeugung
Europäisches Wasserstoffnetz sinnvoll



- **Ergebnisse**
  - Deutliche Unterschiede bzgl. Wasserstoffbedarfen zwischen den Szenarien
  - Die europäische Importoption wird genutzt, wenn sie vom Szenariodesign erlaubt wird.
  - Ein H_2-Import aus der MENA Region findet in keinem Szenario statt.
  - H_2-Speicherbedarf: 47 – 73 TWh_{H2}
  - Elektrolyseleistung: 41 – 75 GW_{el}

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

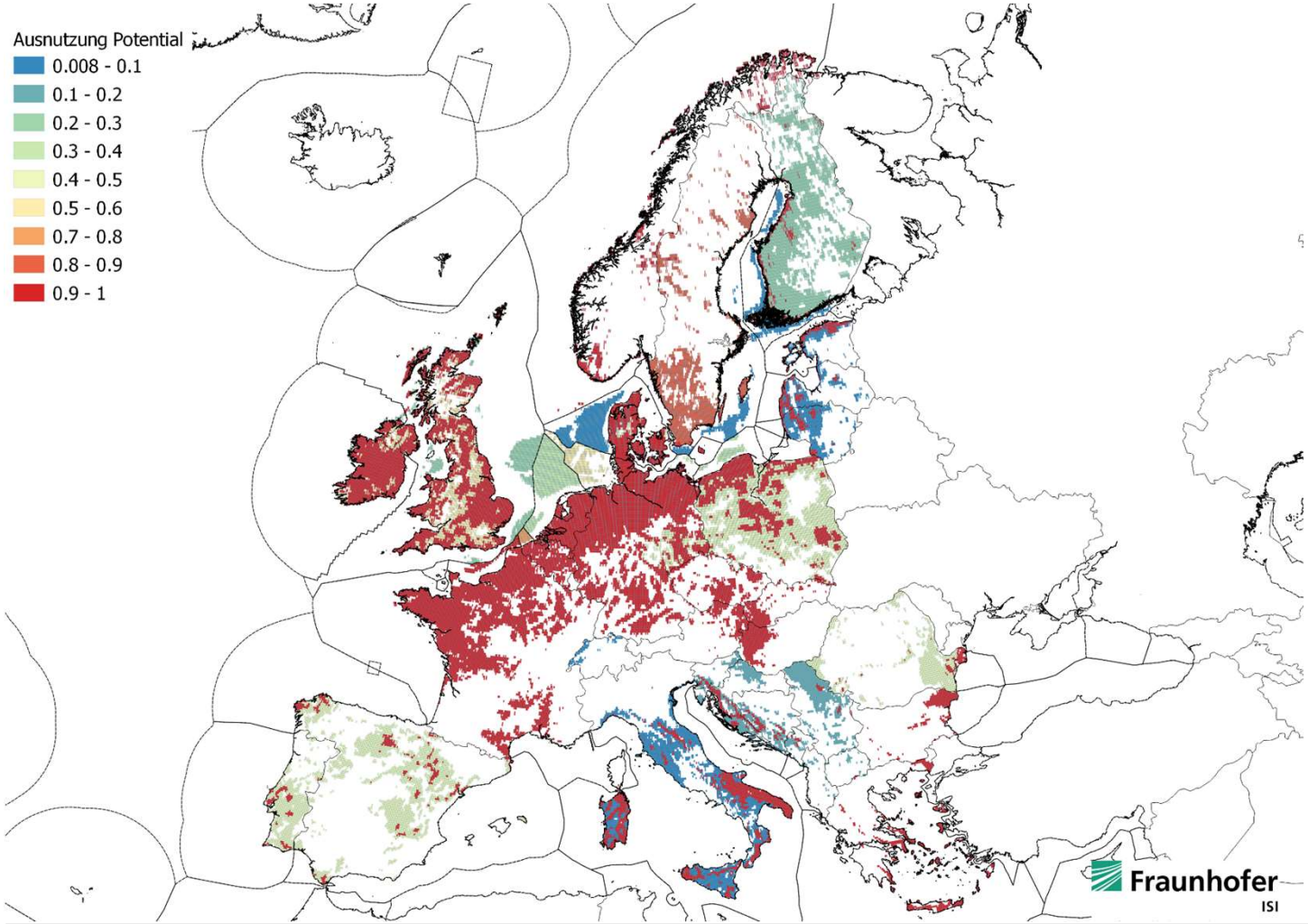
Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
  - Ausbau Erneuerbarer Energien
  - Exkurs: Die Rolle von H_2-Importen aus MENA
  - Dispatch Strom/Wärme/H_2
  - H_2-System in Europa
  - Stromhandel
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Potentialausnutzung Wind 2050 Szenario *TN-PtG/PtL*

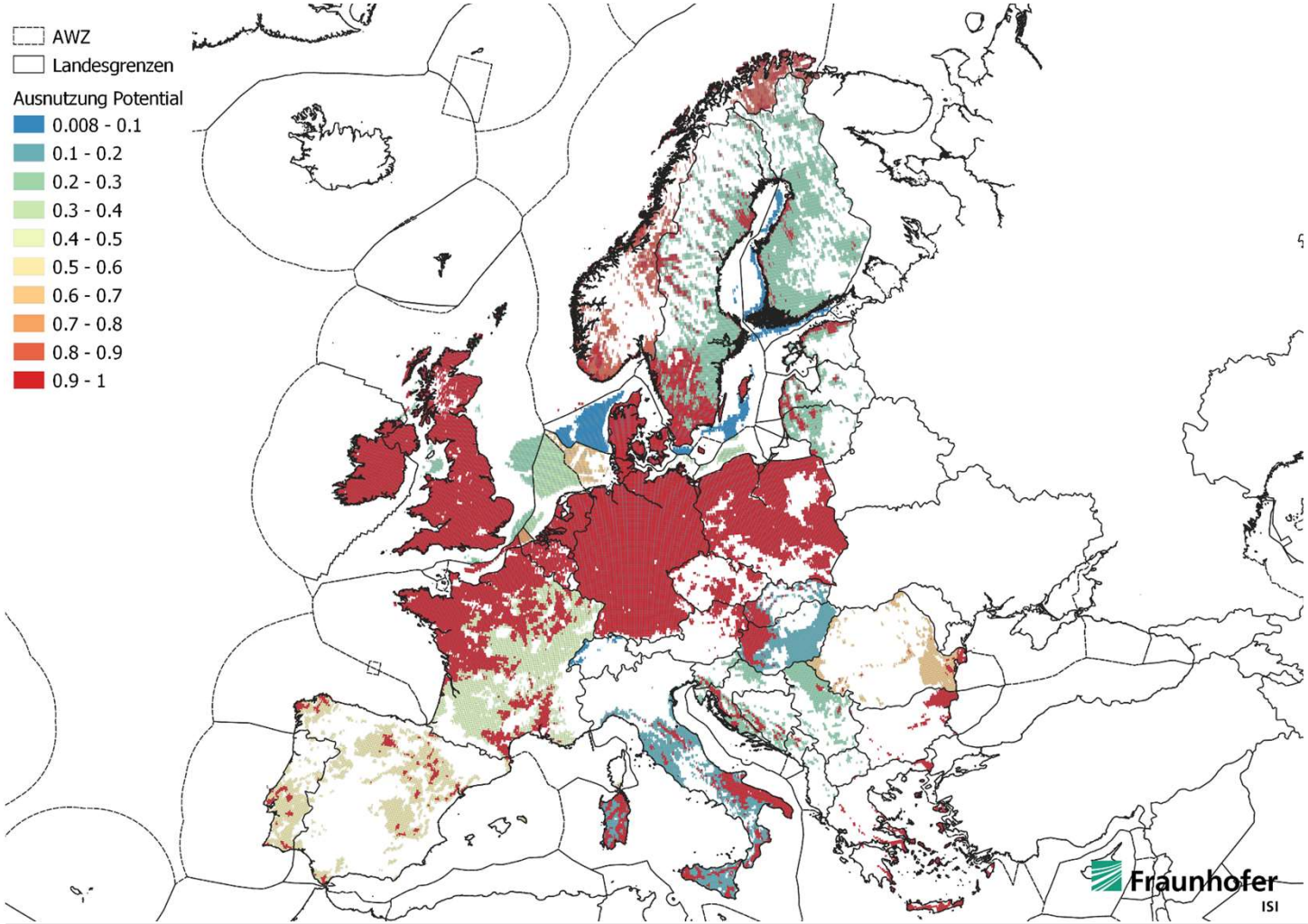


Infos:

- Hohe Potentialausnutzung in Mitteuropa
- Freie Flächen in Süddeutschland
- Kaum Nutzung der Flächen auf See

ID 39793

Potentialausnutzung Wind 2050 Szenario *TN-Strom*



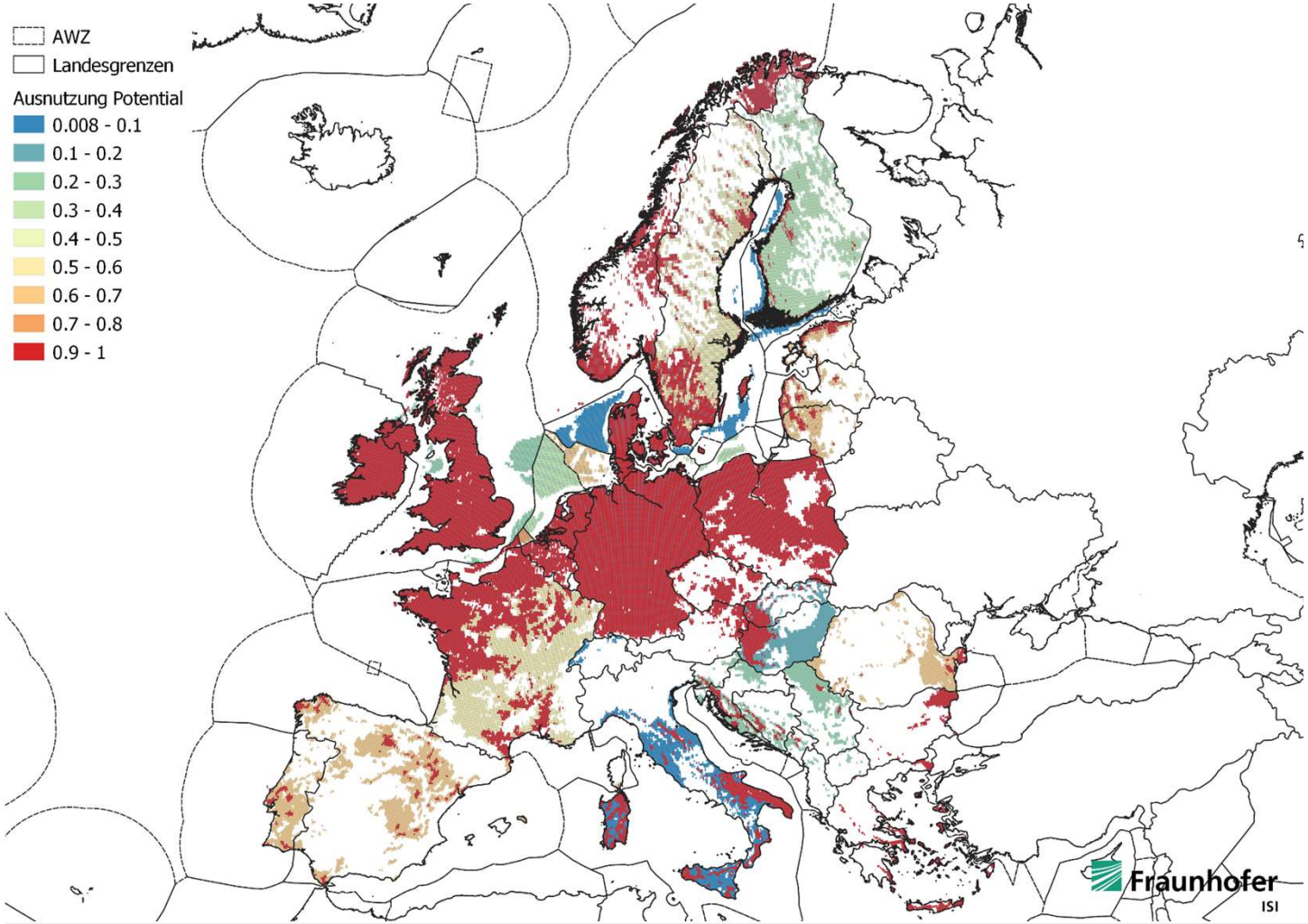
Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Mitteuropa
- Ausbau in Süddeutschland ggf. durch Restriktionen getrieben

ID 39847

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Potentialausnutzung Wind 2050 Szenario *TN-H2-G*

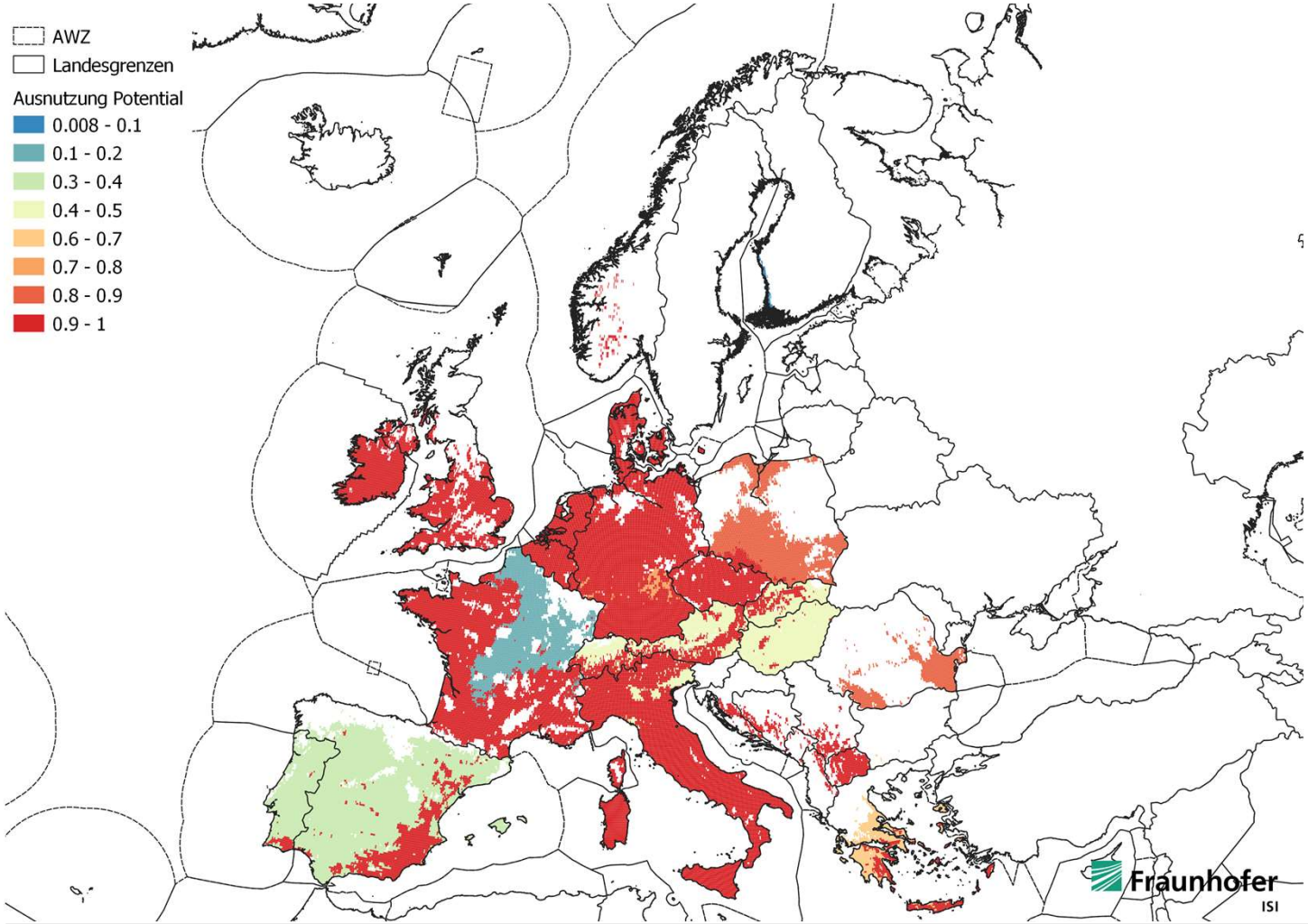


Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Mitteleuropa und Nordeuropa
- Keine freien Flächen in Süddeutschland

ID 39849

Potentialausnutzung PV Freifläche 2050 Szenario *TN-PtG/PtL*

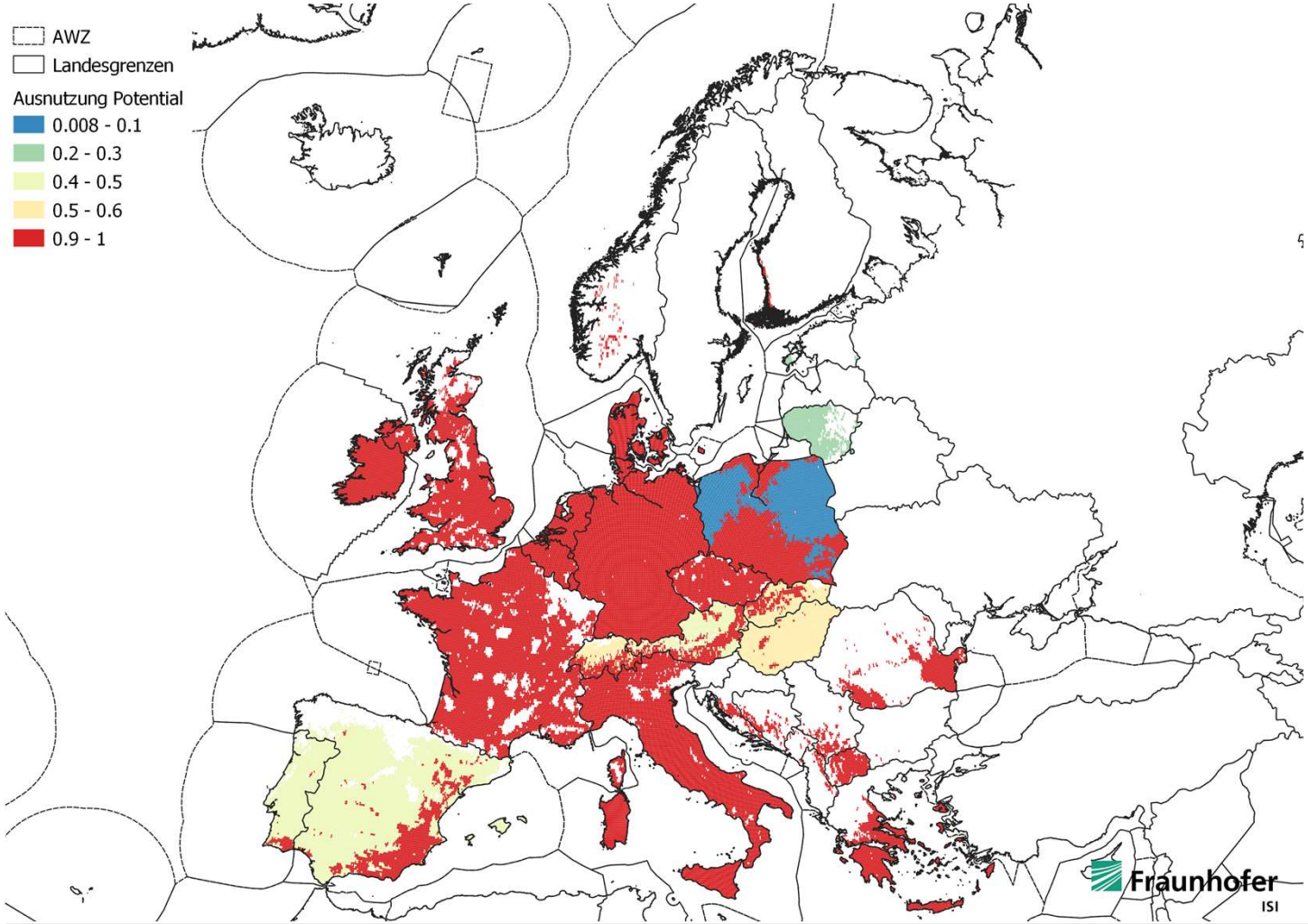


Infos:

- Vollständige Potentialausnutzung in DE und Italien
- Ungenutztes Potential in Nordpolen, Frankreich, Spanien

ID 39793

Potentialausnutzung PV Freifläche 2050 Szenario *TN-Strom*

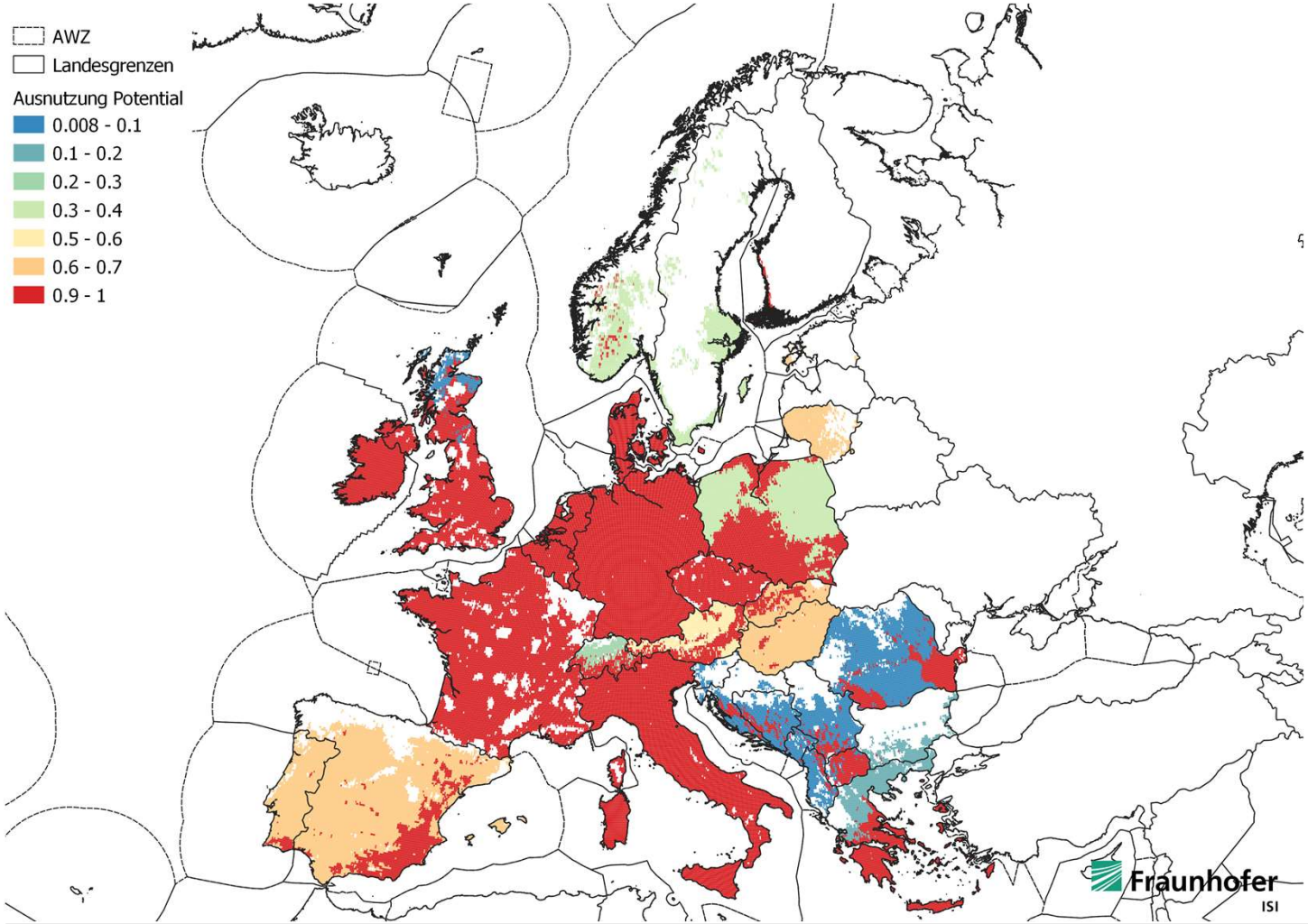


Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Mitteleuropa und Italien
- Ungenutztes Potential in Nordpolen

ID 39847

Potentialausnutzung PV Freifläche 2050 Szenario *TN-H2-G*

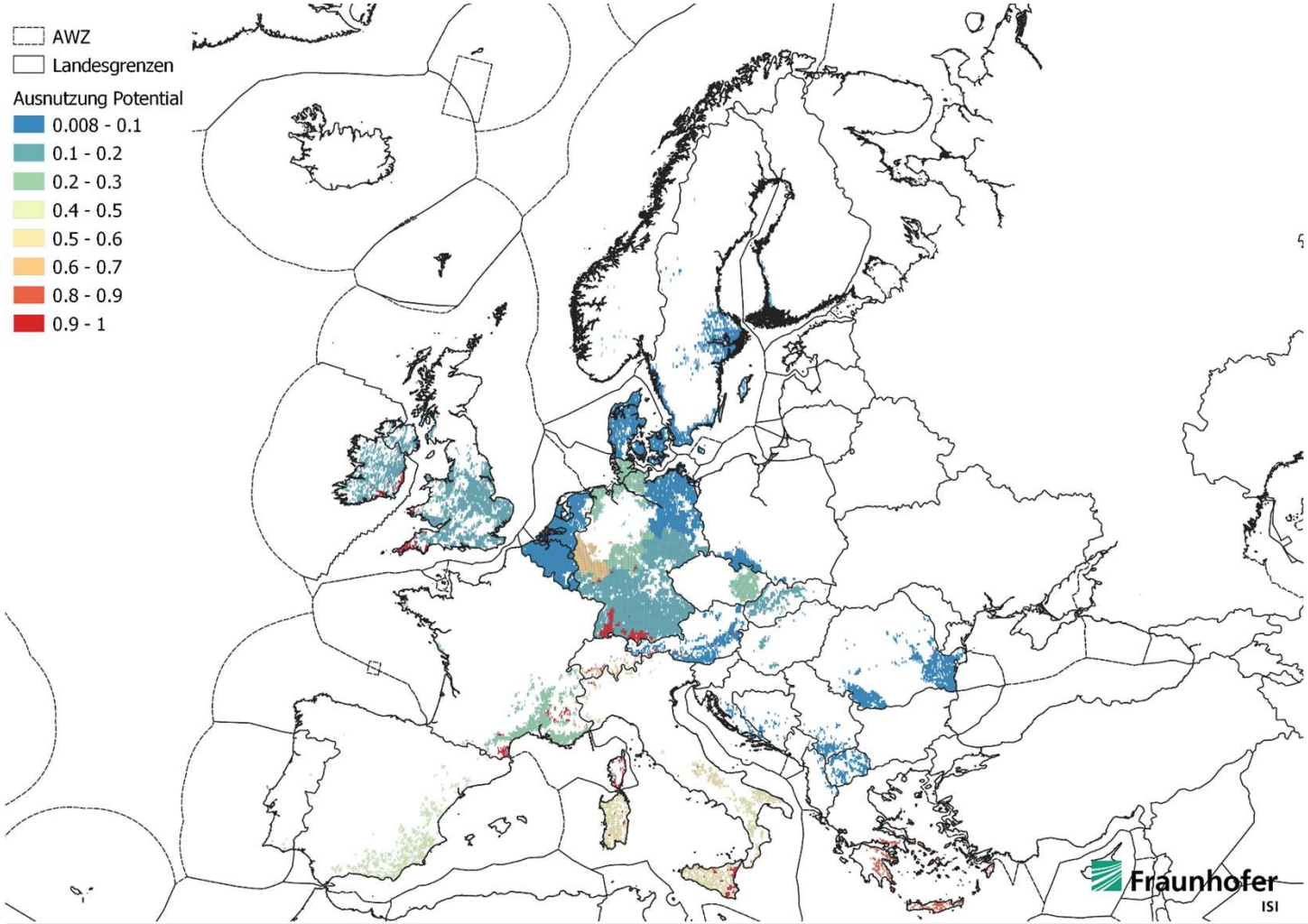


Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Europa
- Zuwachs PV Ausbau in Polen

ID 39849

Potentialausnutzung PV Dachanlagen 2050 Szenario *PtG/PtL*



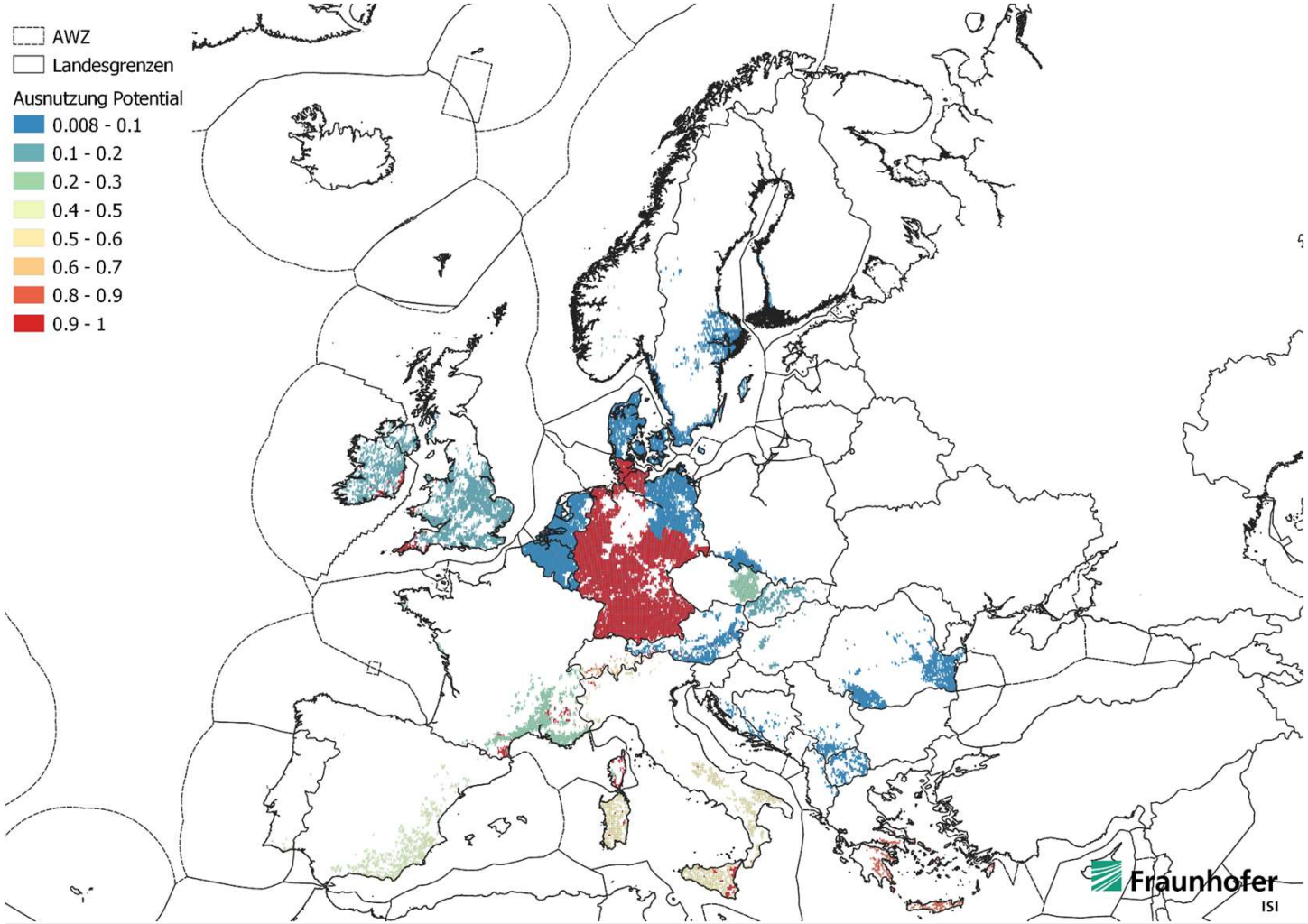
Infos:

- Geringe Potential-ausnutzung in Europa
- EE-Minimalbedingungen in Deuschland greifen

ID 39793

enertile Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Potentialausnutzung PV Dachanlagen 2050 Szenario *TN-Strom*



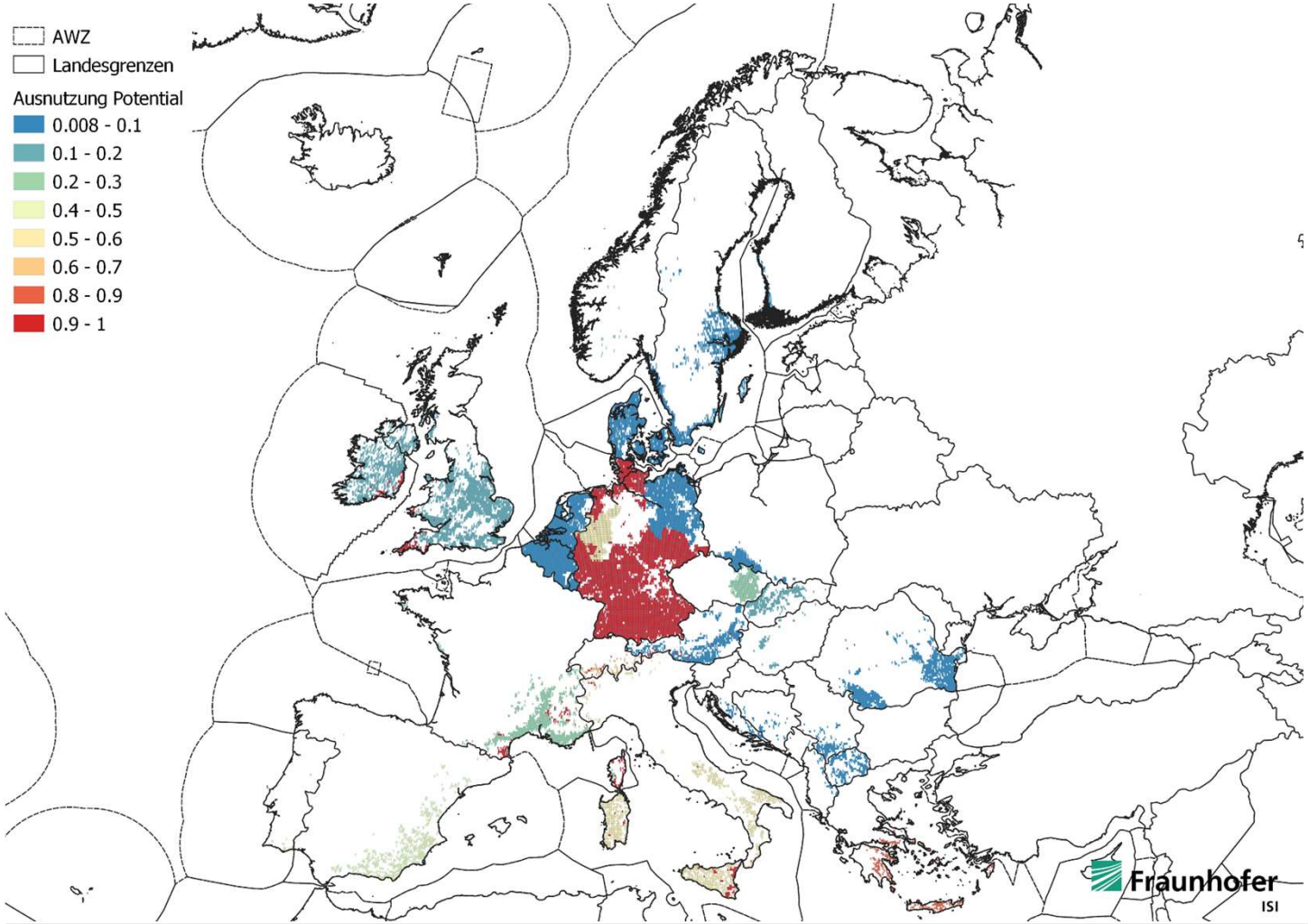
Infos:

- Sehr hohe Potential-ausnutzung in Süddeutschland
- Nationale Erzeugungsbedingung greift

ID 39847

enertile Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Potentialausnutzung PV Dachanlagen 2050 Szenario *TN-H2-G*

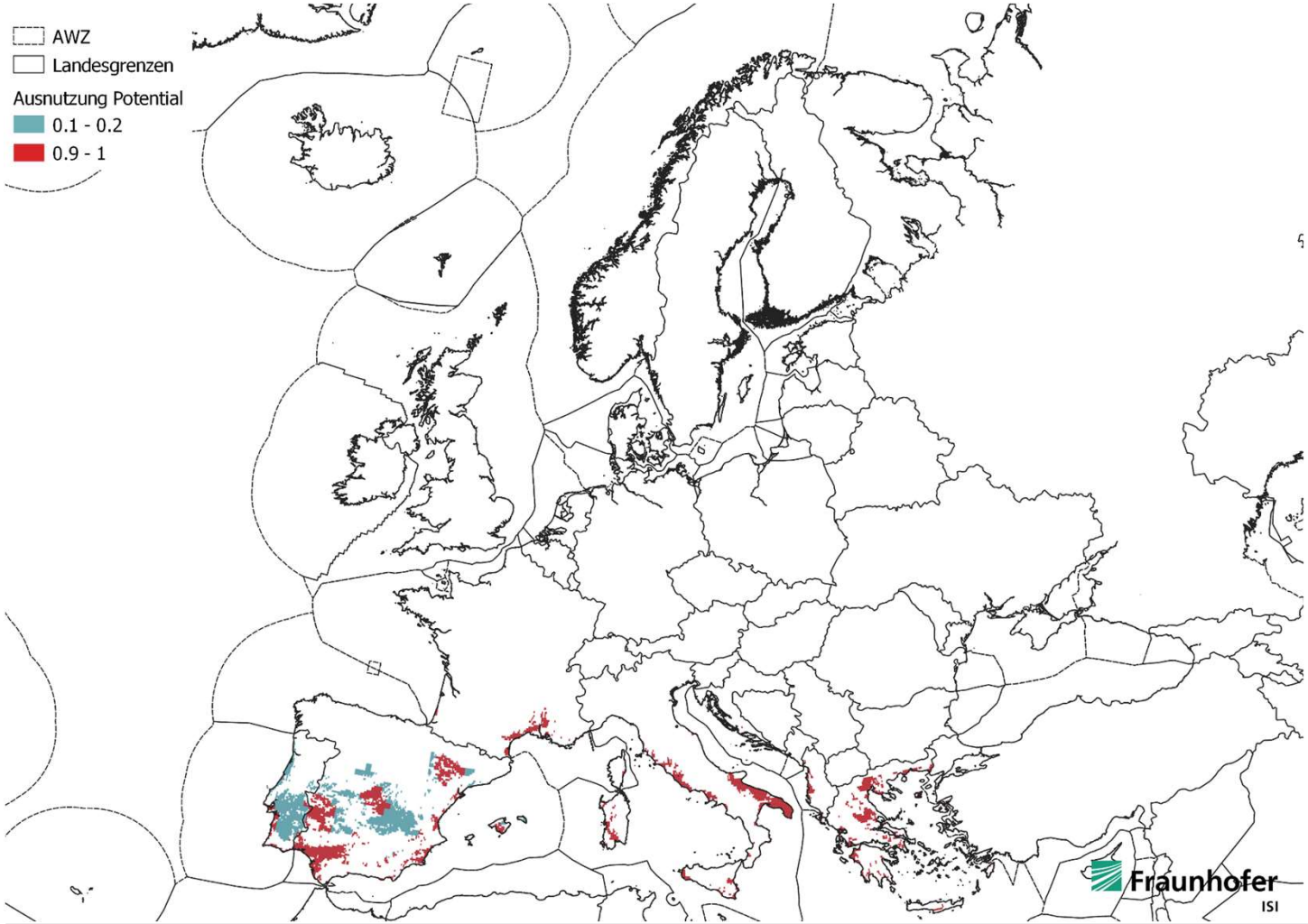


Infos:

- Sehr hohe Potentialausnutzung in Süddeutschland
- Nationale Erzeugungsbedingung greift

ID 39849

Potentialausnutzung CSP 2050 Szenario *TN-H2-G*



Infos:

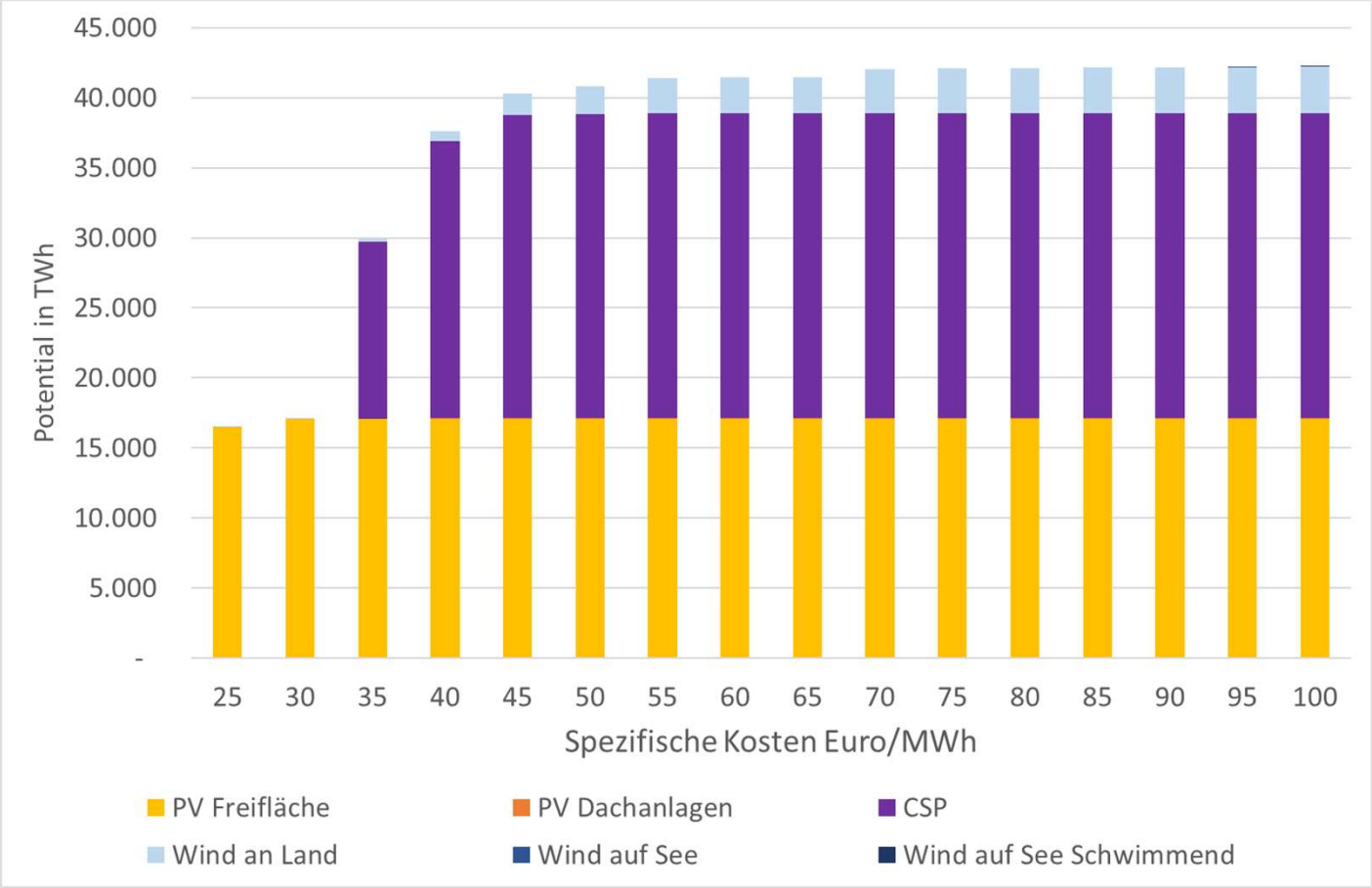
- Sehr hohe Potentialausnutzung in Europa
- Kaum Unterschiede zu den anderen Szenarien

ID 39849

Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
  - Ausbau Erneuerbarer Energien
  - Exkurs: Die Rolle von H_2-Importen aus MENA
  - Dispatch Strom/Wärme/H_2
  - H_2-System in Europa
  - Stromhandel
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Potentiale MENA (inkl. Türkei)
Maximaler Abstand zur Küste 250 km

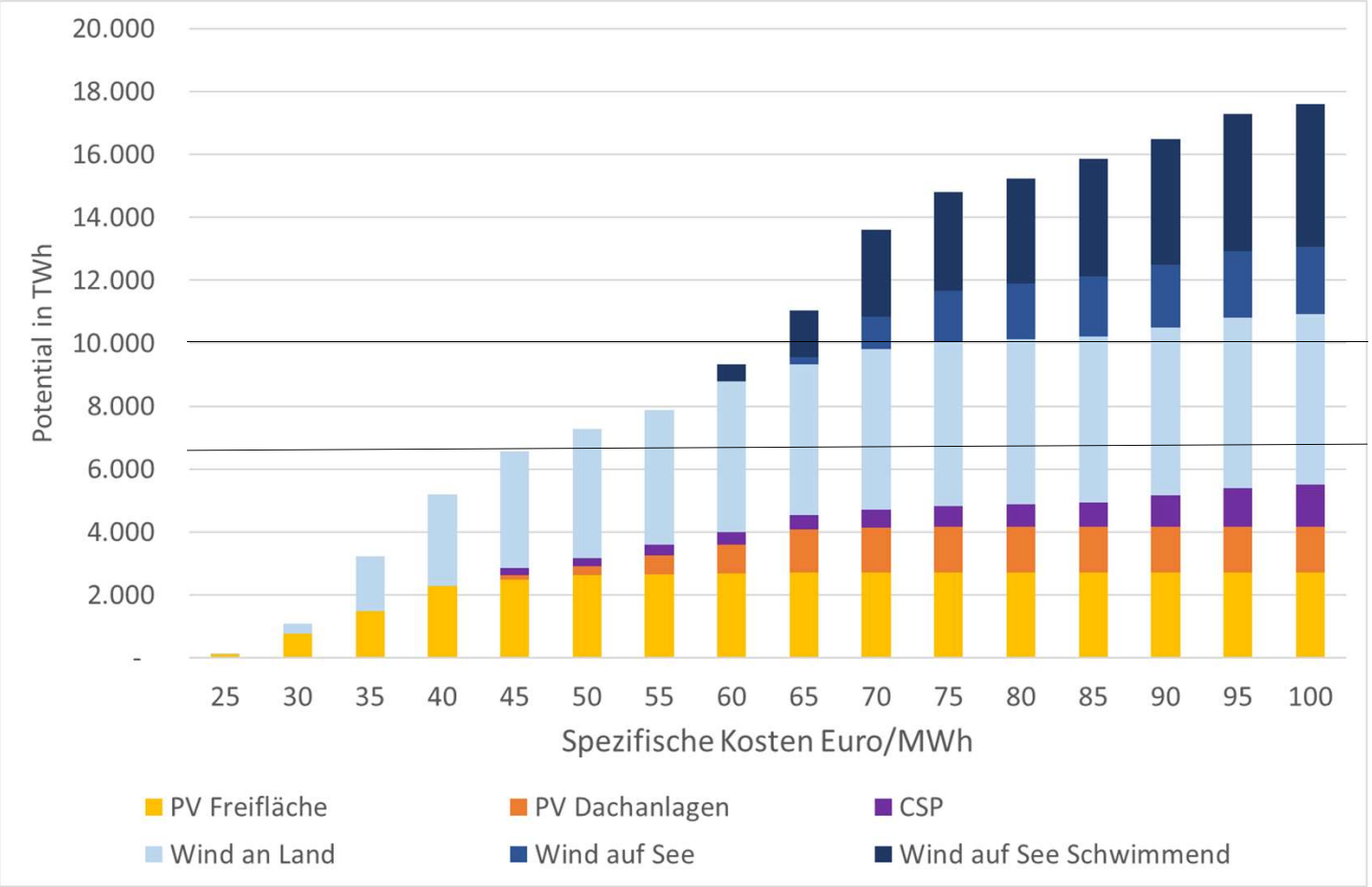


Info:

- Allein die Küstenregion MENA + Türkei reicht aus, um den Energiebedarf der EU zu decken
- Saudi-Arabien ist hier nicht enthalten

Interne Ids	
CSP	98
PV	148
PVR	105
WON	175
WOFF	130
WOFFL	125

Potentiale in Europa im Jahr 2050



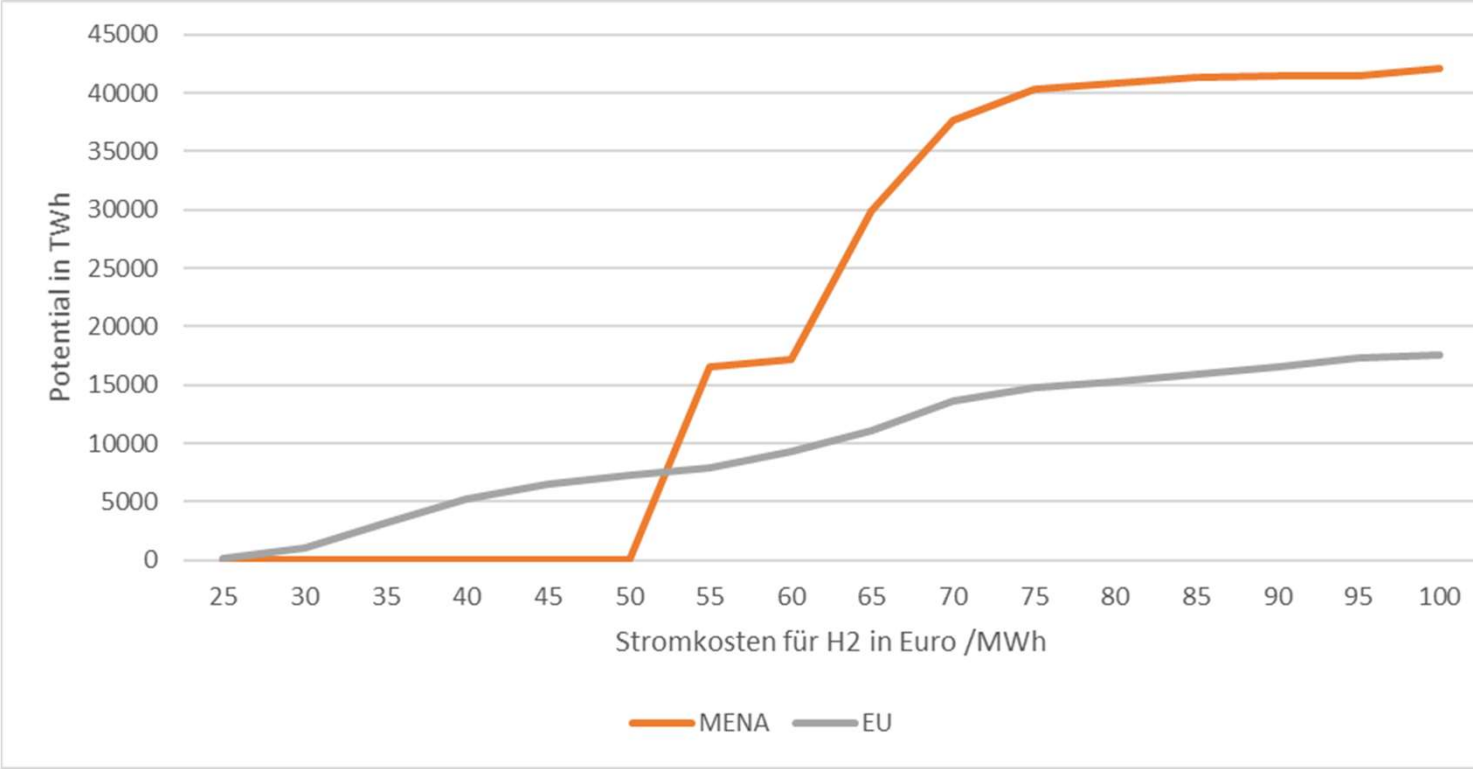
Info:

- Stromerzeugung *TN-H2-G* Szenario ca. 6.500 TWh in Europa
- Hypothetisches „ALL H2 Szenario“ ca. 10.000 TWh

Interne Ids	
CSP	97
PV	146
PVR	104
WON	174
WOFF	127
WOFFL	124

Vergleich Potentiale EE Potentiale für Erzeugung

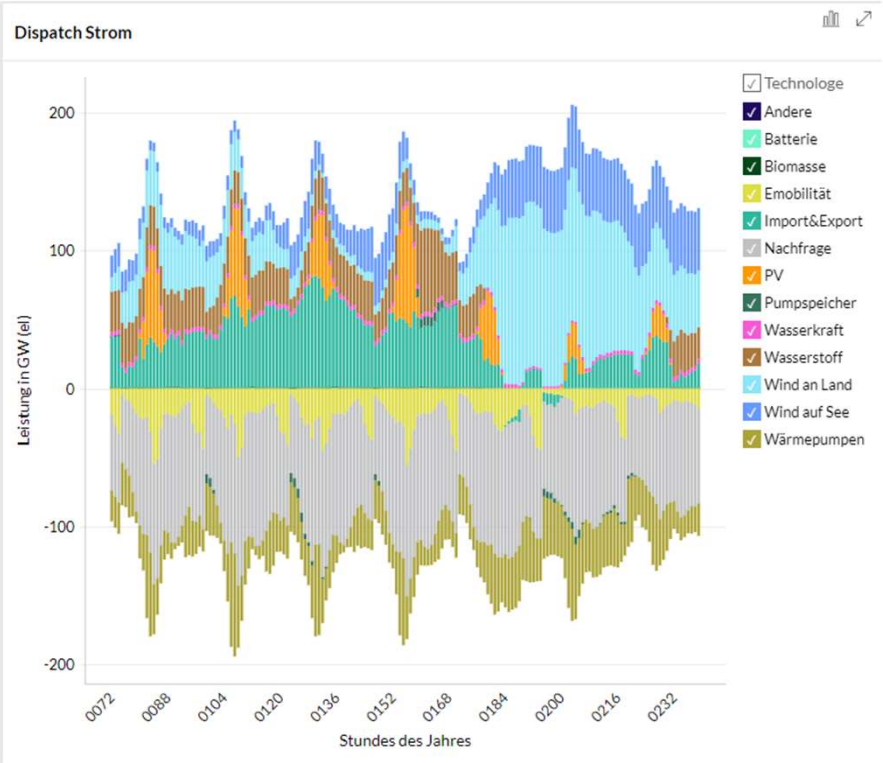
(nur Stromkosten 2050 für 1 MWh H_2 EU vs MENA 250 km Zone + Transport



Info:

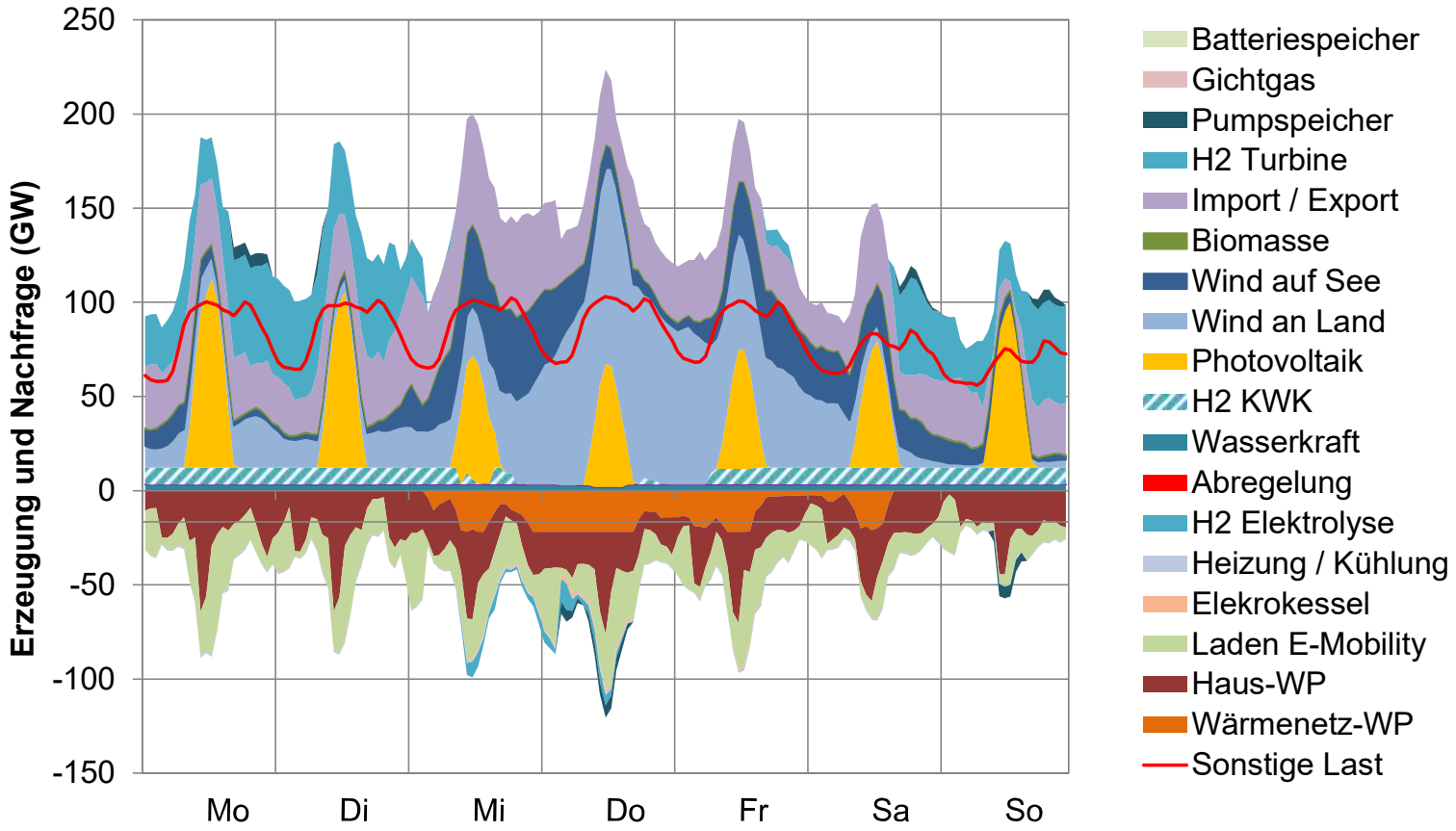
- Fehlender H_2-Import aus MENA ist in diesem Szenario robust
- Es sind Szenarien denkbar, in denen H_2-Import ein Teil der Lösung wird
- Vermutlich müssen mindestens zwei dieser Bedingungen erfüllt sein:
  - Flächenmangel EU
  - Kein Zins-Spread zwischen EU und MENA
  - Geringe Transport-kosten

Agenda



- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
  - Ausbau Erneuerbarer Energien
  - Exkurs: Die Rolle von H_2-Importen aus MENA
  - Dispatch Strom/Wärme/H_2
  - H_2-System in Europa
  - Stromhandel
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

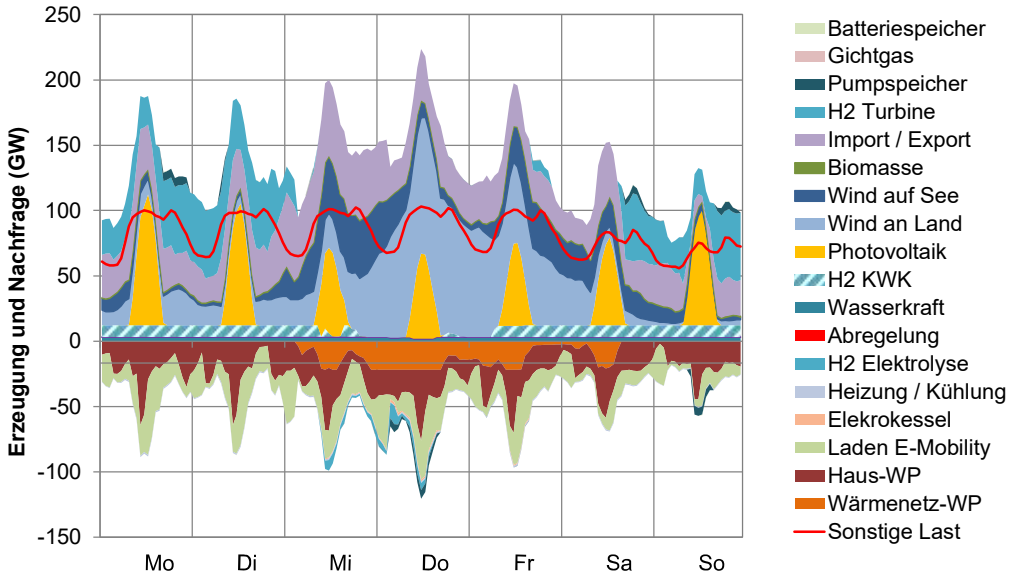
Stromsystem – Deutschland – Dispatch
TN-Strom (2050) KW 5



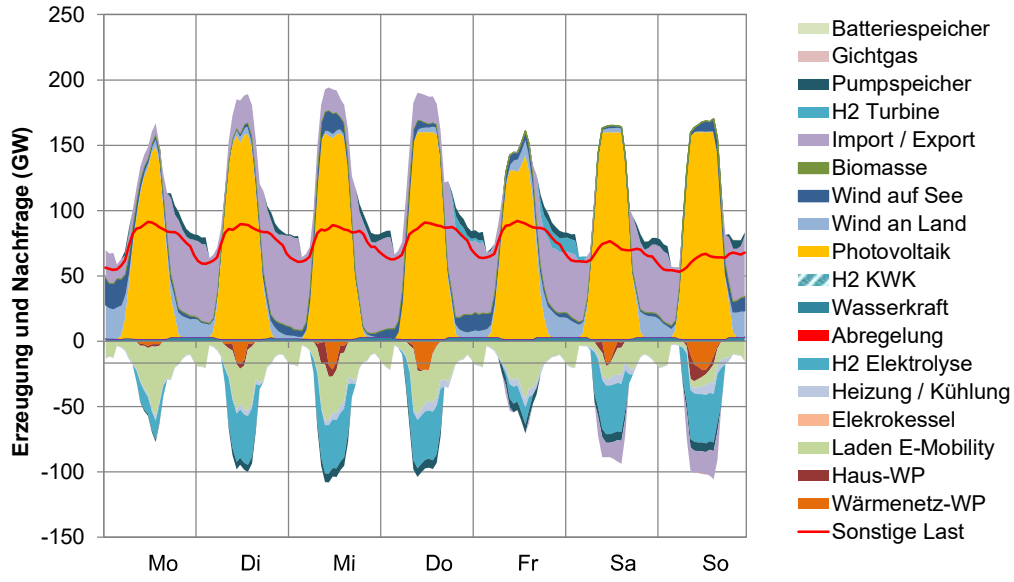
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Stromsystem – Deutschland – Dispatch TN-Strom (2050)

- KW 5

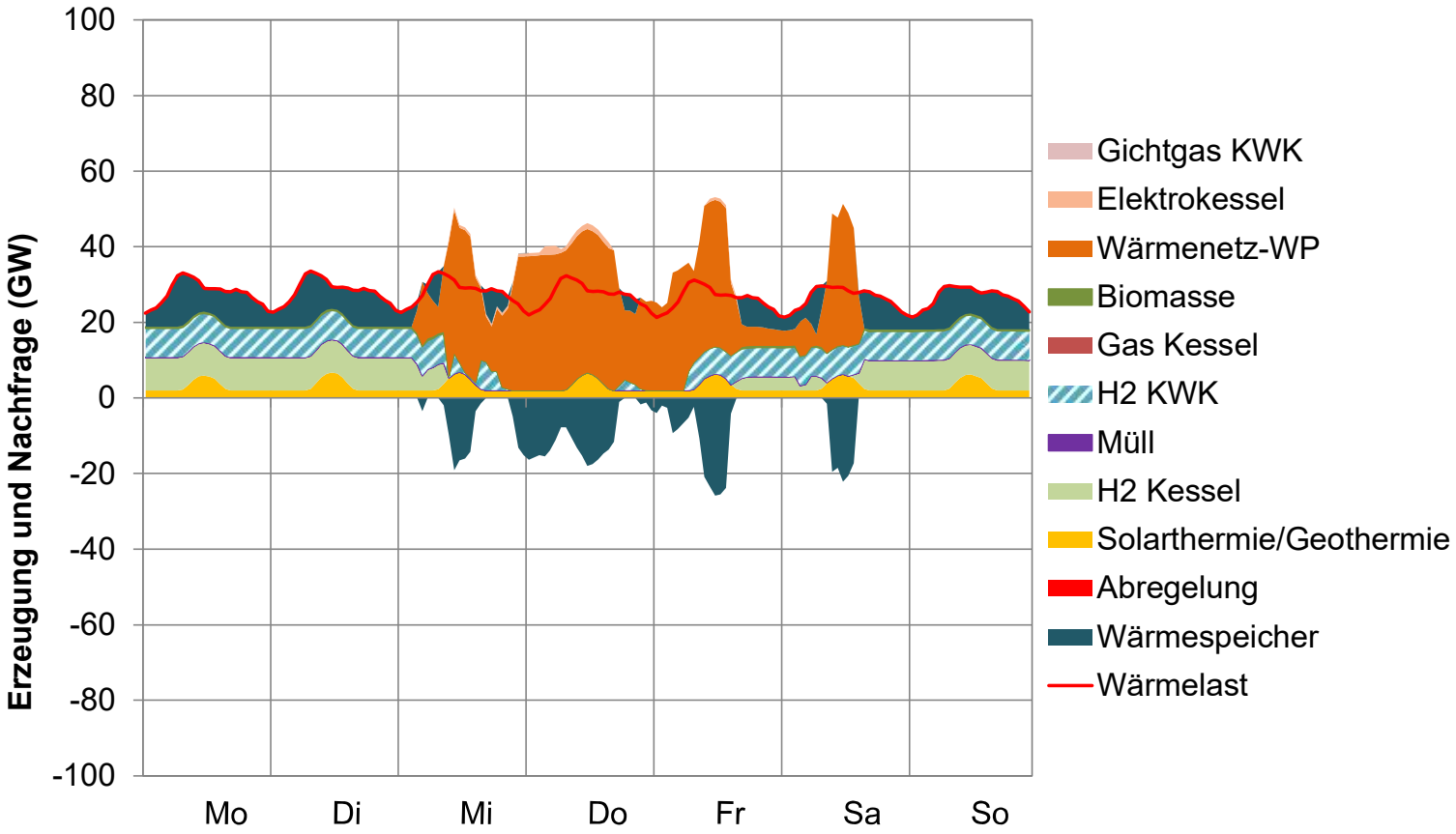


- KW 24



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

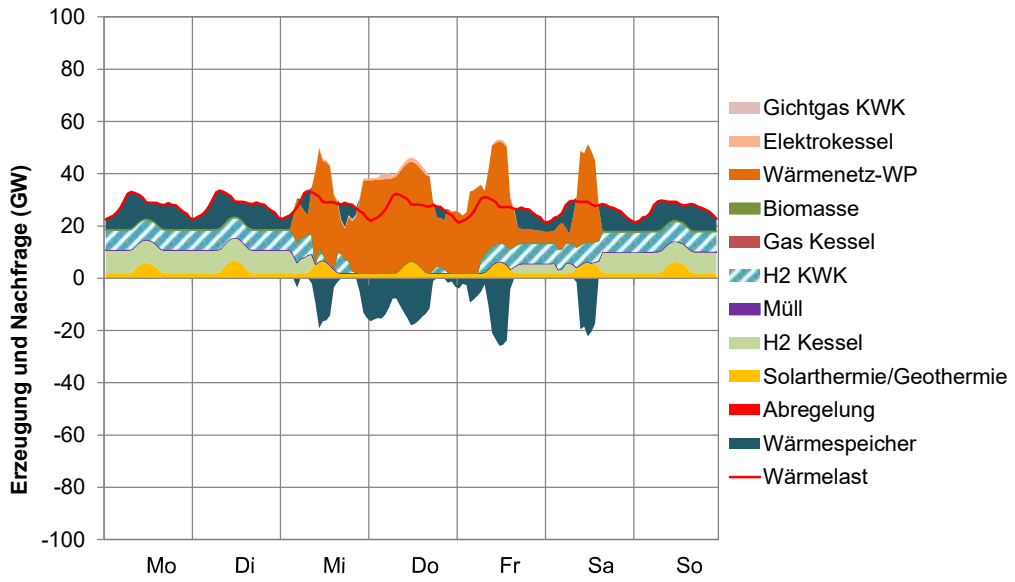
Wärmenetze – Deutschland – Dispatch TN-Strom (2050) KW 5



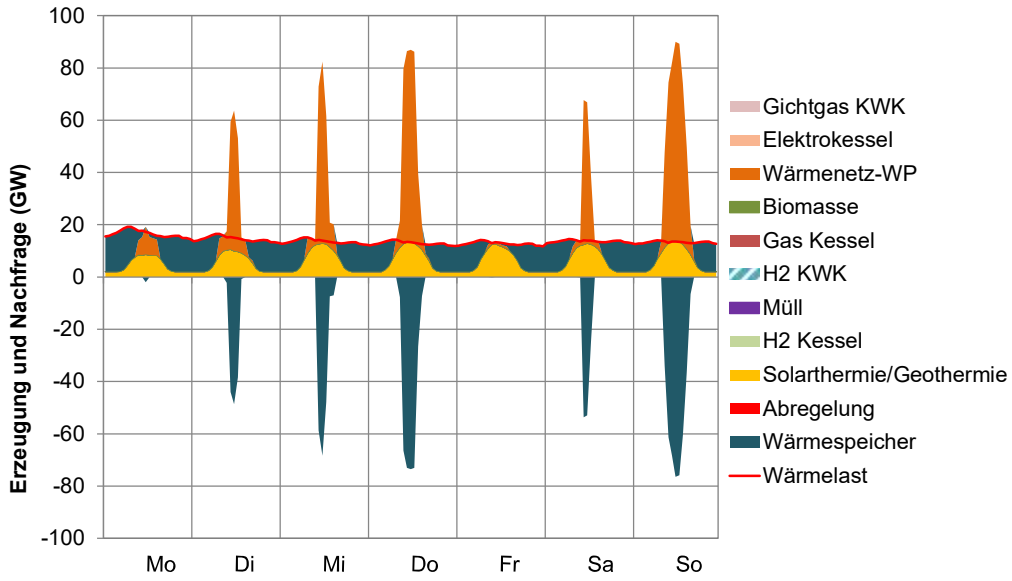
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wärmenetze – Deutschland – Dispatch TN-Strom (2050)

- KW 5

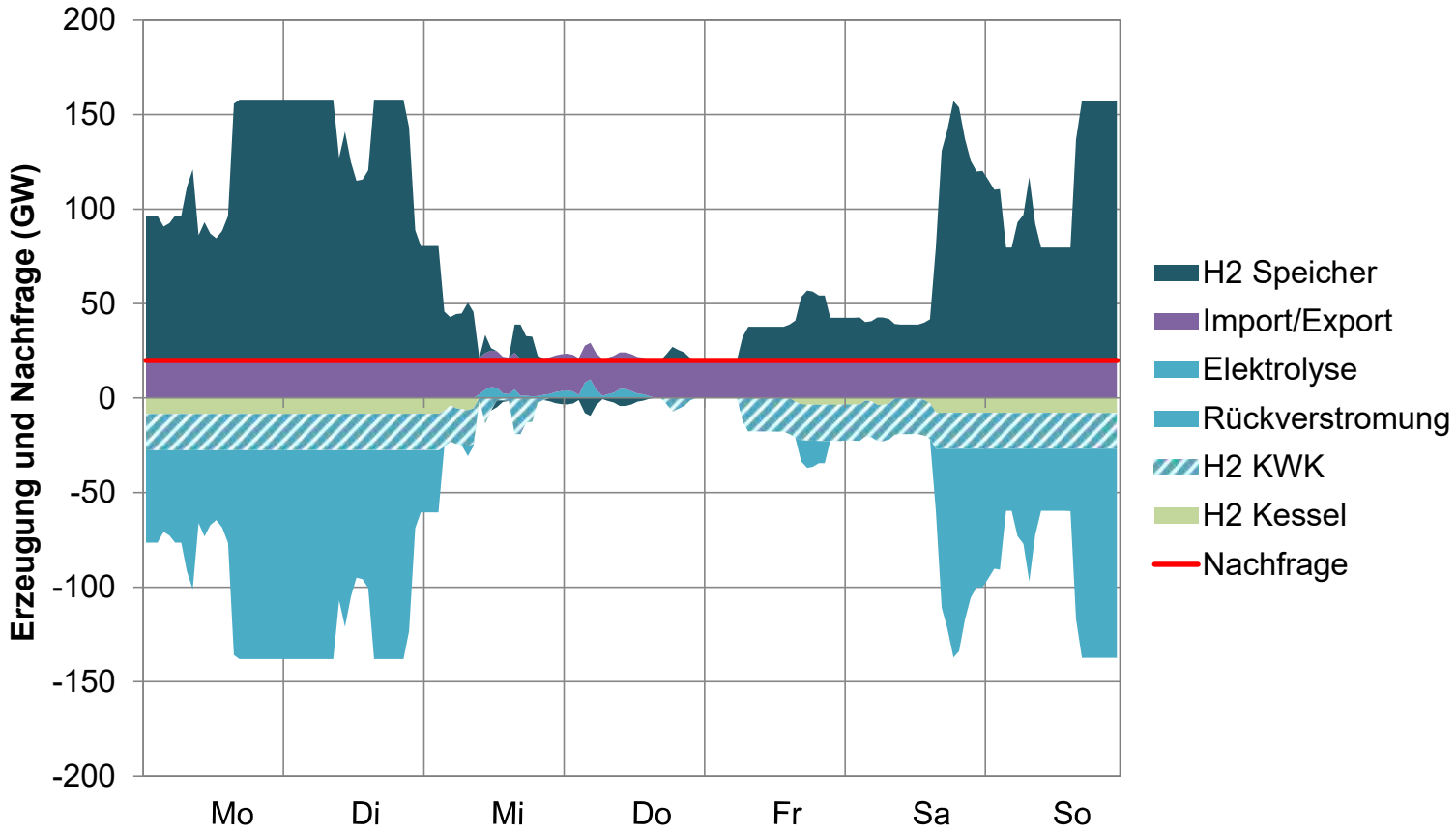


- KW 24



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

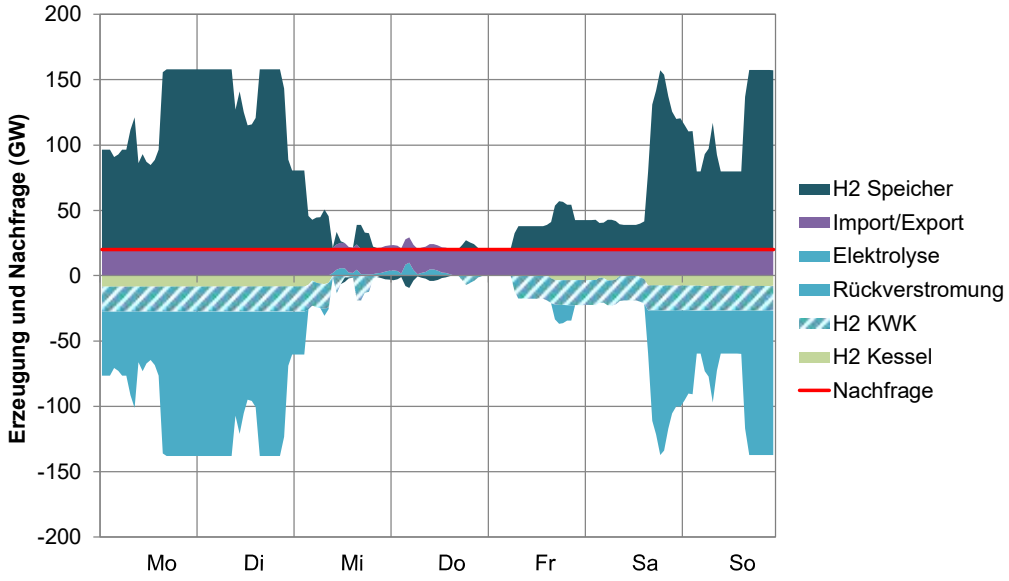
Wasserstoff – Deutschland – Dispatch TN-Strom (2050) KW 5



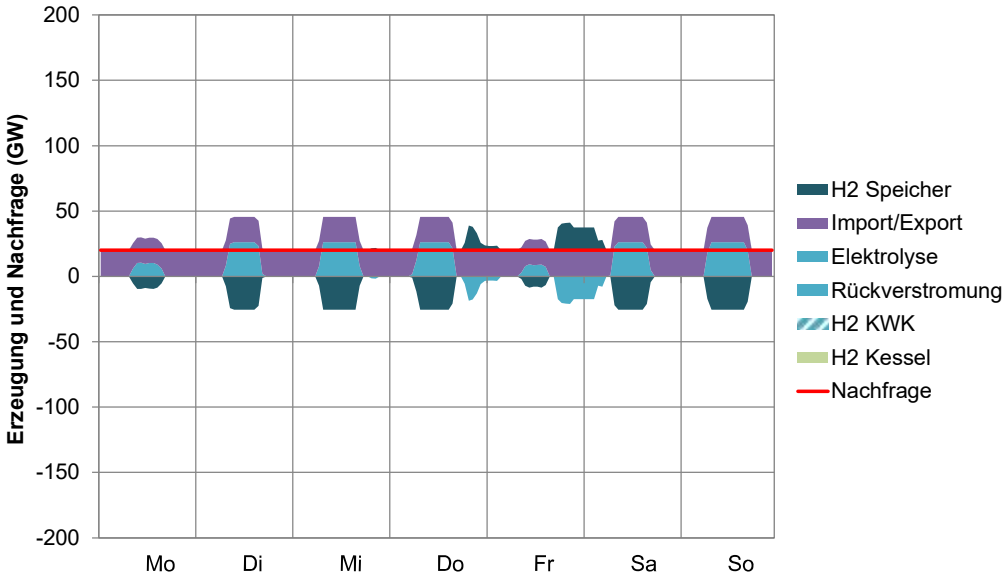
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoff – Deutschland – Dispatch TN-Strom (2050) KW 5

- KW 5



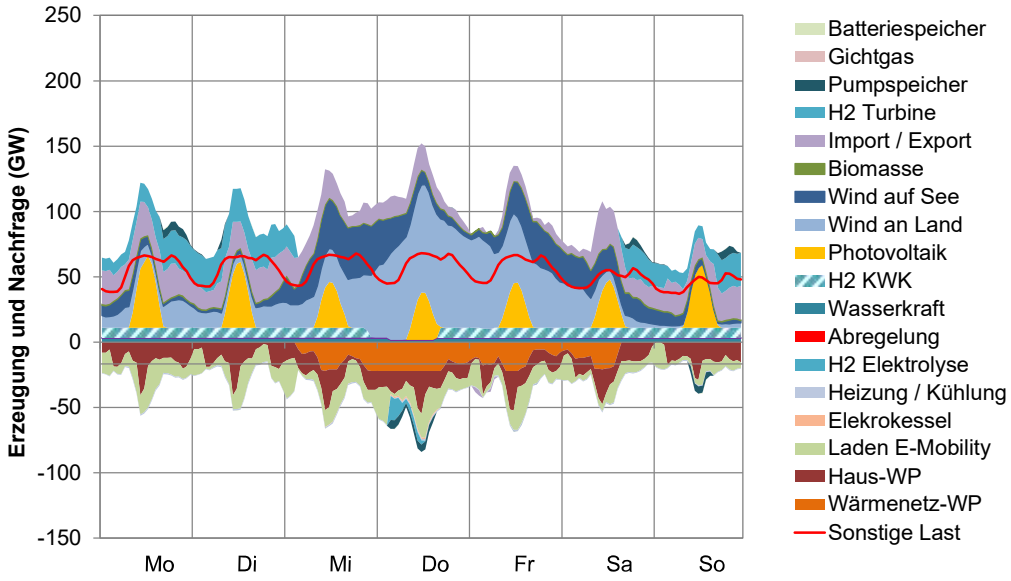
- KW 24



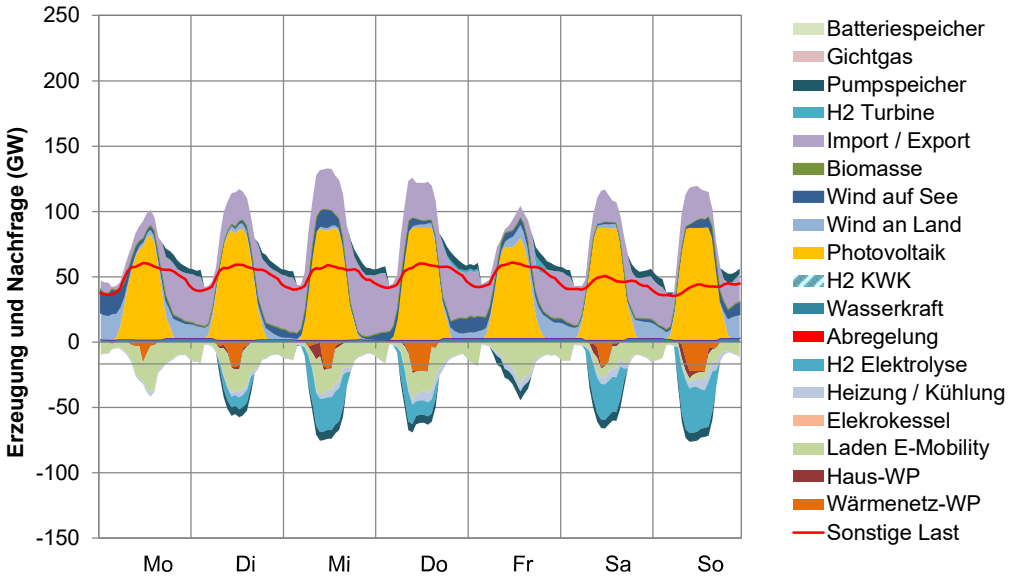
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Stromsystem – Deutschland – Dispatch TN-PtG/PtL (2050)

- KW 5



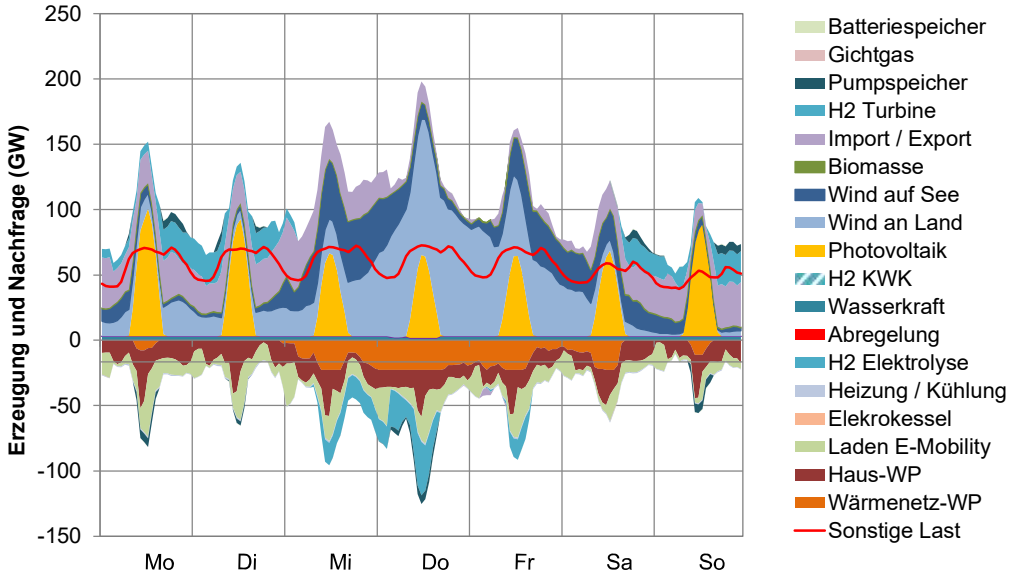
- KW 24



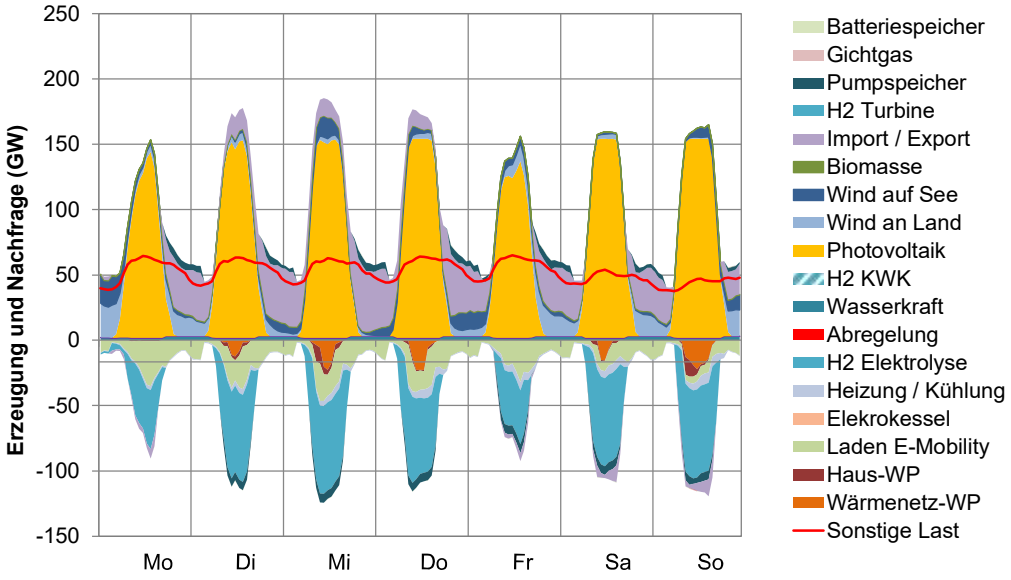
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Stromsystem – Deutschland – Dispatch TN-H2-G (2050)

- KW 5

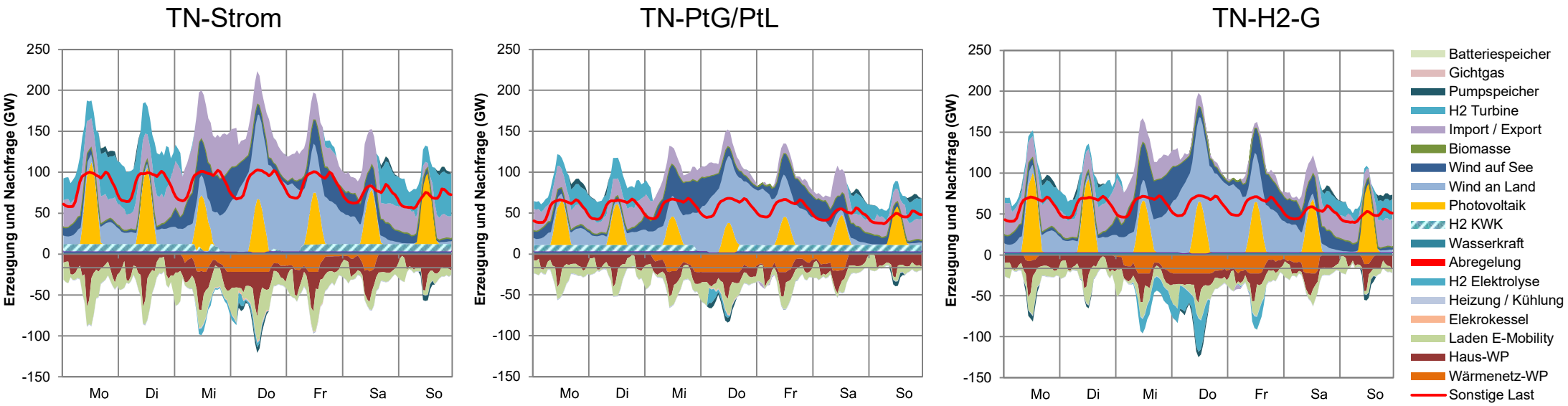


- KW 24



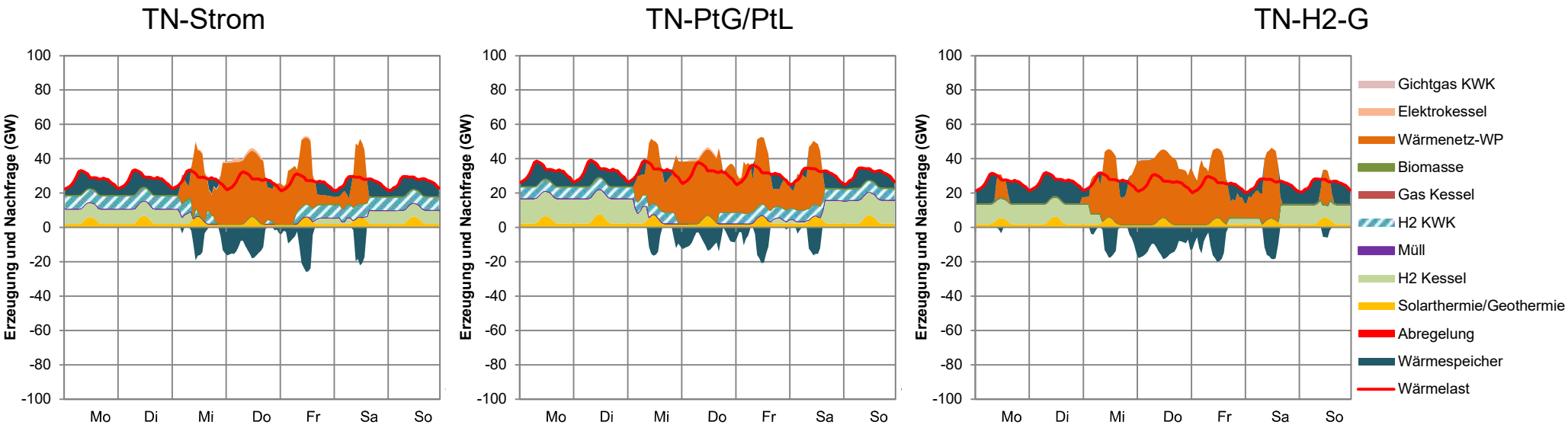
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Stromsystem – Deutschland – Dispatch
Vergleich KW 5



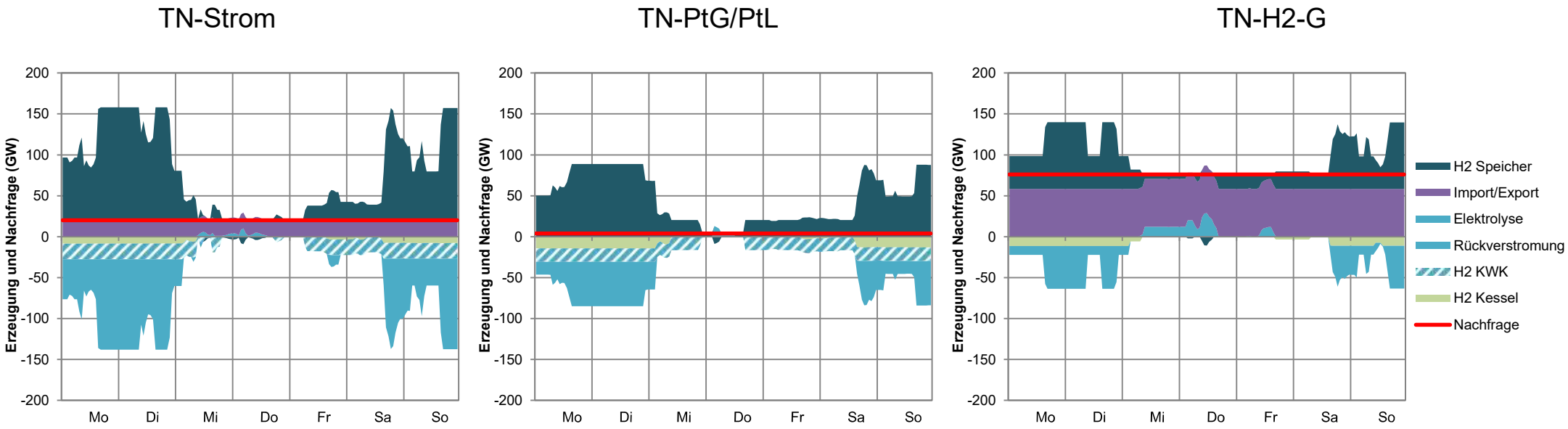
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wärmenetze – Deutschland – Dispatch Vergleich KW 5



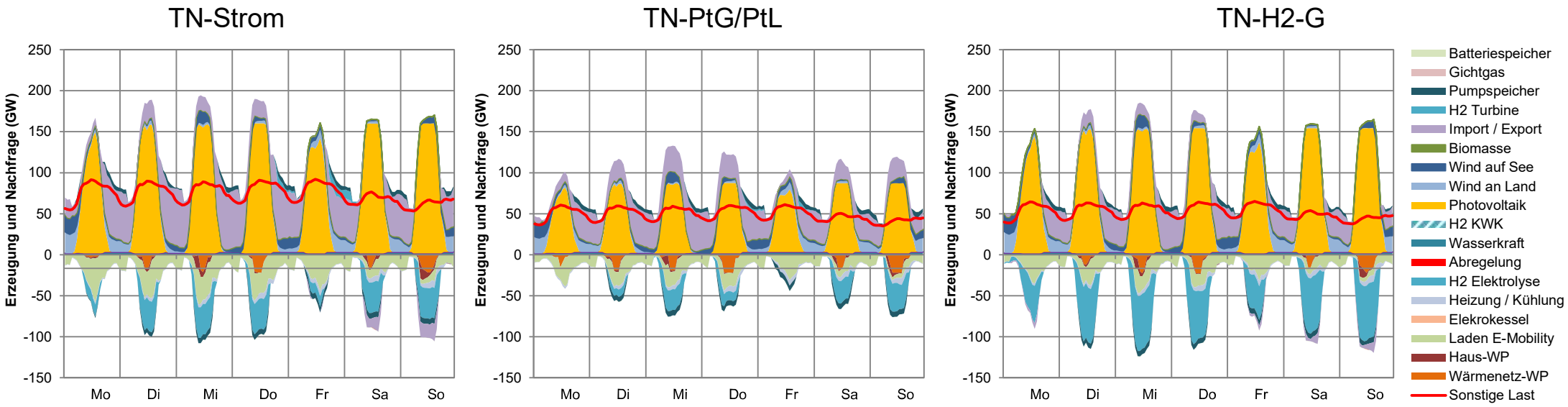
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoff – Deutschland – Dispatch Vergleich KW 5



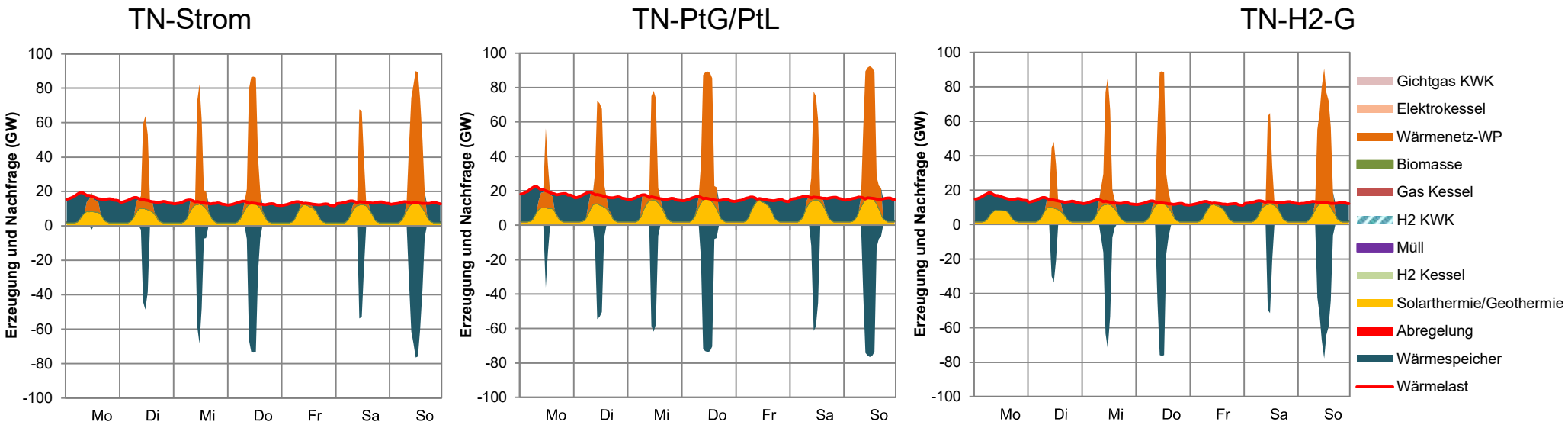
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Ergebnisse Deutschland Strom
Vergleich KW 24



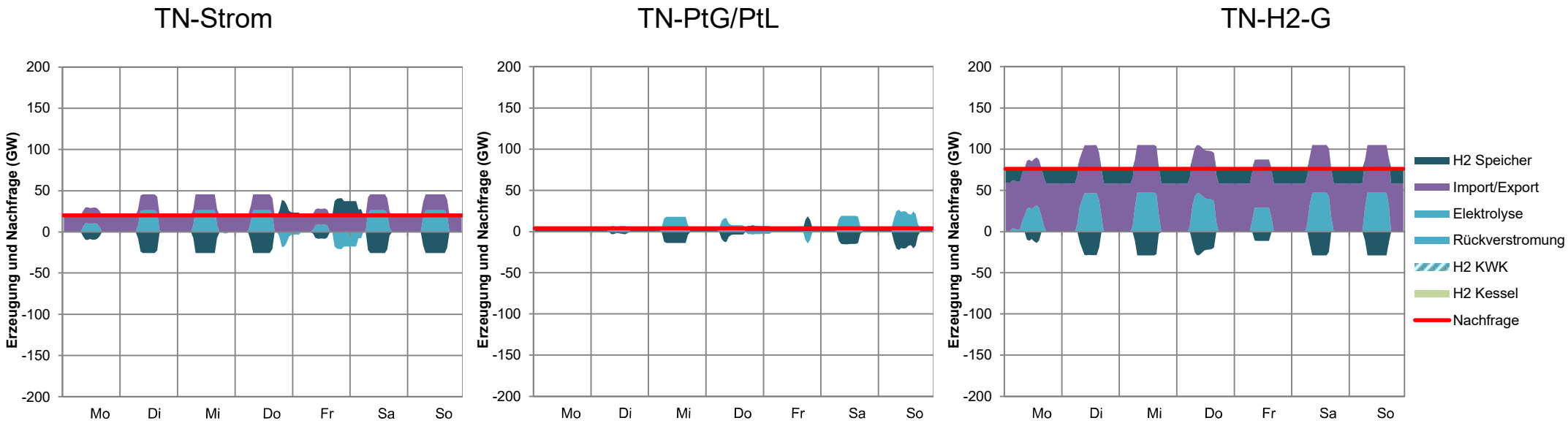
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wärmenetze – Deutschland – Dispatch Vergleich KW 24



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

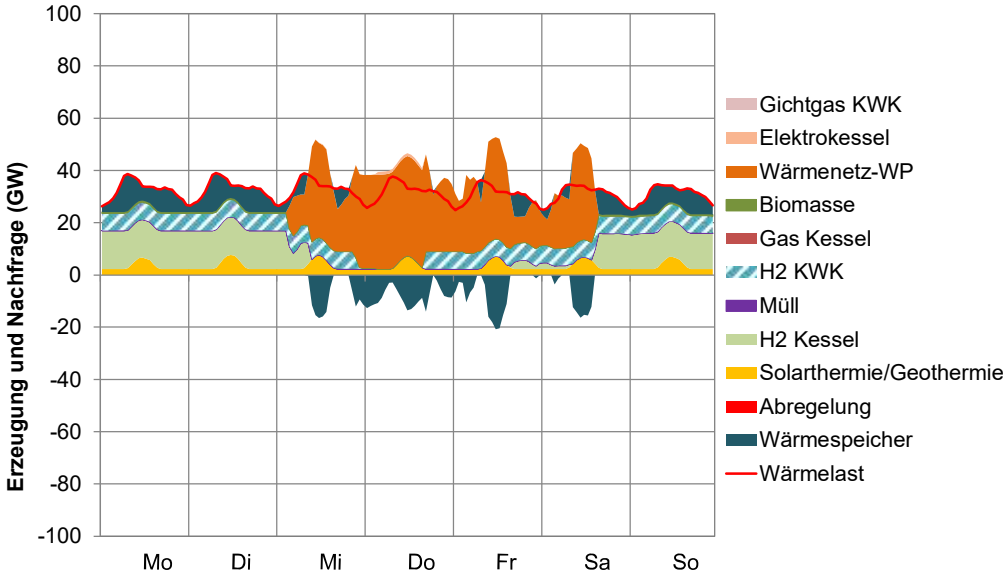
Wasserstoff – Deutschland – Dispatch Vergleich KW 24



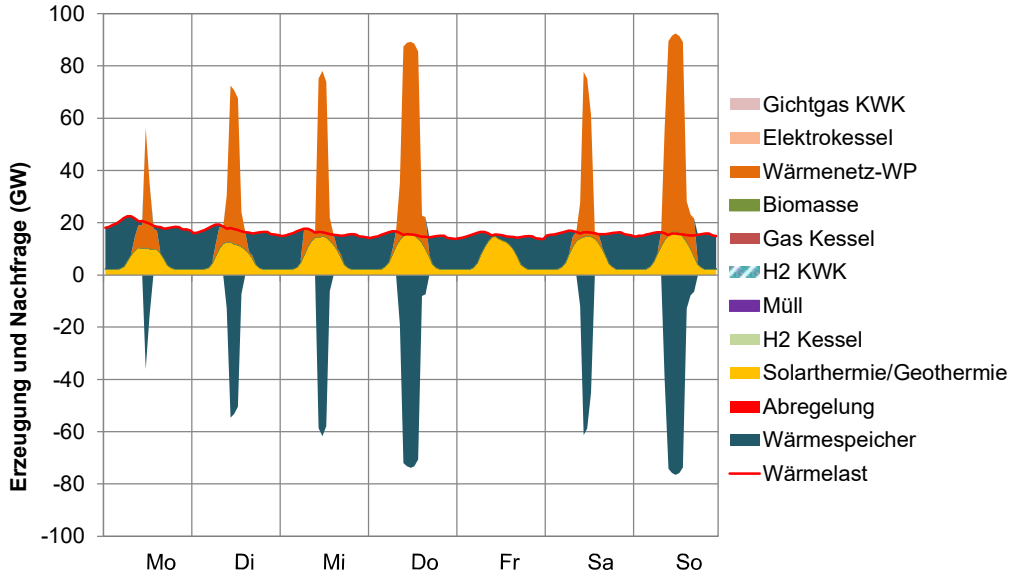
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wärmenetze – Deutschland – Dispatch TN-PtG/PtL (2050)

- KW 5



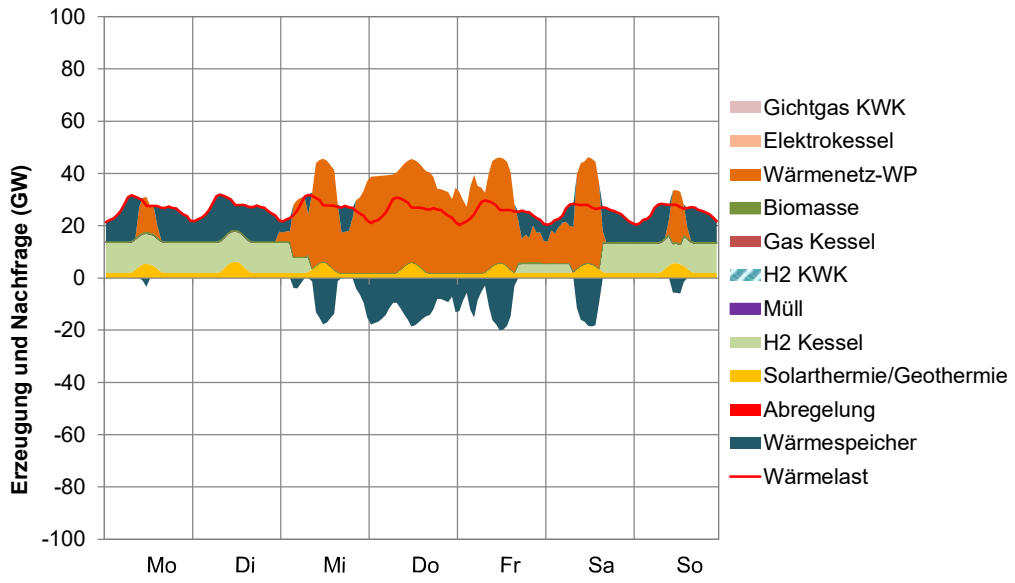
- KW 24



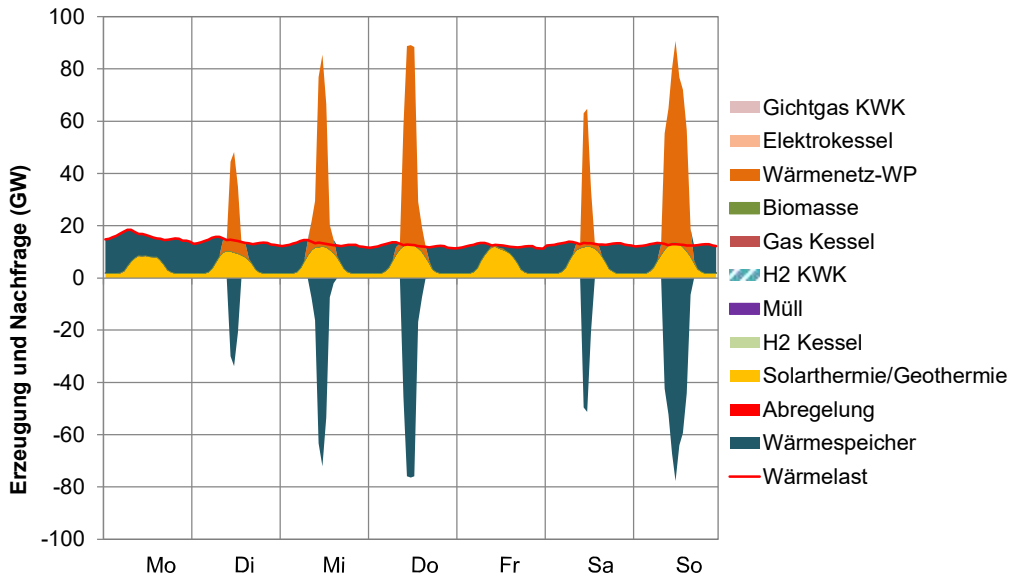
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wärmenetze – Deutschland – Dispatch TN-H2-G (2050)

- KW 5



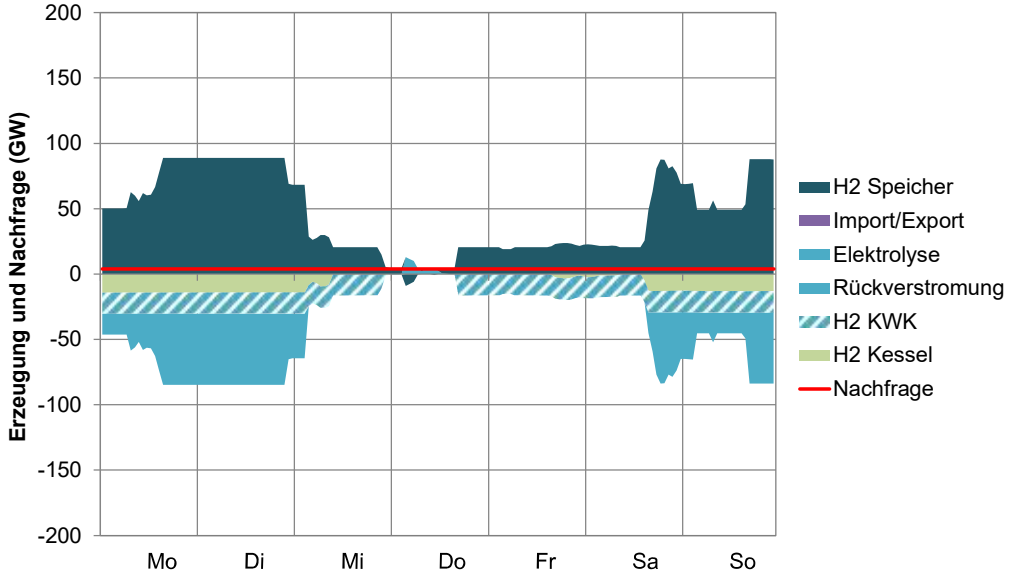
- KW 24



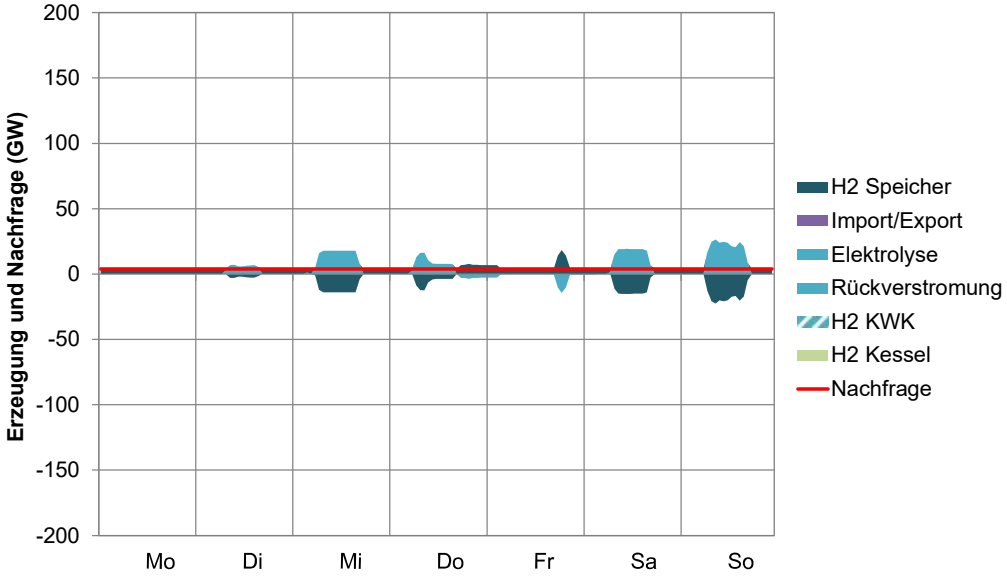
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoff – Deutschland – Dispatch TN-PtG/PtL (2050)

- KW 5



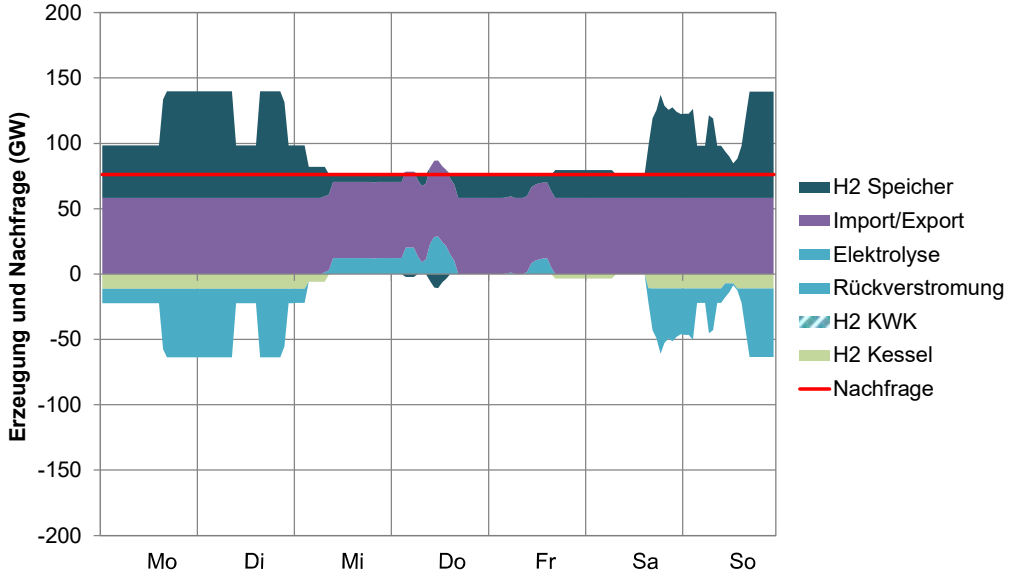
- KW 24



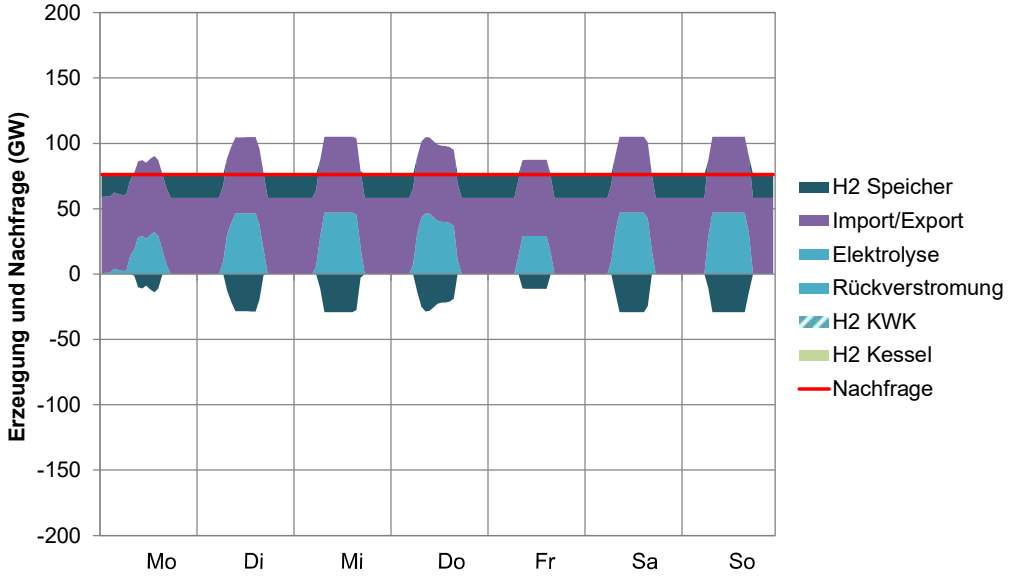
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoff – Deutschland – Dispatch TN-H2-G (2050)

- KW 5



- KW 24

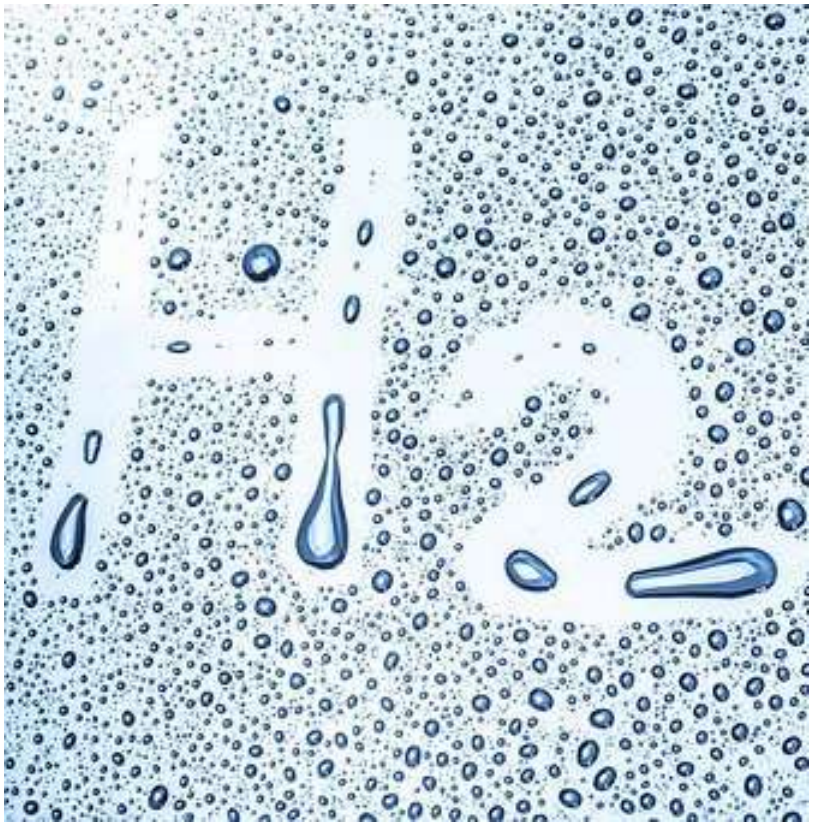


Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Strom/Wärme/Wasserstoff – Dispatch Analyse
Flexibilität im Energiesystem ist zentral

- **Ergebnisse**
  - Im Sommer prägt die PV deutlich das Energiesystem, im Winter Wind an Land.
  - Wasserstoff spielt eine wichtige Rolle.
    - Im Sommer findet Wasserstofferzeugung vor allem während PV-Erzeugungsspitzen statt.
    - Im Winter gleicht Wasserstoff fehlende erneuerbare Erzeugung aus.
    - Wasserstoff stabilisiert ganzjährig das Stromsystem.
  - Wärmenetze und Wärmespeicher nehmen die Energie auf.
  - Stromhandel ist zentral für den Ausgleich im Stromsystem.
- **Einordung**
  - Der hier dargestellte Einsatz der Technologien ist durch das Modell optimiert.
  - Diese Perfektion erfordert einen sehr effizienten regulatorischen Rahmen und die entsprechende technische Infrastruktur.
- **Schlussfolgerung**
  - Sektorkopplung schafft viel Flexibilität im Energiesystem.

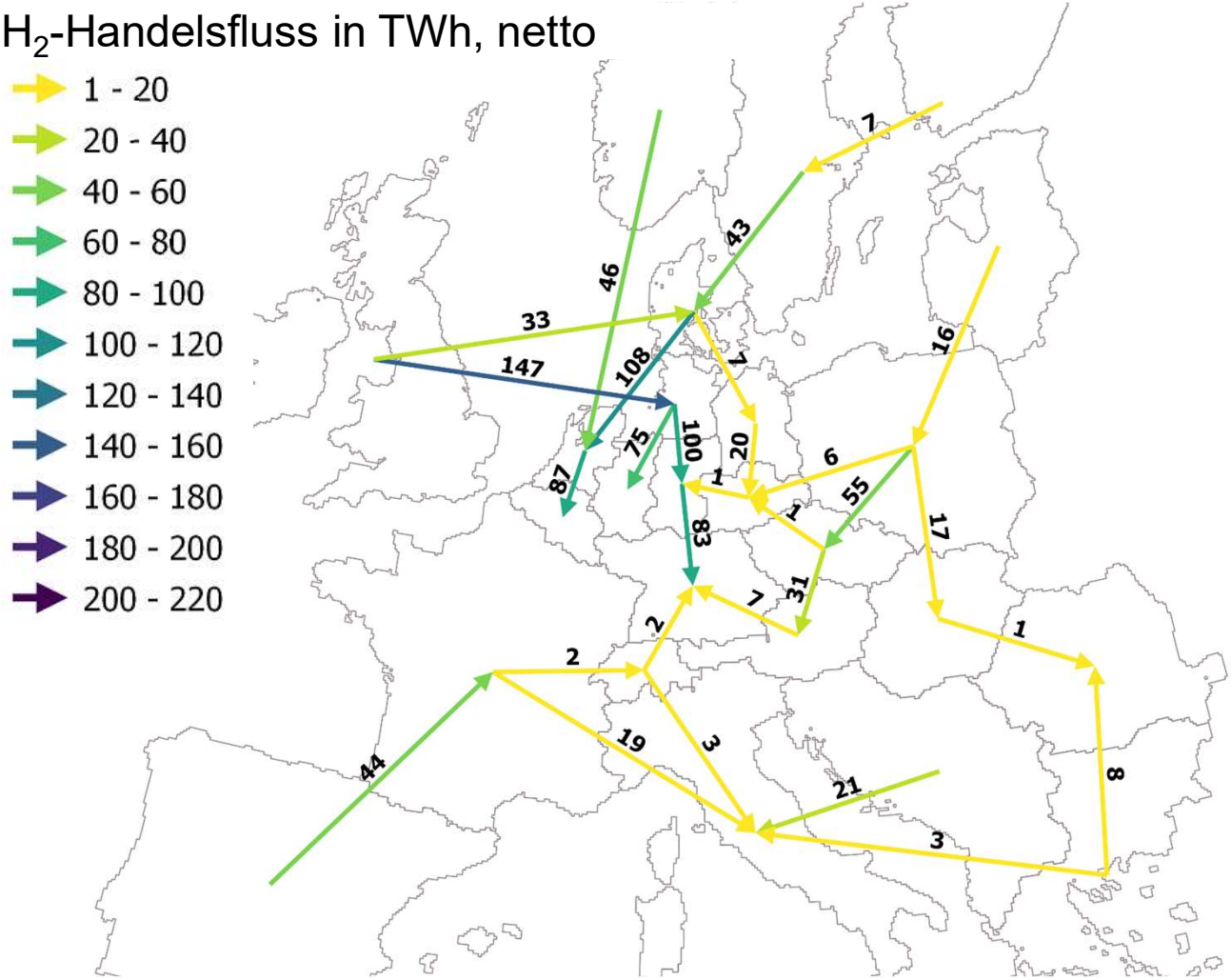
Agenda



- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
  - Ausbau Erneuerbarer Energien
  - Exkurs: Die Rolle von H_2-Importen aus MENA
  - Dispatch Strom/Wärme/H_2
  - H_2-System in Europa
  - Stromhandel
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Wasserstoffhandel 2050 Szenario *TN-Strom*

H_2-Handelsfluss in TWh, netto



Infos:

- Starke Netzanbindungen Zentraleuropas nach UK, Skandinavien und Iberische Halbinsel.
- Innerhalb Deutschlands „Nord-nach-Süd“ Wasserstoffhandel.

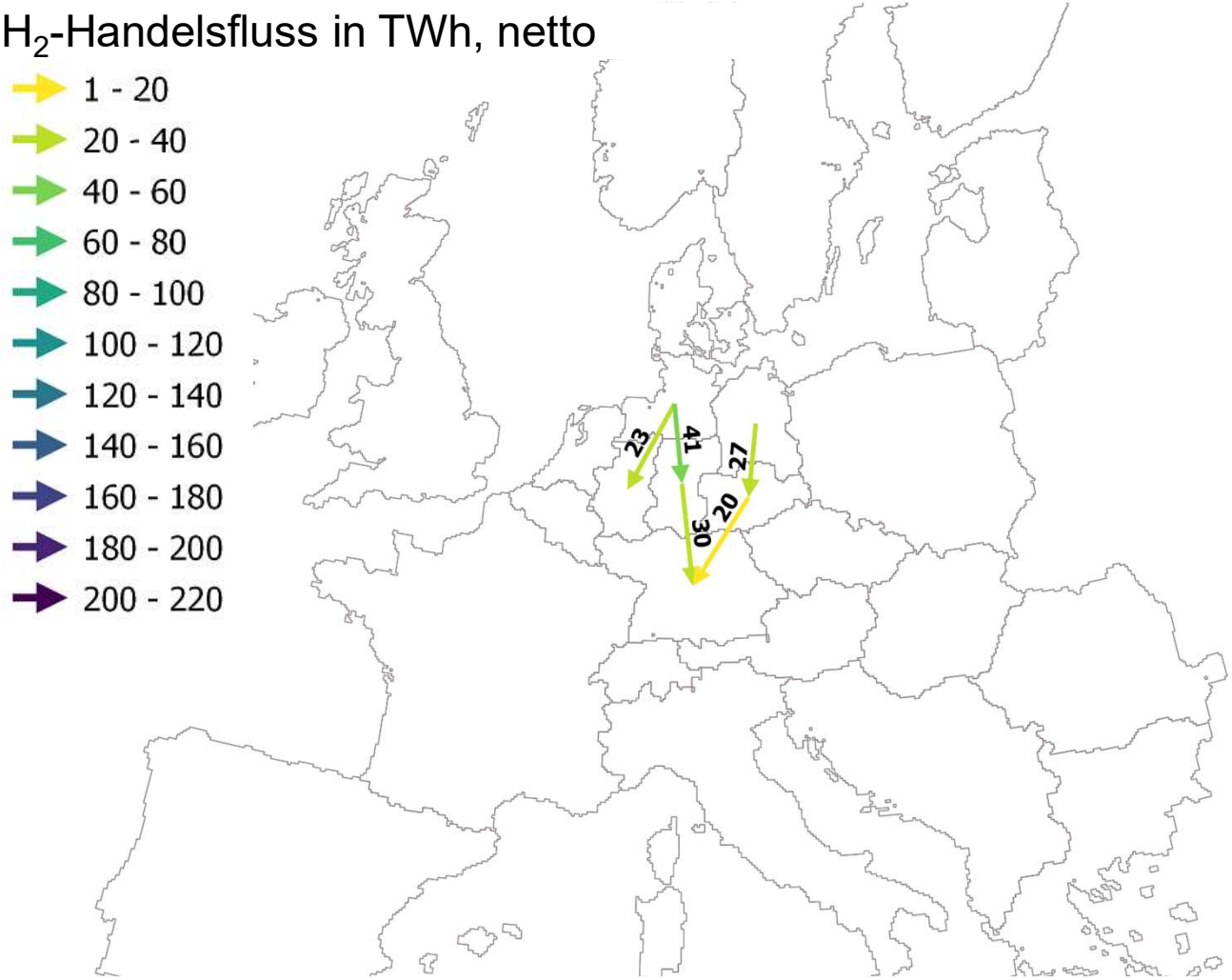
enertile

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Wasserstoffhandel 2050 Szenario *TN-PtG/PtL*

H_2-Handelsfluss in TWh, netto



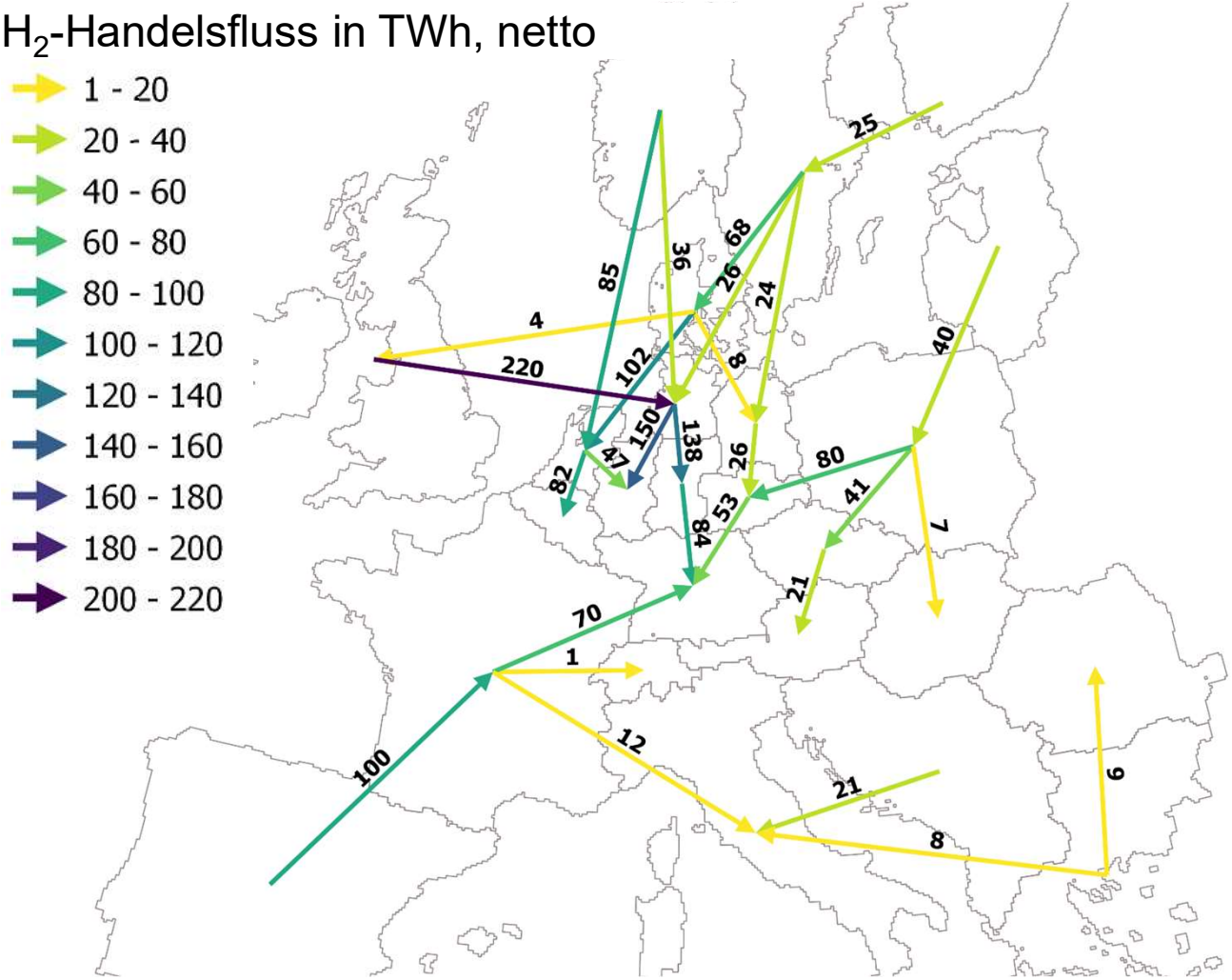
Infos:

- Europäisches Netz in diesem Szenario nicht erlaubt, wäre aber denkbar
- Nord-Süd Achse in DE

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoffhandel 2050 Szenario *TN-H2-G*

H_2-Handelsfluss in TWh, netto



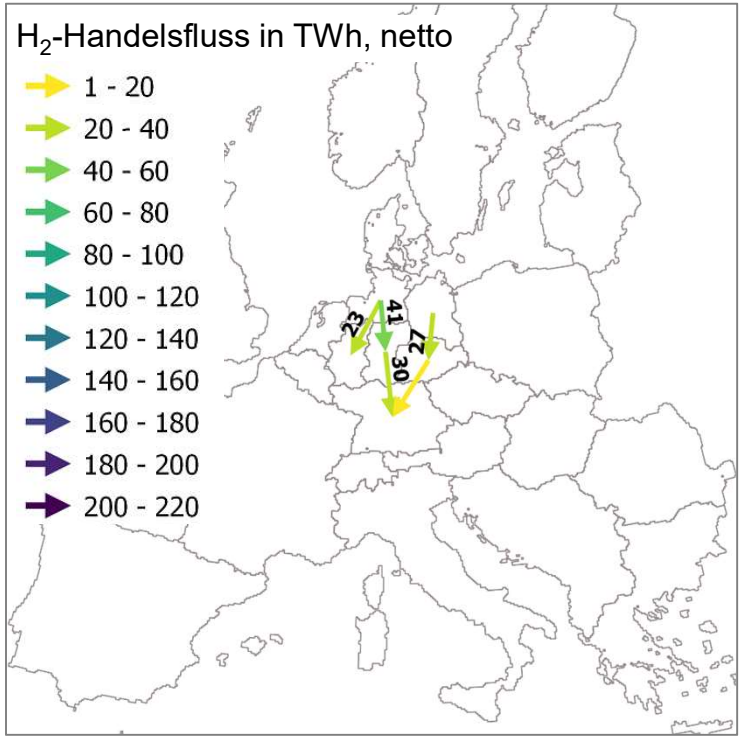
Infos:

- Starke Anbindungen nach UK und Skandinavien
- Starke Anbindung der Iberischen Halbinsel an Deutschland

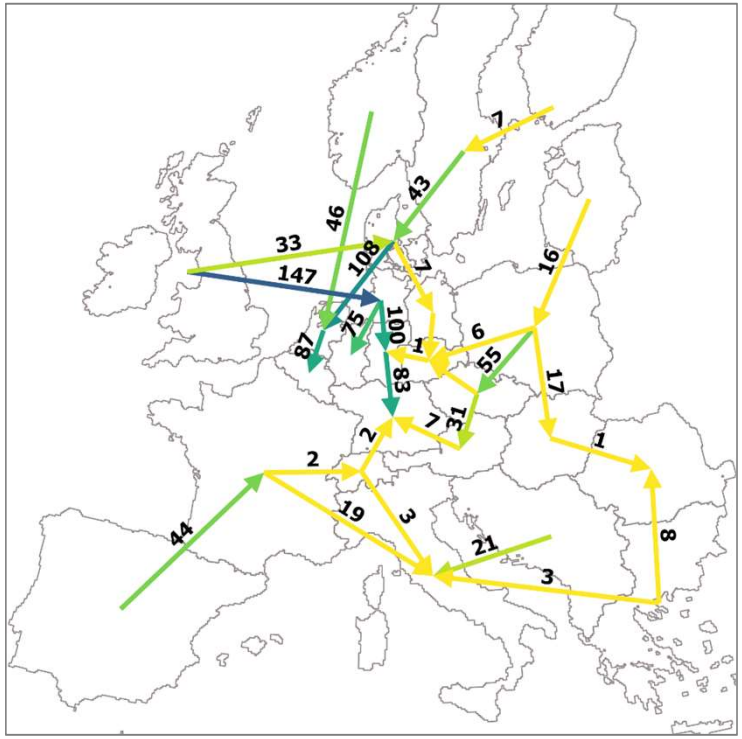
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Wasserstoffhandel 2050 - Vergleich

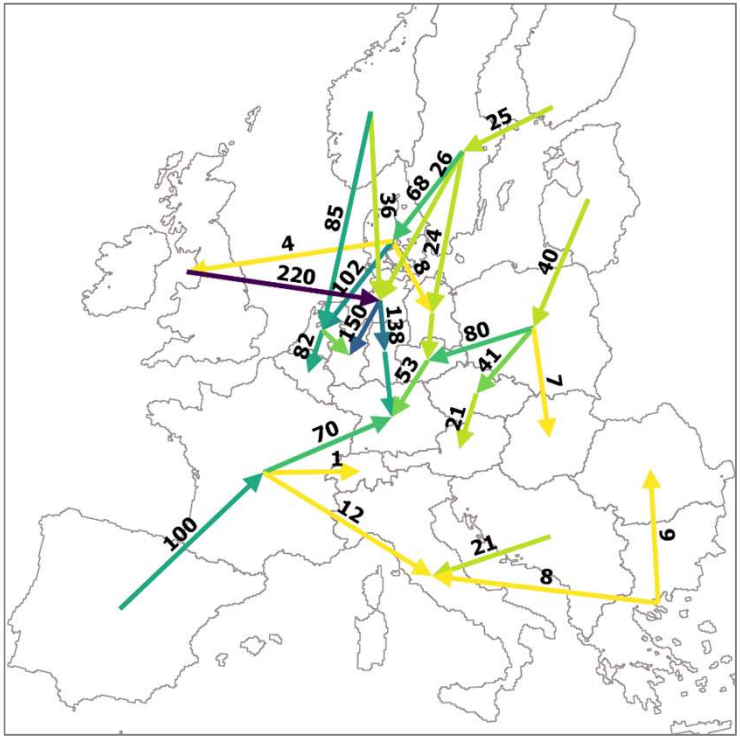
TN-PtG/PtL



TN-Strom

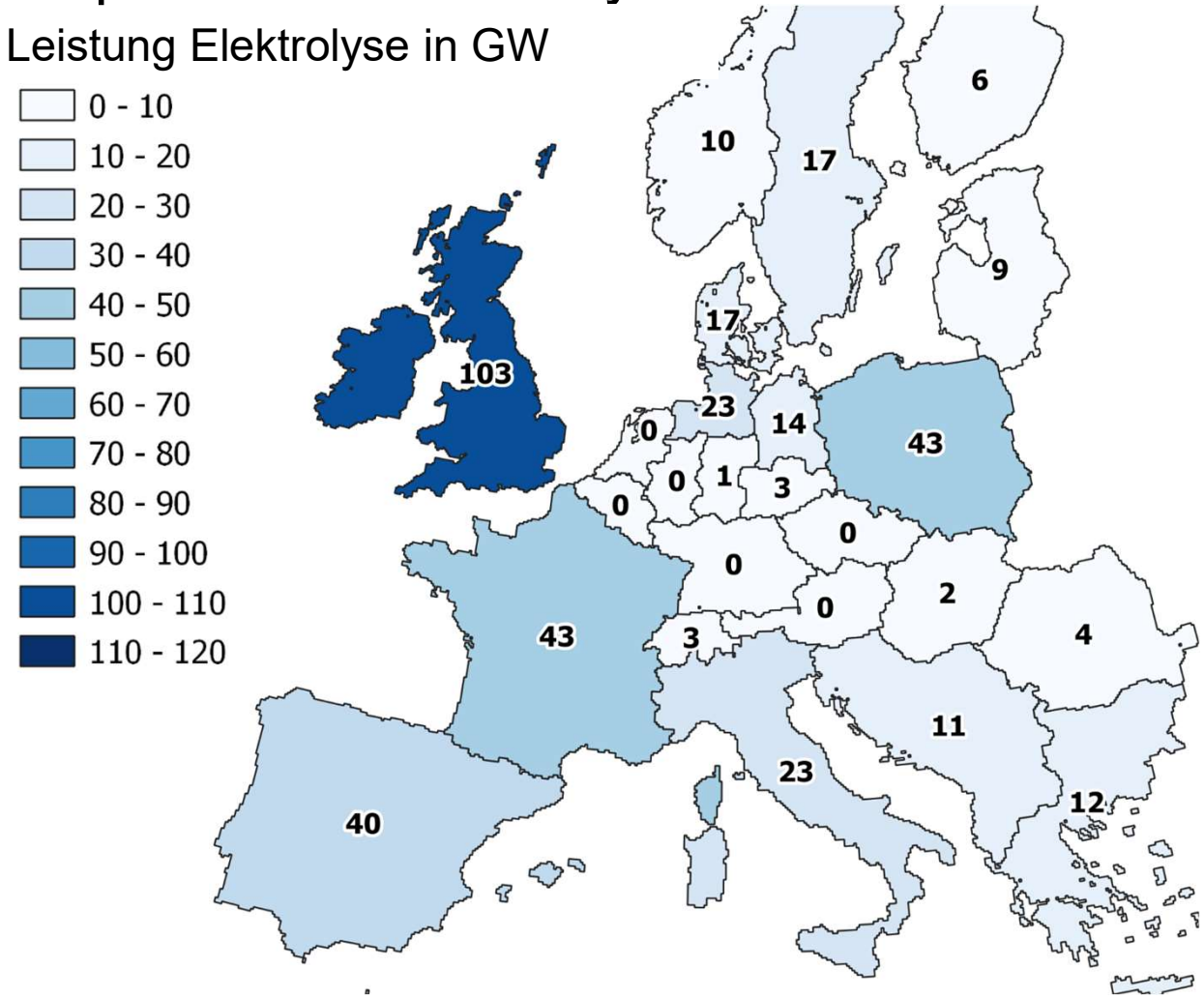


TN-H2-G



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Kapazität Elektrolyseure 2050 Szenario *TN-Strom*



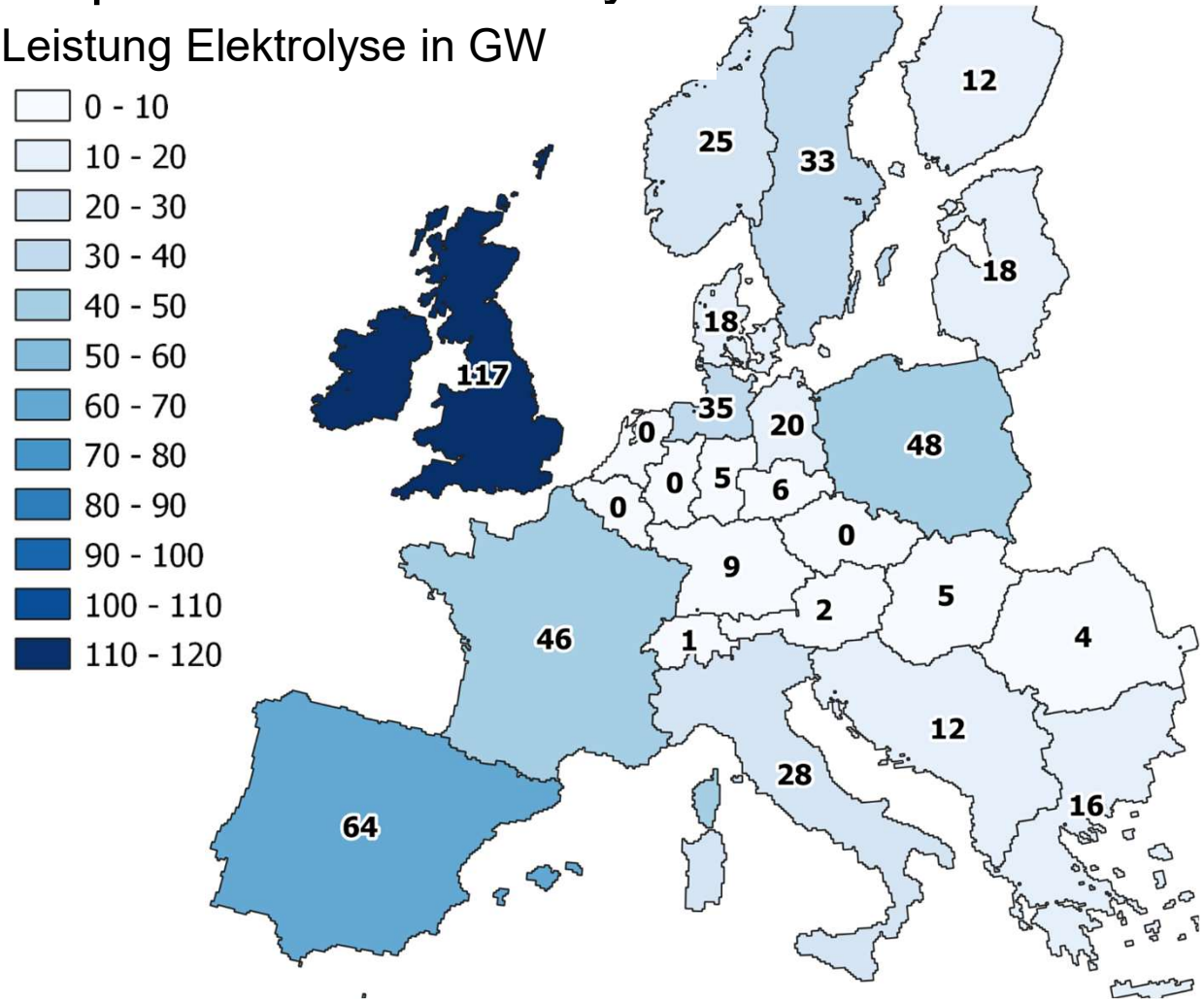
Infos:

- Britische Inseln mit der größten Kapazität
- Polen, Frankreich, und Iberische Halbinsel bedeutend.
- Schwerpunkt innerhalb Deutschlands im Norden.

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Kapazität Elektrolyseure 2050 Szenario *TN-PtG/PtL*

Leistung Elektrolyse in GW



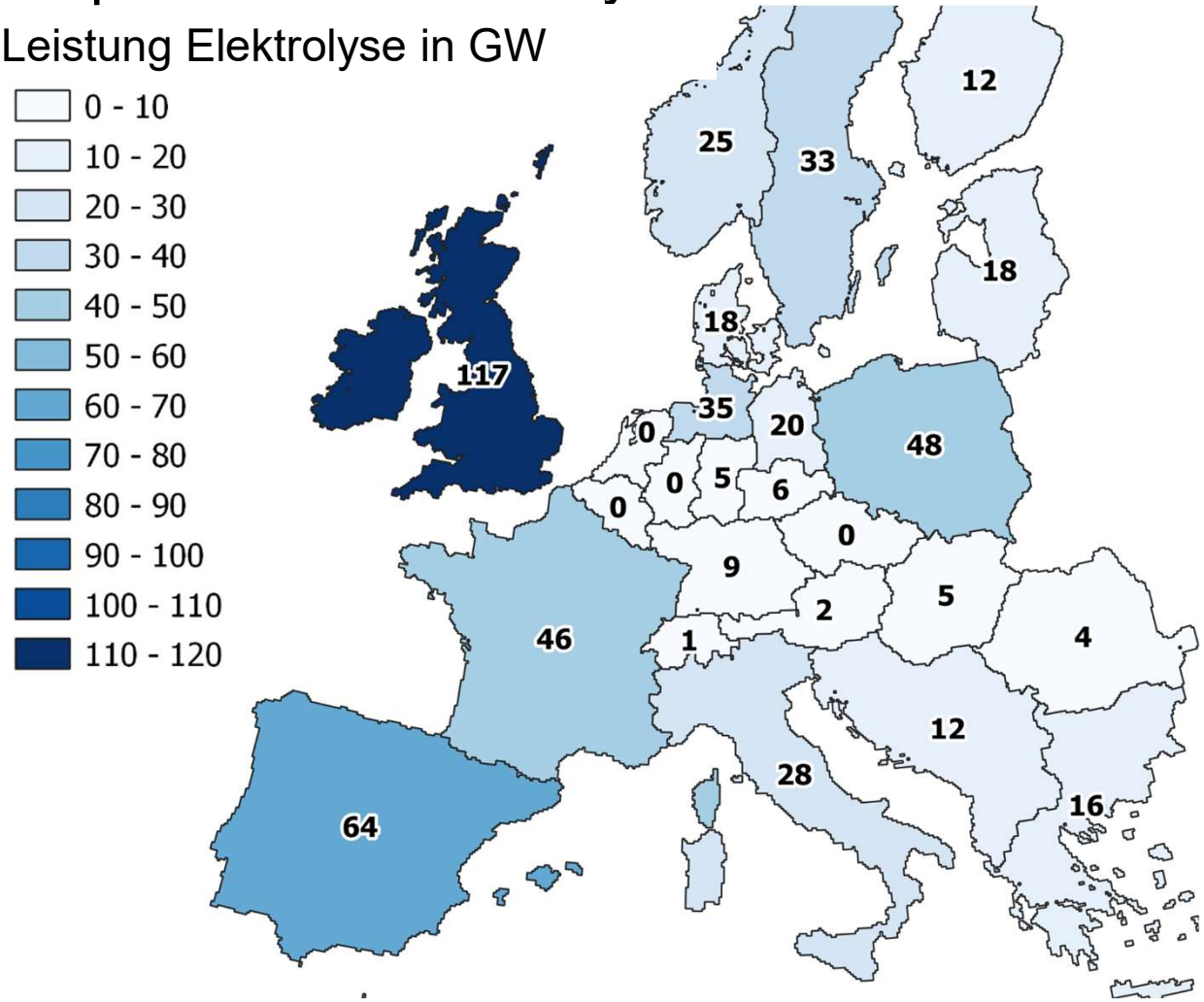
Infos:

- Weniger Kapazität als im Szenario TN Strom
- Starke Produktion in Norddeutschland

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Kapazität Elektrolyseure 2050 Szenario *TN-PtG/PtL*

Leistung Elektrolyse in GW



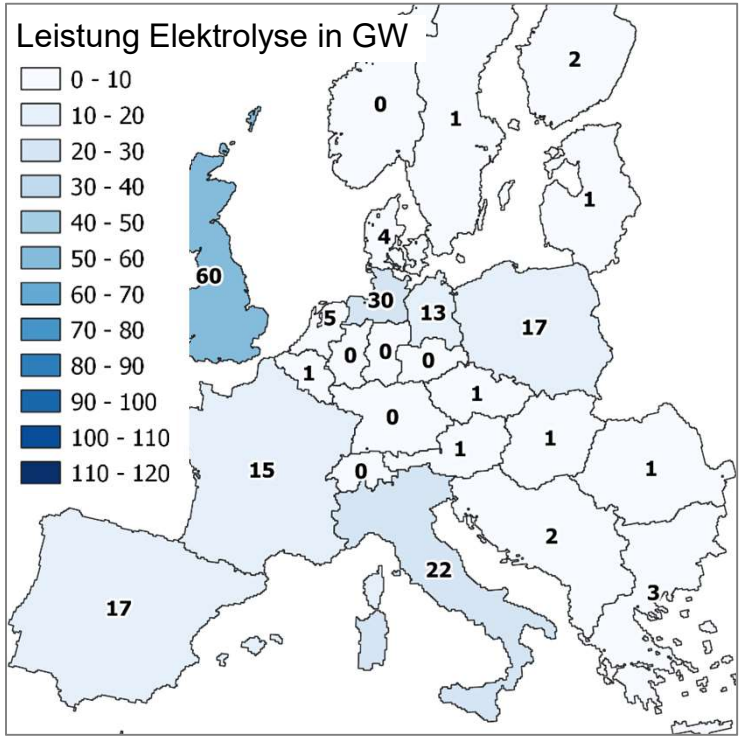
Infos:

- Britische Inseln und Irland mit der größten Kapazität
- Iberische Halbinsel mit sehr hoher Kapazität
- Starke Produktion in Norddeutschland, aber auch in Süddeutschland

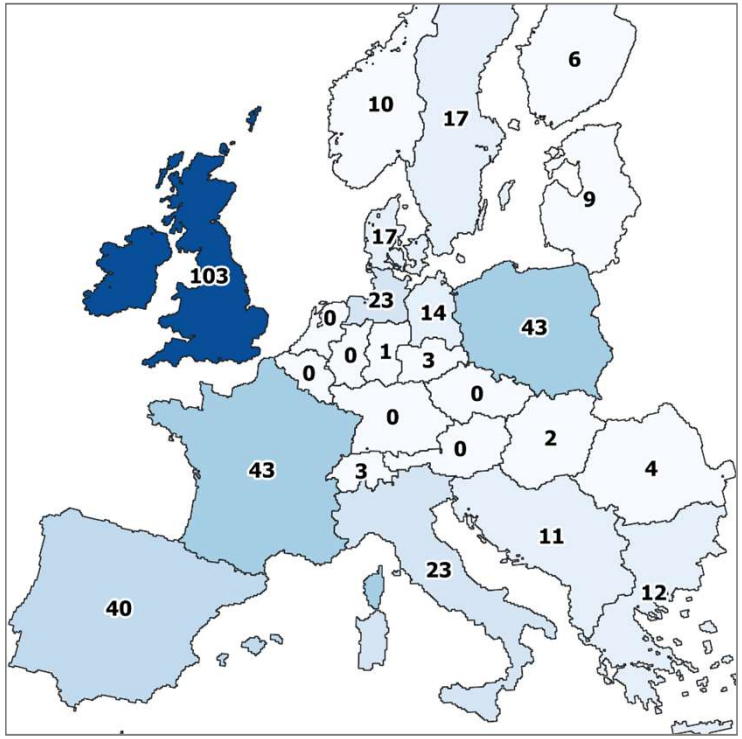
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Leistungen Elektrolyse 2050 - Vergleich

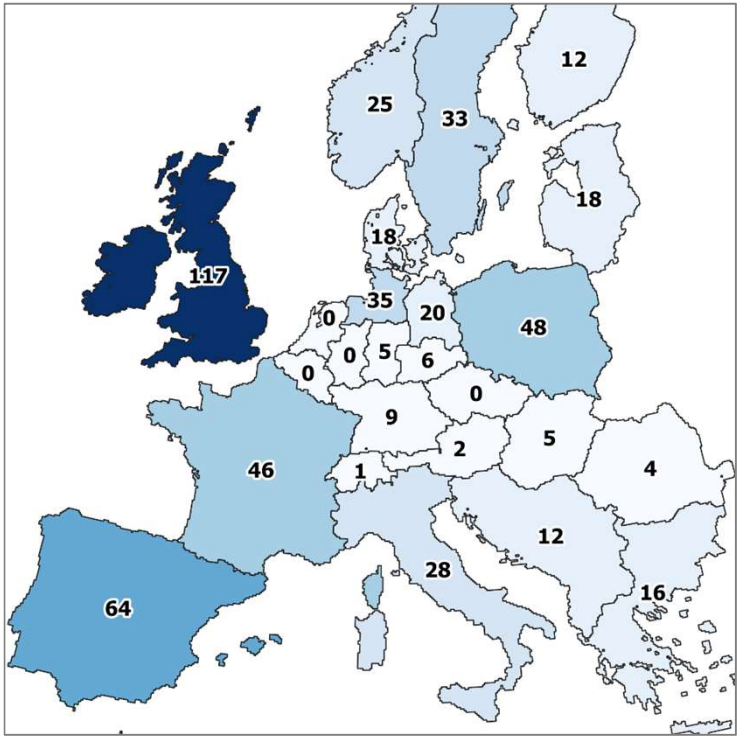
TN-PtG/PtL



TN-Strom



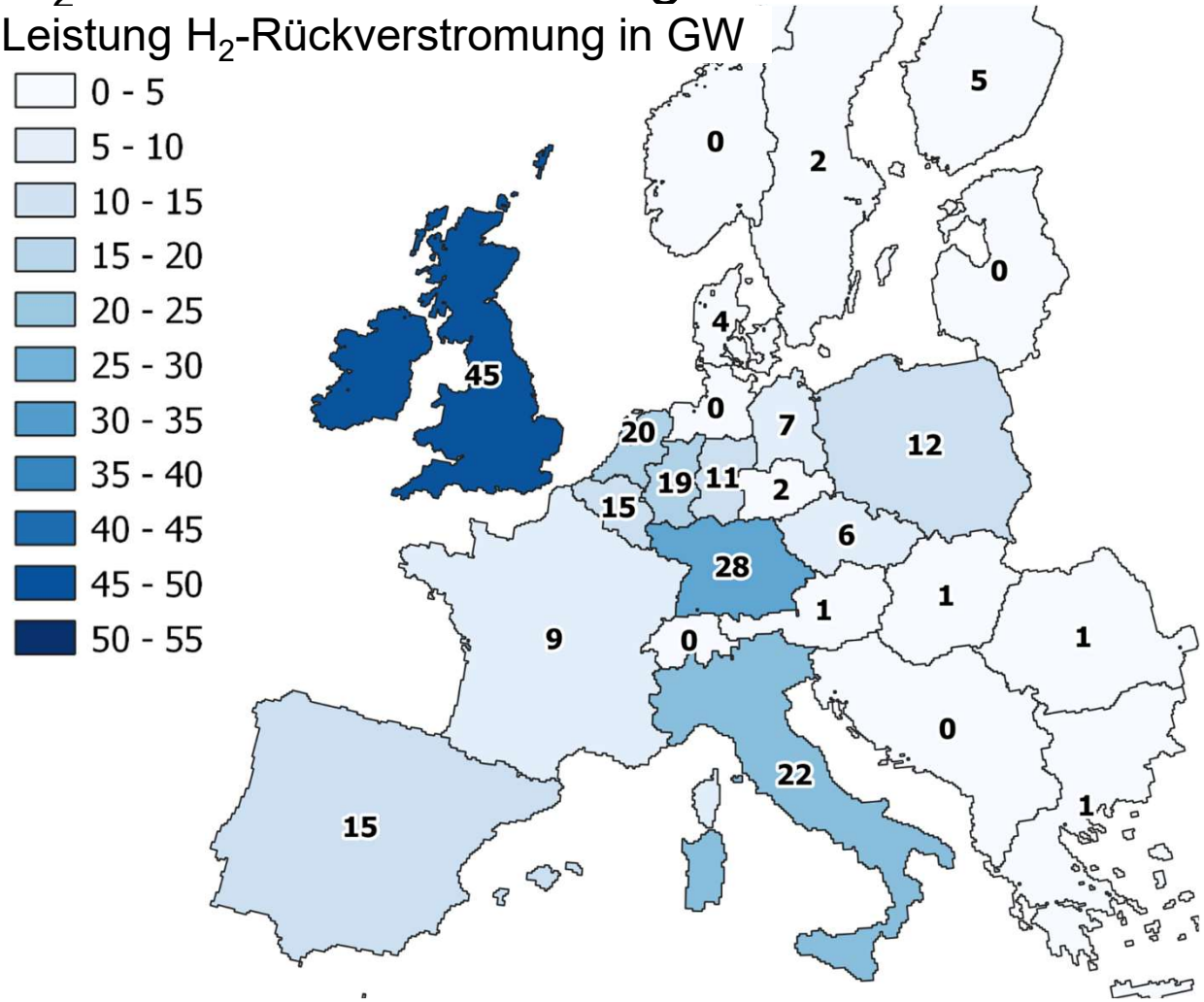
TN-H2-G



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

H_2-Rückverstromung 2050 Szenario *TN-Strom*

Leistung H_2-Rückverstromung in GW



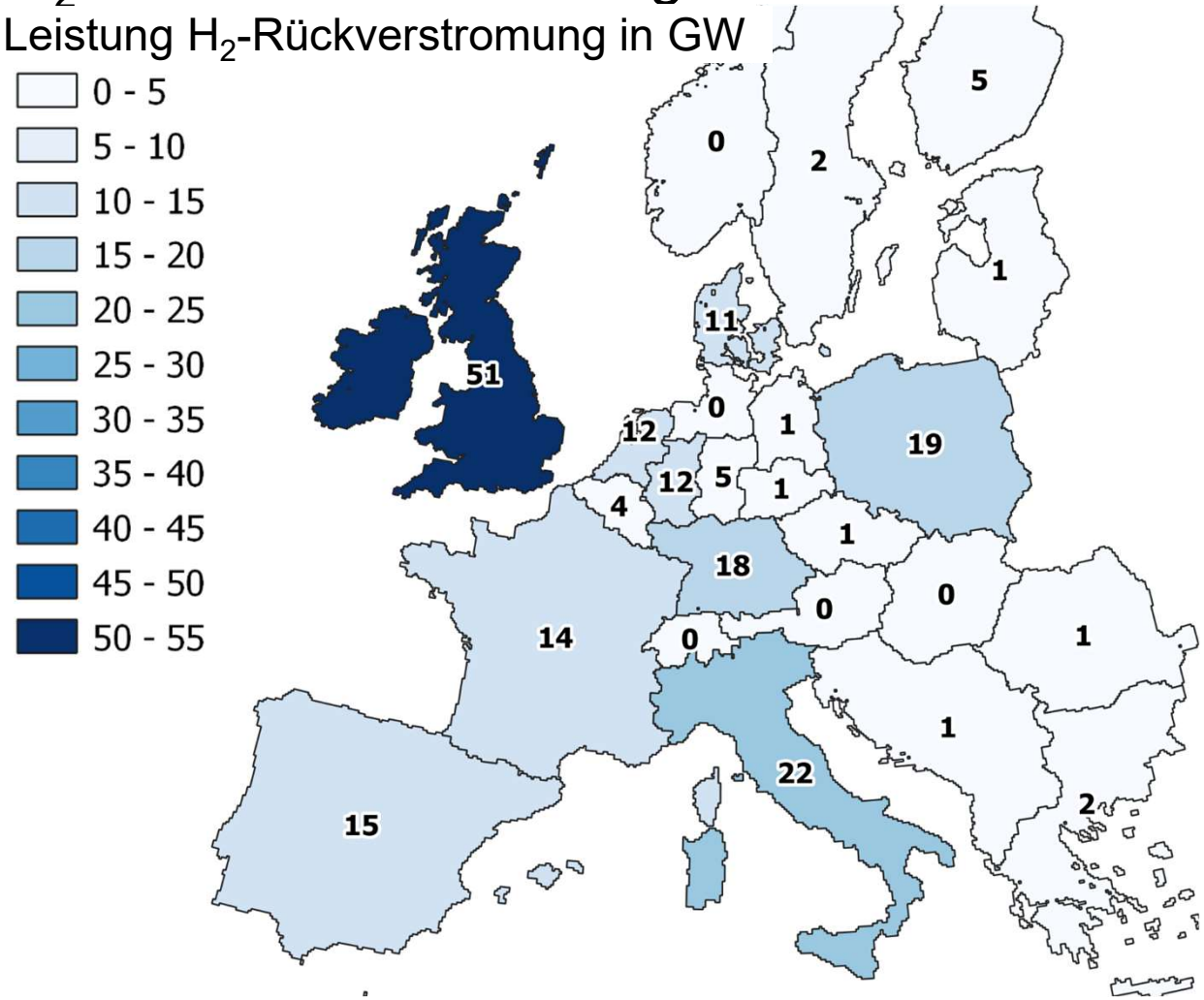
Infos:

- Hohe Rückverstromung auf den Britischen Inseln, in Italien und Deutschland.
- Schwerpunkt innerhalb Deutschlands im Süden.

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

H_2-Rückverstromung 2050 Szenario *TN-PtG/PtL*

Leistung H_2-Rückverstromung in GW



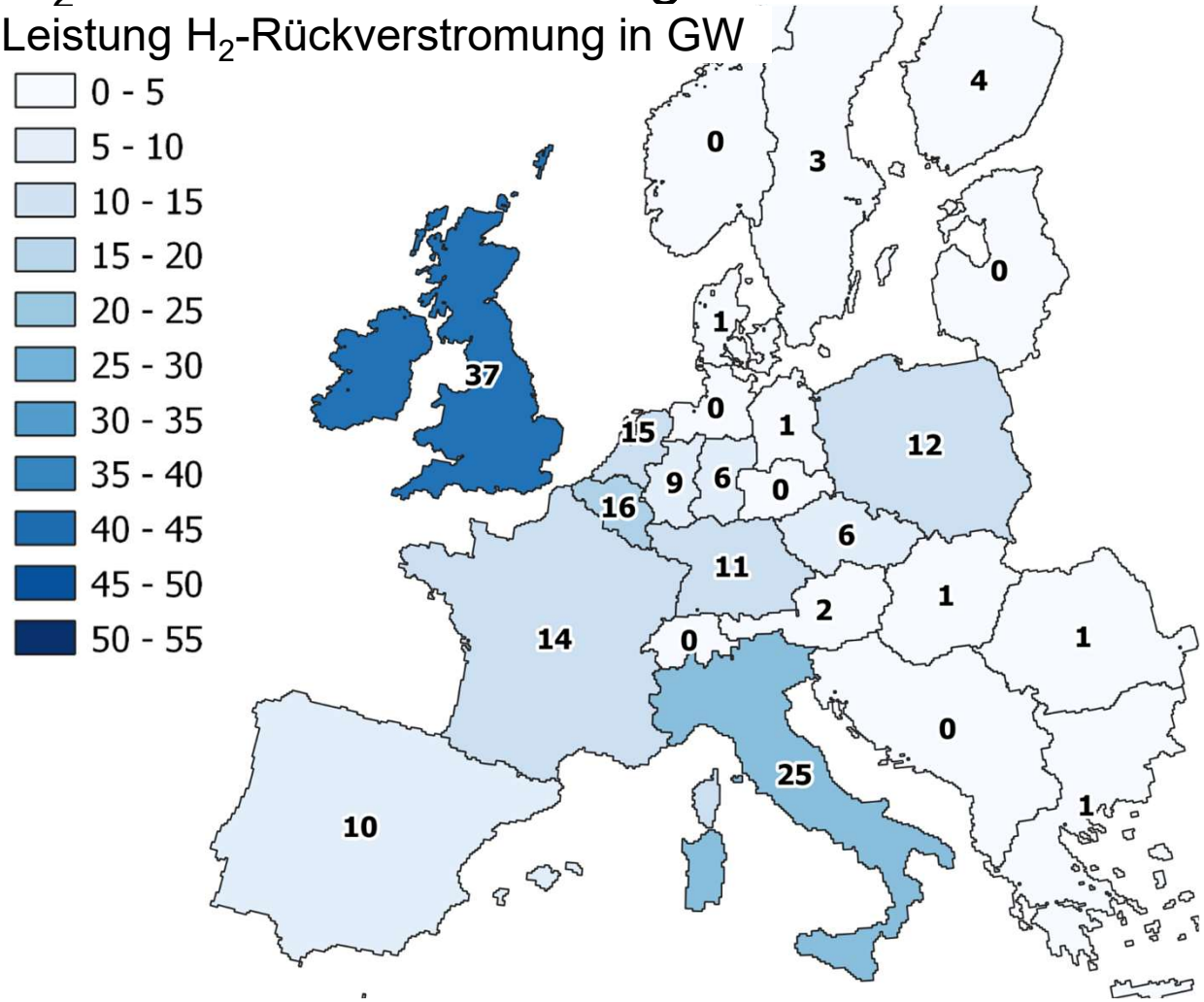
Infos:

- Hohe Rückverstromung in
  - Britische Inseln
  - Polen
  - Südeuropa
  - Rückgang in DE

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

H_2-Rückverstromung 2050 Szenario *TN-H2-G*

Leistung H_2-Rückverstromung in GW



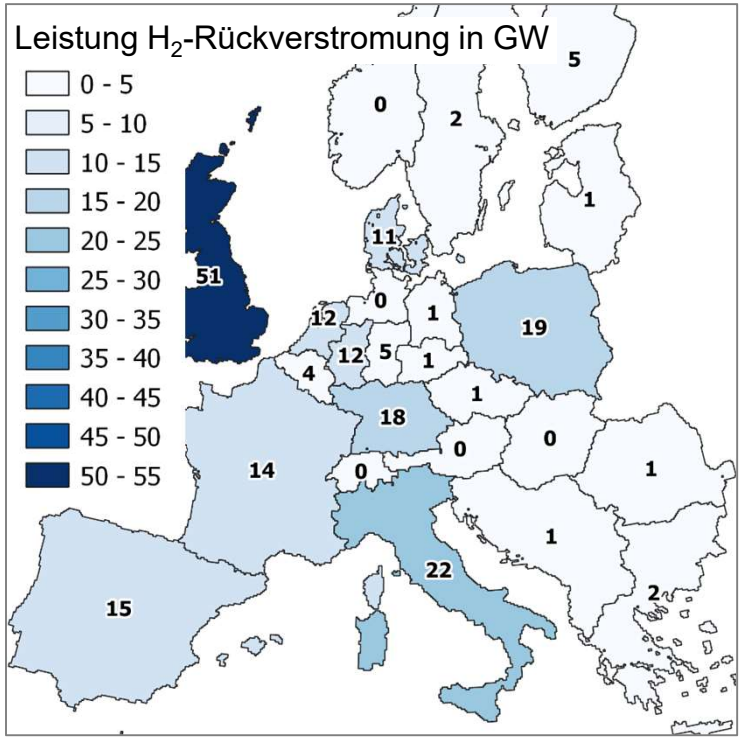
Infos:

- Hohe Rückverstromung in
  - Italien
  - BENELUX
- Wenig Rückverstromung in DE

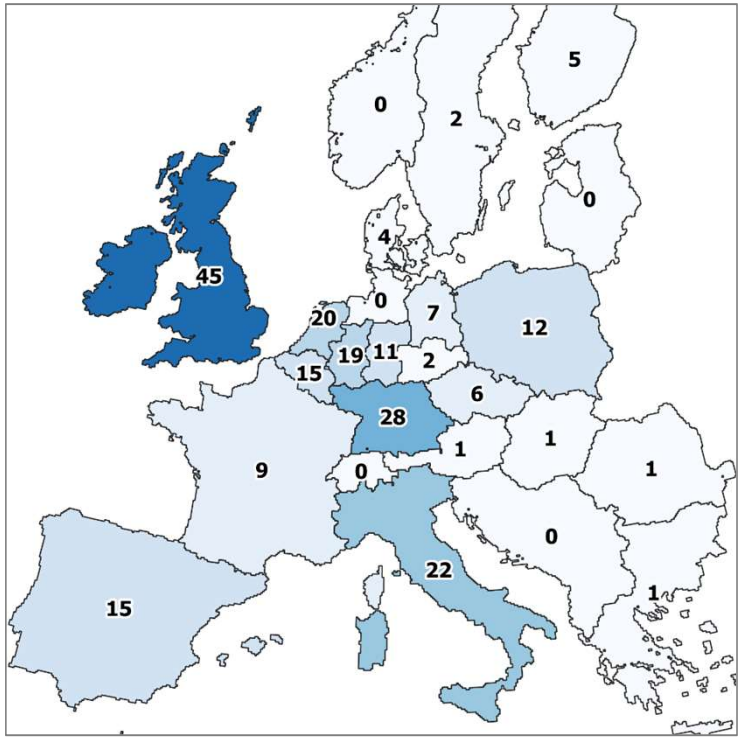
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

H_2-Rückverstromung 2050 - Vergleich

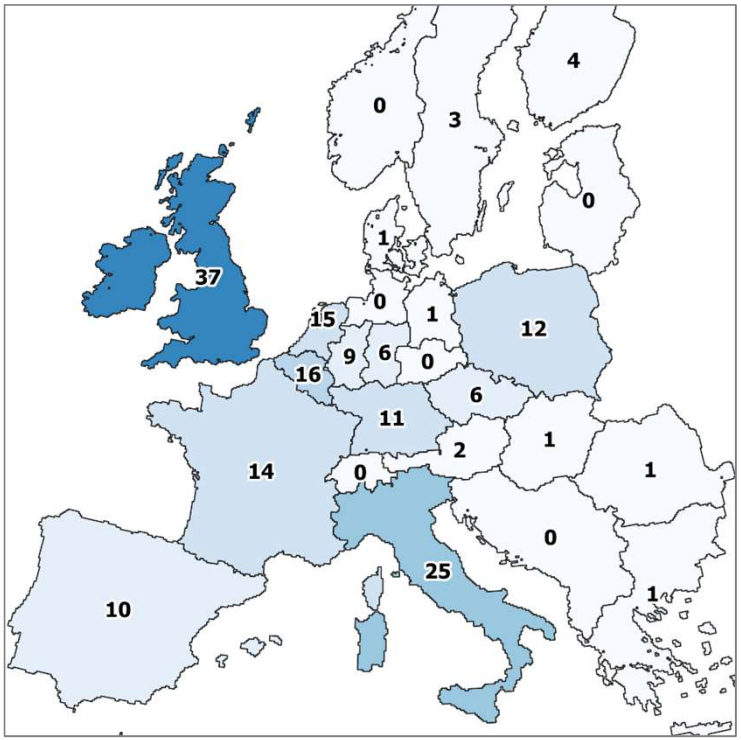
TN-PtG/PtL



TN-Strom



TN-H2-G



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Zusammenfassung H_2-System in Europa

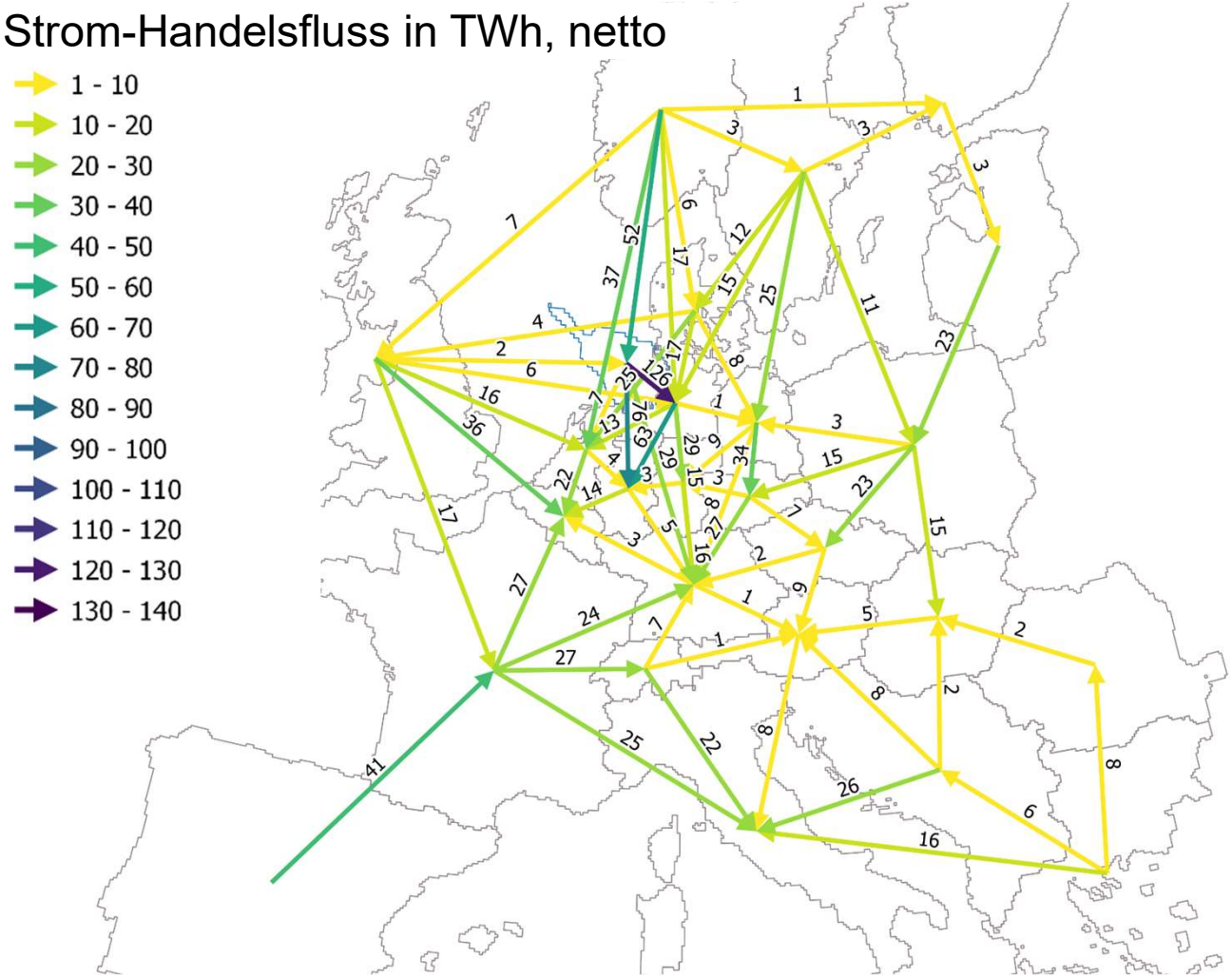
- **Ergebnisse**
  - Schwerpunkt der H_2-Produktion innerhalb Deutschlands liegt im Norden; die Rückverstromung hauptsächlich im Süden.
  - In den Szenarien *TN-Strom* und *TN-H_2-G* entstehen europäische Wasserstoffnetze und -handel.
    - Starke Netzanbindungen nach UK, Skandinavien und Spanien.
    - Innerhalb Deutschlands „Nord-nach-Süd“ Wasserstoffhandel.
    - Sehr ähnliche Wasserstoffnetzstruktur, Unterschiede nur beim Handelsvolumen.
  - Im Szenario *TN-PtG/PtL* gibt es nur ein innerdeutsches Wasserstoffnetz (Vorgabe Modell).
- **Einordung**
  - Die Entstehung eines europäischen Wasserstoffnetzes ist plausibel.
  - Kein Import aus der MENA-Region, obwohl dort identisch zu Europa geringes Zinsniveau angenommen wurde (2%).
  - Transportkosten sind unsicher.
  - Bei Flächenknappheit an Land in Europa kann Import aus der MENA Region konkurrenzfähig zur Ausdehnung der Energieerzeugung auf See sein.
  - Bei konkurrenzfähigen Importen aus MENA entstünden ähnliche Transportachsen über Südeuropa.
  - Bei Import aus Russland könnte Transport über die entsprechenden Transportachsen erfolgen.
- **Schlussfolgerung**
  - Der deutsche Wasserstoffbedarf lässt sich nicht national decken. Eine europäische Wasserstoffinfrastruktur scheint sinnvoll zu sein.

Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
  - Ausbau Erneuerbarer Energien
  - Exkurs: Die Rolle von H_2-Importen aus MENA
  - Dispatch Strom/Wärme/H_2
  - H_2-System in Europa
  - Stromhandel
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Handelsflüsse Strom 2050 - Szenario *TN-Strom*

Strom-Handelsfluss in TWh, netto



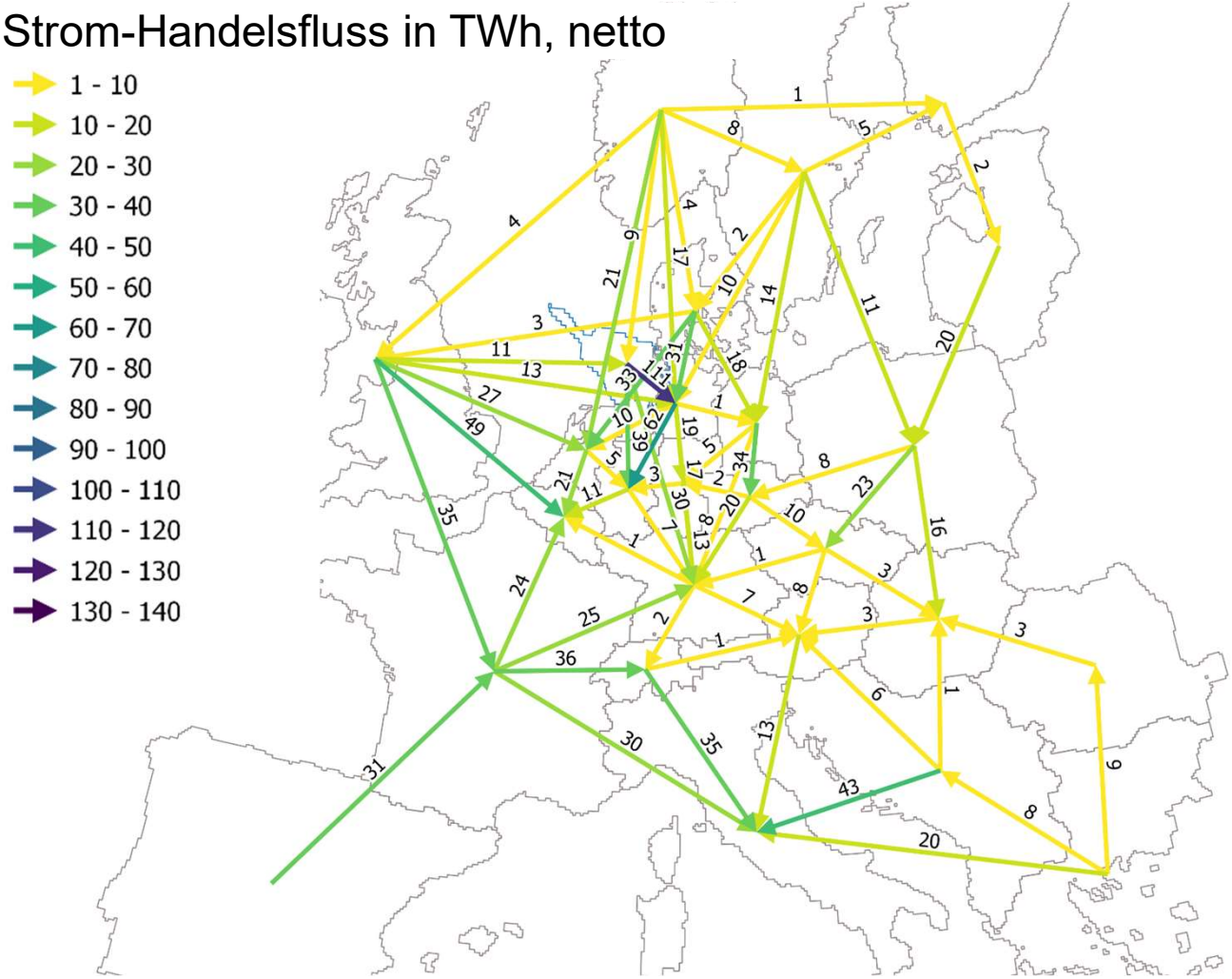
Infos:

- Starke Netzanbindungen Zentraleuropas nach UK, Skandinavien und Iberische Halbinsel.
- Innerhalb Deutschlands „Nord-nach-Süd“ Stromhandel.

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Handelsflüsse Strom 2050 - Szenario *TN-PtG/PtL*

Strom-Handelsfluss in TWh, netto



Infos:

Etwas schwächere

- Nord-Süd Achsen

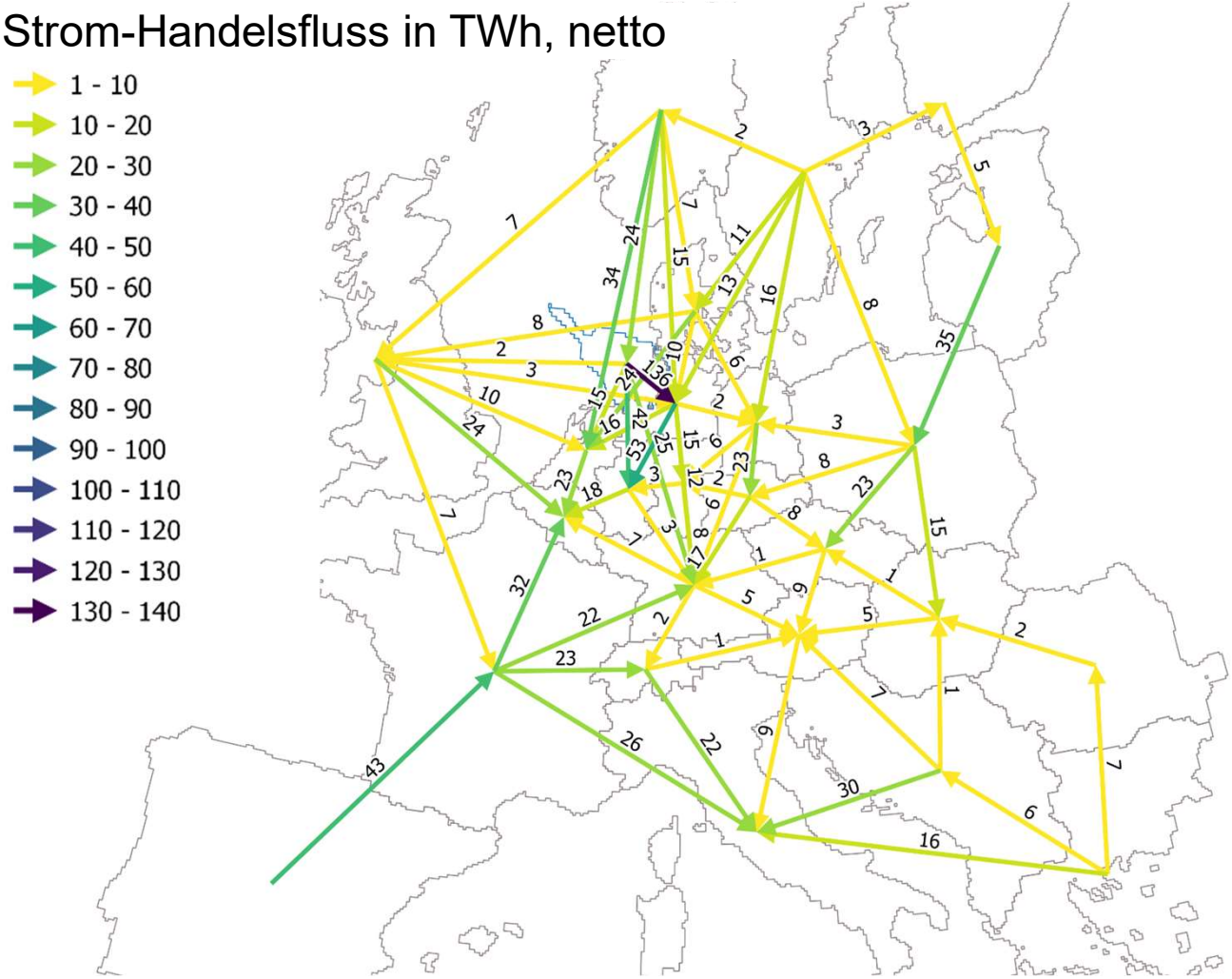
Stärkere

- Anbindung Britische Inseln
- Südeuropa

Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Handelsflüsse Strom 2050 - Szenario *TN-H2-G*

Strom-Handelsfluss in TWh, netto



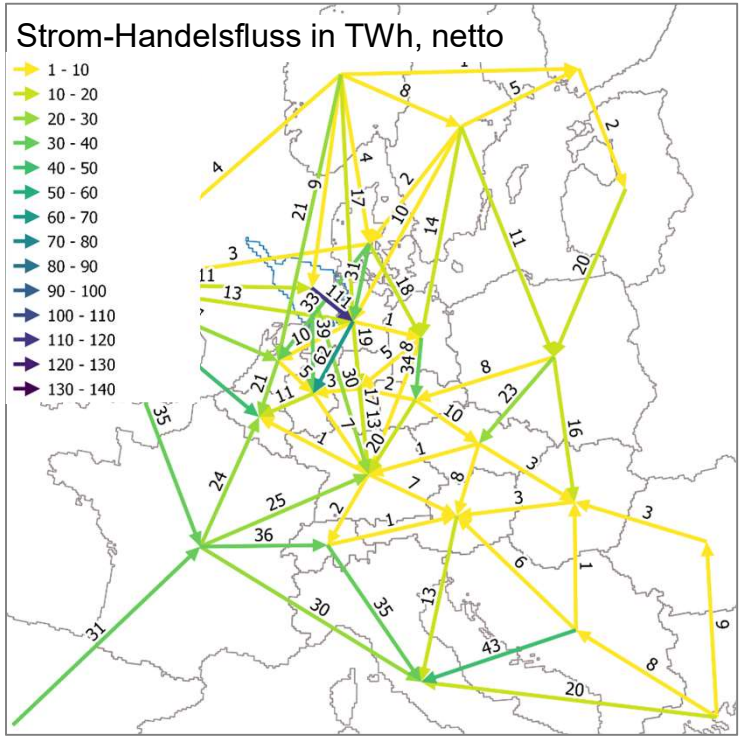
Infos:

- Stärkere Anbindung der Deutschen Offshore Zone
- Nord-Süd Achsen ebenfalls stark ausgeprägt

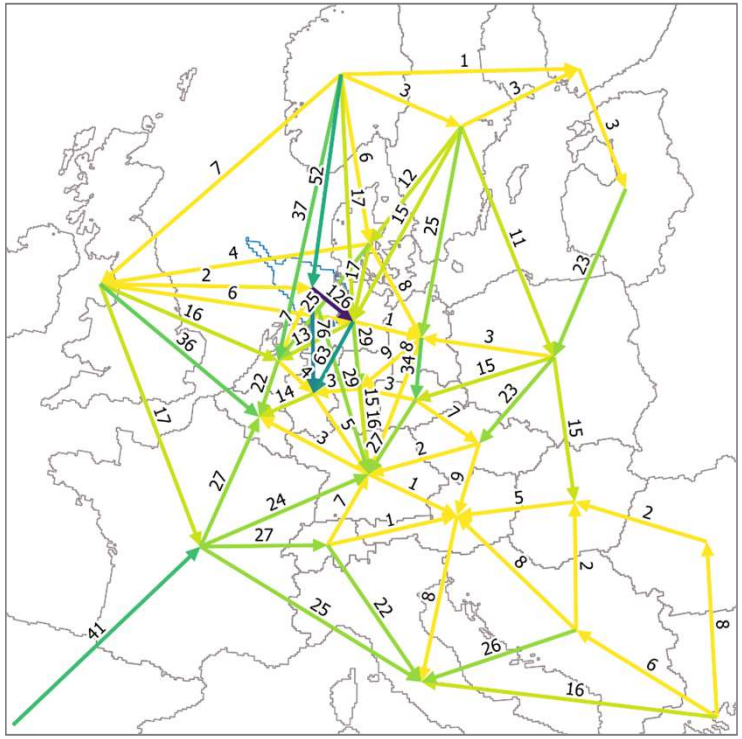
Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Handelsflüsse Strom 2050 - Vergleich

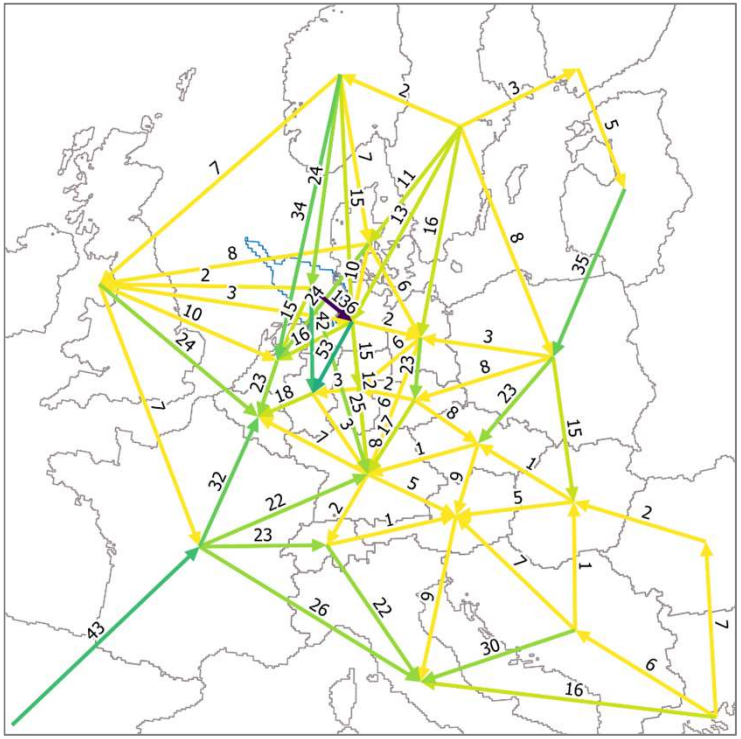
TN-PtG/PtL



TN-Strom



TN-H2-G



Interne Ids:
TN-Strom 39847; TN-PtG/PtL 39793; TN-H_2-G 39849

Handelsflüsse Strom

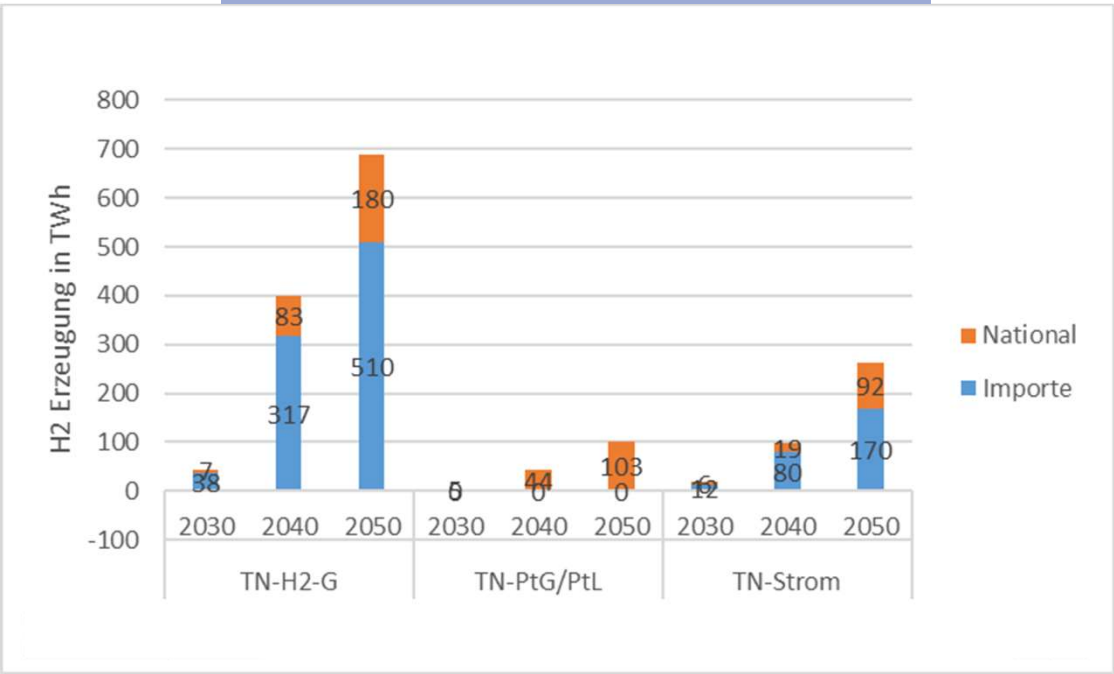
- **Ergebnisse**
  - In allen Szenarien entsteht in den europäischen Stromnetzen Stromhandel.
    - Es entstehen starke Nord-Süd Achsen (Skandinavien, Spanien (über Frankreich)) sowie eine Achse nach UK.
  - Innerdeutsch gibt es ebenfalls eine starke Nord-Süd Achse.
  - Deutschland wird zum Stromimporteur.
  - Vor allem in Strom- und wasserstoffbasierten Szenarien entstehen große europäische Handelsvolumina.
- **Einordung**
  - Der Stromimport nach Deutschland wird in der Modellierung durch nationale Mindesterzeugung begrenzt.
- **Schlussfolgerung**
  - Der Ausbau der Übertragungskapazität des europäischen Stromnetzes ist in allen Szenarien ein wichtiges Element.

Agenda

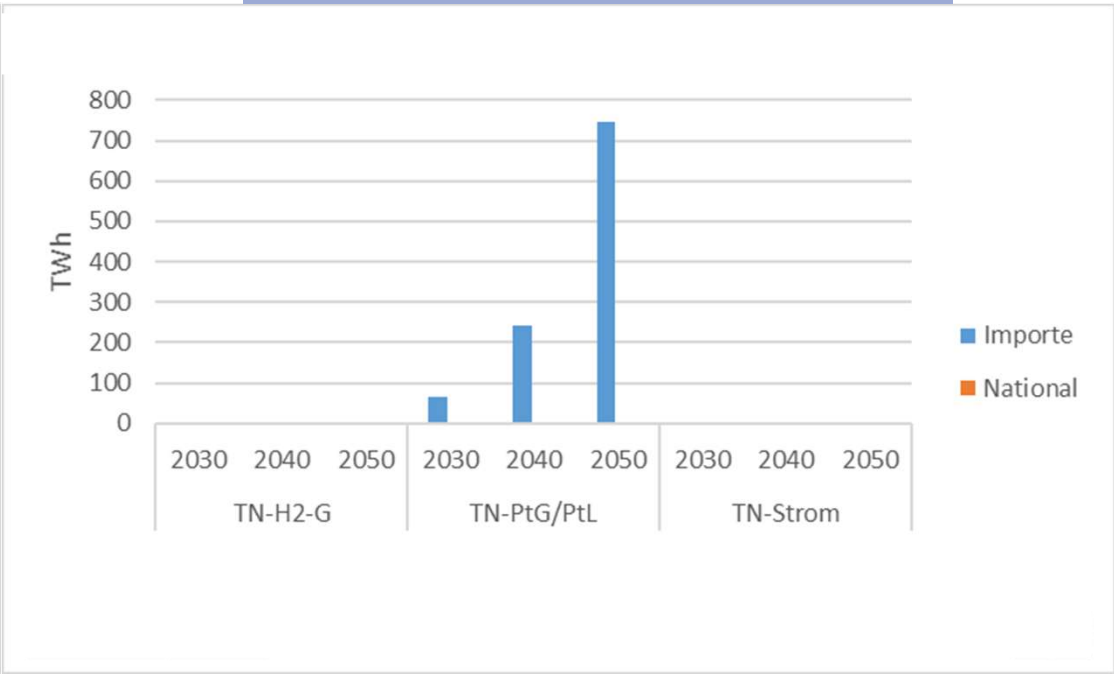
- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende

Wasserstoff und PtG in den Langfristszenarien
Import spielt eine große Rolle

Wasserstoff



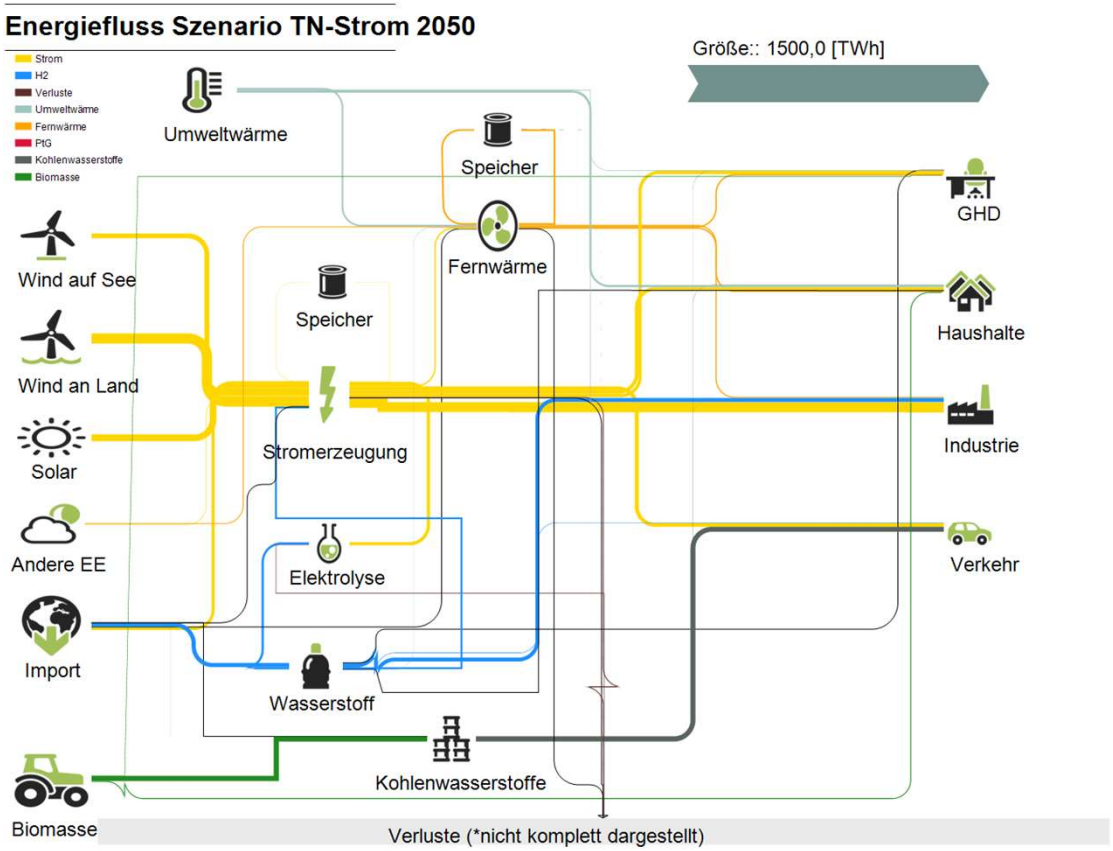
PtG/PtL



enertile

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Energieflussdiagramm 2050
Szenario TN-Strom



Importe:
- Ca. 170 TWh Wasserstoff
- Ca. 132 TWh Strom
- Ca. 0 TWh PtG

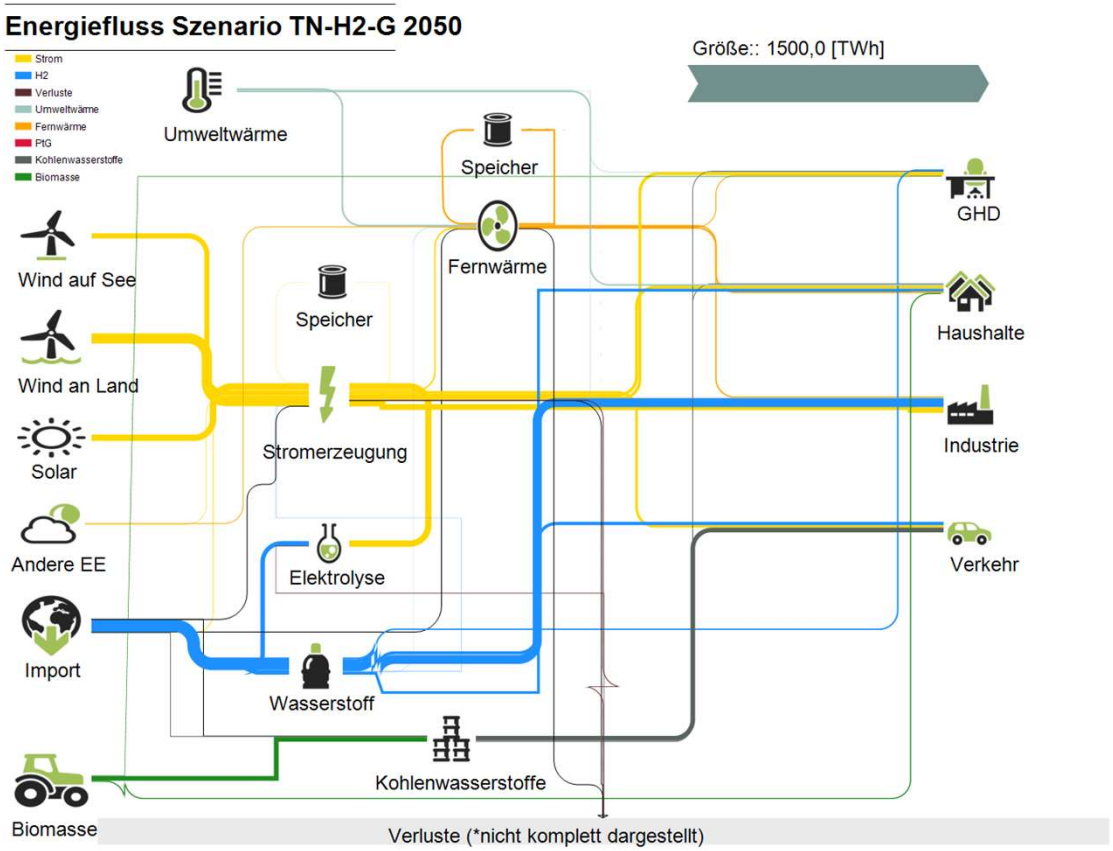
➢ Ca. 375 TWh Stromäquivalente

Erzeugung in Deutschland
- 92 TWh Wasserstoff
- 900 TWh Strom(Randbedingung)

Kohlenwasserstoffe:
- Potentiale aus Biomasse reichen aus

ID 39847

Energieflussdiagramm 2050
Szenario TN-H2-G



Importe:
- Ca. 510 TWh Wasserstoff
- Ca. 34 TWh Strom
- Ca. 0 TWh PtG

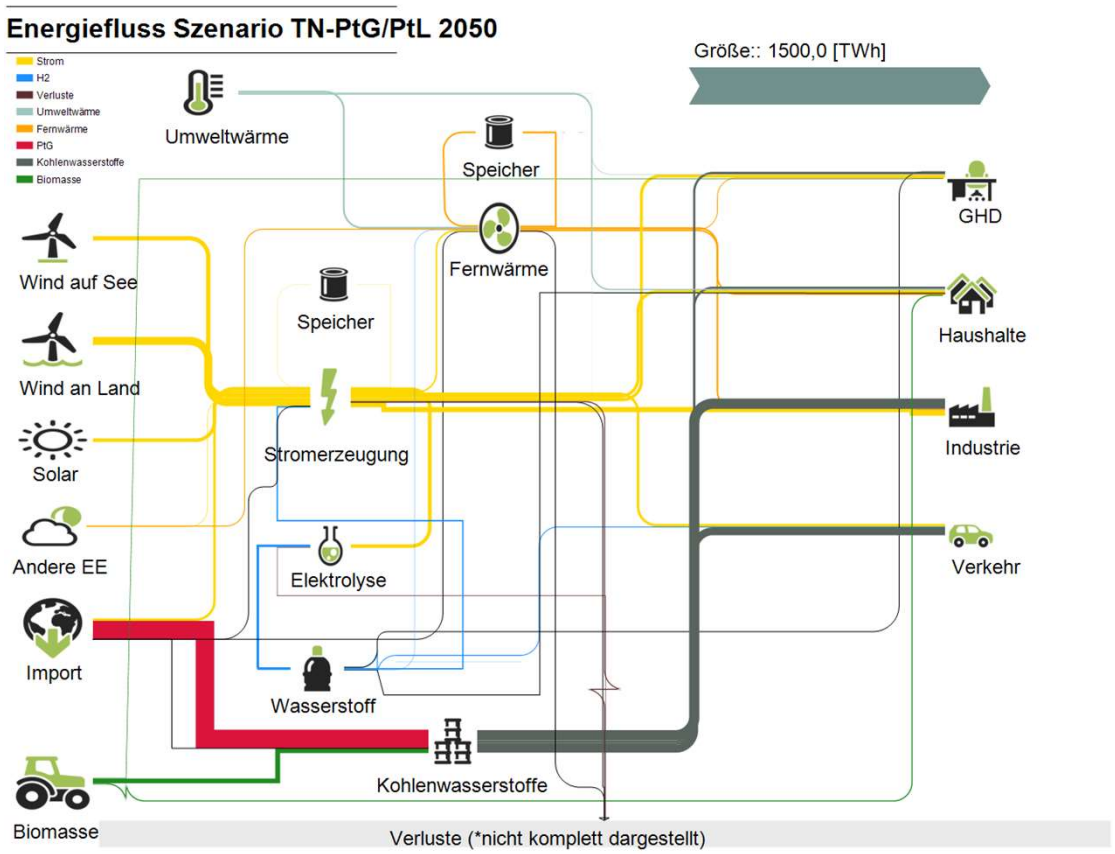
➢ Ca. 760 TWh Stromäquivalente

Erzeugung in Deutschland
- 180 TWh Wasserstoff
- 900 TWh Strom (Randbedingung)

Kohlenwasserstoffe:
- Bedarf leicht oberhalb der Potentiale aus Biomasse

ID 39849

Energieflussdiagramm 2050
Szenario TN-PtG/PtL



Importe:
- Ca. 0 TWh Wasserstoff (Randbedingung)
- Ca. 107 TWh Strom
- Ca. 750 TWh PtG

➢ Ca. 1.600 TWh Stromäquivalente

Erzeugung in Deutschland
- 103 TWh Wasserstoff
- 680 TWh Strom

Kohlenwasserstoffe:
- Potentiale aus Biomasse reichen nicht aus

ID 39793

Fazit und Schlussfolgerung Strom

- **Ergebnisse**
  - Erneuerbare Energien an Land werden sehr stark ausgeschöpft (*TN-Strom* und *TN-H_2-G)*
    - PV Freifläche, CSP, Wind an Land
  - Weniger Rückverstromung von H_2 im *TN-H2-G* als *in TN-Strom.* Ursache: H_2 etwas teurer
  - Batteriespeicher kommen in großem Stil nur in Italien zum Einsatz
  - Synthetisches Methan ist im Umwandlungssektor nicht wirtschaftlich
- **Einordung**
  - Ausbau der Erneuerbaren Energien an Land sehr extrem
- **Schlussfolgerung**
  - Bei PV Freifläche und insbesondere Windenergie kann der reale Ausbau in Deutschland und Europa aus Systemsicht nicht zu hoch ausfallen

Fazit und Schlussfolgerung Wärmenetze

- **Ergebnisse**
  - Großwärmepumpen dominant in allen Szenarien
  - Starker Ausbau von Wärmespeichern
  - H_2-Kessel als Backup in allen Szenarien
  - KWK Erzeugung in allen Szenarien 2050 gering
- **Einordnung**
  - KWK hat eine Rolle im Jahr 2050
  - Rolle der KWK im 2050 sicherlich deutlich geringer, aber genaue Höhe sehr stark abhängig von der Parametrierung der Szenarien (insbesondere Netzausbau)
- **Schlussfolgerung**
  - Großwärmepumpen und Wärmespeicher sind Schlüsseltechnologien

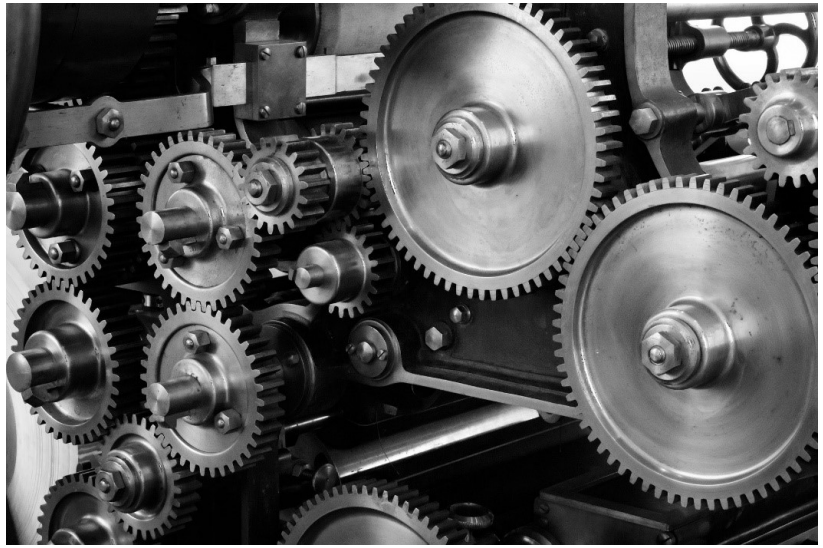
Fazit und Schlussfolgerung Wasserstoff

- **Ergebnisse**
  - H_2-Import aus MENA findet nicht statt
    - Zins-Spread zur MENA-Region wurde aufgehoben
    - Transportkosten unsicher, aber sehr entscheidend
  - H_2-Handel in Europa bedeutend
  - Schwerpunkt der H_2-Produktion innerhalb Deutschlands liegt im Norden
- **Einordnung**
  - Bei Flächenknappheit in Europa konkurriert Nicht-EUImport mit EU-Offshore-Erzeugung, Ausgang offen
- **Schlussfolgerung**
  - Die Entwicklung eines europäischen H_2-Netzes ist für sehr viele Szenarien eine sinnvolle Entwicklung
    - Robuste Haupttransportachsen: Spanien → DE; UK → DE; Skandinavien → DE
  - Effiziente Sektorkopplung (d.h. auch hohe Flexibilität der Nachfrage) und eine Transformation der Wärmenetze sind zentrale Elemente für die Integration erneuerbarer Energien

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Webinare

- **Industrie:**
- 29. Juni 2021, 10 bis 11.30 Uhr V
- **Gebäude:**
- 30. Juni 2021, 10 bis 11.30 Uhr V
- **Energieangebot:**
- 02. Juli 2021, 10 bis 12.30 Uhr V
- **Strom-, Gas- und Wasserstoffnetze:**
- 07. Juli 2021, 14 bis 16 Uhr
- **Verkehr:**
- 08. Juli 2021, 14 bis 15.30 Uhr



Ansprechpartner:	
Projektleitung:	Dr. Frank Sensfuß
Energieangebot:	Benjamin Lux
Gasnetze:	Prof. Dr. Müller-Kirchenbauer
Gebäude:	Peter Mellwig
Geräte & GHD:	Dr. Heike Brugger
Industrie:	Dr. Tobias Fleiter
Stromnetze:	Dr. Christoph Maurer
Verkehr:	Prof. Dr. Martin Wietschel

www.langfristszenarien.de

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Agenda

- 10:10 Einleitung und Szenariodesign
- 10:20 Potentiale erneuerbare Energien
- 10:40 Methodik
- 10:50 Ausbau Energiebereitstellung
- 11:10 Kaffeepause (10 Min)
- 11:20 Vertiefung Energiebereitstellung
- 12:00 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen
- 12:10 Diskussion
- 12:30 Ende